

KÜTAHYA İLİ
RÜZGAR HIZI POTANSİYELİNİN ANALİZİ
Abdülaziz SARIGÜL
Yüksek Lisans Tezi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Ekim-2010

KÜTAHYA İLİ RÜZGAR HIZI POTANSİYELİNİN ANALİZİ

Abdülaziz SARIGÜL

Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. N. Serdar TUNABOYLU

Ekim-2010

KABUL VE ONAY SAYFASI

Abdülaziz SARIGÜL'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “**Kütahya İli Rüzgar Hızı Potansiyelinin Analizi**” başlıklı bu çalışma jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

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

Üye : Yrd. Doç. Dr. N. Serdar TUNABOYLU (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Mehmet KURBAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Celal YAŞAR

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

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KÜTAHYA İLİ RÜZGAR HIZI POTANSİYELİNİN ANALİZİ

Abdülaziz SARIGÜL

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2010

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. N. Serdar TUNABOYLU

ÖZET

Dünya nüfusunun hızla artması ile birlikte insanların enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Tüketicinin büyük bir kısmının karşılandığı fosil enerji kaynaklarının hızla azalması ve atık gazlarından dolayı küresel ısınmanın başlıca sorumlusu olmaları, bilim adamlarını, doğaya zarar vermeyecek yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrolik, güneş, biokütle, jeotermal ve rüzgâr enerjisi son yıllarda büyük önem kazanmaya başlamıştır.

Rüzgar enerjisi, fosil yakıt kullanımına ihtiyaç duymadığından çevre dostu bir enerji biçimidir. Rüzgar türbinlerinin, termik santraller ya da dizel santraller gibi emisyonları yoktur. Bu tür emisyonlar, asit yağmurları ve küresel ısınmaya neden olan sera etkisine yol açmaktadır. Rüzgar enerjisinin en önemli özelliği, yenilenebilir enerji kaynağı olmasıdır. Bu sebepten fosil yakıtlar gibi tükenmesi söz konusu değildir.

Ülkemizde ve dünyada hızla artan enerji ihtiyacı, bu artış karşısında mevcut tükenir enerji kaynaklarında azalma ve bazı kaynakların yol açtığı sorunlar; yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını gündeme getirmiştir.

Bu çalışmada Kütahya, Simav, Tavşanlı ve Gediz için rüzgar hızı potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölgenin özellikleri de dikkate alınarak kurulacak rüzgar türbininin hangi yükseklikte kurulması gerektiği konusunda fikir vermek amacıyla yerden yükseklik arttıkça rüzgar hız değişimleri ortaya konulmuştur. Hesaplamalar 50 metre ve 100 metre yüksekliğe göre yapılmıştır. Çalışmada Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan Kütahya, Simav, Tavşanlı ve Gediz istasyonlarına ait 2000-2009 yılları arasında kayıt edilen veriler kullanılarak bu istasyonlar arasında rüzgar potansiyeli en uygun yer belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar, Rüzgar Hızı, Kütahya, Rüzgar Potansiyeli, Rüzgar Santrali

THE WIND SPEED POTENTIAL ANALYSIS OF KUTAHYA PROVINCE

Abdülaziz SARIGÜL

Electrical Electronics Engineering, M.S. Thesis, 2010

Thesis Supervisor: Assist.Prof. N.Serdar TUNABOYLU

SUMMARY

Due to the rapid increase in the world population, the energy consumption has also increased. Since the rapid decline of fossil based energy sources in which the major consumption requirement is met and their effect on global warming due to the sera gases; scientists concentrated their research on alternative renewable and eco-friendly energy sources. Among the renewable energy sources; hydraulic, solar, bio-mass, geothermal and wind energy have gained much importance in the past years.

The wind energy is a clean renewable energy and does not depend on the fossil fuel. The wind power plants do not have air polluting emissions. In the conventional power plants, these kind of emissions causes the greenhouse effect, the acid rain and the global warming.

Increasing demand for energy both in our country and in the world, the decrease in the available energy resources and some problems caused by some resources point out the importance of new and renewable energy resources.

This study is based on the statistical analysis of the wind speed for Kütahya, Simav, Tavşanlı and Gediz regions. The wind speed changes are presented depending on the altitude and the installation height of the wind turbine. The calculations were made for 50 meters and 100 meters height values. In this study the site, which is the most suitable with respect to the wind potential was determined according to the wind data taken between the years 2000 – 2009, which is provided by the official measurements and recordings from State Meteorology General Directorate for the mentioned regions.

Keywords: The Wind, The Wind Speeds, Kutahya Province, The Wind Potential, The Wind Power Plants

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince anlayışı, rehberliği, yorumları ve önerileri için danışmanım Yrd. Doç. Dr. N.Serdar Tunaboğlu'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunmama katılan değerli hocalarım Doç. Dr. Mehmet Kurban'a, Yrd. Doç. Dr. Celal Yaşar'a teşekkürlerimi sunarım.

Örnekleme kısmında önerileri ile çalışmama destek olan Doç. Dr. Ali Vardar'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca gerek derslere gerekse tez çalışmasına iştirak etmem hususunda müsaade ve desteklerini esirgemeyen İl Telekom Müdürü Sayın Şükrü Yıldırım'a, Erişim Şebekesi Müdürü Sayın Ferhat Cantürk'e teşekkürlerimi sunarım.

İş yerinde olmadığımda yokluğumu aratmadıkları ve gösterdikleri sabır için Şebeke Amirleri Sayın Fikri Saraç'a, Sayın Mustafa Burmaoğlu'na, Sayın Hüseyin Karacık'a ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bana sağladığı kaynaklar ve teknik destek için kardeşim Makine Yüksek Mühendisi Abdülkadir Sarıgül'e, bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi destekleriyle bana her zaman güç olan, eğitim aşığı kıymetli babam Halil Sarıgül'e, manevi destekleriyle her zaman yanımda olan kıymetli annem Zarife Sarıgül'e, kardeşlerime ve yeğenlerime şükran borçluyum.

Ekim 2010

Abdülaziz SARIGÜL

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Tanımı	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın Yöntemi.....	2
2. RÜZGAR ENERJİSİ	3
2.1. Rüzgar Oluşumu.....	3
2.2. Rüzgar Çeşitleri.....	4
2.3. Rüzgar Enerjisi	4
2.4. Rüzgar Enerjisinin Avantajları	5
2.5. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları.....	5
2.6. Dünya’da Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi ve Son Durumu	6
2.7. Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi ve Son Durumu	16
2.8. Rüzgar Enerjisi ile Elektrik Üretimi.....	19
2.9. Rüzgar Türbinin İç Yapısı	21
2.9.1. Makine yeri	23
2.9.2. Pervane	23
2.9.3. Kule.....	23
2.9.4. Frenleme sistemi	23
2.9.5. Dişli kutuları	23
2.9.6. Yaw (saptırma) mekanizması	24
2.9.7. Göbek.....	24

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devamı)

	<u>Sayfa</u>
2.9.8. Düşük hız mili.....	24
2.9.9. Mekanik frenli yüksek hız mili	24
2.9.10. Jeneratör.....	24
2.9.11. Kontrol sistemi.....	25
2.9.12. Soğutma birimi	25
2.9.13. Eğim mekanizması.....	25
2.9.14. Anemometre ve yelkovan	25
2.10. Rüzgar Ölçüm Cihazları ve Ölçüm Tekniği.....	25
2.10.1. Rüzgar gözlem istasyonu (RGİ).....	26
2.11. Rüzgar Enerjisi Hakkında Kütahya İlinde Yapılmış Çalışmalar.....	27
3.RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	29
3.1. Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri	29
3.1.1. Düşey eksenli rüzgar türbinleri.....	29
3.1.2. Yatay eksenli rüzgar türbinleri	30
3.2. Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri	32
3.2.1. Mikro türbinler.....	32
3.2.2. Küçük güçlü rüzgar türbinleri.....	32
3.2.3. Orta güçlü rüzgar türbinleri	32
3.2.4. Büyük güçlü rüzgar türbinleri.....	32
3.3. Kanat Sayısına Göre Rüzgar Türbinleri	33
3.3.1. Tek kanatlı rüzgar türbinleri	33
3.3.2. İki kanatlı rüzgar türbinleri	33
3.3.3. Üç kanatlı rüzgar türbinleri.....	33
3.4. Çalışma Hızlarına Göre Rüzgar Türbinleri	33
3.4.1. Düşük hızlarda çalışan rüzgar türbinleri.....	34
3.4.2. Yüksek hızlarda çalışan rüzgar türbinleri	34
4. KÜTAHYA İLİNİN COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ.....	35
4.1. Kütahya'nın Konumu ve Yer Yüzü Şekilleri	35
4.2. Kütahya'nın İklimi	36
4.3. Kütahya'nın Rüzgar Özellikleri	37
4.4. Rüzgar Hızı Potansiyelinin Belirlenmesi	37
4.4.1. Logaritmik fonksiyon bağıntısı ve Hellmann yükseltme bağıntısı	37
4.5. Kütahya İlının Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009)	44
4.6. Tavşanlı İlçesinin Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009)	49

