

DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜS
ELEKTRİK ENERJİSİ İHTİYACININ RÜZGAR
ENERJİSİ İLE KARŞILANMA OLASILIĞININ
İRDELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Tuğba GÜRDAL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2010

**DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜS ELEKTRİK ENERJİSİ
İHTİYACININ RÜZGAR ENERJİSİ İLE KARŞILANMA OLASILIĞININ
İRDELENMESİ**

Tuğba GÜRDAL

DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Temmuz – 2010

KABUL ve ONAY SAYFASI

Tuğba GÜRDAL'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜS ELEKTRİK ENERJİSİ İHTİYACININ RÜZGAR ENERJİSİ İLE KARŞILANMA OLASILIĞININ İRDELENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

....../....../2010

Üye : Prof. Dr. Ramazan KÖSE (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. A.İhsan ÇANAKOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. M.Arif Özgür

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/....../2010 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜS ELEKTRİK ENERJİSİ
İHTİYACININ RÜZGAR ENERJİSİ İLE KARŞILANMA OLASILIĞININ
İRDELENMESİ**

Tuğba GÜRDAL

Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2010

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

ÖZET

Endüstrinin hızla gelişmesi, buna karşılık geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı olması ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgilerini arttırmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi kullanımı son yıllarda dünya genelinde hızlı bir artış göstermiş olup, birçok ülkede kullanımı teşvik edilmektedir. Türkiye, hızlı sanayileşme ve hızlı nüfus artışı sonucunda artmakta olan enerji talebini karşılamakta güçlük çekmektedir. Bu nedenle enerji talebinin karşılanabilmesi için yenilenebilir enerji potansiyelleri kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampus elektrik enerjisi ihtiyacının, rüzgar enerjisinden karşılanması irdelenmiştir. Bu amaçla; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanından bahsedilmiş ve merkez kampüs alanı için bir rüzgar enerji santrali tasarlanmıştır. Bunun için, merkez kampüs alanının elektrik enerjisi ihtiyacı ve bu ihtiyacı karşılamak için türbin sayısı, bunların ürettikleri enerji miktarları hesaplanmış, türbinlerin karşılama oranları bulunmuştur. Son olarak, türbinlerin maliyet analizi ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik İhtiyacı, Maliyet Analizi, Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Türbini.

THE DÜMLÜPINAR UNIVERSITY CENTRAL CAMPUS AREAS ENERGY REQUIREMENT IS SUPPLY BY WIND TURBINES

Tuğba GÜRDAL

Mechanical engineering, Master's Thesis, 2010

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

SUMMARY

Since conventional energy sources that used in industry is depletable, many countries has focused their attention on renewable energy sources.

The consumption of wind of wind energy has increased recently. In several countries, wind energy incentive programmers have been established and usage of wind energy supply has been increased due to these programmers. Turkey has difficulty in energy demand due to rapid increasing population and industrialization. To maintain energy demand, the renewable energy sources must be used efficiently. In this work, a study has been done for one scenario on Dumlupınar University central campus area in Kütahya. And a study has been designed to install the wind turbine on Dumlupınar University central campus area in Kütahya.

Dumlupınar University central campus area in Kütahya is introduced and a power plant is designed fort his region. To do this, Central campus areas energy requirement, to supply this energy requirement, the turbine quantity, and the energy produced by turbines and calculated, and the sufficiency of the turbines are found. And after all, the financial analysis is mad for the turbine and, repaying period is calculated.

Keywords: Electrical Energy, Financial Analysis, Wind Turbine, Wind Energy.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince tecrübeleri ve bilgisi ile araştırmama katkıda bulunan, eleştirilerini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, çalışmalarında her zaman destek veren değerli tez hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Ramazan KÖSE'ye şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmamda, her türlü yardımı esirgemeyen ve yön gösteren öğretim üyelerinden, Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Arif ÖZGÜR hocama ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Oğuz ARSLAN hocama teşekkür ederim.

Çalışmam süresince desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım İnş.Müh. Fikret ŞEKER'e ve tüm eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme babam Mitat GÜRDAL ve annem Gülsüm GÜRDAL 'a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	4
2.1. Hidroelektrik Enerji	6
2.2. Jeotermal Enerji	6
2.3. Güneş Enerjisi.....	7
2.4. Rüzgar Enerjisi	7
2.5. Biyokütle Enerjisi	7
3. RÜZGAR ENERJİSİ	9
3.1. Dünya’da Rüzgar Enerjisinin Gelişimi.....	10
3.2. Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Gelişimi.....	13
3.3. Literatür Çalışmaları	17
4. RÜZGAR TEKNOLOJİLERİ.....	21
4.1. Rüzgar Türbinleri.....	21
4.1.1. Düşey (dikey) eksenli rüzgar türbinleri	21
4.1.2. Yatay eksenli rüzgar türbinleri	22
4.1.3. Şebeke bağlantılı rüzgar türbinleri.....	24
4.1.4. Şebekeden bağımsız rüzgar türbinleri.....	24
4.2 Rüzgar Türbin Elemanları	25
4.2.1. Gövde veya kapak.....	26
4.2.2. Rotor kanatları	26
4.2.3. Kanatların rotora bağlanmasını sağlayan parça (Hub).....	27
4.2.4. Düşük hız şaftı (Mili).....	27
4.2.5. Dişli kutusu	27
4.2.6. Yüksek hız şaftı (Mili).....	27
4.2.7. Elektrik generatörü	27
4.2.8. Yaw mekanizması	28
4.2.9. Elektronik kontrol sistemi.....	28
4.2.10. Hidrolik sistem.....	28

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.11. Soğutma ünitesi.....	28
4.2.12. Kule.....	29
4.2.13. Anemometre ve rüzgar vanası	29
5. METARYAL VE METOD	30
5.1. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Alanı	30
5.2. Rüzgar Hız Verileri.....	31
5.3. Rüzgar Türbinleri.....	33
5.4. Rüzgar Enerjisi Potansiyel Hesaplamaları.....	35
6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	39
6.1. Bölgenin Rüzgar Potansiyeli	39
6.2. Türbin Sayısının Bulunması	48
6.3. Merkez Kampüs Alanında, 2009 Yılı İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerji Miktarının Karşılama Oranları	50
6.4. Maliyet Analizi	51
7. SONUÇLAR	59
8. ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR DİZİNİ	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Küresel yıllık ortalama sıcaklık sapmaları	4
3.1. Rüzgar türbinin çalışma prensibi.	10
3.2. 1996-2009 Dünya kurulu rüzgar kapasiteleri.....	12
3.3. 1996-2009 Dünya kurulu rüzgar gücü artışları.	13
3.4. Türkiye rüzgar elektrik santralleri.....	16
4.1. Düşey eksenli rüzgar türbini.	22
4.2. Yatay eksenli rüzgar türbini.	23
4.3. Şebeke bağlantılı rüzgar türbinlerinin enerji üretim basamakları.	24
4.4. Şebekeden bağımsız rüzgar türbinlerinin enerji üretim basamakları.	25
4.5. Rüzgar Türbinin Elemanları.....	25
5.1. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı.....	30
5.2. Rüzgar hızının türbine girişi ve çıkışı.	36
6.1. Herhangi bir rüzgar türbini için güç eğri grafiği.	39
6.2. Enercon-40 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (500 kW).	41
6.3. Nordex-43 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (600 kW).	41
6.4. Enercon-48 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (800 kW).	42
6.5. Enercon-53 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (800 kW).	42
6.6. Vestas-52 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (850 kW).	43
6.7. Enercon-44 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (900 kW).	43
6.8. Nordex-S77 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (1500 kW).	44
6.9. Vestas-82 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (1650 kW).	44
6.10. Vestas-100 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (1800 kW).	45
6.11. Enercon-82 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2000 kW).	45
6.12. Nordex-90 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2300 kW).	46
6.13. Enercon-70 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2300 kW).	46
6.14. Nordex-80 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2500 kW).	47
6.15. Nordex-100 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2500 kW).	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye ve kişi başına net tüketimin yıllar itibariyle gelişimi.....	1
1.2. Türkiye kurulu gücünün birincil kaynaklara göre yıllar itibariyle gelişimi (MW).	2
1.3. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yıllar itibariyle gelişimi (GWh).....	3
2.1. 2008 yılı dünya yenilenebilir enerji üretim kapasiteleri (GW).	5
2.2. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklı, enerji üretim gelişimi.....	6
3.1. 2008-2009 Yılları Dünya kurulu rüzgar gücü kapasitesi (MW)	11
3.2. Avrupa Ülkelerinde Rüzgar Kurulu Gücü.	14
3.3. İşletmede olan rüzgar elektrik santralleri.	15
5.1. Aylara göre günlük ortalama rüzgar hızları (m/s).	32
5.2. Çalışmada kullanılacak rüzgar türbinleri.	33
5.3. Rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri.	34
6.1. Rüzgar türbinlerinden (14 tip) bir yıllık enerji üretim miktarları (kWh)	40
6.2. Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanının 2009 yılı elektrik enerjisi tüketim miktarları.....	48
6.3. Kullanılacak türbin sayıları (1.durum).....	49
6.4. Kullanılacak türbin sayıları (2.durum).....	49
6.5. Merkez Kampüs Alanında, 2009 Yılı İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerji Miktarının Karşılama Oranları.....	51
6.6. Bir rüzgar türbinin yatırım harcamalarındaki oranları.	52
6.7. Türbinlerin maliyet analizleri.....	54
6.8. Rüzgar türbinlerinin kâr değerleri.	57
6.9. Rüzgar türbinlerin geri ödeme süreleri.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
A	Türbin tarafından süpürülen alan (m^2)
C_p	Kapasite faktörü (%)
$C_{p\ max}$	Maksimum kapasite faktörü (%)
E	Enerji (kWh)
P	Güç faktörü (kW)
P_r	Rüzgar gücü (kW)
P_T	Türbin gücü (kW)
PWF	Şimdiki değer faktörü
V	Hız faktörü (m/s)
V_1	Rüzgar hızı (m/s)
V_2	Rüzgarın türbine çarptığı andaki hızı (m/s)
V_3	Rüzgarın türbinden çıkış hızı (m/s)
ρ	Özgöl ağırlık (kg/m^3)
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
KDV	Katma değer vergisi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
Tep	Ton eşdeğer petrol

1. GİRİŞ

Yaşamın temel gereksinimlerinden biri enerjidir. Enerjinin hızlı tüketimi, enerji rezervlerinin hızla azalması, çevre kirliliği, küresel ısınma gibi sorunlar nedeniyle enerji kaynakları ile ilgili bütün dünyada ciddi bir hareketlenme başlamıştır. Bu sorunlar neticesinde enerji için süreklilik arz etmesi ve temiz enerji kaynağı olmasına dikkat edilerek, yeni enerji kaynakları aranmaktadır.

Günümüzde enerji ihtiyacının temininde, genellikle petrol, doğalgaz, kömür gibi rezervi tükenecek fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Endüstrinin hızla büyümesi, hızlı nüfus artışı nedenleriyle fosil kökenli enerji rezervleri her geçen gün tükenmekte ve çevre kirliliği artmaktadır. Bunun sonucunda; enerji ihtiyacının karşılanması ve çevresel etki yönünden, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli gündemde kalması sağlanmaktadır [1].

Dünyada yıllık tüketilen enerji miktarı, nüfus artışı, yaşam standartlarındaki artış, hızlı şehirleşme ve sanayileşmeye paralel olarak artmaktadır. Türkiye’de 31 Aralık 2009 tarihi itibarıyla; 2008 yılı sonunda 71.517.000 olan nüfusumuz % 1,5 artış oranıyla 72.560.000 olmuştur [2]. Hızla artan nüfus, kişi başına düşen net elektrik tüketim miktarını da artırmaktadır. Çizelge 1.1. de görüldüğü gibi 2009 yılındaki kişi başına düşen elektrik tüketim miktarı, bir önceki yıla göre % 3,4 oranında yükselmiştir [3].

Çizelge 1.1 Türkiye ve kişi başına net tüketimin yıllar itibarıyla gelişimi [3].

Yıllar	Türkiye			Türkiye’de Kişi Başına	
	Nüfus	Kurulu Güç	Net Tüketim	Kurulu Güç	Net Tüketim
	(×1000)	(MW)	(GWh)	(W)	(kWh)
1975	40.348	4187	13.492	104	334
1980	44.737	5119	20.398	114	456
1990	56.473	16.318	46.820	289	829
2000	67.845	27.264	98.296	402	1449
2007	70.586	40.836	155.135	579	2198
2008	71.517	41.817	161.948	585	2264
2009 (*)	72.560	44.600	202.515	615	2340
(*) : 2009 yılı yaklaşık değerleri					

Çizelge 1.2, 1985’den bu yana Türkiye’nin kurulu gücünde birincil enerji kaynaklarındaki artış ve bu gücün enerji kaynakları arasındaki dağılımını göstermektedir. Türkiye’nin kurulu gücü 2008 yılı sonu itibarıyla 41.817,2 MW olmaktadır [3]. Birincil enerji kaynakları arasından doğalgaz enerji kaynağının, 1985 yılında kullanılmaya başlamasıyla

beraber kurulu gücümüzdeki hızla artış oranı dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra; yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimdeki hareketlenme de gözden kaçmamaktadır.

Çizelge 1.2 Türkiye kurulu gücünün birincil kaynaklara göre yıllar itibariyle gelişimi (MW) [3].

Yıllar	Taşkömürü (*)	İthal Kömür	Linyit	Fuel-Oil	Motorin	LPG	Doğalgaz	Termik	Hidrolik	Jeotermal (**)	Rüzgar	Genel Toplam
1985	219,5		2864,3	1100,5	627,3		100,0	5229,3	3874,8	17,5		9121,6
1990	331,6		4874,1	1202,2	545,6		2210,0	9535,8	6764,3	17,5		16.317,6
1995	326,4		6047,9	1148,9	204,2		2883,9	11.074,0	9862,8	17,5		20.954,3
1996	341,4		6047,9	1168,4	219,2		3051,2	11.297,1	9934,8	17,5		21.249,4
1997	335,0		6047,9	1171,9	219,2	13,8	3490,4	11.771,8	10.102,6	17,5		21.891,9
1998	335,0		6213,9	1225,4	219,2	34,2	4047,1	13.021,3	10.306,5	17,5	8,7	23.354,0
1999	335,0		6351,9	1207,3	229,5	33,7	4958,8	15.555,9	10.537,2	17,5	8,7	26.119,3
2000	335,0	145,0	6058,9	1260,8	229,5	23,7	4904,5	16.052,5	11.175,2	17,5	18,9	27.264,1
2001	335,0	145,0	6510,7	1608,4	235,5	24,0	4850,7	16.623,1	11.672,9	17,5	18,9	28.332,4
2002	335,0	145,0	6502,9	2009,0	235,5	24,0	7247,1	19.568,5	12.240,9	17,5	18,9	31.845,8
2003	335,0	1465,0	6438,9	2331,1	235,5	29,9	8861,8	22.974,4	12.578,7	15,0	18,9	35.587,0
2004	335,0	1510,0	6450,9	2307,6	214,4	10,4	10.131,2	24.144,7	12.645,4	15,0	18,9	36.824,0
2005	335,0	1651,0	7130,8	2253,3	215,9	0	10.976,2	25.902,3	12.906,1	15,0	20,1	38.843,5
2006	1986,0	-	8210,8	2123,2	251,9	0	11.462,2	27.420,2	13.062,7	81,9	-	40.564,8
2007	1986,0	-	8211,4	1772,4	206,4	0	11.647,4	27.271,6	13.394,9	169,2	-	40.835,7
2008	1986,0	-	8205,0	1770,8	26,4	0	10.656,8	27.595,0	13.828,7	29,8	363,7	41.817,2
(*) İthal kömür santralleri												
(**) 2006 ve 2007 yıllarındaki rüzgar santralleri dahil												

Çizelge 1.3’de Türkiye kurulu gücünü oluşturan, birincil enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki gelişimi görülmektedir. Çizelge 1.3’e göre, 2008 yılında toplam elektrik üretimi 198.418 GWh olmaktadır [3]. En hızlı artış oranı doğalgaz kullanımıyla elde edilen elektrik üretiminde görülmektedir. 2000 yılından itibaren de yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık verilmektedir. Enerji, ekonomi ve çevre üçlüsünün işleyişi arasında uyumu sağlayan kaynakların, yenilenebilir enerji kaynakları olduğu bilinmektedir.

Çizelge 1.3 Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yıllar itibariyle gelişimi (GWh) [3].

Yıllar	Taşköm. + İthal Kömür	Linyit	F. Oil	Motorin	LPG	Doğalgaz	Termik	Hidrolik	Jeoter.+ Rüzgar	Genel Toplam
1980	911,7	5048,6	5222,8	608,4			11.927,2	11.348,2		23.275,4
1984	705,6	9412,7	6710,6	336,2			17.165,1	13.426,3	22,1	30.613,5
1985	710,3	14.317,5	7028,6	53,4		58,2	22.168,0	12.044,9	6,0	34.218,9
1990	620,8	19.560,5	3920,9	20,8		10.192,3	34.315,3	23.147,6	80,1	57.543,0
1995	2232,1	25.814,8	5498,2	273,8		16.579,3	50.620,5	35.540,9	86,0	86.247,4
1996	2574,1	27.839,5	6174,4	365,2		17.174,2	54.302,8	40.475,2	83,7	94.861,7
1997	3272,8	30.587,2	6520,7	531,4	105,2	22.085,6	63.396,9	39.816,1	82,8	103.295,8
1998	2980,9	32.706,6	7275,6	308,6	222,2	24.837,5	68.702,9	42.229,0	90,5	111.022,4
1999	3122,8	33.908,1	6472,4	747,7	277,2	36.345,9	81.661,0	34.677,5	101,4	116.439,9
2000	3819,0	34.367,3	7459,1	980,6	324,0	46.216,9	93.934,2	30.878,5	108,9	124.921,6
2001	4046,0	34.371,5	8816,6	904,0	162,1	49.549,2	98.562,8	24.009,9	152,0	122.724,7
2002	4093,0	28.056,0	9505,0	270,9	34,8	52.496,5	95.563,1	33.683,8	152,6	129.399,5
2003	8663,0	23.589,9	8152,7	4,4	2,9	63.536,0	10.5101,0	35.329,5	150,0	140.580,5
2004	11.998,1	22.449,5	6689,9	7,3	33,4	62.241,8	10.4463,7	46.083,7	150,9	150.698,3
2005	13.246,2	29.946,3	5120,7	2,5	33,7	73.444,9	12.2242,3	39.560,5	153,4	161.956,2
2006	14.216,6	32.432,9	4232,4	57,7	0,1	80.691,2	13.1835,1	44.244,2	220,5	176.299,8
2007	15.136,2	38.294,7	6469,6	13,3	0,0	95.024,8	15.5196,2	35.850,8	511,1	191.558,1
2008	15.857,5	41.858,1	7208,6	266,3	0,0	98.685,3	16.4239,2	33.269,8	1008,9	198.418,0

2001 yılında genel üretimdeki artış oranının düşmesi ile talep artış oranında da %1,1 ile düşüşte olduğu bilinmektedir [3]. Türkiye'nin toplam ithalatında oluşan yüksek artış da Çizelge 1.4. de verilmiştir. Çizelge 1.4 'e göre, elektrik enerjisi üretiminde ihracat 1990 yılında başlamış ve artarak devam etmiştir [3].

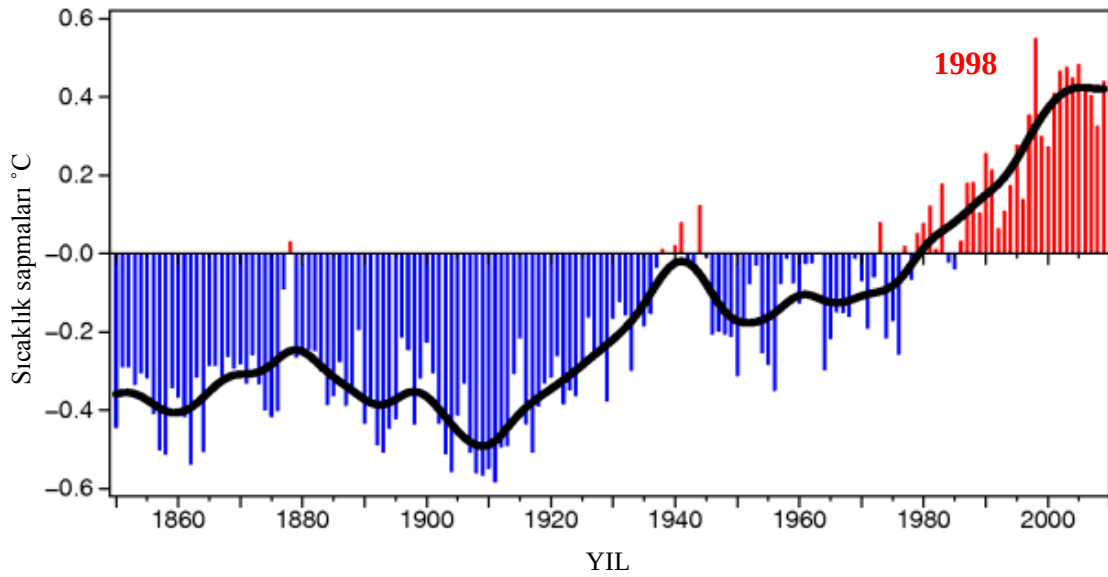
Çizelge 1.4. Türkiye elektrik enerjisi üretim, ithalat- ihracat ve talep artış oranları (GWh) [3].