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devamı)

	<u>Sayfa</u>
4.7. Simav İlçesinin Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009).....	55
4.8. Gediz İlçesinin Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009)	59
4.9. Kütahya Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselsel Gösterimleri (2000-2009).....	65
4.10. Tavşanlı Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselsel Gösterimleri (2000-2009)...	69
4.11. Simav Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselsel Gösterimleri (2000-2009)	74
4.12. Gediz Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselsel Gösterimleri (2000-2009).....	79
4.13. Aylara Göre Rüzgar Hız Dağılımları (2000-2009)	85
4.14. Yıllara Göre Rüzgar Hız Dağılımları (2000-2009)	91
4.15. 10-50-100 Metreye Göre Ortalama Yıllık Rüzgar Hızları (2000-2009)	97
4.16. Yıllara ve Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımları (2000-2009).....	100
4.17. Gediz’de Su Çıkarma Amaçlı Kurulacak Rüzgar Türbinlerinin Su Çıkarma Kapasitelerinin Örnek Bir Yıl İçin Hesaplanması	103
5. TARTIŞMA VE SAYISAL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	108
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR DİZİNİ	112
EKLER.....	115
Ek 1. Kütahya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA).....	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Rüzgarın oluşumu	3
2.2. Avrupa ülkelerindeki rüzgar enerjisi kurulu gücü	9
2.3. Global kümülatif res (rüzgar enerjisi santrali) kurulu güç artışı (1996-2009)	10
2.4. Global yıllık kurulan res (rüzgar enerjisi santrali) kapasitesi (1996-2009)	11
2.5. Avrupa rüzgar atlası	12
2.6. Kıtalarla göre yıllık kurulu rüzgar gücü artışı	12
2.7. Türkiye'nin en büyük rüzgar enerjisi santrali (Sanko Çatalca res)	19
2.8. Güç elektroniği devresi ile dolaylı şebeke senkronizasyonu	21
2.9. Rüzgar türbininin başlıca elemanları	21
2.11. Kupa tipi anemometre	22
2.12. Rüzgar gözlem istasyonu	27
3.1. Düşey eksenli rüzgar türbini	30
3.2. Yatay eksenli rüzgar türbini	31
4.1. Türkiye haritası üzerinde Kütahya'nın yeri	35
4.2. Kütahya il haritası	36
4.3. Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği	38
4.4. Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği	38
4.5. Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi örneği	38
4.6. Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi örneği	39
4.7. Kütahya 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	65
4.8. Kütahya 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	65
4.9. Kütahya 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	66
4.10. Kütahya 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	66
4.11. Kütahya 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	67
4.12. Kütahya 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	67
4.13. Kütahya 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	68
4.14. Kütahya 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	68
4.15. Kütahya 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	69
4.16. Kütahya 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	69
4.17. Tavşanlı 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	70
4.18. Tavşanlı 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.19. Tavşanlı 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	71
4.20. Tavşanlı 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	71
4.21. Tavşanlı 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	72
4.22. Tavşanlı 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	72
4.23. Tavşanlı 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	73
4.24. Tavşanlı 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	73
4.25. Tavşanlı 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	74
4.26. Tavşanlı 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği.....	74
4.27. Simav 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	75
4.28. Simav 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	75
4.29. Simav 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	76
4.30. Simav 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	76
4.31. Simav 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	77
4.32. Simav 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	77
4.33. Simav 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	78
4.34. Simav 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	78
4.35. Simav 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	79
4.36. Simav 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	79
4.37. Gediz 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	80
4.38. Gediz 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	80
4.39. Gediz 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	81
4.40. Gediz 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	81
4.41. Gediz 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	82
4.42. Gediz 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	82
4.43. Gediz 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	83
4.44. Gediz 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	83
4.45. Gediz 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	84
4.46. Gediz 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği	84
4.47. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya.....	86
4.48. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı.....	87
4.49. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav	89

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.50. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz.....	91
4.51. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya.....	92
4.52. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı	94
4.53. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav	95
4.54. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz	96
4.55. 10 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)	98
4.56. 50 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)	99
4.57. 100 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)	100
4.58. 2000-2009 Yılları genel toplam ortalama rüzgar hız dağılımları.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Avrupa’da 2009 yılı sonu itibari ile kurulu rüzgar gücü	8
2.2. AB’ye erişim halindeki ülkelerde durum	9
2.3. Diğer Avrupa ülkelerinde 2009 yılı sonu itibari ile kurulu rüzgar gücü	10
2.4. En büyük 10 pazardaki kurulu rüzgar gücü	13
2.5. Ülkelerin 2009 kapasite artışı ve artış yüzdesi	14
2.6. Kuzey Amerika kurulu rüzgar gücü.....	14
2.7. Latin Amerika ülkeleri kurulu rüzgar gücü	15
2.8. Pasifik ülkeleri kurulu rüzgar gücü	15
2.9. Afrika ve Orta Doğu ülkeleri kurulu rüzgar gücü	15
2.10. Asya ülkeleri kurulu rüzgar gücü	16
2.11. Dünya kurulu rüzgar gücü	16
2.12. EPDK’ya yapılmış başvurular	17
2.13. Türkiye’de işletmede olan rüzgar elektrik santralleri	17
2.14. Senkron güç elde edilme yöntemleri	20
4.1. Pürüzlülük uzunluğu ve yüzey yapısı özelliklerine göre pürüzlülük sınıfları.....	40
4.2. Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi	42
4.3. Kütahya ilinde bulunan istasyonların hakim rüzgar yönleri ve rakımları	44
4.4. Kütahya 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	44
4.5. Kütahya 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	45
4.6. Kütahya 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	45
4.7. Kütahya 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	46
4.8. Kütahya 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	46
4.9. Kütahya 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	47
4.10. Kütahya 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	47
4.11. Kütahya 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	48
4.12. Kütahya 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	48
4.13. Kütahya 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri.....	49
4.14. Tavşanlı 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	50
4.15. Tavşanlı 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	50
4.16. Tavşanlı 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	51
4.17. Tavşanlı 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	51

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.18. Tavşanlı 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	52
4.19. Tavşanlı 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	52
4.20. Tavşanlı 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	53
4.21. Tavşanlı 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	53
4.22. Tavşanlı 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	54
4.23. Tavşanlı 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	54
4.24. Simav 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	55
4.25. Simav 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	55
4.26. Simav 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	56
4.27. Simav 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	56
4.28. Simav 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	57
4.29. Simav 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	57
4.30. Simav 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	58
4.31. Simav 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	58
4.32. Simav 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	59
4.33. Simav 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	59
4.34. Gediz 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	60
4.35. Gediz 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	60
4.36. Gediz 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	61
4.37. Gediz 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	61
4.38. Gediz 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	62
4.39. Gediz 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	62
4.40. Gediz 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	63
4.41. Gediz 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	63
4.42. Gediz 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	64
4.43. Gediz 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	64
4.44. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya.....	85
4.45. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı.....	87
4.46. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav	88
4.47. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz.....	90
4.48. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya.....	92