Yıllar	Termik	Hidrolik	Jeoter.+ Rüzgar	Toplam	Artış %	Toplam İthalat	Toplam İhracat	Brüt Talep	Artış %
1990	63.396,9	39.816,1	82,8	103.295,8	8,9	2492,3	271,0	105.517,1	11,3
1995	68.702,9	42.229,0	90,5	111.022,4	7,5	3298,5	298,2	114.022,7	8,1
2000	93.934,2	30.878,5	108,9	124.921,6	7,3	3791,3	437,3	128.275,6	8,3
2001	98.562,8	24.009,9	152,0	122.724,7	-1,8	4579,4	432,8	126.871,3	-1,1
2002	95.563,1	33.683,8	152,6	129.399,5	5,4	3588,2	435,1	132.552,6	4,5
2003	105.101,0	35.329,5	150,0	140.580,5	8,6	1158,0	587,6	141.150,9	6,5
2004	104.463,7	46.083,7	150,9	150.698,3	7,2	463,5	1144,3	150.017,5	6,3
2005	122.242,3	39.560,5	153,4	161.956,2	7,5	635,9	1798,1	160.794,0	7,2
2006	131.835,1	44.244,2	220,5	176.299,8	8,9	573,2	2235,7	174.637,3	8,6
2007	155.196,2	35.850,8	511,1	191.558,1	8,7	864,3	2422,2	190.000,2	8,8
2008	164.139,3	33.269,8	1008,9	198.418,0	3,6	789,4	1122,2	198.058,2	4,3

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Dünyanın en önemli sorunlarından biri enerjidir. İnsanlar, ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla büyük ölçülerde üretim yapmaya ve üretimleri içinde yeni makineler keşfetmeye başlamışlardır. Üretim seviyelerinin yüksek oluşu ve büyük güçte makinelerin kullanımıyla da enerjiye duyulan ihtiyaç artmıştır. Enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artması, fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin sınırlı oluşu ve bu kaynakların çevreye verdikleri zararlar nedeniyle çeşitli enerji kaynakları aranarak, yeni enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Bulunacak yeni enerji kaynaklarının süreklilik arz etmesi ve çevreci olması önemli hale gelmiştir. Yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları olarak tanımlanan bu kaynakları; hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle enerjisidir [4].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimini destekleyen ilk adım, 1972’de Stocholm’de yapılan, İnsan Çevre Konferansı sırasında biçimlenmiştir. İnsan Çevre Konferansında, çevrenin taşıma kapasitesine, ekonomik ve sosyal gelişmenin çevre ile bağlantısı konularına yer verildiği bilinmektedir. 1990’lı yıllarda ise temiz çevre bilinci gelişmeye başlamıştır. Geçmişte çevre bilincinin olmamasından ve fosil kullanımı nedenleriyle, dünya genelinde sıcaklıklarda düzensizlikler olmaya başlamıştır [4]. Şekil 2.1’de 1850-2009 yılları arasında, küresel yıllık ortalama sıcaklık değişimleri görülmektedir [5].



Şekil 2.1 Küresel yıllık ortalama sıcaklık sapmaları [5].

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi 1998 yılında sıcaklık değişiminin en yüksek seviyede olduğu görülmektedir. 2009 yılına kadar, sıcaklık değişiminin $+0,44$ °C arttığı tespit edilmektedir. Küresel ısınmanın ulaştığı boyutlar, ülkelerin ortak gelecekleri için tehlike oluşturmaktadır. Küresel ısınmanın bu kadar artmasının tek nedeni fosil kökenli yakıtların kullanılıyor olmasıdır. Türkiye’de kullanımı halen devam eden fosil kökenli yakıtlar yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının birim maliyetlerinin fazla oluşu, yenilenebilir kaynakların artış oranlarını da yavaşlatmaktadır. Maliyetlerinin fazla olması rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz enerji oluşu ve süreklilik arz etmesi bu kaynakların tercih etmemizi sağlamaktadır [4].

Çizelge 2.1’de dünya yenilenebilir üretim kapasitesi görülmektedir. Çizelge 2.1’de, gelişmiş ülkelerin toplam yenilenebilir enerji kapasitelerine göre karşılaştırmaları da verilmektedir. 2008 yılı sonu itibarıyla, yenilenebilir enerjiden üretilen toplam elektrik üretim kapasitesi 4700 GW olmuştur [6].

Çizelge 2.1 2008 yılı dünya yenilenebilir enerji üretim kapasiteleri (GW) [6].

	Toplam dünya	Avrupa	Çin	Almanya	Birleşmiş devletler	İspanya	Hindistan	Japonya
Rüzgar enerjisi	121	65	12,2	23,9	25,2	16,8	9,6	19
Küçük hidroelektrik	85	12	60	1,7	3	1,8	2	3,5
Biokütle enerjisi	52	15	3,6	3	8	0,4	1,5	>0,1
Jeotermal enerji	10	0,8	0	0	3	0	0	0,5
Güneş enerjisi, şebeke bağlantılı	13	9,5	>0,1	5,4	0,7	3,3	0	2
Güneş termik güç	0,5	0,1	0	0,4	0	0,1	0	0
Deniz enerjileri	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0
Toplam yenilenebilir enerji kapasitesi (*)	280	96	76	34	40	22	13	8
Büyük hidroelektrik	860							
Toplam elektrik güç kapasitesi	4700							
(*) Büyük hidroelektrik gücü hariç Avrupa; İtalya, Fransa, İsveç, Yunanistan, Belçika, Türkiye, Danimarka, Portekiz ve diğer Avrupa ülkeleri								

Türkiye’nin yenilenebilir enerji üretim kapasiteleri ise Çizelge 2.2’de verilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan üretim genel üretimin %16’sını oluşturmaktadır[7]. Genel üretim oranına bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının payının çok az olduğu bilinmektedir.

Çizelge 2.2 Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklı, enerji üretim gelişimi [7].

	Birim	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Hidroelektrik + jeotermal	(GWh)	30.955	24.100	33.789	35.419	46.177	39.655	44.338	36.007	33.270
Jeotermal ısı	(bin TEP)	648	687	730	784	811	926	898	914	1011
Rüzgar	(GWh)	33	62	48	61	58	59	127	355	847
Güneş	(bin TEP)	262	287	318	350	375	385	403	420	420
Odun	(bin ton)	16.398	16.263	15.614	14.991	14.393	13.819	13.411	12.932	12.264
Hayvan ve Bitki Artıkları	(bin ton)	5981	5790	5609	5439	5278	5127	4984	4850	4883
Biyoyakıt	(bin ton)	-	-	-	-	-	-	2	12	2

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli dünya gelinde iyi sıralarda yer almaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli ile dünya gelinde üçüncü sırada yer almaktadır. Güçlü potansiyellere sahip Türkiye'nin, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimi oranlarının hızla yükselmesi beklenmektedir.

2.1 Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik santraller suyun potansiyel enerjisini, önce mekanik, sonra elektrik enerjisine çevirmektedir. Hidroelektrik santraller, yaygın olarak suyun düşüş yüksekliklerine göre değerlendirilmektedir. Hidroelektrik santraller suyun düşüş yüksekliğine göre 25 m'den küçük ise alçak basınçlı, 25-100 m'den büyük olan santraller ise yüksek basınçlı olarak sınıflandırılmaktadır.

Türkiye'de hidroelektrik potansiyelin, 170 milyar kWh elektrik üretimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 16.11.2009 tarihli açıklamasından, hidroelektrik potansiyelimizin 51.8 milyar kWh'lik bölümü işletmede olup, 21 milyar kWh' lik yatırım aşamasında olduğu bilinmektedir [7].

Türkiye potansiyelinin %57,18' lik kısmı değerlendirilmeyi beklemektedir. Türkiye 2008 yılı toplam elektrik enerjisi, 198,4 MWh' lik üretim değerinin, 33,3 MWh'lik bölümünü hidroelektrik santrallerden sağlamaktadır. Toplam elektrik enerjisi üretiminin de %16,8'lik kısmının oluşturmaktadır [8-10].

2.2 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer ısısı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaların içerdiği termal enerji olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal kaynakların sınıflandırılmasında en çok kullanılan yöntem,

jeotermal sıvının içerdği entalpidir. Entalpi, sıvının ısı içeriğini göstermektedir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların ($> 150^{\circ}\text{C}$) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük ve orta sıcaklıklı ($< 150^{\circ}\text{C}$) jeotermal kaynaklar, elektrik üretimden farklı kullanım alanlarına sahiptir [8, 9].

Türkiye’de jeotermal enerji, 31.500 MW termik, 2000 MW elektrik üretim potansiyeline sahiptir. Türkiye’nin kullanılabilir potansiyeli ise, 93 MW elektrik üretimi, 4000 MW termal üretimi mevcut olmaktadır. Türkiye 31.500 MW’lık termal potansiyele sahip olmasıyla, Dünya’da beşinci sırada, Avrupa’da ise birinci sırada yer almaktadır [8, 9].

2.3 Güneş Enerjisi

Güneş, yüksek sıcaklık ve yoğunluktaki gazlardan oluşan orta büyüklükteki bir yıldızdır. Güneşin ışıınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970’lerden sonra hız kazanmaya başlamıştır.

Türkiye’nin ortalama yıllık güneşlenme süresi, 2640 saat (günlük 7,2 saat), ortalama ışıınım şiddeti ise $1311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olarak tespit edilmiştir. Türkiye’nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu bölgesidir [8, 9].

Güneş enerjisi kullanımı, 2007 yılında 420 bin tep iken 2008 yılında 418 bin tep olmuştur. Türkiye’de yerli kaynak üretimi içerisinde güneş enerjisinin payı %1,5’un altındadır[8, 11].

2.4 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi güneş radyasyonunun yer yüzeylerine farklı yani havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basıncın da hava hareketine neden olmasından kaynaklanmaktadır. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgar da olacaktır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2 kadarı rüzgar enerjisine çevrilmektedir.

Türkiye’nin rüzgar enerjisi, 48.000 MW’lık potansiyele sahiptir. Türkiye, Avrupa da rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından en zengin ülkelerden birisidir. Türkiye, rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin %0,4’ü kadar faydalanmaktadır [8, 9].

2.5 Biyokütle Enerjisi

Biyoenerji kaynağı, tarım ve orman ürünleri, bitkisel atıklar, deniz bitkileri, endüstriyel ve evsel atıkları içermektedir. Bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu süre devam edeceği için,

biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır. Ekonomik ihtiyaçlara cevap verebilen, çevreyi tahrip etmeyen yenilenebilir ve yerli bir enerji kaynağıdır.

Türkiye enerji üretiminde, odun ile 12.264 bin ton, hayvan ve bitki artıkları ile 4883 bin ton ve biyoyakıt ile 2 bin ton üretim yaparak, biyokütle enerjisinden faydalanmaktadır [8, 9].

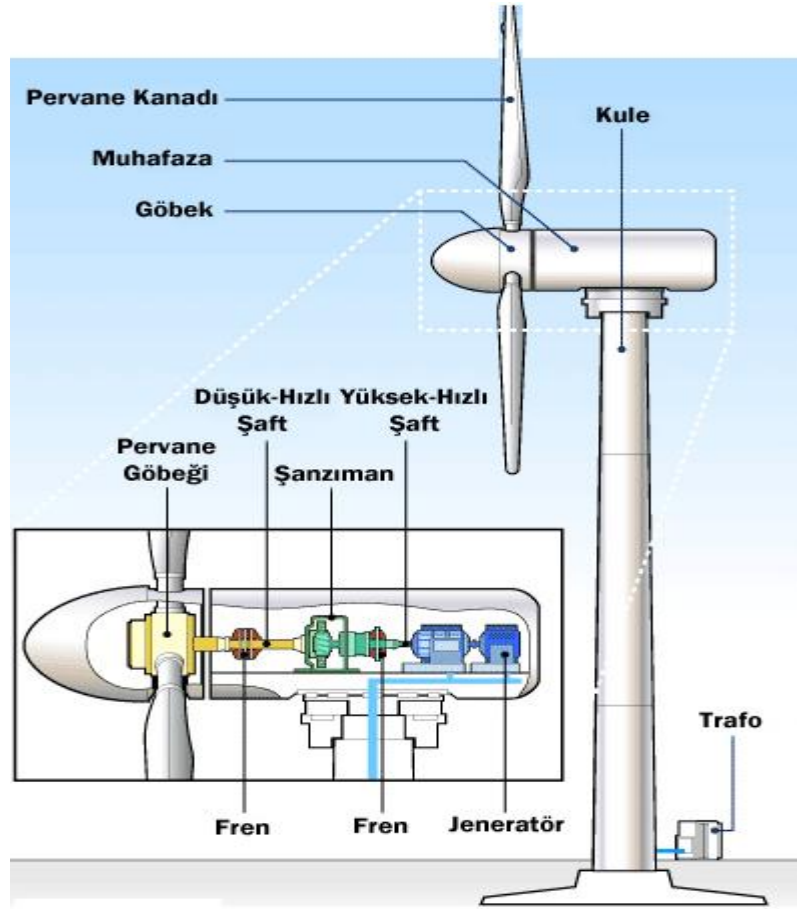
3. RÜZGAR ENERJİSİ

Sıvılardan farklı olarak hava daha çabuk hareket etmekte ve bulunduğu ortamın her yerini kaplamaktadır. Havanın hızlı yer değiştirmesi ile içindeki parçacıkların hareketi de hızlı olmaktadır. Havanın bu özelliğini kinetik enerjiye dönüştürme işlemine rüzgar enerjisi adı verilmektedir. Rüzgar enerjisinden elektrik üreten merkezlere de rüzgar santrali denilmektedir.

Rüzgar Santralleri kurulduktan sonra pervaneler rüzgarın (havanın) hareketiyle bağlı oldukları şaftı döndürmektedir. Uygun bir jeneratör ile de bu hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Gece oluşan soğuk hava tabakasının yere yakın bölümleri, güneşin ışınlarıyla hemen ısınmaya başlamaktadır. Isınan hava genişmekte ve yükselmektedir. Bu anda soğuk hava tabakası yere doğru iner. Böylece, sıcak ve soğuk havanın yer değiştirmesiyle de rüzgar oluşmaktadır.

Türbinler, rüzgarı dönen kanatları ile yakalamaktadır. Rotor üzerine iki ya da üç kanat monte edilmektedir. Rüzgar estiği zaman aşağıdaki kanatın alt ucuna düşük basınçlı bir hava paketi oluşturmaktadır. Sonra düşük basınçlı hava üst kanadı kendine doğru çeker, böylece rotorun dönmesi gerçekleşmektedir. Buna kaldırma kuvveti denilmektedir. Kaldırma kuvveti, türbin kanatlarına önden çarpan rüzgar kuvvetinden daha fazla olmaktadır. Bu da sürüklenme kuvvetini oluşturmaktadır. Kaldırma ve sürüklenme birlikte, rotorun bir pervane gibi dönmesine sebep olmakta ve dönen şaft elektrik üretmek için jeneratörü döndürmektedir [12].



Şekil 3.1 Rüzgar türbinin çalışma prensibi [13].

3.1 Dünya’da Rüzgar Enerjisinin Gelişimi

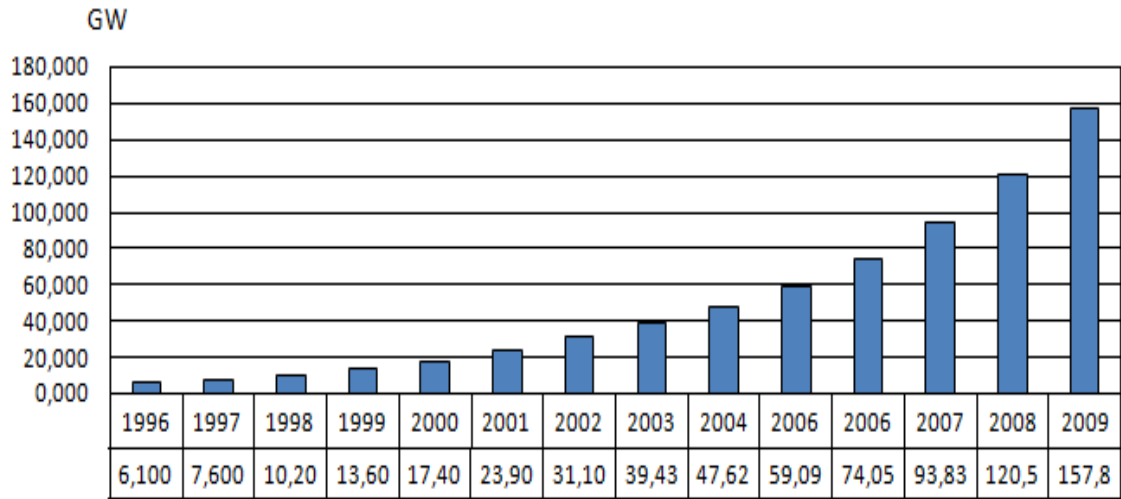
Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyada en hızlı gelişim gösteren enerji kaynakları olmuştur. Çizelge 3.1’de 2008-2009 yılları arasında dünya’nın kurulu rüzgar kapasiteleri görülmektedir. Çizelge 3.1’e göre Avrupa ülkelerinin rüzgar kapasitesindeki payı ne kadar büyük olsa da, Çin, Amerika ve Hindistan’ın tek başına kurulu güçlerindeki artış gözden kaçmamaktadır [14].

Çizelge 3.1 2008-2009 Yılları Dünya kurulu rüzgar gücü kapasitesi (MW) [14].

	2008 sonu	2009 yeni	2009 sonu
AFRİKA ve ORTA DOĞU			
Mısır	365	65	430
Fas	134	119	253
İran	85	7	91
Tunus	20	34	54
Güney Afrika	8	0	8
İsrail	8	0	8
Kenya	0	5	5
Diğerleri	4	0	4
TOPLAM	635	230	865
ASYA			
Çin	12.104	13.000	25.104
Hindistan	9655	1271	10.926
Japonya	1880	176	2056
Tayvan	358	78	436
Güney Kore	236	112	348
Filipinler	33	0	33
Diğerleri	6	0	6
TOPLAM	24.272	14.639	38.909
AVRUPA			
Almanya	23.903	1917	25.777
İspanya	16.689	2459	19.149
İtalya	3736	1114	4850
Fransa	3404	1088	4492
İngiltere	2974	1077	4051
Portekiz	2862	673	3535
Danimarka	3163	334	3465
Hollanda	2225	4	2229
İsveç	1048	512	1560
İrlanda	1027	233	1260
Yunanistan	985	102	1087
Avusturya	995	0	995
Türkiye	458	343	801
Belçika	415	149	563
TOPLAM	65.741	10.526	76.152
LATİN AMERİKA ve KARAYİPLER			
Brezilya	341	264	606
Meksika	85	117	202
Karayip	35	0	35
Jamaika	22	0	22
Kolombiya	20	0	20
Diğerleri	129	240	368
TOPLAM	653	622	1274
KUZEY AMERİKA			
Amerika	25.237	9992	35.159
Kanada	2369	950	3319
TOPLAM	27.606	10.872	38.478
PASİFİK BÖLGESİ			
Avustralya	1306	406	1712
Yeni Zelanda	325	171	497
Pasifik Adaları	12	0	12
TOPLAM	1643	577	2221
DÜNYA TOPLAM	120.55	37.466	157.899

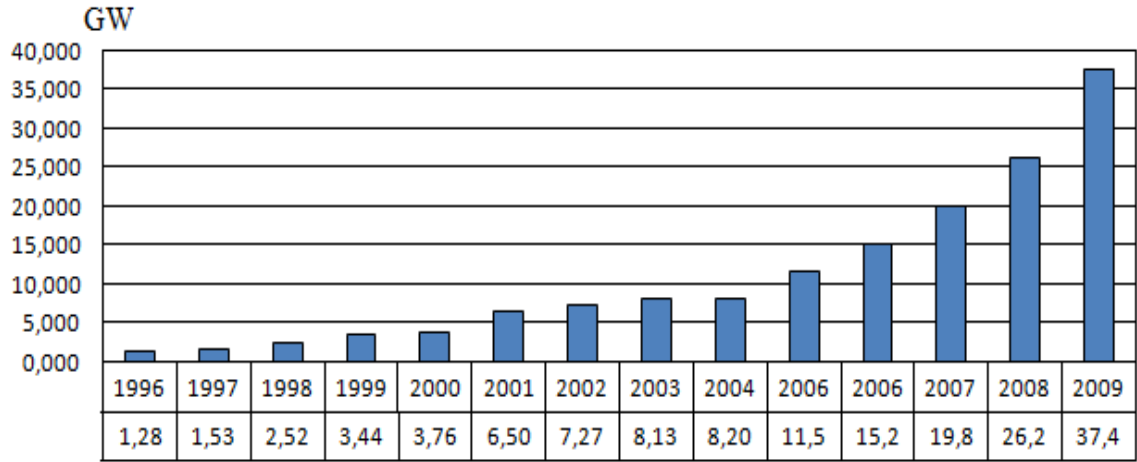
Şekil 3.2 'de 1996-2009 yılları arasındaki Dünya rüzgar kapasiteleri gösterilmektedir. Dünya'nın toplam rüzgar güç kapasitesi, 2009 yılında 157.899 MW olmuştur. 2009 yılında eklenen en yüksek rüzgar kurulu gücü, 13.000 MW ile Çin olmuştur. Ve onu takip eden ikinci ülke, 9992 MW ile Amerika olmuştur [14].

2009 yıl sonu itibari ile dünyada toplam 157.899 MW Kurulu güç bulunmakta ve Avrupa 76.152 MW ile rüzgar enerjisinde birinci sırada olduğu görülmektedir. Avrupa, toplam rüzgar kurulu gücünün % 48'ine sahiptir. Avrupa, 2009 yılında rüzgar kurulu gücünde %16 büyümüştür [14].



Şekil 3.2 1996-2009 Dünya kurulu rüzgar kapasiteleri [15].

Şekil 3.2 de Dünya Kurulu rüzgar kapasiteleri ve Şekil 3.3 de rüzgar kapasitelerindeki artış oranları verilmektedir. 2006 yılından sonra yıllık 15 GW üzerine çıkan rüzgar enerji santralleri kapasitesi, 2009 yılında 37,5 GW ile önceki yıllara oranla en fazla artışı göstermiştir[14].



Şekil 3.3 1996-2009 Dünya kurulu rüzgar gücü artışları [15].

Dünya yenilenebilir enerji kaynaklarına her geçen gün daha fazla önem vermekte ve yatırımları bu doğrultularda yapmaktadır.

3.2 Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Gelişimi

Avrupa Birliği ülkeleri, rüzgar enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarının arttırılmasına yönelik hedeflere odaklanmaktadır. 2009 yılı içerisinde de Avrupa’da, rüzgar enerjisi kullanımı artarak devam etmektedir. Çizelge 3.2 ile Avrupa Birliği ülkelerindeki 2008 yılı ve 2009 yıl sonu itibariyle olan rüzgar kurulu güçleri görülmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde, 2008 yılı sonu 65.741 MW kurulu gücün üzerine, 2009 yılında 10.526 MW kurulu güç eklenerek, toplam kurulu güç 76.152 MW olmuştur.

Çizelge 3.2’de Avrupa Ülkelerinin kurulu rüzgar güçleri görülmektedir. 2009 yılı sonu itibariyle bir önceki yıla oranla %16 oranında artış olduğu görülmektedir [12].

Çizelge 3.2 Avrupa Ülkelerinde Rüzgar Kurulu Gücü [15].