ÇİZELGELER DİZİNİ (DEVAMI)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.49. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı	93
4.50. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav	94
4.51. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz	96
4.52. 10 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)	97
4.53. 50 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)	98
4.54. 100 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)	99
4.55. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Kütahya	100
4.56. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Tavşanlı	101
4.57. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Simav	101
4.58. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Gediz	102
4.59. 2000-2009 Yılları genel toplam ortalama rüzgar hızları	102
4.60. 2000-2009 Yılları genel toplam ortalama rüzgar hızları	106

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
V	Rüzgar Hızı (m/s)
m/s	Hız Birimi (metre/saniye)
m	Metre
V _{ort}	Ortalama Rüzgar Hızı m/s
AC	Alternatif (Değişken) Akım
DC	Doğru (Sabit) Akım
P	Güç(Watt)
K _w	Kilowatt
V _{ist}	İstenen Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)
V _{ölç}	Ölçülen Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)
H _{ist}	Çıkılması İstenen Yükseklik (m)
H _{ölç}	Ölçüm Yapılan Yükseklik (m)
α	Hellmann Katsayısı
H	Suyun Çıkarılacağı Toplam Yükseklik (Manometrik Yükseklik)
η	Sistemde Kullanılacak Pistonlu Pompanın Verimi
γ	Suyun Özgül Ağırlığı
h	Rüzgar Türbininin Yüksekliği
d	Rüzgar Türbininin Rotor Çapı
ρ	Havanın Özgül Ağırlığı
C _p	Rotorların İdeal Güç Katsayısı
P (W)	Rüzgar Türbininin Aktif Gücü
A	Kesit Alan
Q (lt/s)	Çıkarılan Su Miktarı (litre/saniye)
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
RES	Rüzgar enerjisi santrali
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
TÜREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
REPA	Rüzgar enerjisi potansiyeli atlası
EWEA	Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (European Wind Energy Association)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanımı

Dünyada her geçen gün artan nüfus ve sanayileşme, enerjiye olan ihtiyacın artmasını da beraberinde getirmektedir. Enerji, insan hayatında ulaşım, iletişim, üretim vs. gibi vazgeçilmez durumda olan faaliyetlerin karşılanması için gerekli en önemli faktördür. Kısacası enerji, günümüz koşullarında insanoğlunun hayatını belirli standartlarda sürdürebilmesi için temel ihtiyaçlar arasında yerini almıştır.

Enerji ihtiyacı tükenebilir kaynaklardan sağlanabildiği gibi tükenmeyen alternatif kaynaklardan da sağlanabilmektedir. Fakat tükenbilir kaynakların rezervlerinin gün geçtikçe azalması insanları tükenmeyen alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. İnsanların yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmelerinin önemli sebebi; enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan mevcut yenilenemeyen enerji kaynaklarının soluduğumuz havaya ve yaşadığımız çevreye verdikleri büyük zararlar olmuştur. Bu durumda dikkat edilmesi gereken bir husus, seçilen enerji kaynağının dünyanın yaşanabilirlik ortamının korunmasına yardımcı olması ve çevreye verilen zararı en aza indirebilecek nitelikte olmasıdır.

Çağın teknoloji çağı olmaya doğru hızla ilerlediği bu zamanda, yaşamı kolaylaştırıcı teknolojik gelişmelerin ortaya çıkmasının yanında, yapılan her buluşun kaynağının çevreye olan zararları düşünülerek bilinçli bir şekilde hareket etmek gerekir.

Artan enerji ihtiyacına karşılık mevcut yenilenemeyen enerji kaynakları giderek azalmaktadır. Bu azalma sonucunda bu kaynakların bir gün tükeneceği gerçeği insanları tedirgin etmeye başlamıştır. Bu tedirginlik insanları, alternatif enerji kaynaklarından daha fazla yararlanabilme konusunda daha hassas davranmaya teşvik etmiş ve her geçen zamanda daha fazla araştırma içine girmelerini sağlamıştır.

Fosil yakıtların giderek tükenmesine ek olarak, enerji üretiminden kaynaklanan çevresel etkilerin geri dönüşsüz bir şekilde dünyanın doğal yapı ve dengesi üzerinde yapmış olduğu tahribat endişe verici düzeylere ulaşmıştır. Bu endişe yaklaşık 6 milyar nüfusa sahip dünya ülkelerini harekete geçirerek bu konuyla ilgili protokoller hazırlanmasına, alternatif enerji kaynaklarına teşvikler sağlanmasına yol açmıştır.

Özet olarak; insanlık, vazgeçilmez olan enerjinin üretiminde bilinçli davranarak tükenmeyen kaynaklara yönelmeli ve giderek küreselleşen dünyayı daha temiz tutmaya katkı sağlayacak üretim yolları seçmelidir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada modern yaşam için gerekliliği her geçen gün artan temiz enerji üretimine değinilmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgardan elektrik enerjisi üretiminin Kütahya ili için uygulanabilirliğinin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca ileride Kütahya ili için rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi konusunda yapılacak somut çalışmalar için kaynak oluşturmak bu çalışmanın bir diğer amacıdır.

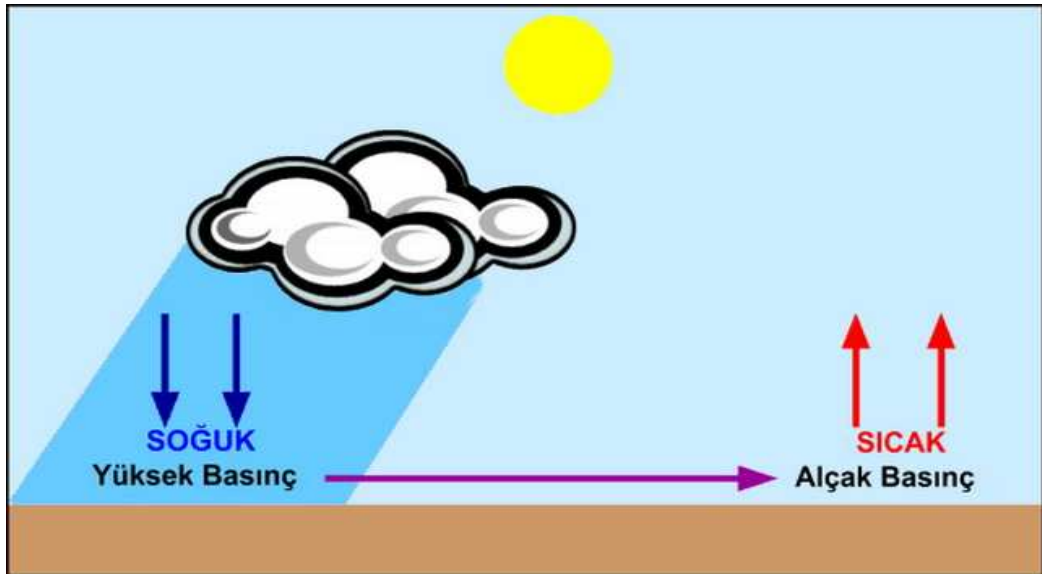
1.3. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinin Dünya’da ve Türkiye’deki durumu hakkında araştırma yapılmış, Kütahya ili için bu araştırma derinleştirilmiştir. Rüzgar enerjisi hakkında bir çok kitap, dergi, benzer bilimsel çalışmalar incelenmiş ve internet üzerinde geniş kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Çalışmanın temel konusu olan Kütahya ili için, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden son 10 yılın (2000-2009) aylık ortalama rüzgar hızları alınmış, bu değerler tablolara ve grafiklere aktararak uygun görülen yüksekliklerde rüzgar hızı hesaplamaları yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar üzerine uygun koşulların sağlanıp sağlanamadığı analiz edilmeye çalışılmıştır.

2. RÜZGAR ENERJİSİ

2.1. Rüzgar Oluşumu

Rüzgarı bir yerden bir yere giden hava olarak tanımlarız. Havanın ısınması, ısınan kütlenin genişlemesine, dolayısı ile harekete geçerek yükselmesine neden olur. Ancak yükselen hava kütlesi atmosferin dışına çıkamayacağından, önce dikey sonra yatay yönde hareket eder. İşte bu noktada havanın ısınıp kütsel olarak yer değiştirmesi, basıncın oluşmasına neden olur. Ancak atmosferin yaptığı basınç dünyanın her yerinde aynı değildir, çünkü yerçekimine, sıcaklığa ve bulunulan yerin yüksekliğine bağlı olarak değişir. Bu şekilde yüksek ve alçak basınç merkezleri oluşur. Atmosferdeki yüksek basınç alanları tepelere, alçak basınç alanları ise çukurlara benzetilebilir. Hava akıcı olduğundan, çekimin etkisi altında yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru, sanki yamaçlardan akan su gibi hareket eder ve rüzgarları meydana getirir [1].



Şekil 2.1. Rüzgarın oluşumu [2]

Bu basınç farkının oluşmasına neden olan şey ise genellikle Güneş'tir. Gün içinde güneş ışınları atmosferde çok düzgün bir dağılımla soğurulmaz. Kimi bölgeler daha çok enerji alırken kimi bölgeler daha az alabilir. Ve böylece atmosferde farklı sıcaklık bölgeleri oluşur [1].

Şekil 2.1 'de rüzgarın oluşumu basit bir şekilde gösterilmiştir. Buna göre soğuk bölgede aşağı doğru mavi oklar bulunmaktadır. Bu oklar soğuyan havanın alçalma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Yani soğuk hava daha yoğun olup yere doğru çökmektedir. Bu durumda bu bölgede yüksek bir basınç oluşur. Sıcak bölgedeki yukarı doğru kırmızı oklar ise yükselmekte olan havayı temsil etmektedir. Isınan hava yükselir ve bölgedeki basınç düşer. Böylece yüksek hava basıncının olduğu soğuk bölgeden sıcak bölgeye doğru hava akımı başlar. Bu olayda rüzgar olarak adlandırılır [1].

2.2. Rüzgar Çeşitleri

Tüm dinamik hava olayları atmosferin yeryüzüne en yakın tabakası olan troposfer de gerçekleşmektedir. Yüzey rüzgarları yeryüzünden yaklaşık 100m'lik yükseklik içerisinde tanımlanır. Bu nedenle yeryüzünden çok fazla etkilenir. Yere yakın düzeylerde yüzey rüzgarı ile geostrofik rüzgar yönünün farklı olmasının nedeni budur.

Rüzgarlar; yerel rüzgarlar, deniz meltemi, kara meltemi ve geostrafik rüzgar olmak üzere 4'e ayrılır. [3].

2.3. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde aynı derecede ısıtmamasından dolayı oluşan sıcaklık ve basınç farkları rüzgarı yaratmaktadır. Rüzgar, yüksek basınç alanından alçak basınç alanına yer değiştiren havanın dünya yüzeyine göre bağlı hareketidir. Rüzgar enerjisinde rüzgarın hızı, yönü ve esme saat sayısı gibi özellikleri değerlendirilir. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı olarak artar. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi, seçilecek bölgenin meteorolojik özelliklerine ve kullanılacak türbinin tasarımına bağlıdır [4].

Rüzgar enerjisinden mekanik enerji üretimi ve elektrik enerjisi üretimi şeklinde yararlanılmaktadır. Rüzgar enerjisinin şaft gücünden yararlanılarak elde edilen mekanik enerji, su pompalama, tahıl öğütme, kesme, sıkıştırma ve yağ çıkarma alanlarında kullanılmaktadır. Rüzgar enerjili pompalama sistemlerinin elektrik veya dizelli pompalara göre birçok avantajları vardır. Rüzgar enerjisi doğada bol bulunan bedava bir enerji kaynağıdır. Karmaşık bir yapıya sahip olmadıkları için bakım ve onarım masrafları da yok denecek kadar azdır. Rüzgar enerjisinden faydalanılarak üretilen elektrik özellikle; kırsal alanlarda, ormanlık ve dağlık bölgelerde, adalarda, deniz fenerlerinde, çiftliklerde, yangın kulelerinde kullanılmaktadır. Günümüzde büyük güçlü rüzgar santralleri, elektrik şebekesine bağlı ve birden fazla türbin içeren rüzgar çiftlikleri biçimindedir [4].

Dünya rüzgar enerji potansiyelinin, 50° kuzey ve güney enlemleri arasındaki alanda 26.000 TWh/yıl olduğu ve ekonomik ve diğer nedenlerden dolayı 9.000 TWh/yıl kapasitenin kullanılabilir olduğu hesaplanmaktadır. Dünya karasal alanları toplamının %27'sinin yıllık ortalama 5.1 m/s'den daha yüksek rüzgar hızının etkisi altında kaldığı belirtilmektedir. Bu rüzgar enerjisinden yararlanma imkanının olabileceği varsayımıyla 8 MW/km² üretim kapasitesi ile 240.000 GW kurulu güce sahip olunacağı hesaplanmaktadır [4].

2.4. Rüzgar Enerjisinin Avantajları

- Temiz bir enerji kaynağıdır. Atmosfere zehirli gaz salınımı olmaz
- İhtiyacınız olan enerjiyi satın aldığınız kurum ve kuruluşlara bağımlılığınızı azaltır.
- Yerel bir enerji kaynağıdır, dışa bağımlı değildir.
- Yatırım alanının % 1'ini kullanır, bu alanlarda tarım ve hayvancılık faaliyetleri yapılabilir.
- Ucuz bir enerji kaynağıdır.
- Termik, hidrolik vb. santrallerle, ekonomik açıdan rekabet edecek düzeye gelmiştir. KWh başına maliyet 4,5-6 cent civarındadır ve bunun yakın zamanda daha da düşeceği tahmin edilmektedir.
- İstihdam yaratır.
- Enerji üretmek için kullanılan hammaddelerin ithalini önleyerek ekonomide rahatlık yaratır.
- Elektriğin ulaştırılamadığı bölgelerde istihdam sağlar ve yaşam standardını artırır, kalkınmayı hızlandırır.
- Değişen yakıt ve enerji fiyatlarından etkilenme riski yoktur.
- Uygun koşulların sağlandığı her yere kurulabilir [5].

2.5. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları

- Gürültü kirliliğine neden olabilir. Rüzgar türbinlerinde iki çeşit gürültü vardır. Mekanik gürültü ve aerodinamik gürültü. Mekanik gürültü uygun malzemelerin kullanımı ve iyi izolasyonuyla en aza indirgenebilir. Aerodinamik gürültü ise bir

arabanın içindeki gürültünün yarısı kadardır. Bu da rüzgar türbinlerinin yerleşim yerleri gözetilerek uygun alanlara kurulmasıyla önemsiz hale getirilebilir.

- Görüntü kirliliğine sebep neden olabilir. Burada büyük türbinler, küçük türbinlerden daha düşük dönme hızına sahip olduklarından, büyük türbinler, hızlı dönen cisimlerin gözde yaptığı olumsuz etkiyi yapmaz. Ayrıca boru tipi kuleler göze daha hoş göründüklerinden, görüntü kirliliğini önlemek için boru tipi kuleler tercih edilmektedir.
- Radyo ve TV sinyallerini bozabilir. Fakat bu etki 2-3 km' lik alanla sınırlı kalmaktadır ve türbin yerleşimi bu tür olgulara dikkat edilerek yapılırsa, olumsuz etkiler azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir.
- Göçmen kuşların göç yollarında, kuşlara zarar verebilir. Fakat rüzgar türbinleri nedeniyle bilinen kuş ölümü seyrekir. Genellikle kuş ölümlerine yüksek gerilim hatları neden olmaktadır. Danimarka'da, 3.500 rüzgar türbini üzerinde yapılan araştırmaya göre, yılda 20.000-25.000 kuş rüzgar türbinlerine çarpma sonucu ölürken, yaklaşık 1 milyon kuş ise trafikteki araçlar tarafından öldürülmüştür.(Greenpeace Türkiye)
- Bölgesel olarak değişmekle birlikte, genelde düşük verimlidir (%30).
- Rüzgar türbinleri az veya çok kuvvetli rüzgarlarda çalışamazlar [6].