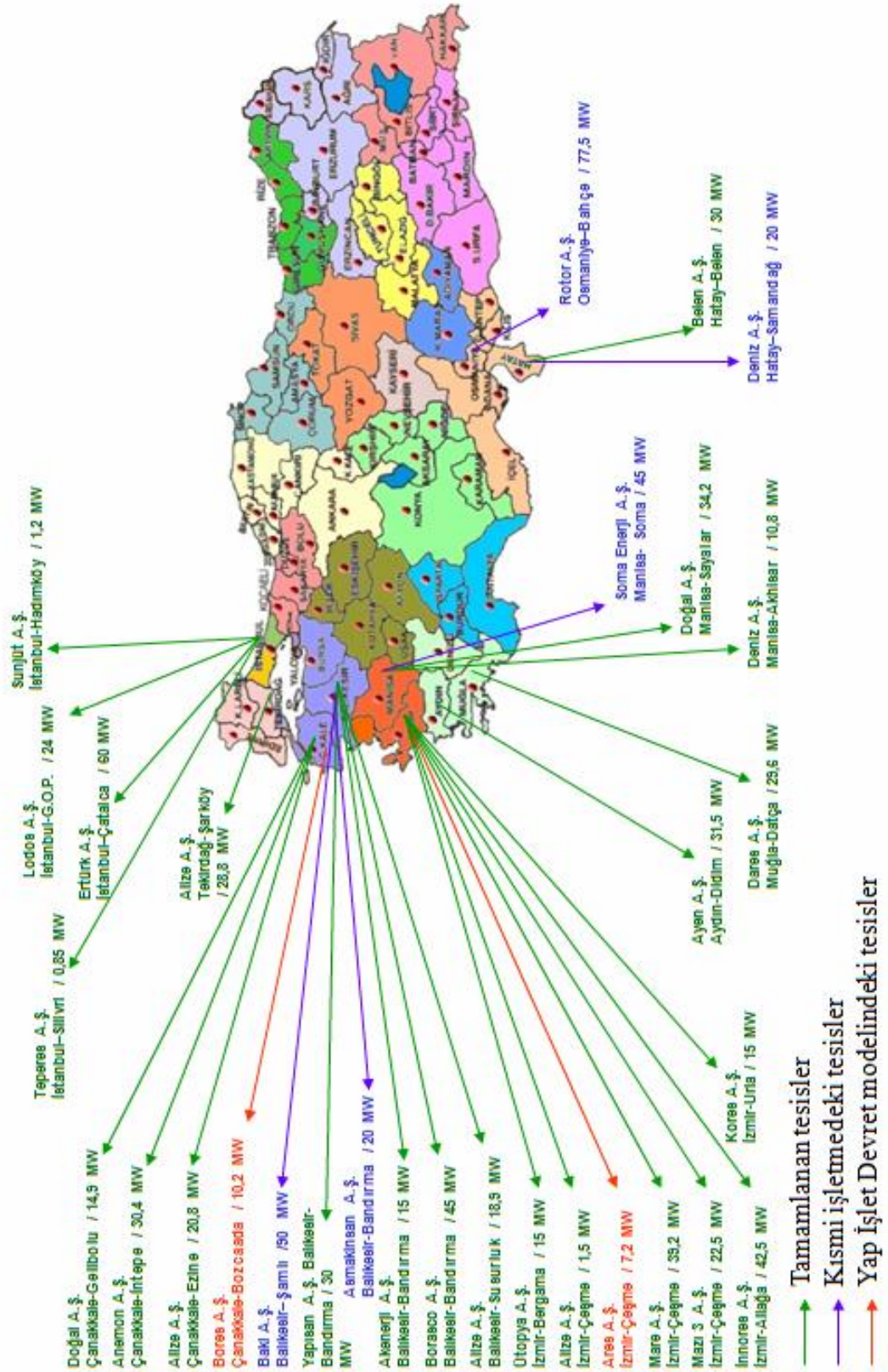
ÜLKELER	2008 Yılı Kurulu Güç (MW)	2009 Yılı Eklenen Güç (MW)	2009 Sonu Kurulu Güç (MW)
Almanya	23.903	1917	25.777
İspanya	16.689	2459	19.149
İtalya	3736	1114	4850
Fransa	3404	1088	4492
İngiltere	2974	1077	4051
Portekiz	2862	673	3535
Danimarka	3163	334	3465
Hollanda	2225	4	2229
İsveç	1048	512	1560
İrlanda	1027	233	1260
Yunanistan	985	102	1087
Avusturya	995	0	995
Macaristan	127	74	201
Bulgaristan	120	57	177
Romanya	11	3	14
Türkiye	458	343	803
Polonya	544	181	725
Belçika	415	149	563
Litvanya	54	37	91
Letonya	27	1	28
Çek Cumhuriyeti	150	44	192
Ukrayna	90	4	94
Rusya	9	0	9
Avrupa Toplam	65.741	10.526	76.152

Çizelge 3.3 ile Türkiye’de, işletmede olan rüzgar elektrik santralleri görülmektedir. 2009 yılı sonu itibariyle Türkiye’nin rüzgar kurulu 803 MW olmuştur [16].

Çizelge 3.3 İşletmede olan rüzgar elektrik santralleri [16].

MEVKİİ	ŞİRKET ADI	KURULU GÜÇ (MW)
İzmir-Çeşme	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	1,50
Çanakkale-İntepe	Anemon Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	30,40
Manisa-Akhisar	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	10,80
Çanakkale-Gelibolu	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	14,90
Manisa-Sayalar	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	34,20
İstanbul-Çatalca	Ertürk Elektrik Üretim A.Ş.	60,00
İzmir-Aliğa	İnnores Elektrik Üretim A.Ş.	42,50
İstanbul-Gaziosmanpaşa	Lodos Elektrik Üretim A.Ş.	24,00
İzmir-Çeşme	Mare Manastır Rüzgar Ener. Sant. ve Tic. A.Ş.	39,20
İstanbul-Hadımköy	Sunjüt Sun'ı Jüt San. ve Tic. A.Ş.	1,20
İstanbul-Silivri	Teperes Elektrik Üretim A.Ş.	0,85
Balıkesir-Bandırma	Yapısan Elektrik Üretim A.Ş.	30,00
Balıkesir-Şamlı	Baki Elektrik Üretim Ltd. Şti.	90,00
Muğla-Datça	Dares Rüzgar Ener. Sant. ve Tic. A.Ş.	29,60
Hatay-Samandağ	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	20,00
Aydın-Didim	Ayen Enerji A.Ş.	31,50
Çanakkale-Ezine	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	20,80
Balıkesir-Susurluk	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	18,90
Osmaniye-Bahçe	Rotor Elektrik Üretim A.Ş.	77,50
İzmir-Bergama	Ütopya Elektrik San. ve Tic. A.Ş.	15,00
İzmir-Çeşme	Mazı-3 Rüzgar Ener. Sant. Elektrik Üretim A.Ş.	22,50
Balıkesir-Bandırma	Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.	15,00
Balıkesir-Bandırma	Borascio Enerji ve Kimya San. ve Tic. A.Ş.	45,00
Manisa-Soma	Soma Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	52,00
Hatay-Belen	Belen Elektrik Üretim A.Ş.	15,00
Tekirdağ-Şarköy	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	28,80
İzmir-Urla	Kores Rüzgar Enerji Sant. Üretim A.Ş.	15,00
İzmir-Çeşme	Ares Alaçatı Rüzgar Enerji Sant. San. ve Tic. A.Ş.	7,20
Çanakkale-Bozcaada	Bores Bozcaada Rüzgar Enj. Sant. San. ve Tic. A.Ş.	10,20
TOPLAM		803,55

Türkiye'nin rüzgar enerji santrallerinin kurulum yerlerine göre olan yoğunlukları Şekil 3.5' de görülmektedir. Rüzgar enerji santralleri daha çok Türkiye'nin batı bölgesinde ve kıyı kesimlerde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 3.4 Türkiye rüzgar elektrik santralleri [17].

3.3 Literatür Çalışmaları

Rahman (1996), Bangladeş'te, Patenga, Cox's Bazaar, Kukata, Moheshkhali ve Noakhali bölgelerinde ölçüm yapmıştır. Anemometreler yerden 20 m yüksekliğe konumlandırılmışlardır. Toplam verinin %30- 40'ı ortalama rüzgar hız değerinin üzerinde tespit edilmiştir [18].

Dündar and İnan (1996), Türkiye'nin batı sahilinde bulunan Bozcaada için 1975-1984 yılları arasında kaydedilen rüzgar verileri ve diğer parametreler ile, bölgede rüzgar enerjisi kullanımı üzerine hesaplamalar yapmışlardır. Hesaplamalarda, hazırlanan yazılımların yanında WA^SP (Wind Atlas Analysis and Application Program) kullanılmıştır. Sonuçlar yerden olan yüksekliklere göre sınıflandırılmış ve büyük ölçekteki rüzgar türbinlerine göre enerji üretim değerleri hesaplanmıştır [19].

Dündar (1997), Türkiye'deki ortalama rüzgar hız ve enerji potansiyellerinin dağılışını genel olarak incelemiş, inceleme sonunda rüzgar enerjisinden yararlanılabilecek alanlar; Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme merkezleri için yazılımından yararlanarak rüzgar atlası istatistiklerini incelemiştir [20].

Şen (1999), topoğrafik karmaşıklık ve etraftaki engellerin, rüzgar ölçümleri ve yönlerine büyük etkisi olduğunu göstermiştir. Rüzgar enerjisi hesaplamalarında, bunun gibi etkilerin, gözlenen temel veri üzerinde ölçeklendirilmesi gerektiğini ve bölgesel rüzgar enerji potansiyeli değerlendirmesinde gözönüne alınması gerekliliğini vurgulamıştır [21].

Öztopal et al. (2000), fosil yakıtların atmosfere ve çevremize verdiği zararları inceleyerek, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinin Türkiye için önemini vurgulamışlardır. Yapılan çalışmada, yerel ve bölgesel yorumlarla, Türkiye için rüzgar hız, topoğrafya ve rüzgar enerji değişimi haritaları elde edilmiştir [22].

Durak (2000), Manisa-Akhisar bölgesi için elde ettiği rüzgar verilerine göre, WA^SP yazılımı vasıtasıyla, beş farklı rüzgar türbinine göre bölgeden üretilebilecek rüzgar enerjisini hesaplamıştır [23].

Durak ve Şen (2000), bölgesel rüzgar hız değişimlerinden dolayı farklı rüzgar türbini teknolojilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada WA^SP yazılımı kullanılmış ve türbin konuşlandırması için uygun bölgeler belirlenmiştir. Hesaplamalarda %10 hata toleransı verilmiş olup, bölgeden minimum 31.436 MWh/yıl rüzgar enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır [24].

Mungwena (2001), Zimbave bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmiştir. Değerlendirme sonucunda; Zimbave'nin çoğu bölgesinde, rüzgar hızının 2,6-4 m/s arasında değiştiğini tespit etmiş olup genel olarak ülkenin çoğu bölgesinde bütün yıl boyunca ortalama rüzgar hızının yaklaşık 3,2 m/s olduğunu belirlemiştir [25].

Köse vd. (2002), Kütahya yöresinde belirlenen bir konum üzerinde, rüzgar enerjisinden elektrik üretimini amaçlayan bir elektrik santrali için mevcut potansiyeli araştırmışlardır. Bu amaçla, ilk olarak Kütahya ilinde rüzgar ölçümü yapılacak uygun arazi seçilmiş ve montajı yapılan rüzgar ölçüm istasyonundan Temmuz-2001 tarihinden itibaren 16 ay süre ile veri alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda, ortalama rüzgar hızları; 10 metrede 4,1 m/s, 30 metrede 4,4 m/s olarak tespit edilmiştir [26].

Deniz ve Erdoğan (2002), Ayvalık, Bandırma, Çanakkale, Edremit, Gökçeada ve Kilyos için saatlik ortalama rüzgar verilerini kullanarak aylık, mevsimlik ve yıllık bazda hem ortalama rüzgar şiddetleri, hem de rüzgardan elde edilebilecek enerji miktarlarını hesaplamışlardır [27].

Tokgözlü ve Aslan (2002), Temmuz 2001-Eylül 2002 tarihleri arasında, Süleyman Demirel Üniversitesi Kampus alanında 10 m ve 30 m'de kurulan, rüzgar ölçüm istasyonu ile rüzgar şiddeti ve yönünün değişimlerini incelemişlerdir. Analizler veri kaydedici vasıtası ile 10'ar dakikalık ortalamalar şeklinde kaydedilmiştir. Ölçüm istasyonundan 10 m ve 30 m yüksekliğinde alınan yıllık ortalama rüzgar hızı değerleri, sırasıyla 4,6 m/s ve 5,0 m/s olarak tespit edilmiştir [28].

Bilgili vd. (2003), Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyısında bulunan İskenderun ilçesinin, rüzgar enerji potansiyelini incelemişler, meteoroloji istasyonu çevresindeki ölçümlere etki eden engellerin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, İskenderun Meteoroloji İstasyonunda 1997-2001 yılları arasında 17 m yükseklikte ölçülen saatlik rüzgar hız ve yön bilgileri kullanılmıştır. Ayrıca 1/100.000 ve 1/250.000 ölçekli topoğrafya haritaları ile meteoroloji istasyonu incelenerek bölgenin topoğrafya, pürüzlülük ve yakın çevre engel bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında bölgenin ortalama rüzgar hızı tespit edilmiştir [29].

Rehman (2003), Suudi Arabistan'ın batı sahilinde bulunan Yanbo'da uzun dönemli rüzgar verisi analizini; yıllık, mevsimsel ve günlük değişimler bazında gerçekleştirmiştir. Rüzgar enerjisi hesaplamaları; 150, 250, 600, 800, 1000, 1300, 1500, 2300, 2500 kW güçlerindeki türbinlerle yapılmıştır. Rüzgar hızı toplam verinin %69'unda 3,5 m/s'nin üzerinde tespit edilmiştir [30].

Özerdem ve Türkeli (2004), İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampus alanındaki rüzgar enerjisi potansiyelini hesaplamak için, 16 ay boyunca 10 m ve 30 m yükseklikteki anemometrelerden rüzgar hız verileri toplamışlardır. Ortalama rüzgar hızı 10 m’de 7,03 m/s ve 30 m’de 8,14 m/s olarak tespit edilmiştir. WA^SP ve WindPRO yazılımları kullanılarak, 600-1500 kW güçleri arasındaki rüzgar türbinlerinin bölgede konumlandırılmaları yapılmış ve yıllık enerji üretimleri incelenmiştir [31].

Bilgili et al. (2004), çalışmalarında, Türkiye’nin Doğu Akdeniz bölgesinin bazı kesimlerinde, rüzgar enerjisi potansiyelleri için uygun veri sağlamayı amaçlamışlardır. Bu bağlamda, Antakya ve İskenderun bölgelerindeki meteoroloji istasyonlarından 1997-2001 yılları arasında gözlenen saatlik rüzgar verileri kullanılmış, hakim rüzgar yönü, ortalama değerler, rüzgar hızları, rüzgar potansiyeli ve frekans dağılımı değerlendirilmiştir [32].

Hrayshat (2004), Ürdün-Tafila’da elektrik üretimi için rüzgar enerji potansiyelini araştırmıştır. Araştırmada, 1990-2000 yılları arasında elde edilen uzun dönemli rüzgar hız ve yön verileri incelenmiş, ortalama rüzgar hızı 4,4 m/s olarak bulunmuştur. Rüzgar yönü ise çok değişken olarak tespit edilmiştir [33].

Ramachandra ve Shruthi (2004), 1996’da Karnataka bölgesinde yapmış oldukları çalışmaya benzer şekilde, ikinci bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, bölgenin yenilenen rüzgar verileriyle beraber, topoğrafik özellikleri GIS sistemiyle oluşturularak, hem bölgede rüzgar türbini kurulacak optimum bölge seçimi sağlanmış, hemde bölgesel ölçekte rüzgar hız dağılımı incelenmiştir. İncelemeler sonucunda bölgenin yıllık genel ortalaması, yaklaşık 5 m/s olarak tespit edilmiştir [34].

Akpınar, E. ve Akpınar, S. (2004), Elazığ bölgesindeki, Maden, Ağın ve Keban’daki rüzgar karakteristiklerini incelemişlerdir. Veri seti, 1998-2003 yılları arasında 6 yıllık, saatlik zaman serisi formatında istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Enerji hesaplamaları ve kapasite faktörleri, 300-2300 kW kapasitelerindeki türbinler baz alınarak yapılmıştır [35].

Al-Abbadi (2004), Suudi Arabistan’da seçilen 5 bölgeden alınan rüzgar verilerini analiz etmiştir. Yapılan çalışmada, veri seti 1995-2002 yılları arasını kapsamaktadır. Çalışmada, yıllık enerji üretim değerleri, Nordex N43 rüzgar türbini baz alınarak hesaplanmıştır. Analizler; 10 dakikalık veri setiyle yapılan enerji hesaplamasının, 30 dakikalık veri setiyle yapılan hesaplamaya göre %2,5 daha yüksek olduğunu göstermiştir [36].

Şahin vd. (2004), Doğu Akdeniz bölgesindeki rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Potansiyel, 1992-2001 tarihleri arasında 7 istasyondan alınan saatlik rüzgar

verileri ile belirlenmiş olup çalışmada, ortalama rüzgar gücü yoğunluğu, yerden 25 m yükseklik için, 500 W/m^2 olarak hesaplanmıştır [37].

Shata ve Hanitsch (2005), 10 meteorolojik istasyondan aldıkları verilerin istatistiksel analizlerini yaparak, rüzgar karakteristiklerini çıkarmışlardır. Çalışmanın sonunda ise, bölgeye rüzgar türbini kurulması durumunda, bölgedeki rüzgar potansiyeline göre, rüzgar türbini maliyet analizi yapmışlardır [38].

4. RÜZGAR TEKNOLOJİLERİ

4.1 Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinlerinde, mekanik enerji kendisine bağlı elektrik üretici ile, elektrik enerjisine çevrilmektedir. Rüzgar rotoru çevirdiği için bir dönme hareketi elde edilmektedir. Rotorun oransal olarak düşük dönme sıklığı vites kutusu yardımı ile artırılmaktadır. Vites kutusundan artarak çıkan dönme hareketi, şaft yardımıyla üretece aktarılmakta ve üretici döndürmektedir. Türbin denetleme mekanizmaları, frenler ve trafolar tarafından üreticinin ürettiği elektriğin orta gerilimli olması sağlanmaktadır. Bu elektrik, rüzgar enerjisi kablo sistemi ve site kontrol sistemiyle site trafolarına dağıtılır. Site trafosu, voltajı şebeke düzeyine yükselterek şebeke sistemine verir. Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri 50W ile 2-3 MW arasında mekanik veya elektrik gücü sağlayabilmektedir.

Rüzgar türbinleri çeşitli özellikleri ile birbirlerinden ayrılırlar ve bu özellikleri ile adlandırılırlar. Bunlar;

- Yatay eksenli rüzgar türbinleri
- Dikey eksenli rüzgar türbinleri,
- Önden rüzgarlı veya arkadan rüzgarlı rüzgar türbinleri,
- Durdurma, kanat eğimi veya yön saptırma denetimli rüzgar türbinleri,
- Tek, iki veya üç kanatlı indüksiyon veya senkron üreteçli rüzgar türbinleri,
- Değişmez veya değişken hızlı rüzgar türbinleri,

olarak adlandırılmaktadırlar.

Kullanımdaki rüzgar türbinleri boyut ve tip olarak çok çeşitlilik gösterse de genelde türbinler, dönme eksenine göre sınıflandırılırlar. Rüzgar türbinleri dönme eksenine göre yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar. Rüzgar türbinleri bağlantı şekillerine göre de; şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız rüzgar türbinleri olarak da ayrılmaktadırlar [39, 40].

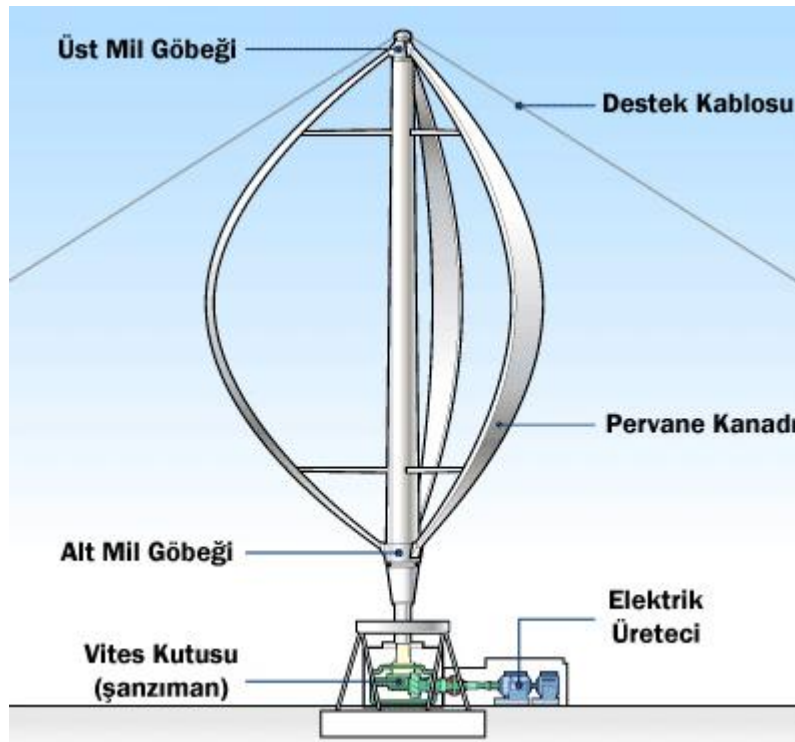
4.1.1 Düşey (dikey) eksenli rüzgar türbinleri

Türbin mili düşey ve rüzgarın geliş yönüne diktir. Savonius tipi, Darrieus tipi, Darrieus-Savonius kombinasyon tipi ve Musgrove tipi olmak üzere belli başlı türbin çeşitleri vardır. Daha çok deney amaçlı üretilmişlerdir. Ticari kullanımları çok azdır [41].

Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki tane kanat vardır. Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir

elips oluşturacak biçimde yerleştirilmişlerdir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Yapısı gereği Darrieus tipi rüzgar türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek tork elde edilir. Rüzgarın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur [41].

Dikey eksenli rüzgar türbinleri her istikametlidirler ve değişen rüzgar yönlerinde dönerler. Böylece rüzgarı her bir yönden kabul ederler. Dönüşün dikey eksen, sürücünün toprak seviyesine dahi yerleştirilmesine izin vermektedir. Bu tipteki rüzgar türbinlerinin güç kat sayısı 0,15'ten azdır. Bu nedenle güç üretiminde tercih edilmezler [41].



Şekil 4.1 Düşey eksenli rüzgar türbini [42].

4.1.2 Yatay eksenli rüzgar türbinleri

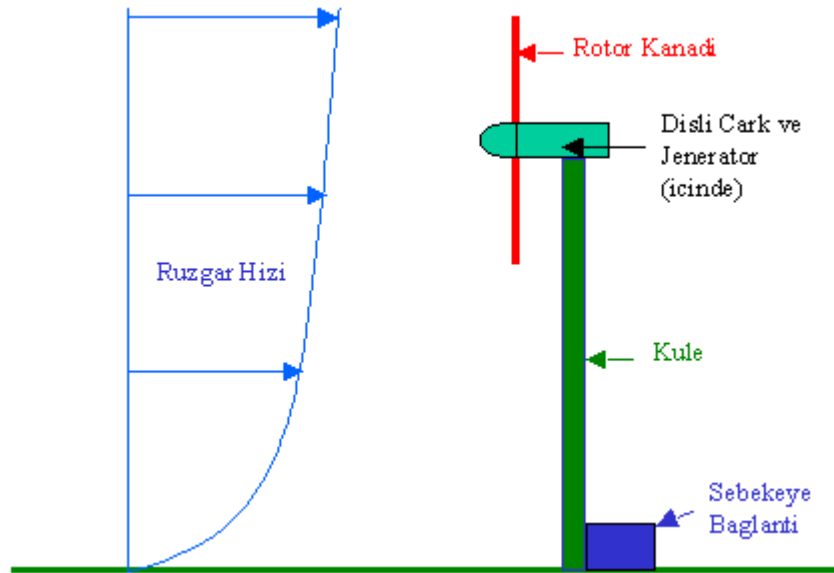
Adından anlaşılacağı gibi, bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgar yönüne paralel olmaktadır. Kanatları ise rüzgar yönüyle dik açı yaparlar. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir. Rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir [41].

Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanmaktadır. Rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinlerinin ise, yaygın bir kullanım yeri yoktur. Rüzgarı önden alan

türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgar gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgara bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır [41].

Rüzgarı arkadan alan türbinlerde ise; eğer rotor ve gövde uygun şekilde tasarlanmışsa, dümen sistemine gerek yoktur. Bu nedenle daha hafiftirler. Fakat büyük çaplı türbinlerde rüzgarın arkadan gelmesi tercih edilmemektedir. Bunun nedeni ise; serbestçe dönmeye bırakılan türbinin elektrik enerjisini taşıyan kabloları burmasıdır. 1000 amper gibi yüksek akımlarla çalışan bu sistemde, akımın mekanik sistemlerle de toplanması sağlıklı olmamaktadır. Fakat küçük çaplı türbinlerde kolaylıkla uygulanabilmektedir [41].

Yatay eksenli rüzgar türbinlerine örnek olarak; aşağıda Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Yatay eksenli rüzgar türbini [43].

Teknolojik ve ticari olarak en çok kullanılan türbinler yatay eksenli olanlardır. Elektrik üretiminde kullanılan yatay eksenli türbinler; yüksek hızlı, düşük ilk hareket momentli, az kanatlı olup,

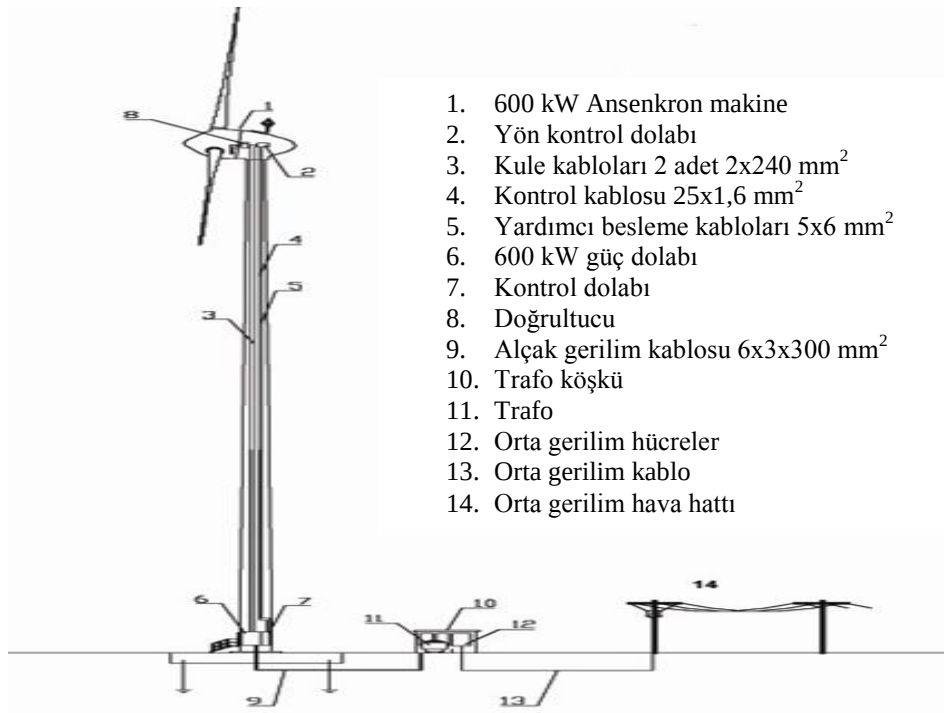
- Propeller türbinler,
- Difüzörlü türbinler,
- Tornado türbinler

olarak üçe ayrılır.

Yatay eksenli türbinlerin bir başka sınıflandırması ise, dönme hızlarına göre yapılır. Yavaş çalışan rüzgar türbinleri ve hızlı çalışan rüzgar türbinleri adı altında iki gruba ayrılmaktadır [41].

4.1.3 Şebeke bağlantılı rüzgar türbinleri

Şebekeye bağlı bağlantılı kurulumlar küçük güçteki üretimler ve büyük güçteki üretimlerde de kullanılmaktadır. Şebeke bağlantılı rüzgar türbinleri trafolarla yakın yerlerde olmaktadır. Şekil 4.3’de şebeke bağlantılı rüzgar türbinlerinin kurulum aşamaları gösterilmektedir. 600 kW’lık rüzgar türbininin enerji üretim basamakları verilmektedir.

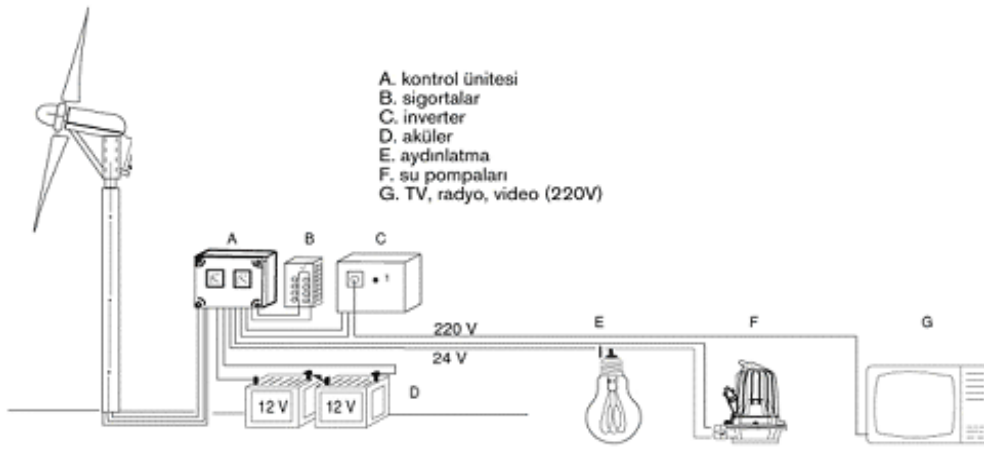


Şekil 4.3 Şebeke bağlantılı rüzgar türbinlerinin enerji üretim basamakları [44].

4.1.4 Şebekeden bağımsız rüzgar türbinleri

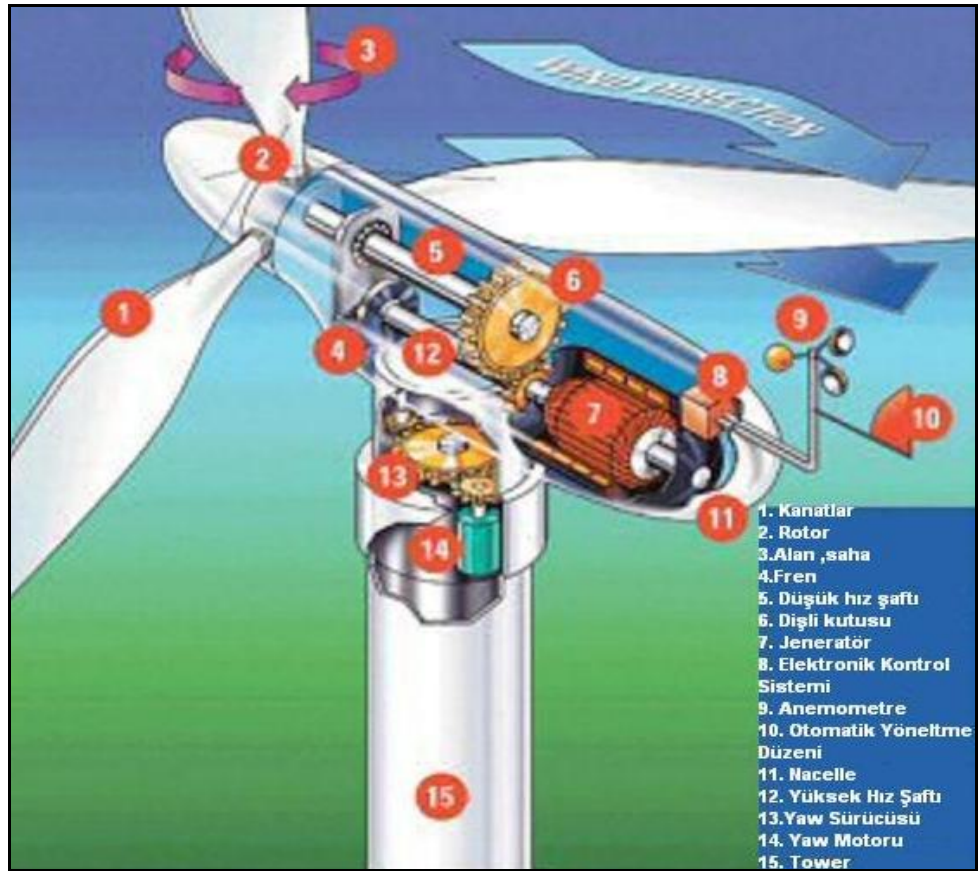
Şebekeden bağımsız rüzgar türbinleri küçük güçlü enerji üreten türbinler için tercih edilmektedir. En fazla 100 kW lık rüzgar türbinlerinin kullanımında, şebeken bağımsız bağlantı şekli görülmektedir [44].

Şekil 4.4’de şebekeden bağımsız rüzgar türbininden enerji üretim basamakları görülmektedir. Enerji üretimi sırasında türbinin elektrik üretimi kesildiği zaman akü sisteminden tüketim yapılmaktadır [44].



Şekil 4.4 Şebekeden bağımsız rüzgar türbinlerinin enerji üretim basamakları [44].

4.2 Rüzgar Türbin Elemanları



Şekil 4.5 Rüzgar Türbinin Elemanları [45].

Rüzgar türbin elemanları Şekil 4.5’de görülmektedir. Rüzgar türbinini oluşturan elemanlar şunlardır:

- | | |
|--|---|
| 1. Gövde veya kapak | 7. Elektrik generatörü |
| 2. Rotor kanatları | 8. YAW mekanizması (türbinin yatay ekseninde hareketini sağlar) |
| 3. Kanatların rotora bağlantısını sağlayan parça (Hub) | 9. Elektronik kontrol sistemi |
| 4. Düşük hız şaftı | 10. Hidrolik sistem |
| 5. Dişli kutusu | 11. Soğutma ünitesi |
| 6. Yüksek hız şaftı ve mekanik fren | 12. Kule |
| | 13. Anemometre ve rüzgar gülü (fırılacağı) [18, 19] |

4.2.1 Gövde veya kapak

Nacelle; türbinin kule üstündeki kafa kısmıdır. Rüzgar türbininin dişli kutusunu ve generatör dahil ana parçalarını içine alır. Servis personeli gövdeye türbin kulesinden girebilir. Gövde’nin solunda rüzgar türbin rotoru, rotor kanatları ve kanatların rotora bağlantısını sağlayan parça bulunur [39, 40].

4.2.2 Rotor kanatları

Rotor (pervane); rüzgarı yakalayıp, şaft vasıtası ile dişli kutusuna oradan da generatöre gönderen en dış kısım olarak bilinmektedir. Ayrıca rotor; rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çeviren sistemdir. Rotor kanadından etkiyen rüzgar, kanadın gövdesine ve rotorun merkezine doğru hareketlendikçe daha dik bir açıdan gelir. Eğer rotor kanadı çok dik bir rüzgar geliş açısı etkisinde kalırsa, rüzgarın kanadı kaldırma kuvveti azalır ve sıfırlanır. Bu nedenle rotor kanadı burulmak zorundadır ve kanadın arka ucu esen rüzgarla aynı yöne doğru itilir.

Modern kanatların çoğu güçlendirilmiş fiber glass malzemeden yapılır. Epoxsy ve güçlendirilmiş fiber polyester buna örnek verilebilir. Karbon fiber kullanımı da diğer bir seçenektir. Ancak bu malzemeler türbin kanadı için ekonomik bir seçenek değildir. Ağaç, ağaç-epoxsy karışımı veya bunlar gibi değişik karışımlar kullanılmaz. Aynı zamanda alüminyum ve çelik kanatlarda sağlamlıklarına karşın ağırlıkları ile dezavantajlıdır. Bu tip malzemelerde yaşanan diğer bir problemde metal yorgunluğu oluşumudur. Bu tip kanatlar sadece küçük rüzgar türbinlerinde kullanılır. 600 kW’lık modern bir rüzgar türbininde her bir rotor kanadı 20 m uzunluğundadır ve bir uçak kanadının oldukça benzeri olarak dizayn edilmektedir [39, 40].

4.2.3 Kanatların rotora bağlanmasını sağlayan parça (Hub)

Kanatların bağlantı noktasına “hub” denir. Rüzgar türbininin düşük hızlı şaftı ile bağlantılıdır [39, 40].

4.2.4 Düşük hız şaftı (Mili)

Rüzgar türbinini oluşturan ana milinden bir tanesidir ve pervaneden elde edilen rüzgarı dişli kutusuna ileten eleman olarak bilinmektedir. Rüzgar türbinini rotor hub yüksekliğinden dişli kutusuna bağlar. Şaft, aerodinamik frenleri işletebilecek hidrolik sistemleri borulara bağlar[39, 40].

4.2.5 Dişli kutusu

Rüzgar türbin pervanesinin dönmesi ile ortaya çıkan hareket veya gücü, düşük hız milinden alarak, hareketi veya gücü ayarladıktan sonra generatörün ana mili olan yüksek hız şaftına ilemesini sağlayan ara elemandır. Yani rüzgar türbini pervanesinden elde edilen yavaş dönme hızı ve yüksek tork, dişli kutusu ile jeneratör için gerekli olan yüksek hız, düşük tork gücüne dönüştürülür. Genellikle rotor dönüşü ile generatör arasında, tek bir dişli oranı vardır. Dişli kutusunun solunda düşük hızlı şaft vardır. Düşük hızlı şaft’tan yaklaşık olarak 50 kat daha hızlı dönen yüksek hız şaftı ise sağındadır [39, 40].

4.2.6 Yüksek hız şaftı (Mili)

Generatörün ana mili olarak bilinmekte ve dişli kutusu tarafından tahrik edilirler. Yaklaşık 1.500 devir/dak. ile döner ve elektrik jeneratörünü çalıştırır. Adından da anlaşıldığı gibi düşük hız milinden daha hızlı dönerler. Acil bir mekanik disk freni ile birlikte. Yani bünyesinde fren sistemini barındırmaktadır. Aerodinamik frenler kusurlu olduğu zaman veya türbin hizmette olduğu zaman mekanik fren devreye girer [39, 40].

4.2.7 Elektrik generatörü

Rüzgar türbin generatörleri mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Elektrik girdileri ile basit bağlantılı rüzgar türbin generatörlerinin diğer üretim birimleri arasında kıyaslama yapıldığında bir parça değişik oldukları gözlenmektedir. Generatörün, çok dalgalı mekanik bir güç üreten güç kaynağı (rüzgar türbin motoru) ile çalışmak zorunda olmasıdır. Ekseriya indüksiyon generatörü olarak bilinir. Modern bir rüzgar türbininin maksimum elektrik gücü halen 500-1500 kW (1.5 MW) kadardır [39, 40].

4.2.8 Yaw mekanizması

Yaw mekanizması; türbinlerde rüzgarın sürekli rotora doğru yönelmesini sağlayan sistemdir. Yaw mekanizması, rüzgar vanasını kullanarak rüzgar yönünü belirleyen elektronik kontrolcü tarafından işletilir. Bu sistem yaw konumunu saniyede birkaç kez kontrol eder. Konum verileri rüzgar gülünden elde edilen yön bilgileri ile karşılaştırılıp Yaw mekanizmasına gerekli komut verilir. Rüzgar yönü değiştiği zaman, normal olarak o anda yaw sadece bir kaç derece kadar olacaktır. Rüzgara karşı gövde ile rotoru döndürmek için elektrik motorlarını kullanır. Yaw mekanizması, genellikle yatay eksenli türbinlerde karşılaşılr [39, 40].

4.2.9 Elektronik kontrol sistemi

Elektronik kontrolcü, rüzgar türbininin şartlarını sürekli olarak takip eden ve yaw mekanizmasını kontrol eden bir bilgisayar bulundurmaktadır. Herhangi bir bozukluk (dışlı kutusu veya generatörün aşırı ısınması gibi) durumunda türbini otomatik olarak durdurur ve türbin operatörü bilgisayarına modem hattı ile çağrı mesajı gönderir [39, 40].

4.2.10 Hidrolik sistem

Türbinin aerodinamik frenlerini ayarlamak için kullanılır. Aerodinamik, genel anlamda havanın kuvvetsel etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Katı bir cisim etrafında akan hava veya hareketsiz duran hava içinde hareket eden katı cisim söz konusu olduğunda hava, aerodinamik kanunlarına uygun davranır. Havanın görelî hareketinden kaynaklanan kuvvetler taşıma ve sürüklenme kuvvetleridir. Rüzgar, rüzgar türbinlerinin çalışmasını sağlar. Rüzgar türbinlerinin emniyetle çalışabilecekleri rüzgar hızları vardır. Ortalama olarak rüzgar türbinleri 15 m/s'lik rüzgar hızlarında maksimum güç üretmektedirler. Maksimum gücü 25 m/s' üretmeye devam ederler. Ama 25 m/s'yi aştıkları zaman rüzgar türbinler için tehlike çanları çalmaya başlar ve kapatılması gerekmektedir. Kapatma için hidrolik sistem devreye girerek fren sistemini çalıştırarak sistemin yani pervanelerin durmasını sağlamaktadır [39, 40].

4.2.11 Soğutma ünitesi

Generatörler çalışırken soğutulmaya ihtiyaç duyarlar. Bazı üretici firmalar türbinlerde soğutma; türbini bir kanal sıkıştırarak havayı yelpaze şeklinde kullanarak soğutmayı gerçekleştirmektedir. Az sayıda üretici firma ise su ile soğutulmuş jeneratörleri tercih etmektedir. Su ile soğutmalı generatörlerde, daha az hava sıkıştırılmış olarak kurulması mümkündür. Bu da bize bazı verimlilik avantajı sağlamaktadır. Ancak sıvı soğutma sisteminden ısıyı uzaklaştırmak için gövde içinde bir radyatöre ihtiyaç vardır. Kısacası elektrik generatörünü

soğutulmasını sağlayan sistemdir. Ayrıca dişli kutusunun yağını soğutan bir yağ soğutma birimini de bulundurur. Bazı türbinler su soğutmalı generatörlere sahiptir [39, 40].

4.2.12 Kule

Rüzgar türbini oluşturan ana elemanlardan bir tanesidir. Rüzgar türbininin kulesi, gövde ve rotoru üzerinde taşımaktadır. Kulenin boyu, rüzgar türbinin gücüne göre kısa veya uzun olabilir. Genellikle kulenin yüksek olması bir avantajdır. Çünkü, rüzgar hızları yerden yükseldikçe artar. Tipik olarak 600 KW'lık modern bir rüzgar türbininin kulesi 40-60 m yüksekliktedir (bir 13-20 katlı bina yüksekliği kadar). Kuleler ya tüp ya da kafes biçimindedir. Tüp biçimli kuleler çalışanlar için daha avantajlıdır, çünkü gerektiğinde bir merdivenle içeriden türbinin tepesine çıkmak daha kolaydır. Kafes kulelerin avantajı esas olarak ucuz oluşlarıdır [39, 40].

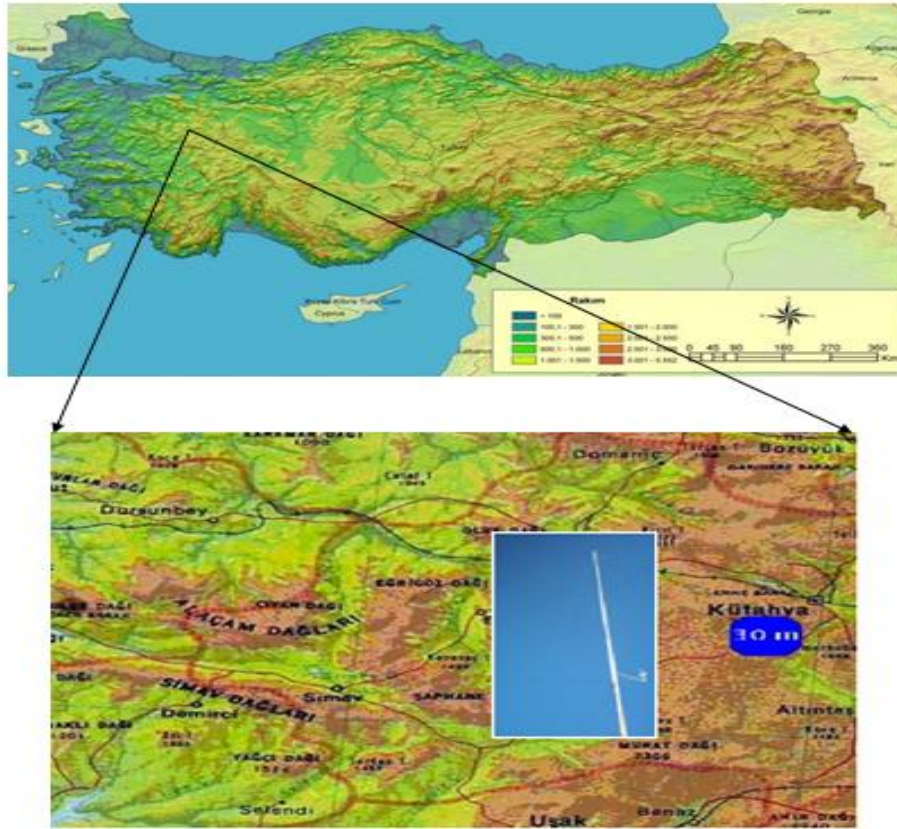
4.2.13 Anemometre ve rüzgar vanası

Rüzgarın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılır. Rüzgar hızı 5 m/s ye eriştiğinde türbini harekete geçirmek için rüzgar türbininin elektronik kontrolcüsü tarafından anemometrenin gönderdiği elektronik sinyaller kullanılır. Eğer rüzgar hızı 25 m/s i aşarsa bilgisayar, türbini ve çevresindekileri korumak için rüzgar türbinini otomatik olarak durdurur. Rüzgar vanasından gelen sinyaller, rüzgar türbini elektronik kontrolcüsü tarafından alınarak, yaw mekanizması yardımıyla rüzgara karşı türbini döndürmek için kullanılır [39, 40].