2.6. Dünya'da Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi ve Son Durumu

1960' lı yıllardan sonra rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde ekonomik nedenlerden dolayı azalma meydana gelmiştir. Daha ucuz olan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz vb.) kullanılarak yapılan termik santraller popüler olmaya başlamıştı. 1973 dünya petrol krizi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artmasına sebep olmuştur. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların kısıtlı kullanım sürelerinin olması, enerjinin elde edilmesi sırasında çevreye yapılan tahribat ve gelecek nesillerin de enerji ihtiyacı dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılmaktadır [7].

Rüzgar enerjisi; özellikle 1990'lı yıllardan itibaren önemli bir gelişme göstermiş, Amerika ve Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Yapılan araştırmalara göre; su an yürütülmekte olan politikaların devam etmesi durumunda dünya üzerindeki elektrik enerjisi üretimindeki payının hızla artacağı tahmin edilmektedir [7].

Enerji fiyatlarındaki artış, arz güvenliği sıkıntısı ve talepteki yükselişle beraber dünya, yönünü ucuz ve yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgara çevirmiştir. Dünya Rüzgar Enerjisi Konseyi verilerinden derlenen bilgilere göre, dünyadaki rüzgar enerjisi kurulu gücü son 10 yılda 9'a katlamıştır [8].

Buna göre 2000 yılında 17 bin 400 MW (megavat) olan dünya rüzgar kapasitesi, 2008 yılında 120 bin 550 MW'a, 2009 yılında da 157 bin 899 MW'a ulaştı. Böylece, dünya genelinde rüzgar enerjisinde Türkiye'nin elektrik üretiminde toplam kurulu gücüne yakın bir miktar olan 37 bin 466 MW'lık yeni kapasite devreye girdi. Verilere göre, Rüzgar enerjisi kurulu güç kapasitesinde ilk sırada % 22,3'lük pay ve 35 bin 159 megavatlık güç ile Amerika, ikinci sırada % 16,3'lük pay ve 25 bin 777 MW ile Almanya bulunuyor. Bunu % 15,9'luk pay 25 bin 104 MW'lık güç ile Çin, 19 bin 149 MW güç ile de İspanya izliyor. Rüzgar enerjisi kapasitesi Hindistan'da 10 bin 926 MW düzeyinde. Söz konusu ülkeleri rüzgar enerjisi anlamında zengin Avrupa ülkeleri izliyor. Rüzgar enerjisi kurulu gücü İtalya'da 4 bin 850 MW, Fransa'da 4 bin 492 MW, İngiltere'de 4 bin 51 MW, Portekiz'de 3 bin 535 MW, Danimarka'da 3 bin 465 MW düzeyinde bulunuyor. Söz konusu 10 ülke, dünyadaki toplam rüzgar enerjisi kurulu gücünün % 86,5'ini oluşturmaktadır [8].

2009 yılında dünya genelinde toplam 37 bin 466 MW rüzgar gücü devreye girdi. 2009'da dünya genelinde rüzgar enerjisine en çok yatırımı Çin yaptı. Buna göre Çin, 2009'da 13 bin MW'lık rüzgar enerjisi gücü yatırımı yaptı. Bunu 9 bin 922 MW'lık yatırım ile Amerika izledi. Avrupa ülkelerinden İspanya 2 bin 459 MW ile üçüncü sırada, Almanya 1.917 MW'lık yatırımla dördüncü sırada yer aldı. 2009'da Hindistan 1271 MW, İtalya 1114 MW, Fransa 1088 MW, İngiltere 1077 MW, Kanada 950 MW, Danimarka 334 MW gücünde rüzgar santralini devreye aldı [8].

Avrupa Birliği Ülkeleri, rüzgar enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarının artırılmasına yönelik hedeflere odaklanmıştır. Avrupa'daki ve diğer bölgelerdeki ülkeler bu hedefleri tutturabilmek için çeşitli piyasa destek yöntemlerini benimsemişlerdir. Bu ülkeler, üretilen birim enerji başına prim ödenmesinden, özel tarifeler uygulanmasına, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan elektrik santrallerine vergi teşviki ve sübvansiyondan enerji üreticilerinin enerji arzlarının gittikçe artan bir yüzdesini yenilenebilir kaynaklardan elde etmeye zorunlu olmasına kadar dayanan bir takım yöntemlerden faydalanmışlardır. 2009 yılı içerisinde de Avrupa'da rüzgar enerjisi kullanımı artarak devam etmiştir. Almanya liderliğini korumuştur ve İspanya hemen onu takip etmektedir. İtalya ve Fransa'da kullanımı ise gittikçe artmaktadır. AB'ye yeni üye olan ülkeler RES kullanımında

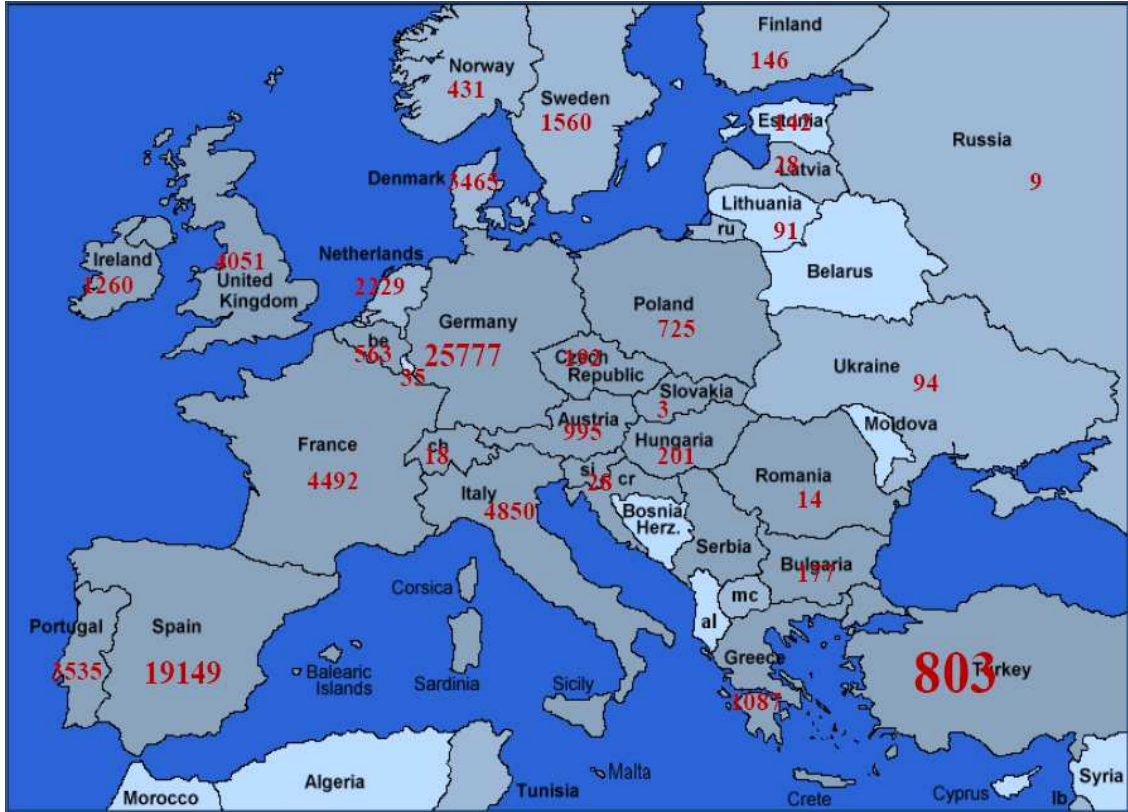
henüz istenilen seviyede değildir. Orta ve Batı Avrupa Ülkeleri, Doğu Avrupa Ülkelerine doğru yönelmektedir. Avrupa'daki 4 ana ülke ise, Almanya ve İspanya basta olmak üzere Fransa ve İtalya'dır. Ayrıca deniz üstü (off-shore) RES kurulu gücü de 2061 MW olup Avrupa'daki toplam kurulu güç olan 76,152 MW içerisinde %2.7 orana sahip olmakla beraber, deniz üstü RES projelerinin önümüzdeki yıllarda artacağı tahmin edilmektedir.