5. METARYAL VE METOD

5.1 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Alanı

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı rüzgar türbinlerinden oluşacak elektrik enerjisi üretim sisteminin kurulumu için uygun yer olarak seçilmiştir. Merkez kampüs alanı olarak seçilen bu arazide, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi'nin bir yıllık elektrik enerji ihtiyacının rüzgar türbinleriyle karşılanması amaçlanmaktadır.



Şekil 5.1 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı [46].

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı, deniz seviyesinden 1094 m yükseklikte bulunmaktadır. Çalışmada seçilen, $39^{\circ}25'$ kuzey enlemi ve $29^{\circ}58'$ doğu boylamı koordinatlarına sahip bu araziden, alınan ölçümler ve veriler kullanılmaktadır. Kütahya ve çevresi, Ege Bölgesinin İç Batı Anadolu bölümünde yer almaktadır. Kütahya ili $11,875 \text{ km}^2$ yüzölçümü ile Türkiye topraklarının $\%1.5$ 'unu kaplamaktadır. Kütahya'nın iklimi, Ege,

Marmara ve İç Anadolu arasında geçiş iklimi özelliği göstermektedir. Kütahya ilinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 10,6 C°'dir. Kütahya'da ortalama rüzgar hızı 4 m/s ve minimum rüzgar hızının 2 m/s olduğu bilinmektedir. Kütahya'da hakim rüzgar yönü kuzeyden esmekte olup, maksimum rüzgar hızının 27,6 m/s ile kuzey-batıdan estiği görülmektedir [46].

5.2 Rüzgar Hız Verileri

Bir bölgenin rüzgar potansiyeli, o bölgeye kurulan ölçüm istasyonunda kaydedilen verilerle belirlenmektedir. Rüzgar ölçüm istasyonundan alınan veriler en az bir yılın altına düşmemelidir. Rüzgar hız verilerinin ölçüm sıklığı alınacak değerlerin doğruluğu açısından önemlidir. Rüzgar hız verilerinin doğruluğu, seçilecek türbin gücünü ve üretilecek enerji miktarını doğrudan etkilemektedir.

Yapılan bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı için, Temmuz 2001 ve Ekim 2002 tarihleri arasındaki rüzgar hız verileri kullanılmıştır. Rüzgar hız ve yön bilgileri, kurulan ölçüm istasyonundan, ölçüm direğinin 10. ve 30. m seviyelerinde bulunan anemometreler ve yön kontrol cihazı yardımıyla alınmıştır. Rüzgar hız verileri 16 ay süre ile 10 dakikalık ortalama hız aralıklarında alınmıştır. Çalışmada kullanılan rüzgar hız verileri, 2002 yılında Yrd. Doç. Dr. M. Arif Özgür tarafından yüksek lisans tez çalışmaları sırasında tespit edilmiş veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 Aylara göre günlük ortalama rüzgar hızları (m/s).

Günler	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1	3,7	4,4	3,6	4,4	5,6	4,4	5,9	2,6	4,2	3,8	3,5	4,6
2	4,2	4,9	3,2	4,0	2,7	4,9	4,7	4,3	3,5	5,9	3,0	2,8
3	3,9	5,4	3,6	3,9	4,2	5,4	5,5	4,5	4,4	5,0	3,1	4,3
4	4,0	4,5	3,6	3,9	4,0	4,5	7,2	5,3	4,9	5,0	3,6	3,4
5	3,9	4,5	4,6	4,3	5,0	4,5	5,8	6,1	6,0	5,2	3,7	4,7
6	5,2	4,1	4,8	3,3	4,3	4,1	8,7	8,1	3,4	4,2	5,1	4,9
7	4,5	4,5	4,5	4,0	3,9	4,5	5,2	5,4	4,0	5,3	5,9	3,5
8	4,9	5,8	4,9	4,4	5,6	5,8	5,5	6,8	5,6	5,0	4,7	4,5
9	4,0	5,1	4,3	3,9	5,1	5,1	4,3	4,5	4,9	3,6	3,8	4,1
10	3,7	4,2	5,1	3,4	5,6	4,2	4,4	5,5	6,0	5,2	3,4	4,8
11	4,0	3,2	4,9	4,2	4,5	3,2	6,0	4,5	6,1	3,6	4,2	4,3
12	5,1	3,9	3,2	6,5	3,1	3,9	5,4	5,6	3,6	3,7	4,3	3,7
13	4,1	4,6	3,7	5,4	4,1	4,6	3,3	5,2	4,4	5,3	4,7	4,0
14	4,4	4,4	4,7	5,5	5,9	4,4	4,6	5,2	4,7	5,1	4,4	4,7
15	4,2	3,7	3,6	7,5	2,7	3,7	5,3	3,8	2,8	7,9	4,9	4,1
16	4,1	4,1	4,5	6,5	2,9	4,1	5,2	3,6	3,8	7,8	3,4	3,8
17	4,3	3,7	3,7	4,1	4,5	3,7	3,2	4,9	5,2	4,0	3,3	3,9
18	4,6	4,1	3,4	3,7	3,7	4,1	4,6	6,0	6,2	4,2	3,0	5,2
19	5,0	3,5	3,9	4,9	4,1	3,5	4,2	4,6	4,1	5,5	3,4	4,9
20	4,3	4,0	3,6	3,7	4,2	4,0	3,2	4,4	4,4	4,3	3,2	4,8
21	4,9	4,2	3,3	3,4	4,2	4,2	4,7	4,4	5,1	4,8	3,5	5,3
22	4,8	4,2	2,8	3,9	2,8	4,2	7,0	4,6	4,6	5,3	3,6	3,9
23	4,7	3,7	2,5	4,8	4,0	3,7	4,6	4,0	6,3	4,2	3,3	4,0
24	4,0	3,9	3,4	4,6	5,7	3,9	4,3	6,3	8,5	3,8	3,8	4,8
25	4,0	4,2	3,6	5,5	5,0	4,2	5,1	7,9	7,6	3,5	3,5	3,3
26	4,5	3,8	3,6	5,1	4,1	3,8	4,5	4,9	6,6	3,5	4,7	3,9
27	5,3	3,6	4,9	3,3	4,4	3,6	4,1	5,7	5,6	3,2	3,5	5,2
28	5,3	4,2	3,6	4,2	4,6	4,2	3,6	8,8	4,6	3,8	3,8	3,8
29	4,4	3,7	3,2	5,3	4,2	3,7	5,2		3,5	3,5	4,9	3,1
30	4,4	3,8	3,3	3,7	2,7	3,8	5,9		2,9	5,7	5,8	3,2
31	4,9	4,0		4,9		4,0			5,6		6,8	
Ortalama Aylık	4,4	4,2	3,9	4,4	4,3	4,2	5,0	5,3	4,9	4,7	4,1	4,2

Çizelge 5.1 de ölçülmüş olan, günlük ortalamalar şeklinde rüzgar hızları verilmektedir. Çizelge 5.1 deki verilere göre; 5,3 m/s aylık ortalama rüzgar hızı değeri ile Şubat ayı yılın en yüksek, 3,9 m/s aylık ortalama hızı ile Eylül ayı en düşük ortalama rüzgar hızına sahip olduğu görülmektedir.

5.3 Rüzgar Türbinleri

Çalışmada, seçilen Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanının rüzgar türbinleriyle elektrik enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için kullanılan teorik hesaplamalarda seçilen rüzgar türbinlerinin, teknik özellikleri Çizelge 5.2 de gösterilmektedir.

Rüzgar türbinlerinin seçiminde, Türkiye’de kullanılan rüzgar enerji santrallerindeki türbin markaları ve Avrupa’da satış oranları fazla olan türbin markaları göz önüne alınmıştır. Yapılan bu çalışmada, Enercon, Vestas ve Nordex marka üç tip rüzgar türbini kullanılmıştır.

Çalışmada seçilen rüzgar türbinleri Çizelge 5.2’de verilmektedir. 14 tip rüzgar türbini seçilmiştir.

Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılacak rüzgar türbinleri [47-49].

	Türbin Gücü	Türbin Adı
1	500	Enercon – 40
2	600	Nordex – 43
3	800	Enercon – 48
4	800	Enercon – 53
5	850	Vestas- 52
6	900	Enercon – 44
7	1500	Nordex - S77
8	1650	Vestas – 82
9	1800	Vestas- 100
10	200	Enercon-82
11	2300	Nordex- 90
12	2300	Enercon- 70
13	2500	Nordex- 80
14	2500	Nordex- 100

Çizelge 5.3 Rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri [47-49].

Rüzgar Türbinleri	Birim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		E40	N-43	E48	E53	V52	E44	N-S77	V82	V100	E82	E70	N90	N80	N100
Nominal Güç	kW	500	600	800	800	850	900	1500	1650	1800	2000	2300	2300	2500	2500
Kanat Sayısı	Adet	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kanat Uzunluğu	m	20	19,1	23	26	26	22	38	41	50	41	35,5	45	40	50
Rotor Çapı	m	40,3	43	48	52,9	52	44	77	82	100	82	71	90	80	100
İlk Hareket Hızı	m/s	1	3	2	2	4	2	3	3,5	4	2	2	4	4	4
Nominal Hız	m/s	13	13,5	14	13	16	14	13	13	12	13	14	13	15	13
Max. Hız	m/s	25	25	28-34	28-34	25	28-34	25	20	20	25	25	25	25	25
Kule Yüksekliği	m	45/50/65	40/50/78	50/70	60/73	55/65/74	45/55	80/85/90/100	70/78/80	80/95	78/138	57/113	70/80/100/105	60/70/80	100
Kontrol Mekanizması		Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch	Pitch

5.4 Rüzgar Enerjisi Potansiyel Hesaplamaları

Rüzgar türbinleriyle ilgili ilk teorik hesaplamalar BETZ tarafından ortaya atılmıştır. BETZ teorisi, yatay eksenli rüzgar türbinleri için kullanılmıştır [50].

Sürekli hareket eden bir cisim kinetik enerji taşımaktadır. Rüzgar gücü, kinetik enerjinin zamana göre türevi alınarak bulunmaktadır. Denklem (5.1)'deki gibi ifade edilmektedir [50].

$$\begin{aligned} \text{Rüzgar gücü } (P) &= \frac{1}{2} \dot{m} V^2 \\ P &= \frac{dE}{dt} \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\text{Kinetik enerji } (E) = \frac{1}{2} m V^2 \quad (5.2)$$

Denklem (5.2), denklem (5.1) de yerine yazıldığında denklem (5.3) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} P &= \frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m V^2 \right) \\ P &= \frac{1}{2} \left(\frac{d}{dt} (m V^2) \right) \\ P &= \frac{1}{2} \dot{m} V^2 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Denklem (5.3), rüzgar gücü denklemdir. Denklem (5.3) de, $\dot{m}$ birim zamandaki kütleli debiyi simgelemektedir. Kütleli debi, denklem (5.4) de gösterilmektedir.

$$\dot{m} = \rho A V \quad (5.4)$$

Denklem (5.4) de ρ özgül ağırlığı, A rotor kanatlarının süpürdüğü alanı simgelemektedir. ρ özgül ağırlık, denklem (5.5) deki gibi bulunmaktadır.

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (5.5)$$

Denklem (5.4) ve denklem (5.5) yerine yazıldığında rüzgar gücü;

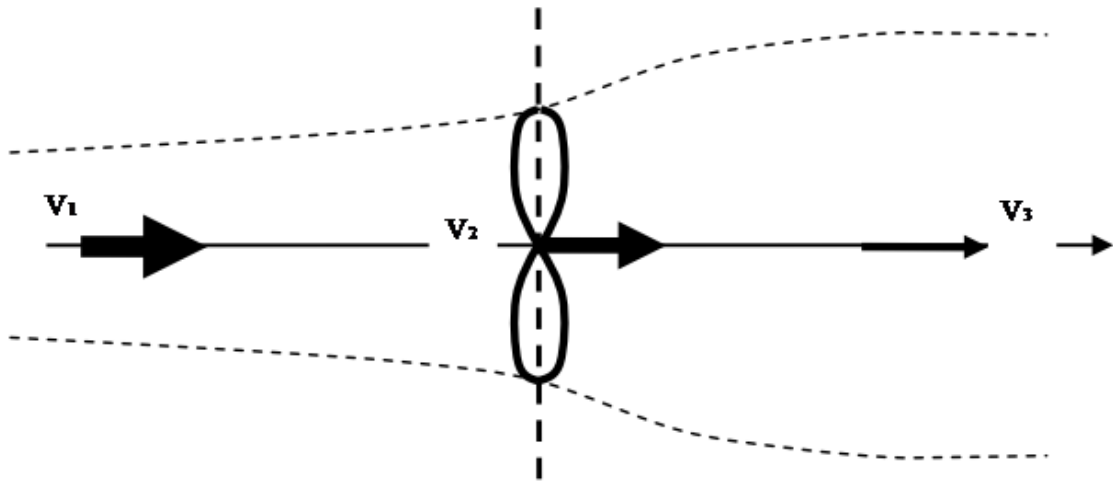
$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (\text{Watt}) \quad (5.6)$$

Bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Rüzgar akımının taşımakta olduğu kinetik enerjinin, hızın küpü ile orantılı olduğu görülmektedir. Kinetik enerjiyi etkileyen bir diğer faktör de havanın yoğunluğudur [46].

Rüzgarın taşımakta olduğu hava akımının belirli bir enerjisi vardır, fakat bu enerjinin hepsinden yararlanılmamaktadır. BETZ kriteri ile havanın enerjisinden ne kadar yararlanılabileceği belirlenmiştir [50].

Bir akışkan hava rüzgar türbinine gelmeden önce, genişlemeye başlamaktadır ve bu nedenle hızı düşmektedir. Şekil 5.2 de rüzgarın türbine girerken genişlemesi görülmektedir. Görüldüğü gibi rüzgar hızı V_3 ile türbinden çıkış yapmaktadır. V_3 hızı ile V_1 hızı arasındaki oranlara bağlı olarak enerji üretilmektedir [50].



Şekil 5.2 Rüzgar hızının türbine girişi ve çıkışı [50].

Rüzgarın türbine girmeden önceki rüzgar enerjisi ile çıktıktan sonraki farkı türbin tarafından çekilen enerjidir. Rüzgar, kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin bilinen fiziksel konular ve teknolojik imkanlar sayesinde yararlı enerjiye çevrilen miktarına rüzgar enerjisi teknik potansiyeli denilmektedir [50].

Buna göre türbinin gücü denklem (5.7) ile gösterilmektedir.

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_3^2) \quad (5.7)$$

Rotora gelen akışkanın hızının, türbine gelen akışkan ile türbinden çıkan akışkanın ortalaması olduğu kabul edilmektedir. Denklem (5.8) de gösterilmektedir.

$$V_2 = \frac{(V_1 + V_3)}{2} \quad (5.8)$$

Buna göre kütleli debi denklem (5.9) daki gibi olur.

$$\dot{m} = \rho A \frac{(V_1 + V_3)}{2} \quad (5.9)$$

Denklem (5.8) ile denklem (5.9) , denklem (5.7) de yerine yazıldığında rotor tarafından çekilen güç bulunmaktadır. Denklem (5.10) , rotor tarafından çekilen güç denklemdir.

$$P_T = \frac{1}{4} \rho A (V_1 + V_3) (V_1^2 - V_3^2) \quad (5.10)$$

Rotor tarafından çekilen gücün rüzgar gücüne oranı kapasite faktörünü verir. Kapasite faktörü denklem (5.11) ile gösterilmektedir.

$$c_p = \frac{P_T}{P_r} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (V_1 + V_3) (V_1^2 - V_3^2)}{\frac{1}{2} \rho A V_1^3} \quad (5.11)$$

Türbine giren ve türbinden çıkan hızların oranı, $\frac{V_1}{V_2} = \alpha$ ile ifade edildiğinde; denklem (5.11), denklem (5.12) deki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{dc_p}{d\alpha} = \frac{1}{2} (3\alpha - 1)(\alpha + 1) = 0 \quad (5.12)$$

Denklem (5.12) çözümlenmesi sonucunda denklem (5.13) ile kapasite faktörünün maksimum değeri ulaşılmaktadır.

$$c_{pmax} = \frac{1}{2}(1 + \alpha)(1 - \alpha^2) = 0 \quad (5.13)$$

Denklem (5.12) çözümlenmesi durumunda α değeri ; $\alpha_1 = \frac{1}{3}$ olarak bulunmaktadır.

Buna göre $\alpha_1 = \frac{1}{3}$ değeri, denklem (5.13) de yerine yazıldığında, kapasite faktörünün maksimum değeri bulunur. Kapasite faktörünün maksimum değeri denklem (5.14) ile gösterilmektedir.

$$c_{pmax} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{3}\right)\left(1 - \frac{1}{9}\right) = 0,59259 \quad (5.14)$$

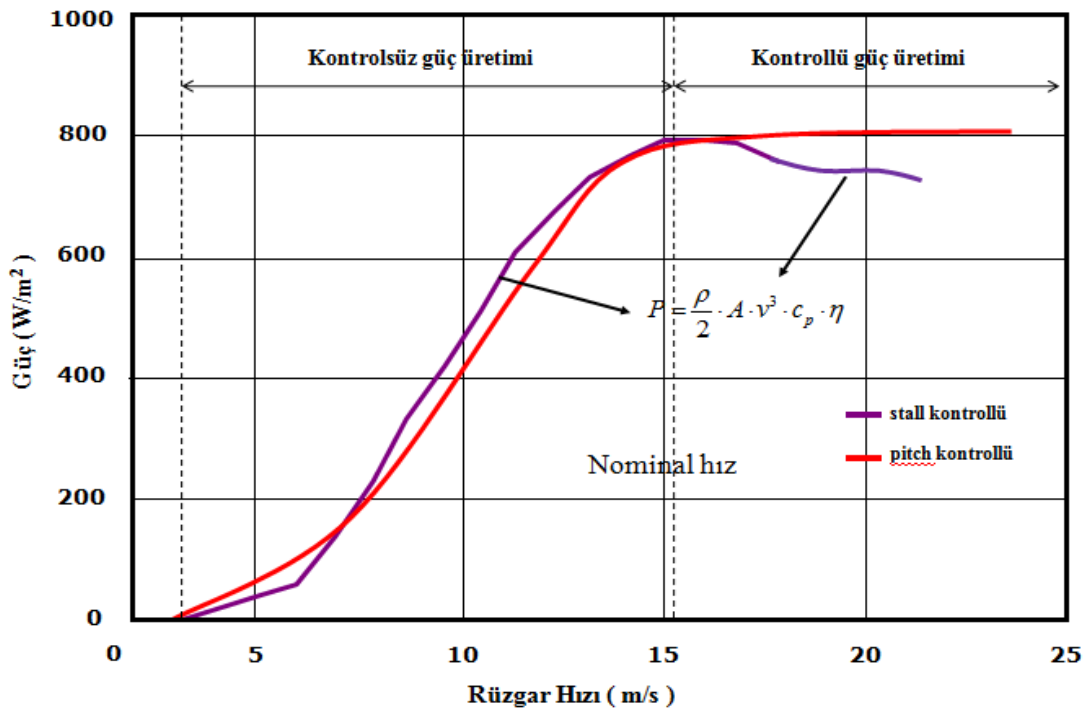
Rüzgar türbiniyle, türbine gelen rüzgarın tüm enerjisinden faydalanmak imkansızdır. Rüzgar enerjisinin yaklaşık olarak teoride %60' lık kısmından faydalanılmaktadır. Kullanılmakta olan rüzgar türbinleri için, C_p kapasite faktörünün değeri yaklaşık olarak %40'dır. Bu değer düşük olmasının nedeni; hava direnci, rotorun oluşturduğu türbülans ve aktarma organları ile elektrik sistemi gibi noktalardaki kayıplar olmaktadır [50].

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

6.1 Bölgenin Rüzgar Potansiyeli

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanında kurulacak rüzgar türbinleri için, 500 kW ile 2500 kW değerleri arasında 14 tip rüzgar türbini seçilmiştir. Seçilen rüzgar türbinleri ile aylara göre bir yıllık rüzgar enerjisi üretimleri hesaplanmıştır. Çizelge 6.1 de 14 tip rüzgar türbininden bir yıllık rüzgar enerjisi üretimleri verilmektedir.

Rüzgar enerjisi için, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanında Temmuz 2001 – Ekim 2002 tarihleri arasında 16 ay boyunca kaydedilen rüzgar verileri kullanılarak, 14 tip rüzgar türbinlerine uygulanmış ve rüzgar türbinleri güç eğri grafikleri çıkarılmıştır. Bir çeşit rüzgar türbini güç eğrisinin açıklanışı, Şekil 6.1 de verilmiştir. Güç eğri grafiğinde de görüldüğü gibi, kontrolsüz güç üretimi ve kontrollü güç üretimi olarak güç eğri grafiği nominal hız noktasında kontrol mekanizmalarına göre ikiye bölünmüştür. Nominal hız noktası güç eğri grafiğinde 10-15 m/s arasında olabilmektedir [51].