Avrupa ülkelerin 2008 yılı itibariyle ve 2009 da eklenen kurulu güçleri Çizelge 2.1 'de görülmektedir. AB Ülkelerinde 2008 yılı sonu 65,741 MW kurulu gücün üzerine, 2009 yılında 10,526 MW kurulu güç eklenerek toplam kurulu güç 76,152 MW olmuş ve sektör %16 yıllık büyüme gerçekleştirmiştir [9].

Çizelge 2.1. Avrupa'da 2009 yılı sonu itibari ile kurulu rüzgar gücü [9]

ÜLKELER	2008 KURULU GÜÇ (MW)	2009 YILI EKLENEN GÜÇ (MW)	2009 SONU KURULU GÜÇ (MW)
ALMANYA	23,903	1917	25,777
İSPANYA	16,689	2459	19,149
DANİMARKA	3163	334	3465
HOLLANDA	2225	4	2229
İTALYA	3736	1114	4850
İNGİLTERE	2974	1077	4051
AVUSTURYA	995	0	995
İSVEÇ	1048	512	1560
YUNANİSTAN	985	102	1087
PORTEKİZ	2862	673	3535
FRANSA	3404	1088	4492
İRLANDA	1027	233	1260
BELÇİKA	415	149	563
POLONYA	544	181	725
FİNLANDİYA	143	3	146
LİTVANYA	54	37	91
LETONYA	27	1	28
LÜKSEMBURG	35	0	35
ÇEK CMH.	150	44	192
SLOVAKYA	3	0	3
ESTONYA	78	64	142
MACARİSTAN	127	74	201
BULGARİSTAN	120	57	177
ROMANYA	11	3	14
AVRUPA TOPLAM	65,741	10,526	76,152
DENİZ ÜSTÜ	1479	582	2061

Avrupa ülkelerinin 2009 yılı sonu itibariyle sahip oldukları rüzgar kurulu güçlerin Avrupa haritasındaki dağılımı Şekil 2.2 'da görülmektedir.



Şekil 2.2. Avrupa ülkelerindeki rüzgar enerjisi kurulu gücü [9]

Ülkemizin de aralarında olduğu AB'ye erişim halinde olan ülkelerin kurulu güçleri Çizelge 2.2 'de görülmektedir.

Çizelge 2.2. AB'ye erişim halindeki ülkelerde durum [9]

ÜLKELER	2008 Sonu Kurulu Güç (MW)	2009 Yılı Eklenen Güç (MW)	2009 Sonu Kurulu Güç (MW)
HIRVATİSTAN	18	10	28
TÜRKİYE	458	345	803
TOPLAM	446	355	831

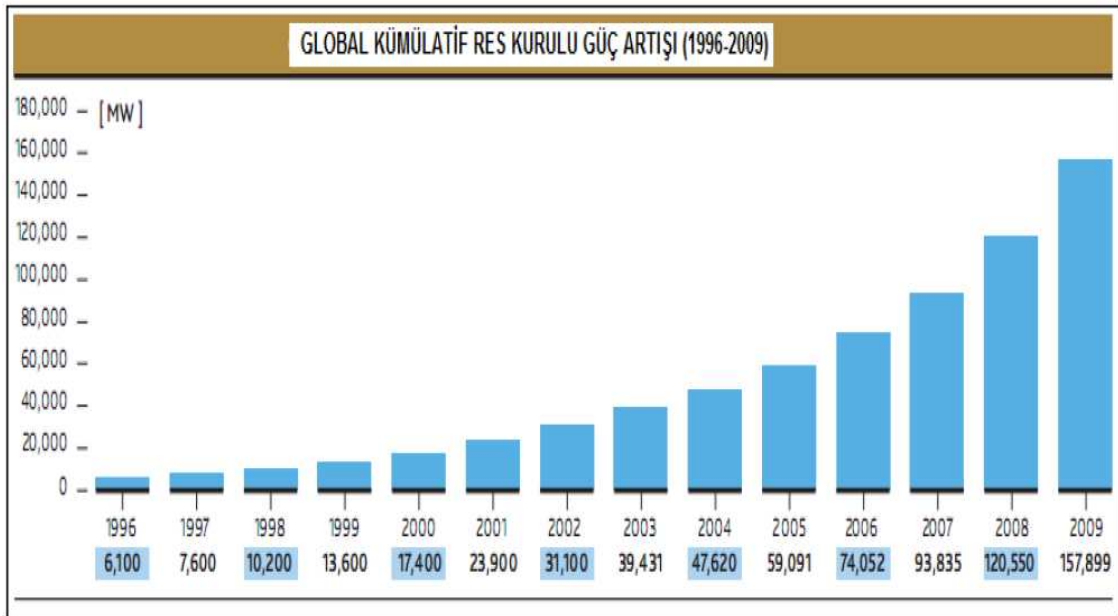
Diğer Avrupa ülkelerinde 2009 yılı sonu itibari ile kurulu rüzgar güçleri Çizelge 2.3 'te görülmektedir.

Çizelge 2.3. Diğer Avrupa ülkelerinde 2009 yılı sonu itibari ile kurulu rüzgar gücü [9]

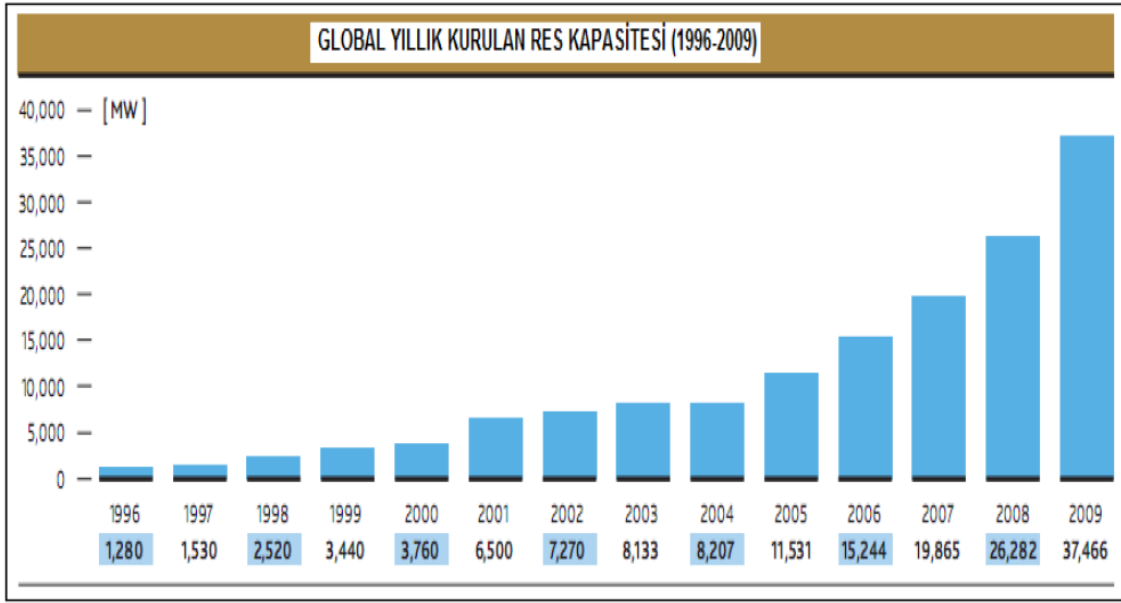
ÜLKELER	2008 Sonu Kurulu Güç (MW)	2009 Yılı Eklenen Güç (MW)	2009 Sonu Kurulu Güç (MW)
FAROE ADALARI	4	0	4
UKRAYNA	90	4	94
RUSYA	9	0	9
TOPLAM	103	4	107

Avrupa ülkeleri ile ilgili olarak yukarıdaki tablolardan görüldüğü gibi, 2008 yılı sonu 65,741 MW; 2009 yılı içerisinde 10,163 MW kurulu güç eklenerek 2009 yılı sonu itibarı ile toplamda kurulu güç 76,152 MW'tır [9].