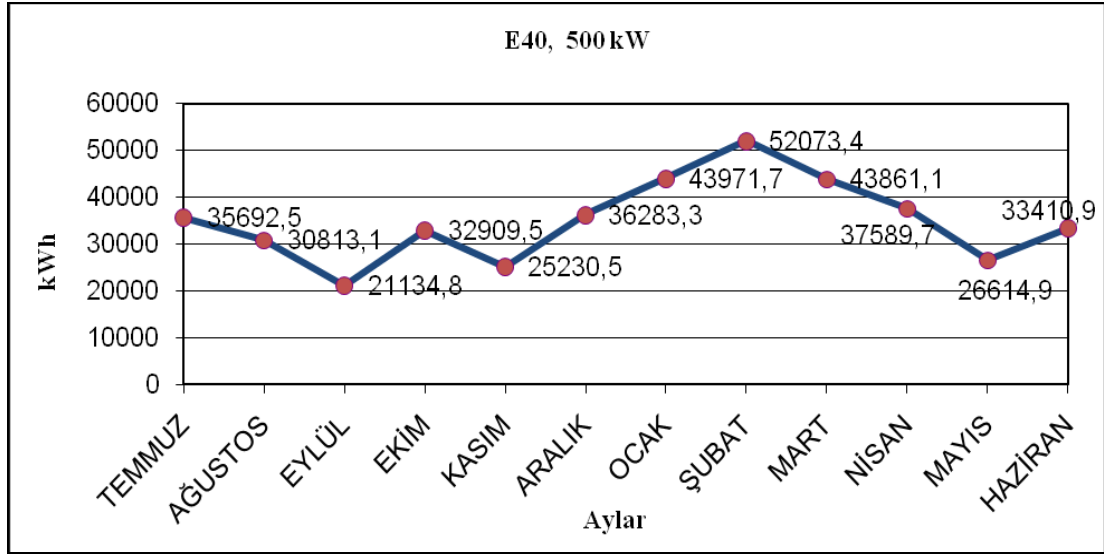


Şekil 6.1 Herhangi bir rüzgar türbini için güç eğri grafiği [51].

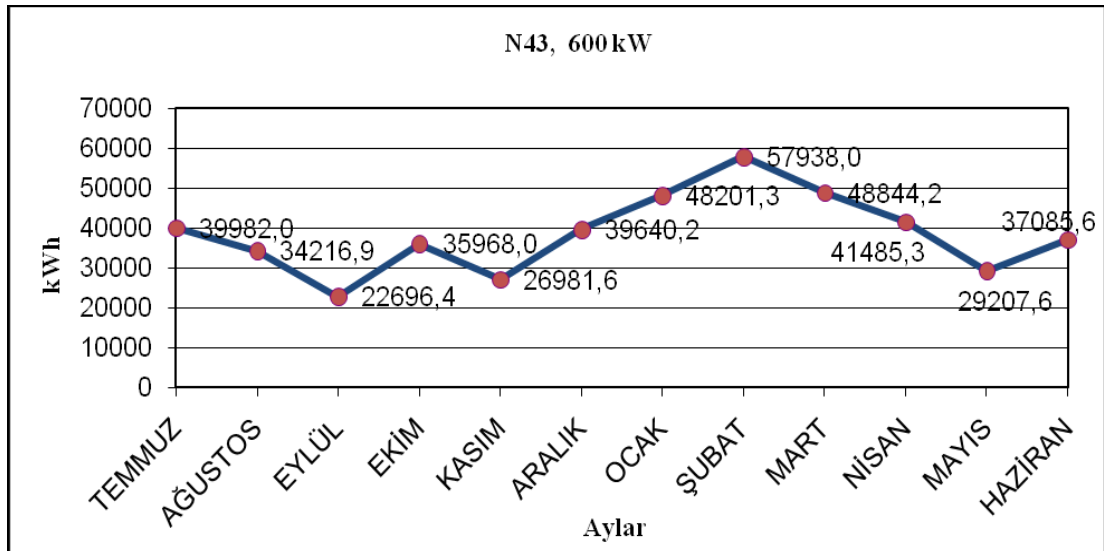
Çizelge 6.1 Rüzgar türbinlerinden (14 tip) bir yıllık enerji üretim miktarları (kWh)

Türbin tipi	Türbin gücü	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	Toplam Üretim miktarı
Enercon - 40	500	35.692,5	30.813,1	21.134,8	32.909,5	25.230,5	36.283,3	43.971,7	52.073,4	43.861,1	37.589,7	26.614,9	33.410,9	419.585,5
Nordex – 43	600	39.982,0	34.216,9	22.696,4	35.968,0	26.981,6	39.640,2	48.201,3	57.938,0	48.844,2	41.485,3	29.207,6	37.085,6	462.246,9
Enercon - 48	800	61.739,2	53.533,3	36.957,7	56.674,8	43.437,4	62.139,3	75.067,8	88.729,5	75.147,0	64.377,9	46.219,4	57.726,4	721.749,8
Enercon - 53	800	72.907,1	50.303,1	31.874,5	52.417,6	38.198,8	58.283,6	70.742,2	82.916,7	69.778,7	59.418,8	42.064,9	53.438,5	682.344,5
Vestas- 52	850	66.100,8	57.489,7	41.102,9	61.549,9	48.486,1	67.908,8	80.975,4	94.847,2	81.103,0	69.785,3	50.541,7	62.128,3	782.019,0
Enercon - 44	900	50.349,0	43.534,6	29.444,8	45.960,5	34.652,4	50.272,7	61.478,4	73.602,5	61.813,0	52.661,2	37.280,8	46.983,0	588.032,9
Nordex - S77	1500	122.324,8	104.674,6	69.448,0	110.110,8	82.499,0	121.816,4	148.278,6	177.529,0	150.553,3	126.592,8	89.427,5	114.763,2	1.418.018,1
Vestas – 82	1650	176.077,1	148.462,3	94.526,0	151.465,4	109.803,1	169.373,9	204.834,8	250.694,6	218.960,6	175.017,7	125.544,9	166.741,4	1.691.501,9
Vestas- 100	1800	227.339,9	193.247,3	134.188,6	206.309,0	161.443,6	233.204,8	272.868,5	320.361,7	279.082,7	235.319,6	169.882,6	213.442,4	1.899.289,4
Enercon-82	200	170.777,2	146.961,5	98.422,8	154.296,0	115.788,0	169.601,6	205.880,5	244.838,0	206.710,8	176.056,2	125.537,2	159.066,7	1.973.936,5
Nordex- 90	2300	169.669,0	144.344,3	92.175,6	150.640,3	109.693,6	166.703,5	206.655,0	251.061,0	211.831,1	175.075,5	121.641,7	160.189,0	1.959.679,6
Enercon- 70	2300	127.957,1	110.195,7	72.736,9	115.452,4	85.311,4	126.107,1	155.576,0	188.293,0	157.161,2	133.071,2	93.449,0	119.118,4	1.484.429,4
Nordex- 80	2500	126.520,8	107.384,0	65.703,5	110.608,4	77.594,9	121.395,7	153.911,6	190.864,2	158.953,8	129.965,4	88.751,5	119.041,3	1.450.695,1
Nordex- 100	2500	213.896,5	181.196,4	115.712,6	188.456,1	137.754,0	209.686,7	256.953,8	310.983,3	264.107,9	218.546,4	153.036,0	201.024,4	2.451.354,2

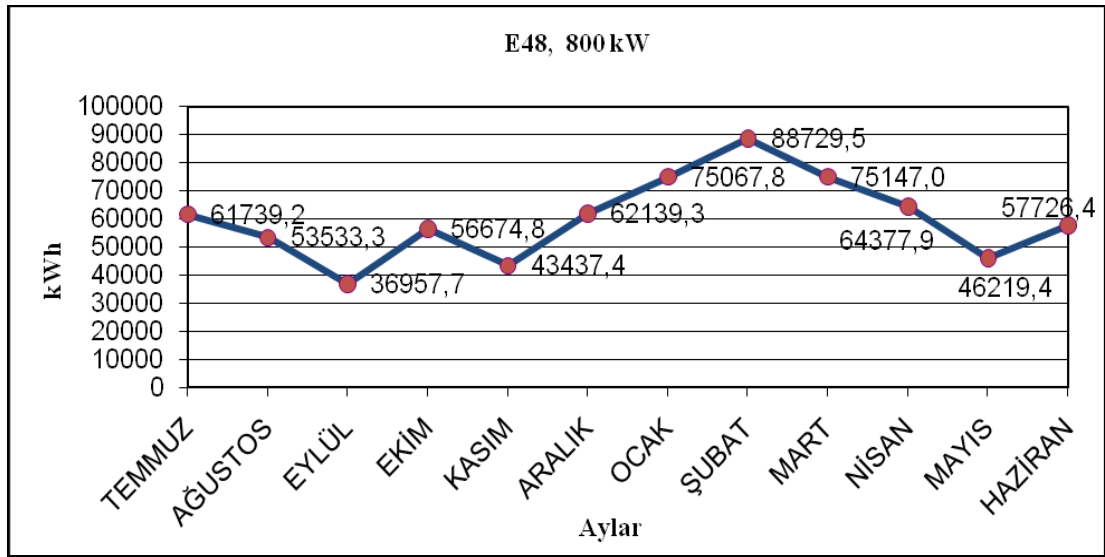
Belirlenen merkez kampüs alanının, elektrik enerji ihtiyacını karşılamak için seçilen rüzgar türbinlerinden, güç eğri grafikleri çıkarılmıştır. Rüzgar üretimi aralıkları, merkez kampüs alanında ölçülmüş olan ve 2,7 m/s ile 8,8 m/s rüzgar hız verileri ve aylara göre değişiklik göstermektedir. Şekil 6.2 – 6.15 arasında 14 tip rüzgar türbin güç eğrileri verilmektedir.



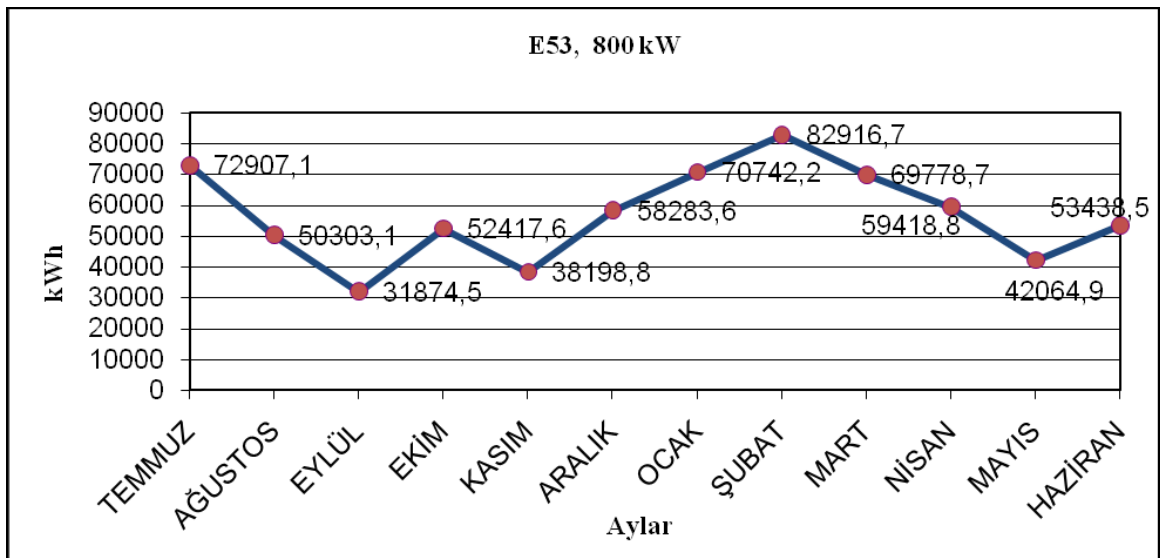
Şekil 6.2 Enercon-40 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (500 kW).



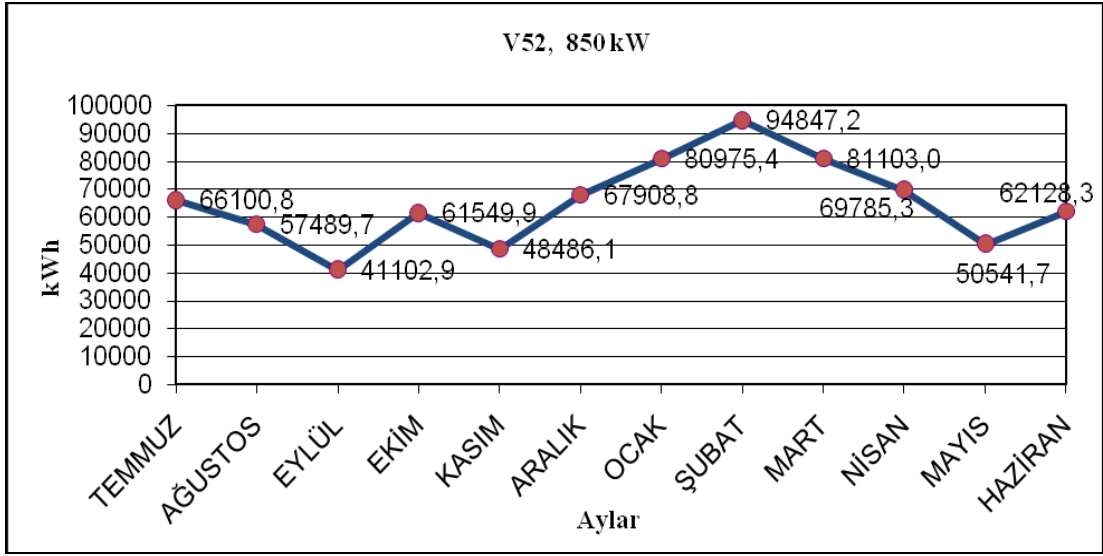
Şekil 6.3 Nordex-43 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (600 kW).



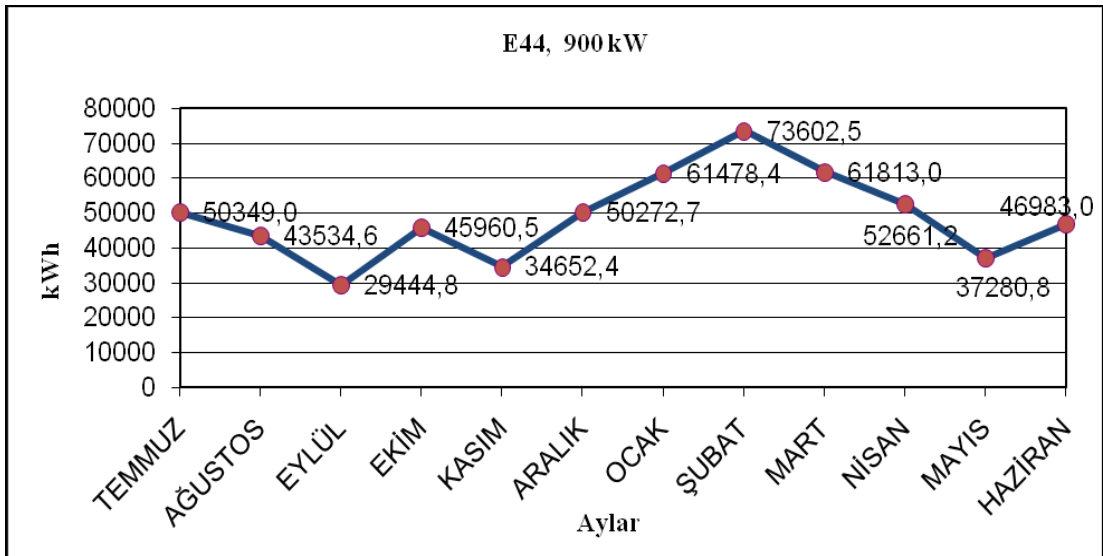
Şekil 6.4 Enercon-48 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (800 kW).



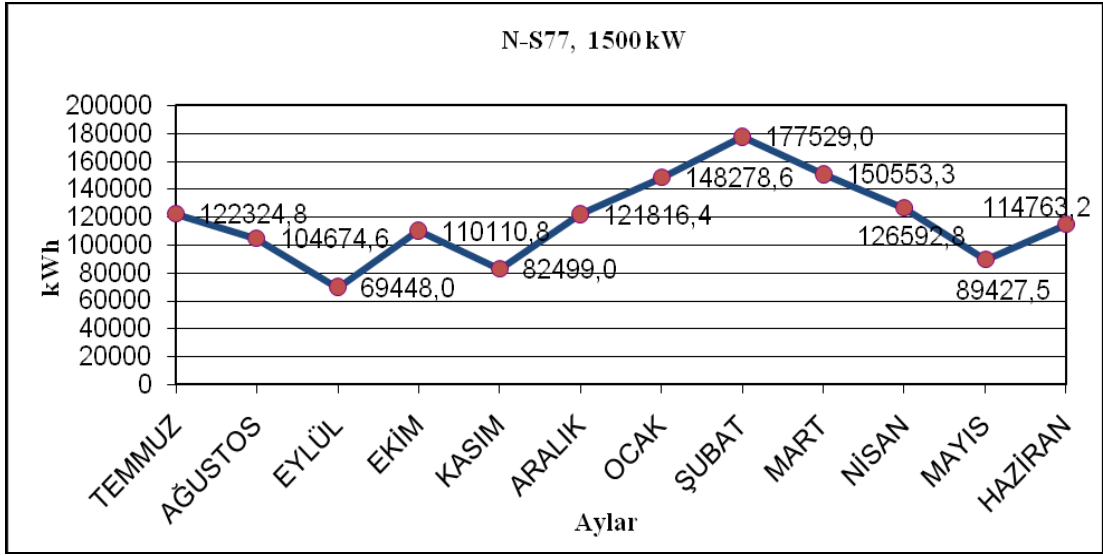
Şekil 6.5 Enercon-53 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (800 kW).



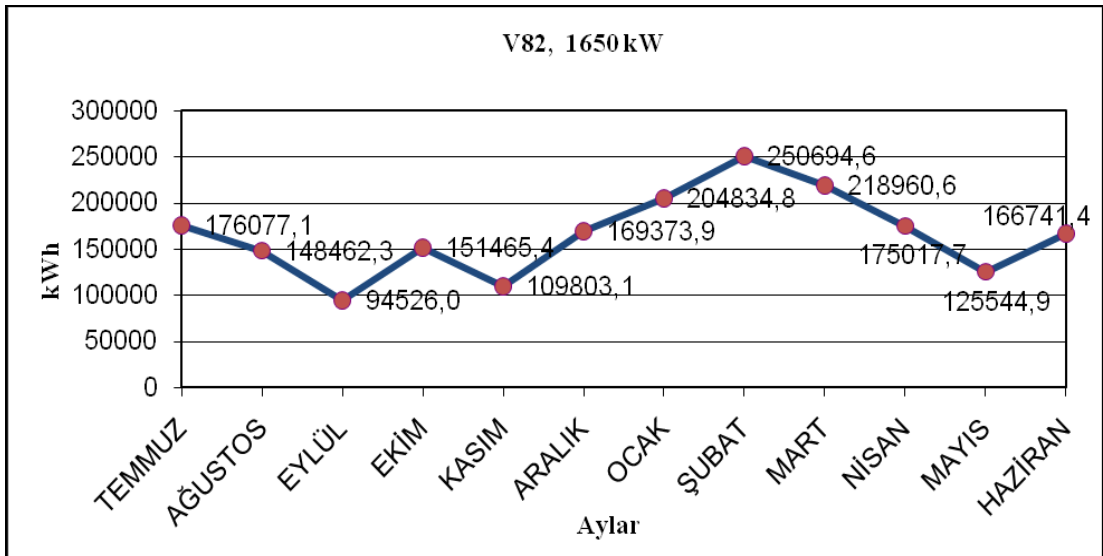
Şekil 6.6 Vestas-52 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (850 kW).



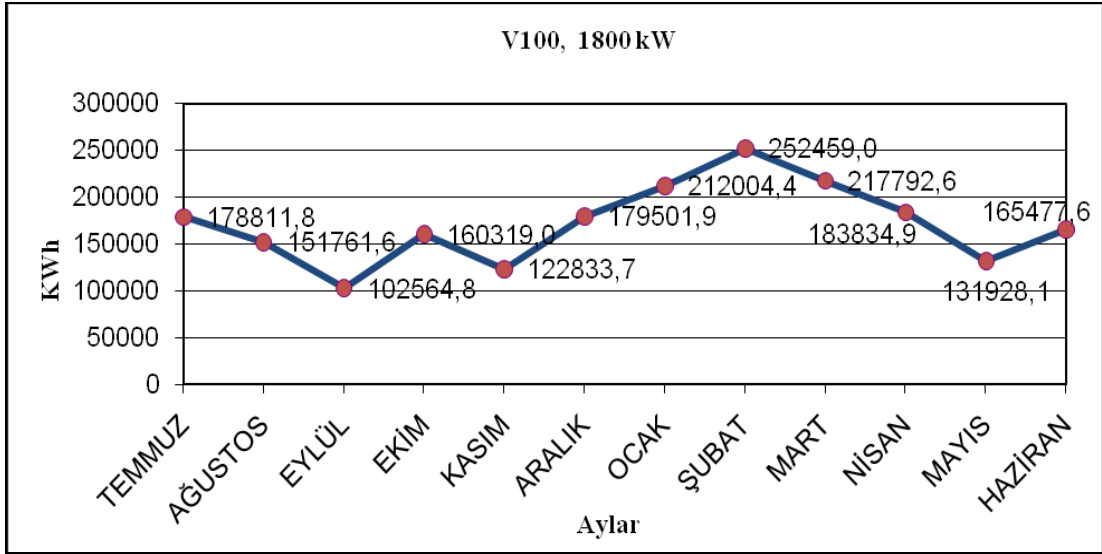
Şekil 6.7 Enercon-44 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (900 kW).



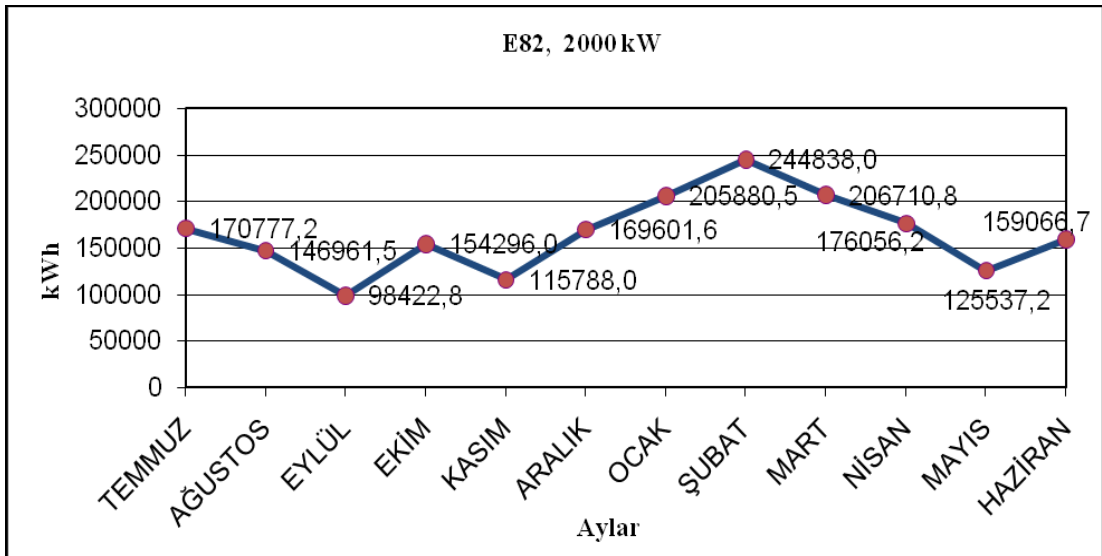
Şekil 6.8 Nordex-S77 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (1500 kW).



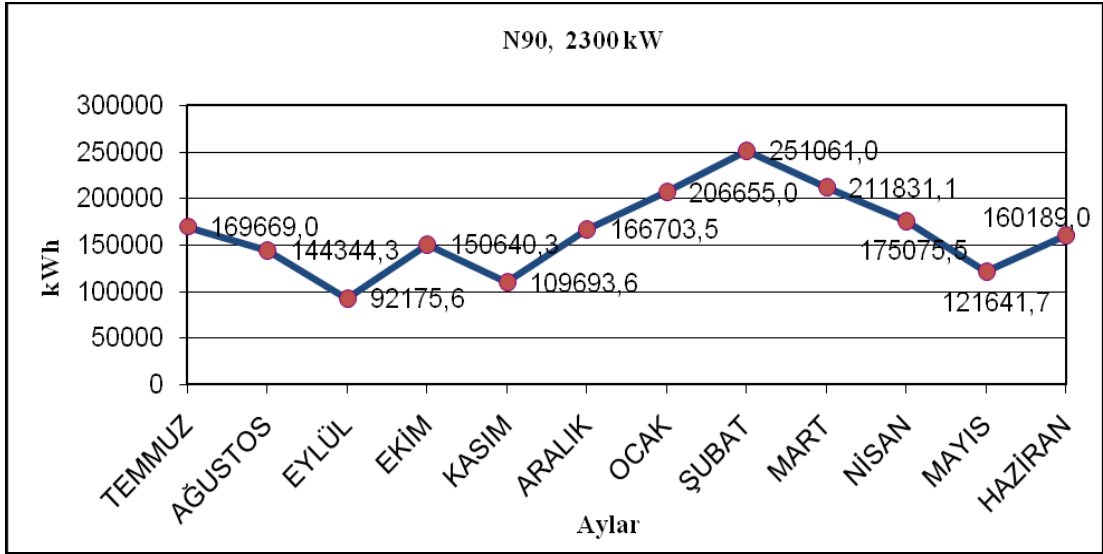
Şekil 6.9 Vestas-82 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (1650 kW).



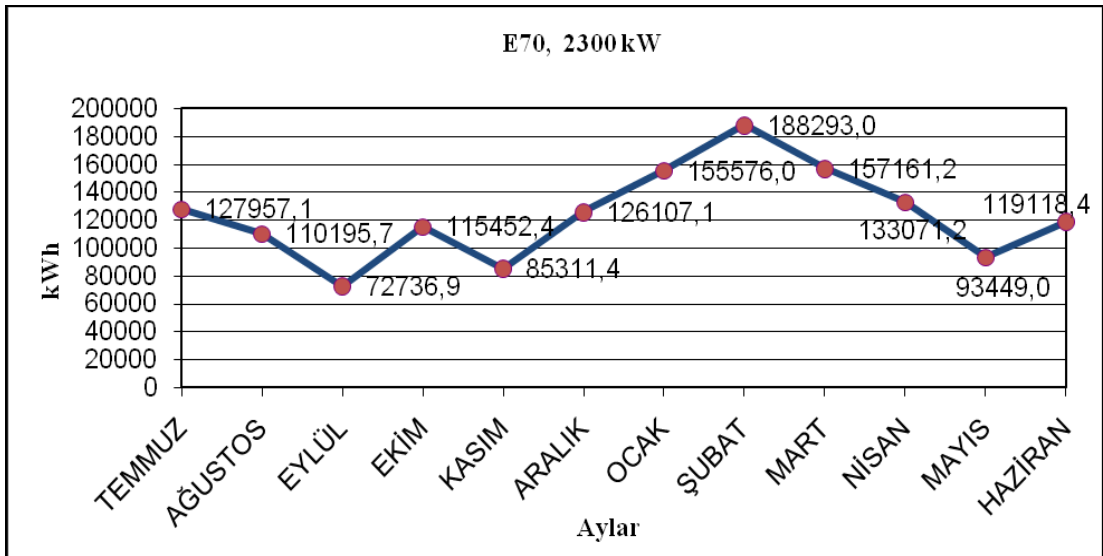
Şekil 6.10 Vestas-100 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (1800 kW).



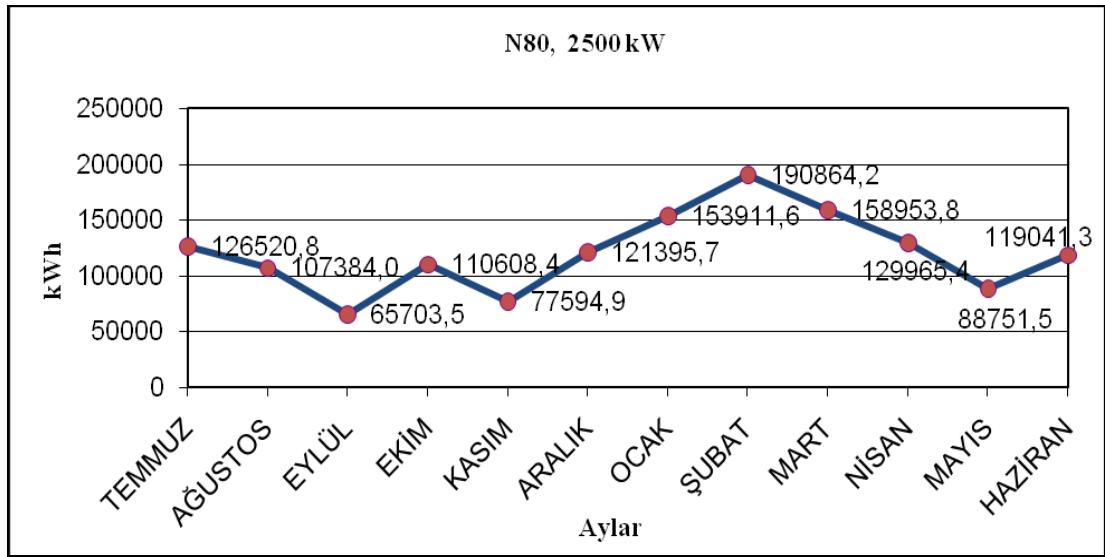
Şekil 6.11 Enercon-82 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2000 kW).



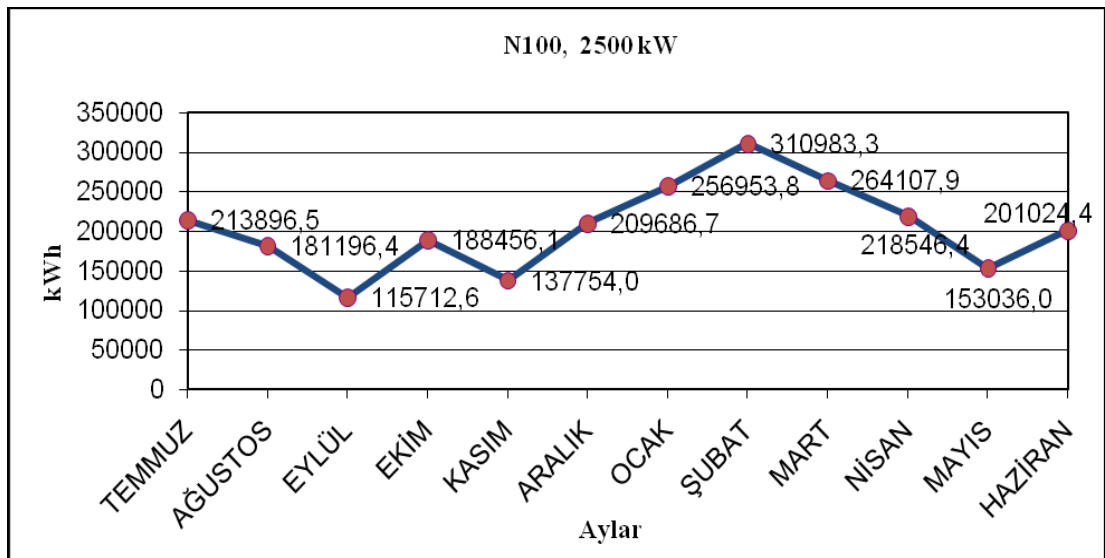
Şekil 6.12 Nordex-90 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2300 kW).



Şekil 6.13 Enercon-70 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2300 kW).



Şekil 6.14 Nordex-80 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2500 kW).



Şekil 6.15 Nordex-100 tipi rüzgar türbini güç eğri grafiği (2500 kW).

Şekil 6.2 ile Şekil 6.15 arasında, 14 tip rüzgar türbin güç eğri grafiklerinde; yılda en fazla enerji üretim ayının Şubat ayı olduğu, en az enerji üretim ayının ise Ekim ayı olduğu görülmektedir. Rüzgar türbinleri güçleri arttıkça enerji üretim miktarları da doğru orantılı olarak artış göstermektedir.

6.2 Türbin Sayısının Bulunması

Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanında, eğitim binaları, yurtlar, dinlenme tesisleri ve idari binalar gibi yeni yapıların artması, bunlarla orantılı olarak öğrenci ve personel sayısının artması nedenlerinden dolayı elektrik enerji ihtiyacı sürekli artış göstermektedir. Merkez kampüs alanında yapılan çalışmada, 2009 yılına ait elektrik enerji tüketim miktarları veri alınarak, elektrik enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Belirlenen elektrik enerji ihtiyacı verilerine göre de rüzgar türbin sayılarının ne olacağı bulunmaktadır. Çizelge 6.2 de Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanının 2009 yılı elektrik enerjisi tüketim miktarları verilmektedir.

Çizelge 6.2 Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanının 2009 yılı elektrik enerjisi tüketim miktarları [52]

AYLAR	2009 YILI ELEKTRİK
	TÜKETİM MİKTARI (kWh)
Ocak	497.450,000
Şubat	359.800,000
Mart	466.600,00
Nisan	396.950,00
Mayıs	290.650,000
Haziran	237.700,000
Temmuz	244.450,000
Ağustos	257.200,000
Eylül	258.400,000
Ekim	277.650,000
Kasım	240.750,000
Aralık	700.550,000
TOPLAM	4.228.200,000

Rüzgar türbin sayısı, ihtiyaç duyulan elektrik enerji miktarı ile türbinin ürettiği enerji miktarına oranı ile bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler yıllık olduğu için yıllık enerji miktarları dikkate alınmıştır. Buna göre türbin sayısı;

$$\text{Türbin Sayısı} = \frac{\text{ihtiyaç duyulan yıllık enerji miktarı (kWh)}}{\text{bir türbinden üretilen yıllık enerji miktarı (kWh)}}$$

formülü ile gösterilmektedir.

Çalışmada, türbin sayıları 14 çeşit türbin için iki farklı şekilde hesaplanmıştır. Türbin sayıları, ihtiyaç olan elektrik enerjisine az üretim miktarı olduğu durumda ve ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinden fazla enerji üretimi olduğu durumda hesaplanmaktadır. Buna göre, türbin sayıları Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4 de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3 Kullanılacak türbin sayıları (1.durum)

	Türbin tipi	İhtiyaç olan enerji miktarı (kWh/yıl)	Yıllık üretim miktarı (kWh/yıl)	Kullanılan türbin sayısı	Üretilen enerji miktarı (kWh/yıl)	Eksik enerji miktarı (kWh/yıl)
1	E40	4.228.200	419.585,5	10	4.195.855,0	-32.333,9
2	N43	4.228.200	462.246,9	9	4.160.222,1	-67.966,8
3	E48	4.228.200	721.749,8	5	3.608.749,0	-619.439,9
4	E53	4.228.200	682.344,5	6	4.094.067,0	-134.121,9
5	V52	4.228.200	782.019,0	5	3.910.095,0	-318.093,9
6	E44	4.228.200	588.032,9	7	4.116.230,3	-111.958,6
7	N-S77	4.228.200	1.418.018,1	2	2.836.036,2	-1.392.152,7
8	V82	4.228.200	1.691.501,9	2	3.383.003,8	-845.185,1
9	V100	4.228.200	1.899.289,4	1	1.899.289,4	-2.328.899,5
10	E82	4.228.200	1.973.936,5	2	3.947.873,0	-280.315,9
11	E70	4.228.200	1.959.679,6	2	3.919.359,2	-308.829,7
12	N90	4.228.200	1.484.429,4	2	2.968.858,8	-1.259.330,1
13	N80	4.228.200	1.450.695,1	2	2.901.390,2	-1.326.798,7
14	N100	4.228.200	2.451.354,2	1	2.451.354,2	-1.776.834,7

Çizelge 6.4 Kullanılacak türbin sayıları (2.durum)

	Türbin tipi	İhtiyaç olan enerji miktarı (kWh/yıl)	Yıllık üretim miktarı (kWh/yıl)	Kullanılan türbin sayısı	Üretilen enerji miktarı (kWh/yıl)	Fazla enerji miktarı (kWh/yıl)
1	E40	4.228.200	419.585,5	11	4.615.440,8	387.251,9
2	N43	4.228.200	462.246,9	10	4.622.469,2	394.280,3
3	E48	4.228.200	721.749,8	6	4.330.498,5	102.309,6
4	E53	4.228.200	682.344,5	7	4.776.411,8	548.222,9
5	V52	4.228.200	782.019,0	6	4.692.114,3	463.925,4
6	E44	4.228.200	588.032,9	8	4.704.263,0	476.074,1
7	N-S77	4.228.200	1.418.018,1	3	4.254.054,3	25.865,4
8	V82	4.228.200	1.691.501,9	3	5.974.505,6	1.746.316,7
9	V100	4.228.200	1.899.289,4	2	5.293.381,2	1.065.192,3
10	E82	4.228.200	1.973.936,5	3	5.921.809,4	1.693.620,5
11	E70	4.228.200	1.959.679,6	3	5.879.038,8	1.650.849,9
12	N90	4.228.200	1.484.429,4	3	4.453.288,3	225.099,4
13	N80	4.228.200	1.450.695,1	3	4.352.085,3	123.896,4
14	N100	4.228.200	2.451.354,2	2	4.902.708,3	674.519,4

Çizelge 6.3 ile türbin sayısı hesabının 1. Durumu gösterilmiştir. 1.durum ise; rüzgar türbinin karşılaması istenilen elektrik enerji miktarından az üretim yapıldığı durumdur. 1.Durumda bulunan türbin sayısı ile ihtiyacın altında üretim yapıldığı için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin tamamını karşılanması halinde şebekeden elektrik enerjisi alınacağını göstermektedir.

Çizelge 6.4 ile türbin sayısı hesabının 2. Durumu gösterilmiştir. 2.durum ise; rüzgar türbininin karşılaması istenilen elektrik enerji miktarından fazla üretim yapıldığı durumdur. 2.Durumda bulunan türbin sayısı ile ihtiyacın üstünde üretim yapıldığı için fazla üretilen enerjinin şebekeye aktarılması gerekmektedir.

Türbin sayıları iki durumda da hesaplanmaktadır. Çalışmada, türbin sayılarının Çizelge 6.3 deki durumu göz önüne alınarak analiz yapılmaktadır. Çizelge 6.4 ile gösterilen 2.durumda rüzgar sisteminden üretilen enerjinin ihtiyaç olunan kadar alınmasından sonra fazla enerjinin akülerde depo yapılması yada şebekeye verilmesi gerekmektedir. Yaptığımız çalışmada, rüzgar türbinlerinden karşılanamayan enerji miktarının şebekeden alınması durumu kabul edilmektedir.

6.3 Merkez Kampüs Alanında, 2009 Yılı İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerji Miktarının Karşılanma Oranları

Bu çalışmada amaç, önceden de belirtildiği gibi; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanının 2009 yılı elektrik enerji ihtiyacının rüzgar türbinleriyle karşılamaktır. Rüzgar türbinlerinin seçiminde elektrik enerji üretim oranı en fazla olan ve maliyet analizinde karlılık oranı en yüksek olan türbin seçilecektir. Bu amaç doğrultusunda ve yapılan kabullerle 14 tip seçilen rüzgar türbininin, yıllık elektrik enerjisi karşılama oranları Çizelge 6.5 de verilmektedir.

Çizelge 6.5 Merkez Kampüs Alanında, 2009 Yılı İhtiyaç Duyulan Elektrik Enerji Miktarının Karşılama Oranları

	Türbin tipi	Üretilmesi gereken yıllık toplam enerji (kWh)	Üretilen yıllık enerji miktarı (kWh)	Karşılama oranı (%)
1	E40	4.228.200	4.195.855,0	99,2
2	N43	4.228.200	4.160.222,1	98,4
3	E48	4.228.200	3.608.749,0	85,3
4	E53	4.228.200	4.094.067,0	96,8
5	V52	4.228.200	3.910.095,0	92,5
6	E44	4.228.200	4.116.230,3	97,4
7	N-S77	4.228.200	2.836.036,2	67,1
8	V82	4.228.200	3.383.003,8	94,2
9	V100	4.228.200	1.899.289,4	62,6
10	E82	4.228.200	3.947.873,0	93,4
11	E70	4.228.200	3.919.359,2	92,7
12	N90	4.228.200	2.968.858,8	70,2
13	N80	4.228.200	2.901.390,2	68,6
14	N100	4.228.200	2.451.354,2	58,0

Çizelge 6.5 de görüldüğü gibi, merkez kampüs alanının enerji ihtiyacının karşılanma oranı, en fazla %99,2 Enercon-40 tipi rüzgar türbini ile olurken, en az % 58,0 Nordex-100 tipi rüzgar türbinidir.

6.4 Maliyet Analizi

Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanının, 2009 yılı elektrik enerji ihtiyacını karşılamak için seçilmiş olan 14 tip rüzgar türbinin maliyet analizi yapılarak, sonuca ulaşılması amaçlanmaktadır. 14 tip rüzgar türbinin önceki hesaplamalarda, rüzgar hız verilerine göre üretim miktarları, türbin sayıları ve üretimi karşılama oranları bulunmuştur. Bu çalışmada da, seçilmiş olan rüzgar türbinlerinin birbirleriyle kıyaslanabilmesi için, birim enerji maliyet hesabı yapılmıştır.

Sistemlerin maliyet analizleri yapılırken, rüzgar enerji sisteminin yıllık ürettiği enerji miktarı ve meskenlerin kullandığı elektrik enerjisi birim fiyatı dikkate alınmıştır. Rüzgar türbinlerinin yıllık getirisini; yıllık ürettiği enerji miktarı ile meskenlerin kullandığı elektrik enerjisi birim fiyatıyla çarpımı oluşturmaktadır.

Rüzgar türbinlerinin maliyet analizleri yapılırken, Office 2007- Excel paket programı kullanılarak hesaplamalardan program hazırlanmıştır. Programda türbin için, toplam sistem maliyetleri, toplam tesis maliyetleri, hurda maliyetleri, bakım-onarım maliyetleri formülize edilmiştir.

Bir rüzgar türbinin yatırım maliyetlerinin oranları için sınıflandırma yapılabilmektedir. Çizelge 6.6, bir rüzgar türbinin yatırım harcamalarındaki oranlarını göstermektedir.

Çizelge 6.6 Bir rüzgar türbinin yatırım harcamalarındaki oranları [53].

	Yatırım harcamaları (%)
Türbin	33
Kurulum maliyeti	20
Kablo maliyeti	10
Şebeke tesisat maliyeti	9
Proje maliyeti	7
Temel inşaat maliyeti	6
Yer,arazi maliyeti	4
İşletmeye alma maliyeti	3
Türbin kurulum maliyeti	2
Diğer maliyetler	1

Bir türbinin yatırım maliyeti; toplam sistem maliyeti ile toplam tesis maliyelerinin toplamını oluşturmaktadır [54 ,55].

Yatırım Maliyeti (YM) = Toplam tesis maliyeti (TTM) + Toplam sistem maliyeti (TSM)

$$YM = TTM + TSM \quad (6.1)$$

Denlem (6.1) ile bir türbinin yatırım maliyeti bulunmaktadır.

Rüzgar türbin ömrü 20 yıl olarak kabul edilmiştir.

Denklem (6.2) ile bakım-onarım maliyeti ve denklem (6.3) ile hurda maliyeti hesaplanmaktadır [54, 55].

$$\text{Bakım-onarım maliyeti } (BOM) = \frac{TSM}{TÖ} * \%25 \quad (6.2)$$

$$\text{Hurda maliyeti } (HM) = YM * \%10 \quad (6.3)$$

Türbinlerim maliyet analizleri çıkarılırken, türbin sisteminin birim fiyat analizleri çok önemli olmaktadır. Birim fiyat analizlerinde güncel değerler dikkate alınmıştır. Çalışmada sistem fiyatları bulunurken, sistem sanal market araştırmalarından, rüzgar türbin kataloglarından ve güncel makalelerden yararlanılmıştır. Türbin sistem bileşenlerinin fiyatları dolar ve Euro para birimleri üzerinden bulunmuştur. Buna göre de, 10.03.2010 tarihinde Türkiye Merkez

Bankasından alınan verilere göre Euro 2,01 TL ve Dolar 1,50 TL üzerinden işlem görmektedir[56].

Türbin maliyet analizlerinde, şimdiki değer faktörü (PWF) kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Şimdiki değer faktörü, PWF hesaplanırken, enflasyon ve faiz oranlarının dikkate alınması maliyet kârında doğru değerlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Yapılan maliyet analizinde, toplam yatırım maliyeti denklem (6.4) deki gibi formülize edilmiştir [57].

$$TYM = YM + BOM - HM ; \quad \text{üretim} > \text{ihtiyaç} \quad (6.4)$$

Denklem (6.4) ile bir türbinin yatırım maliyeti net olarak hesaplanabilir.

Çizelge 6.7 de türbinlerin maliyet analizleri gösterilmektedir. 24.12.2009 tarihi itibarıyla, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK)'nın, elektrik piyasası tarifelerinde verilmiş olan Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından belirlenen iletim tarifeleri için meskenlerde, elektrik kullanım fiyatı ve kullanım bedeli toplamı 0,22542 TL/kWh olarak belirlenmiştir. Elektrik kullanım fiyatı üzerine %18 KDV ve %5,1 özel tüketim vergisi de eklenerek, elektrik kullanım birim fiyatı 0,28294 TL/kWh olmaktadır [17]. Yapılan bu çalışmada, meskenler için kullanılan elektrik birim fiyatı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Sistemden üretilen enerjinin, piyasaya satılması yerine mesken ihtiyacı için tamamının kullanılması kabul edilmiştir. Çizelge 6.7 de elektrik birim fiyatı gösterilmektedir. Üretilen enerjinin getirisi de buna göre hesaplanmıştır.

Çizelge 6.7 Türbinlerin maliyet analizleri.