Avrupa'da olduğu gibi, bütün dünyada rüzgar enerjisi en hızlı yayılan enerji kaynağı olmuştur. Global olarak 1996-2009 yılları arasındaki yıllık kümülatif artış Şekil 2.3 'de görülmektedir. Özellikle 2005 yılından sonra ciddi bir artış gözlenmiştir. Bunda sadece Avrupa ülkelerinin değil; Amerika, Çin ve Hindistan'ın kurulu güç artışları etki etmiştir [9].

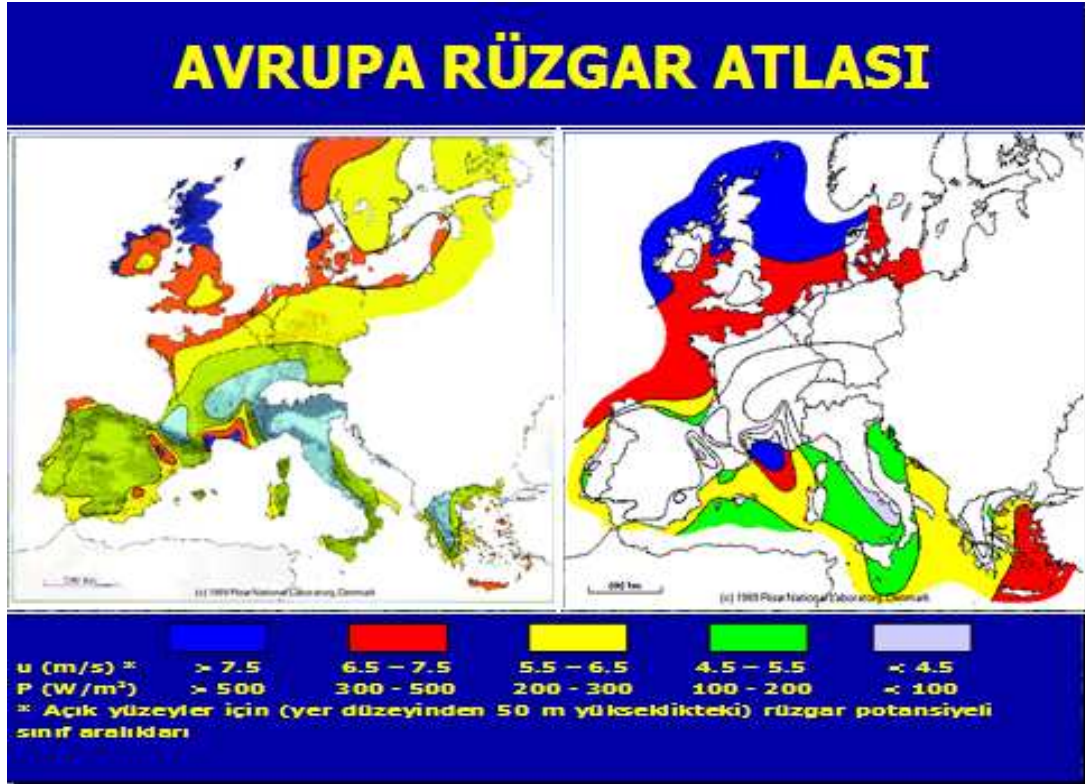
**Şekil 2.3.** Global kümülatif RES (rüzgar enerjisi santrali) kurulu güç artışı (1996-2009) [9]

1996-2009 arasındaki yıllık global rüzgar enerjisi kurulu gücünün artışı Şekil 2.4 'de görülmektedir. 2006 yılından sonra yıllık 15,000 MW üzerine çıkan bir RES kapasitesi, 2009 yılında 37,466 MW olarak rekor kırmıştır [9].



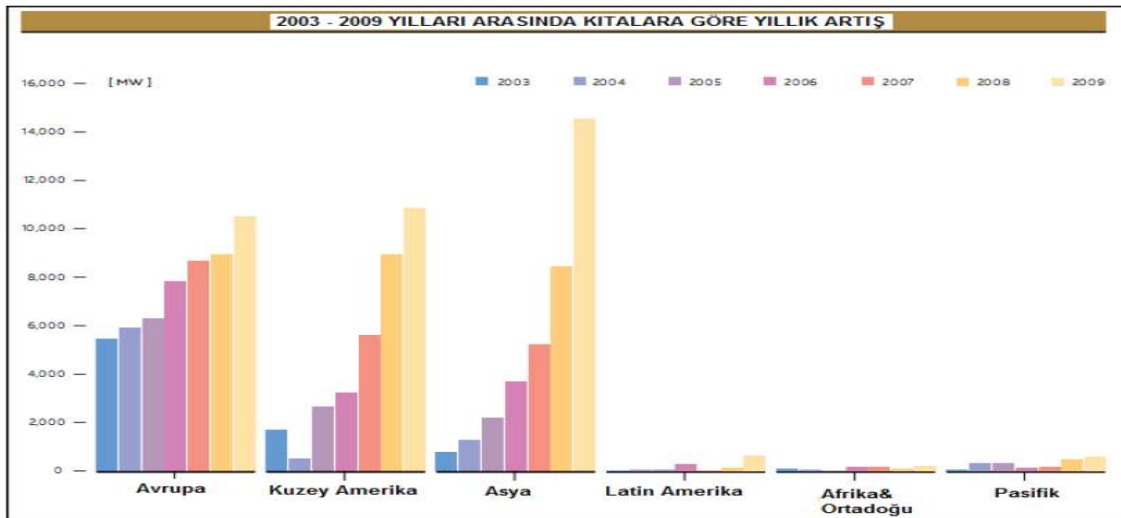
Şekil 2.4. Global yıllık kurulan RES (rüzgar enerjisi santrali) kapasitesi (1996-2009) [9]

Dünya rüzgar enerjisi kullanımında önemli payları olan Avrupa ülkelerinin ortalama rüzgar güç yoğunlukları ve ortalama rüzgar hızlarının yer aldığı Avrupa rüzgar atlası Şekil 2.5 'de görülmektedir.



Şekil 2.5. Avrupa rüzgar atlası [10]

Kıtalara göre 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 ve 2009 yıllarında eklenen kurulu güçler Şekil 2.6 'da görülmektedir. 2009 yılında Asya kıtası Çin ve Hindistan'daki gelişmeler sebebi ile ciddi bir artış göstermiştir [9].



Şekil 2.6. Kıtalara göre yıllık kurulu rüzgar gücü artışı [9]

2009 yılında eklenen en yüksek kurulu güç, 13,000 MW ile Çin’de olmuş ve onu ABD 9922 ile izlemiştir. İspanya 2459 MW ile üçüncü, Almanya 1917 MW ile dördüncü ve Hindistan 1271 MW ile ilk besisi oluşturmaktadır. Bu anlatılanların ışığında dünyadaki en büyük 10 pazar ve kurulu güçleri Çizelge 2.4 ‘te verilmiştir. Tabloda ayrıca diğer dünya ülkeleri de verilmiştir. Rakamlar, 2009 yılı sonu itibari ile [9].

Çizelge 2.4. En büyük 10 pazardaki kurulu rüzgar gücü [9]

ÜLKELER	KURULU GÜÇ (MW)	PAZAR PAYI (%)
ABD	35,159	22.3
ALMANYA	25,777	16.3
ÇİN	25,104	15.9
İSPANYA	19,149	12.1
HİNDİSTAN	10,926	6.9
İTALYA	4850	3.1
FRANSA	4492	2.8
İNGİLTERE	4051	2.6
PORTEKİZ	3535	2.2
DANİMARKA	3465	2.2
HOLLANDA	1746	2.3
EN BÜYÜK 10 PAZAR	136,508	86.5
DÜNYANIN GERİ KALANI	21,391	13.5
DÜNYA TOPLAM	157,899	100

2009 yılı sonu itibarı ile dünyada toplam 157,899 MW toplam kurulu güç bulunmakta ve Avrupa 76,152 MW ile rüzgar enerjisinde liderliğini korumaktadır. Toplam dünya kurulu rüzgar gücünün %48’ine sahip Avrupa, 2009 yılında %16 büyüyerek toplam kurulu elektrik kapasitesinin %6’sını rüzgar enerjisinden karşılar hale gelmiştir [9].