Türbin tipi		Birim	Türbin maliyeti (TL)	Türbin ömrü (yıl)	Tesis inş. maliyeti (TL)	Bakım-Onarım maliyeti (TL)	Hurda maliyeti (TL)	Yatırım maliyeti (TL)	TEİAŞ birim fiyatı (TL/kWh)	Üretilen enerjinin geliri (TL/kWh yıl)
E40	500	kW	870.000,0	20	174.000,0	10.875,0	87.000,0	1.044.000,0	0,28	117.483,9
N43	600	kW	1.042.500,0	20	208.500,0	13.031,3	104.250,0	1.251.000,0	0,28	129.429,1
E48	800	kW	1.125.000,0	20	225.000,0	14.062,5	112.500,0	1.350.000,0	0,28	202.089,9
E53	800	kW	1.192.500,0	20	238.500,0	14.906,3	119.250,0	1.431.000,0	0,28	191.056,5
V52	850	kW	1.230.000,0	20	246.000,0	15.375,0	123.000,0	1.476.000,0	0,28	218.965,3
E44	900	kW	1.320.000,0	20	264.000,0	16.500,0	132.000,0	1.584.000,0	0,28	164.649,2
N-S77	1500	kW	1.935.000,0	20	387.000,0	24.187,5	193.500,0	2.070.000,0	0,28	397.045,1
V82	1650	kW	2.115.000,0	20	423.000,0	26.437,5	211.500,0	2.142.000,0	0,28	473.620,5
V100	1800	kW	2.250.000,0	20	450.000,0	28.125,0	225.000,0	2.331.000,0	0,28	531.801,0
E82	2000	kW	2.265.000,0	20	453.000,0	28.312,5	226.500,0	2.691.000,0	0,28	552.702,2
E70	2300	kW	2.280.000,0	20	456.000,0	28.500,0	228.000,0	2.700.000,0	0,28	548.710,3
N90	2300	kW	2.340.000,0	20	468.000,0	29.250,0	234.000,0	2.808.000,0	0,28	415.640,2
N80	2500	kW	2.475.000,0	20	495.000,0	30.937,5	247.500,0	2.970.000,0	0,28	406.194,6
N100	2501	kW	2.550.000,0	20	510.000,0	31.875,0	255.000,0	3.060.000,0	0,28	686.379,2

2009 yılında Maliye Bakanlığı tarafından verilen enflasyon istatistikleri açıklamalarında, yıllık enflasyon oranının %11 olduğu açıklanmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası 2009 yılı tüketici endeksi verilerinden paranın satın alma gücünün %6,5 olarak açıklamaktadır [56].

Buna göre ;

$$i = \text{Faiz oranı} = 0,065$$

$$g = \text{Enflasyon oranı} = 0,11 \text{ olmaktadır.}$$

$$PWF = \frac{1 - (1 + \dot{I}^*)^{-L}}{\dot{I}^*} \quad (6.5)$$

Denklem (6.5) ile şimdiki faktör değeri (PWF) bulunur.

$$\dot{I}^* = \begin{cases} \frac{i - g}{1 - g}; & i > g \\ \frac{g - i}{1 + i}; & i < g \end{cases} \quad (6.6)$$

$\dot{I}$ = Faiz oranı , g = Enflasyon oranı

Denklem (6.6) ile enflasyon ve faiz oranları kullanılarak, şimdiki değer faktörü (PWF) bulunmuştur [57].

Şimdiki değer faktörünün (PWF) maliyet analizinde kullanılmasıyla, tercih edilen türbinler arasında en uygun maliyetli olanını ve kar getirisinin hangi türbin için en yüksek olduğu tespit edilmiştir. PWF, faktörünün bulunmasıyla türbinler arasında, türbin ömrü süresince enflasyon ve faiz değerlerine göre kâr elde edilip edilmeyeceğini, yatırımın kârlılığını değerlendirme yapmamızı sağlamaktadır.

Çizelge 6.8 ile rüzgar türbinlerinin şimdiki değer faktörüne göre kârlılıklarını göstermektedir. Yapılan çalışmada PWF değeri faiz değerinin enflasyon değerinden büyük olması durumunda 13,32 olarak bulunmuştur. Çizelge 6.8 de bulduğumuz PWF değerine göre türbinlerin kârları da gösterilmektedir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde şimdiki değer faktörünün 13,32 değerinde 14 tip rüzgar türbinin de kâr getirdiği görülmektedir. PWF değerinin 5 ve üzerinde olması durumlarında türbin yatırımlarında kâra geçileceği görülmektedir. Çalışmada, PWF değerinin 13,32 olduğu durumda en yüksek kâr getirisi 5.912.996 TL ile 2500 kW gücündeki Nordex-100 türbinidir. Kâr miktarı ile 1800 kW gücü olan Vestas-100 türbini ikinci sırada bulunmaktadır.

600 kW gücünde Nordex-43 türbini en az kâr getirisi olan türbin olarak görülmektedir. Yapılan kabuller sonucunda, seçilen rüzgar türbinlerin hepsinde şimdiki faiz ve enflasyon değerleri mevcut iken türbin ömrü boyunca yatırımların kârlı olabileceği söylenebilmektedir.

Rüzgar türbinlerinin yatırımlarının getirilerini hesaplamanın yanı sıra, hesaplanan kârlar ile yatırımın geri ödeme süreleri bulunmalıdır.

Çizelge 6.8 Rüzgar türbinlerinin kâr değerleri.

PWF	RÜZGAR TÜRBİNLERİ													
	E40	N-43	E48	E53	V52	E44	N-S77	V82	V100	E82	E70	N90	N80	N100
1	850.391,1	1.030.352,1	1.049.472,6	1.135.599,8	1.149.409,7	1.303.850,8	1.713.642,4	1.813.317,0	1.909.824,0	1.962.610,3	1.981.789,7	2.187.609,8	2.347.242,9	215.0495,8
2	743.782,1	913.954,2	861.445,1	959.449,6	945.819,3	1.155.701,6	1.340.784,9	1.366.134,0	1.406.147,9	1.438.220,6	1.461.579,4	1.801.219,5	1.971.985,7	149.5991,7
3	637.173,2	797.556,3	673.417,7	783.299,3	742.229,0	1.007.552,4	967.927,3	918.950,9	902.471,9	913.830,9	941.369,1	1.414.829,3	1.596.728,6	841.487,5
4	530.564,2	681.158,4	485.390,3	607.149,1	538.638,7	859.403,2	595.069,7	471.767,9	398.795,9	389.441,1	421.158,8	1.028.439,0	1.221.471,5	186.983,3
5	423.955,3	564.760,6	297.362,8	430.998,9	335.048,3	711.254,0	222.212,1	24.584,9	-104.880,2	-134.948,6	-99.051,5	642.048,8	846.214,4	-467.520,8
6	317.346,3	448.362,7	109.335,4	254.848,7	131.458,0	563.104,8	-150.645,4	-422.598,1	-608.556,2	-659.338,3	-619.261,7	255.658,5	470.957,2	-1.122.025,0
7	210.737,4	331.964,8	-78.692,0	78.698,4	-72.132,3	414.955,6	-523.503,0	-869.781,1	-1.112.232,2	-1.183.728,0	-1.139.472,0	-130.731,7	95.700,1	-1.776.529,2
8	104.128,4	215.566,9	-266.719,5	-97.451,8	-275.722,7	266.806,4	-896.360,6	-1.316.964,2	-1.615.908,3	-1.708.117,7	-1.659.682,3	-517.122,0	-279.557,0	-2.431.033,3
9	-2480,5	99.169,0	-454.746,9	-273.602,0	-479.313,0	118.657,2	-1.269.218,1	-1.764.147,2	-2.119.584,3	-2.232.507,4	-2.179.892,6	-903.512,2	-654.814,1	-3.085.537,5
10	-109.089,5	-17.228,9	-642.774,3	-449.752,2	-682.903,3	-29.492,0	-1.642.075,7	-2.211.330,2	-2.623.260,3	-2.756.897,1	-2.700.102,9	-1.289.902,4	-1.030.071,3	-3.740.041,7
12	-322.307,4	-250.024,7	-1.018.829,2	-802.052,7	-1.090.084,0	-325.790,4	-2.387.790,9	-3.105.696,2	-3.630.612,4	-3.805.676,6	-3.740.523,5	-2.062.682,9	-1.780.585,5	-5.049.050,0
13	-428.916,3	-366.422,6	-1.206.856,6	-978.202,9	-1.293.674,3	-473.939,6	-2.760.648,4	-3.552.879,3	-4.134.288,4	-4.330.066,3	-4.260.733,8	-2.449.073,2	-2.155.842,7	-5.703.554,2
13,32	-463.031,2	-403.669,9	-1.267.025,4	-1.034.571,0	-1.358.823,2	-521.347,4	-2.879.962,8	-3.695.977,8	-4.295.464,8	-4.497.871,0	-4.427.201,1	-2.572.718,1	-2.275.924,9	-5.912.995,5
14	-535.525,3	-482.820,4	-1.394.884,0	-1.154.353,1	-1.497.264,7	-622.088,8	-3.133.506,0	-4.000.062,3	-4.637.964,5	-4.854.456,0	-4.780.944,1	-2.835.463,4	-2.531.099,8	-6.358.058,3
15	-642.134,2	-599.218,3	-1.582.911,5	-1.330.503,4	-1.700.855,0	-770.238,1	-3.506.363,6	-4.447.245,3	-5.141.640,5	-5.378.845,7	-5.301.154,4	-3.221.853,7	-2.906.356,9	-7.012.562,5

Rüzgar türbinlerinin yatırımlarının getirilerini hesaplamanın yanı sıra, hesaplanan kârlar ile yatırımın geri ödeme süreleri bulunmalıdır. Buna göre de, Çizelge 7.9 ile seçilen türbinlerin geri ödeme süreleri verilmektedir.

Çizelge 6.9 Rüzgar türbinlerin geri ödeme süreleri.

Türbin tipi (kW)		Yatırım maliyeti (TL)	Üretilen yıllık enerji miktarı (kWh)	TEİAŞ birim fiyatı (TL/kWh)	Kullanılan türbin sayısı	Geri ödeme süresi (yıl)
E40	500	1.044.000,0	4.195.855,0	0,28	10	11
N43	600	1.251.000,0	4.160.222,1	0,28	9	13
E48	800	1.350.000,0	3.608.749,0	0,28	5	8
E53	800	1.431.000,0	4.094.067,0	0,28	6	9
V52	850	1.476.000,0	3.910.095,0	0,28	5	8
E44	900	1.584.000,0	4.116.230,3	0,28	7	13
N-S77	1500	2.070.000,0	2.836.036,2	0,28	2	8
V82	1650	2.142.000,0	3.383.003,8	0,28	2	7
V100	1800	2.331.000,0	1.899.289,4	0,28	1	7
E82	2000	2.691.000,0	3.947.873,0	0,28	2	7
E70	2300	2.700.000,0	3.919.359,2	0,28	2	8
N90	2300	2.808.000,0	2.968.858,8	0,28	2	8
N80	2500	2.970.000,0	2.901.390,2	0,28	2	9
N100	2500	3.060.000,0	2.451.354,2	0,28	1	7

Rüzgar türbinlerinin geri ödeme sürelerine bakılırsa, Vestas-82, Vestas-100, Enercon-82 ve Nordex-100 tipi rüzgar türbinlerinin yatırım maliyetlerini geri ödeme süreleri 7 yıldır. Nordex-43 ve Enercon-44 türbin tipleri 13 yıl geri ödeme süreleri ile yatırımın kâra geçmesini en fazla bekleyen rüzgar türbinleri olmaktadır.

7. SONUÇLAR

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisine verilen önem her geçen gün artmaktadır. Rüzgar enerjisi, enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yatırım geri ödemeleri olmayan, politik ve ekonomik açılarından diğer ülkelere bağılılığı azaltan yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynak türü olmaktadır.

Yapılan çalışmada, Temmuz 2001 ve Ekim 2002 yıllarında tespit edilen rüzgar verilerine göre, 14 tip rüzgar türbinin yıllık ürettikleri enerji miktarları, ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama oranları, uygun türbin sayıları, maliyet analizleri ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çıkarılan bu sonuçlara göre, ortalama 4,6 m/s hıza sahip Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı için en uygun türbin tipinin, 2500 kW gücüne sahip Nordex-100 tipi türbin olabileceği tespit edilmiştir. Merkez kampüs alanında elektrik enerji ihtiyacının 4.228.200 kWh olduğu bilinmektedir. 2500 kW gücüne sahip bu rüzgar türbininden 1 adet kullanılarak, 7 yılda yatırım maliyetini geri ödediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yapılan kabullere göre 2500 kW gücünde Nordex-100 tipi türbinin kullanılması ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanında 2009 yılında harcanan elektrik enerjisini karşılamak üzere seçilmesi uygun görülmüştür.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırım maliyetleri fazla olsa da, yatırım maliyetlerini karşılayıp, artı olarak avantajlar kazandırması nedeniyle tercih edilmelidir. Türkiye, yenilenebilir enerji potansiyelleri ile zengin bir ülkedir. Yapılan ve yapılması gerekli olan bundan sonraki tüm enerji kaynaklı çalışmalarda, yenilenebilir enerji kaynakları ilk sırada olmalıdır.

8. ÖNERİLER

Hızla artan enerji ihtiyacımız ve büyük çoğunluğunu fosil kökenli yakıtlarla karşıladığımız enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması, dünya ülkelerini sürekli enerji kaynakları aramaya yöneltmiştir. Sürekli enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını; rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle ve hidroelektrik enerjiler oluşturmaktadır. Günümüz enerji kaynakları temiz, sürekli olan enerji kaynakları olmalıdır. Çalışmada, rüzgar enerjisi kullanılarak elektrik enerji ihtiyacımızın karşılanabileceği görülmüştür. Türkiye, yenilenebilir enerji potansiyellerini kullanarak, elektrik enerji ihtiyacını temiz ve sorunsuz karşılayabilir. Bu da, kısıtlı olan fosil kökenli yakıtların rezerv ömürlerini arttıracak, temiz çevre oluşturacaktır. Dolayısıyla, yenilenebilir enerji kaynaklı enerji kullanımı üzerinde durulmalı ve desteklenmelidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Köse, R., Özgür, M. A. (2003), Dumlupınar üniversitesi kampus alanında rüzgar enerjisi potansiyelinin araştırılması, DPÜ Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 5, s. 255-270, Kütahya.
- [2] Anonim, (2009), Nüfus istatistikleri ve potansiyeli, <http://www.tuik.gov.tr>, son erişim: Nisan 2009.
- [3] Anonim, (2009), Türkiye elektrik istatistikleri , <http://www.teias.gov.tr>, son erişim: Mart 2009
- [4] Anonim, (2009), Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgar enerjisi, <http://www.eie.gov.tr>, son erişim: Nisan 2009.
- [5] Anonim, (2009), Climatic reserach unit, <http://www.cru.uea.ac.uk>, son erişim: Mart 2009.
- [6] Anonim, (2009), Renewable statios report, <http://www.ren21.com>, son erişim: Ağustos 2009.
- [7] Anonim, (2009), Enerji ve tabi kaynaklar bakanlığı, istatistik, <http://www.enerji.gov.tr>, son erişim: Temmuz 2009.
- [8] Anonim, (2009), Elektrik işleri etüt dairesi genel müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/YEK>, son erişim: Eylül 2009.
- [9] Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları (2006), Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Aralık.
- [10] Anonim, (2009), Devlet su işleri genel müdürlüğü, <http://www.dsi.gov.tr>, son erişim: Eylül 2009.
- [11] Makine Mühendisleri Odası (2009), Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu, Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği.
- [12] Anonim, (2009), Rüzgar enerjisi, <http://www.alternaturk.org/ruzgar.php>, son erişim; Mayıs 2009.
- [13] Anonim, (2009), Rüzgar türbininin çalışma prensibi, <http://www.turksan.com/images/ruzgar>, son erişim; Haziran 2009.
- [14] Anonim, (2009), Global wind energy council, <http://www.gwec.net>, son erişim; Mayıs 2009.
- [15] Anonim, (2009), Global statistics, <http://www.ewea.org>, son erişim; Mart 2009.
- [16] Anonim, (2009), Türkiye rüzgar enerji birliği, <http://www.ruzgarenerjibirliğı.org.tr>, son erişim; Temmuz 2009.
- [17] Anonim, (2009), Enerji piyasası düzenleme kurulu, <http://www.epdk.gov.tr>, son erişim; Ağustos 2009.
- [18] Rahman, F., 1996, Prospects of Wind energy in Bangladesh, Renewable Energy, vol.9, p: 806-809.
- [19] Dündar, C. and İnan, D., 1996, Investigation on Wind Energy Application Possibilities for a Spesific Island (Bozcaada) in Turkey, Renewable Energy, vol.9, p.822-826.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [20] Dündar, C., 1997, Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgeleri İçin Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 85 s.
- [21] Şen, Z., 1999, Terrain Topography Classification For Wind Energy Generation, Renewable Energy, vol.16, p.904-907.
- [22] Öztopal, A., Şahin, A.D., Akgün, N., Şen, Z., 2000, On the Regional Wind Energy Potential of Turkey, Energy, vol.25, p.189-200.
- [23] Durak, M., 2000, Rüzgar Enerjisi Teknolojisi ve Türkiye Uygulaması: Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 153 s.
- [24] Durak, M., Şen, Z., 2000, Wind Power Potential in Turkey and Akhisar Case Study, Renewable Energy, vol.25, p: 463-472.
- [25] Mungwena, W., 2002, The Distribution and Potential Utilizability of Zimbabwe's Wind Energy Resource, Renewable Energy, vol.26, p: 363-377.
- [26] Köse, R., Işık, A., Buran, D., Özgür, M.A., Erbaş, O., Urtekin, L., 2002, Kütahya'da Seçilen Bir Konumda Rüzgar Verileriyle Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Bulunması, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, Proje No:17, Kütahya, 75 s.
- [27] Deniz, A. ve Erdoğan, F., 16-18 Ekim 2002, Batı Anadolu İçin Potansiyel rüzgar enerjisi Değerlendirmeleri, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, s.469-477, İstanbul.
- [28] Tokgozlu, A., Aslan, Z., 2002, Isparta'da Otomatik Rüzgar Hızı Ölçümlerinin Analizi, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, s.537-544.
- [29] Bilgili, M., Şahin, B., Akıllı, H., 22-24 Mayıs 2003, Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesine Etki Eden Parametrelerin Analizi, I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Denizli, 76-82, 7 s.
- [30] Rehman, S., 2003, Wind Energy Resources Assessment for Yanbo, Saudi Arabia, Energy Conversion and Management, vol.45, p:2019-2032.
- [31] Özerdem, B., Türkeli, H.M., 2004, Wind Energy Potential Estimation and Micrositing on İzmir Institute of Technology Campus, Turkey, Renewable Energy, vol.28, p:1013-1027
- [32] Bilgili, M., Şahin, B., Kahrman, A., 2004, Wind Energy Potential in Antakya and Iskenderun Regions, Turkey, Renewable Energy, vol.29, p.1733-1745.
- [33] Hrayshat, E.S., 2004, Wind Availability and Its Potential for Electricity Generation in Tafila, Jordan, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.9, p:111-117.
- [34] Ramachandra, T.V., Shruthi, B.V., 2004, Wind Energy Potential Mapping in Karnataka, India, Using GIS, Energy Conversion and Management, vol.46, p: 1561-1578.
- [35] Akpınar, E.K., Akpınar, S., 2004, An Assessment on Seasonal Analysis of Wind Energy Characteristics and Wind Turbine Characteristics, Energy Conversion and Management, vol.46, p: 1848-1867.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [36] Al-Abbadi, N.M., 2004, Wind Energy Resource Assessment for Five Locations in Saudi Arabia, Renewable Energy, vol.30, p:1489-1499.
- [37] Şahin, B., Bilgili, M., Akıllı, H., 2004, The Wind Power Potential of the Eastern Mediterranean Region of Turkey, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.93, p:171-183.
- [38] Shata, A.S.A., Hanitsch, R., 2005, Evaluation of Wind Energy Potential and Electricity Generation on the Coast of Mediterranean Sea in Egypt, Renewable Energy, p:1-20.
- [39] Anonim, (2009), NREL, National renewable energy laboratory, <http://www.nrel.gov/wind>, son erişim; Nisan 2009.
- [40] Anonim, (2009), Renewable UK., <http://www.bwea.com/onshare>, son erişim; Şubat 2009.
- [41] Şen, Ç. (2003), Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [42] Anonim, (2009), Düşey eksenli rüzgar türbini, <http://www.bilgisistem.com.tr/rüzgar> enerjisi, son erişim; Şubat 2009.
- [43] Anonim, (2008), Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri, http://www.tr.wikipedia.org/wiki/Resim:Coriols_effect14.png, son erişim; Eylül 2008.
- [44] Özgür, M. A. (2002), Kütahya'da seçilen bir konumda rüzgar verileriyle elektrik enerjisi üretim potansiyelinin bulunması, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [45] Anonim, (2009), Rüzgar türbin elemanları, http://www.powerelektronik.com/tr/urunlervegunesenerji_sistemleri, son erişim; Haziran 2009.
- [46] Anonim, (2009), Eskişehir meteoroloji bölge müdürlüğü, <http://www.eskisehir.meteor.gov.tr/merkezler>, son erişim: Eylül 2009.
- [47] Anonim, (2009), Vestas türbin katalog, <http://www.vestas.com>, son erişim: Temmuz 2009.
- [48] Anonim, (2009), Nordex türbin katalog, <http://www.vestas.com>, son erişim: Temmuz 2009.
- [49] Anonim, (2009), Enercon türbin katalog, <http://www.enercon.de/windturbine>, son erişim: Temmuz 2009.
- [50] Raqleb, M. (2010), Theory of wind machines. Betz Equation.
- [51] Vardar, A. (2008), Rüzgar enerji teknolojileri 1, sunum.
- [52] (2009), İdari Mali İşler Daire Başkanlığı, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Rektörlük Binası.
- [53] Horijan, K., Upaili, M. A., Memon, M., Mirza, U. K. (2009), Assessment of centralized grid connected wind power cost in coastal area of Pakistan, Renewable Energy 34, 369-373 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [54] Rehman, S., Halawoni, T. O., Mohandes, M. (2003), Wind power cost assessment at twenty locations in the kingdom of Saudi Arabia, 2002, Renewable Energy 28, 373-583 s.
- [55] Ahmed Shata, A. S., Honitsch, R. (2006), Evaluation of wind energy potential and electricity generation on the coast of Mediterranean Sea in Egypt, Renewable Energy 31, 1183-1202 p.
- [56] Anonim, (2010), Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, <http://www.tcmb.gov.tr>, son erişim: Şubat 2010.
- [57] Arslan, O. (2009), Technoeconomic analysis of electricity generation from wind in Kutahya, Turkey, Energy 35, 120-131 p.