Çin Pazarı da 1 Ocak 2006’da çıkan Yenilenebilir Enerji Kanunu ile büyümeye başlayarak 2009 yılında 13,000 MW eklemiş ve %110’luk bir büyüme gerçekleştirmiştir.

Avustralya, 2009 yılı sonunda 1712 MW kurulu rüzgar gücüne ulaşmıştır. Eyalet merkezli teşvik sistemi ile bu büyüme trendini devam ettirmek istemektedirler. 2009 yılında 406 MW yeni kapasite eklenmiştir. Genç bir pazar olan Afrika ve Ortadoğu’da ise, Mısır (430 MW), Fas (253 MW) ve İran (91 MW) dikkati çekmektedir. %36’ya yakın bir büyüme gerçekleştirmişlerdir.

Dünyadaki 10 büyük pazarın ve diğer ülkelerin 2009 yılında eklediği kapasite ve bu kapasitenin yüzde olarak karşılık gelen değeri de Çizelge 2.5 ‘de görülmektedir. Görüldüğü

gibi Çin 2009 yılında %34.7'lik artışla dünyada ilk sırayı almaktadır. 2010 yılındaki gelişmelere bakılırsa bu durum devam edecek gibi gözükmemektedir [9].

Çizelge 2.5. Ülkelerin 2009 kapasite artışı ve artış yüzdesi [9]

ÜLKELER	KAPASİTE ARTIŞI (MW)	ARTIŞ YÜZDESİ (%)
ÇİN	13,000	34.7
ABD	9922	26.5
İSPANYA	2459	6.6
ALMANYA	1917	5.1
HİNDİSTAN	1271	3.4
İTALYA	1114	3
FRANSA	1088	2.9
İNGİLTERE	1077	2.9
KANADA	950	2.5
PORTEKİZ	673	1.8
EN BÜYÜK 10	33,471	89.3
DÜNYANIN GERİ KALANI	3994	10.7
DÜNYA TOPLAM	37,466	100

Bölgesel olarak ise izleyen sayfalarda kurulu güçler verilmiştir. Tablolarda 2008'deki kapasite 2009 yılında eklenen ve 2009 yılı sonu görülmektedir. Çizelge 2.6 'da Kuzey Amerika verilmiştir. Özellikle ABD 2009 yılı içerisinde 9922 MW ekleyerek toplamda 35,159 MW kurulu güçle dünya liderliğini Almanya'nın elinden almıştır [9].

Çizelge 2.6. Kuzey Amerika kurulu rüzgar gücü [9]

ÜLKELER	2008 Yılı Sonu (MW)	2009 Yılı Eklenen(MW)	2009 Yılı Sonu (MW)
A.B.D.	25,237	9922	35,159
KANADA	2369	950	3319
TOPLAM	27,606	10,872	38,478

Latin Amerika Ülkeleri 2008 itibari ile ve 2009 yılı sonu itibariyle kurulu rüzgar güçleri Çizelge 2.7 'de verilmiştir. Bu ülkeler içerisinde Brezilya dikkati çekmektedir [9].

Çizelge 2.7. Latin Amerika ülkeleri kurulu rüzgar gücü [9]

ÜLKELER	2008 Yılı Sonu (MW)	2009 Yılı Sonu Eklenen (MW)	2009 Yılı Sonu (MW)
BREZİLYA	341	264	606
MEKSİKA	85	117	202
ŞİLİ	20	148	168
KOSTA RİKA	74	50	123
NİKARAGUA	0	40	40
KARAYİPLER	35	0	35
ARJANTİN	29	2	31
URUGUAY	20	0	20
JAMAİKA	22	1	23
KOLOMBİYA	20	0	20
DİĞER 5 ÜLKE	6	0	6
TOPLAM	653	622	1274

Pasifik Bölgelerdeki ülkelerde bulunan RES kurulu güçleri Çizelge 2.8 ‘de görülmektedir. Avustralya gittikçe artan bir oranda rüzgar enerjisine doğru yönelmektedir [9].

Çizelge 2.8. Pasifik ülkeleri kurulu rüzgar gücü [9]

ÜLKELER	2008 Yılı Sonu (MW)	2009 Yılı Eklenen (MW)	2009 Sonu (MW)
AVUSTRALYA	1306	406	1712
YENİ ZELANDA	325	171	497
P. ADALARI	12	0	12
TOPLAM	1643	577	2221

Afrika ve Orta Doğu Ülkelerine ait kurulu rüzgar gücü değerleri, Çizelge 2.9 ‘da görülmektedir. Mısır ve Fas umut verici pazarlar arasındadır [9].

Çizelge 2.9. Afrika ve Ortadoğu ülkeleri kurulu rüzgar gücü [9]

ÜLKELER	2008 Yılı Sonu (MW)	2009 Yılı Eklenen (MW)	2009 Sonu (MW)
MISIR	365	65	430
FAS	134	119	253
İRAN	85	6	91
TUNUS	20	34	54
CAP VERDE	12	0	12
GÜNEY AFRİKA	8	0	8
DİĞER	12	5	17
TOPLAM	635	230	865

Asya ülkelerinin kurulu rüzgar güçleri de Çizelge 2.10 'da görülmektedir. Özellikle Hindistan ve Çin dikkat çekmektedir [9].

Çizelge 2.10. Asya ülkeleri kurulu rüzgar gücü [9]

ÜLKELER	2008 Yılı Sonu (MW)	2009 Yılı Eklenen (MW)	2009 Sonu (MW)
ÇİN	12,104	13,000	25,104
HİNDİSTAN	9655	1271	10,926
JAPONYA	1880	178	2056
TAYVAN	358	784	436
GÜNEY KORE	236	112	348
FİLİPİNLER	33	0	33
TOPLAM	24,272	14,639	38,909

Yukarıda verilen bilgiler ışığında 2009 yılı sonu itibarı ile dünyadaki toplam kurulu güç 157,899 MW'tır ve %31'lik bir büyüme gerçekleşmiştir. Çizelge 2.11 'de 2008 yılı ve 2009 yılı sonu itibarıyla dünyada ki toplam kurulu rüzgar güçleri görülmektedir. [9].

Çizelge 2.11. Dünya kurulu rüzgar gücü [9]

	2008 Yılı Sonu (MW)	2009 Yılı Eklenen (MW)	2009 Sonu (MW)
DÜNYA TOPLAM	120,550	37,466	157,899

2.7. Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi ve Son Durumu

Ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik elde etme amacına yönelik çalışmalar 1990'lı yılların hemen başında başlanmışsa da, daha çok teorik çalışmalar seviyesinde kalmıştır. Bununla beraber, esas gelişme 1996 yılından itibaren başlamıştır. Birçok özel sektör firması konu ile ilgili yatırımlara başlamıştır ve hemen hemen ülkemizin tamamında ölçümler yapılmıştır. Ülkemizde 4628 Sayılı Kanun ile beraber serbest elektrik piyasası modeline geçilmiştir. Bu kapsamda aşağıda belirtilen tarihlerde RES başvuruları alınmıştır ve Çizelge 2.12 'de EPDK 'ya yapılmış başvurular görülmektedir. [9].

Çizelge 2.12. EPDK'ya yapılmış başvurular [9]

BAŞVURU TARİHİ	BAŞVURU ADEDİ
3 Eylül 2002- 4 Haziran 2004	231
1 Ocak 2006- 6 Temmuz 2006	136
1 Kasım 2007- 15 Şubat 2010	751
TOPLAM	1118

15.02.2010 tarihi itibarı ile EPDK'dan ve sektörden alınan verilere göre hazırlanan bilgilere göre Türkiye'de işletmede olan rüzgar elektrik santralleri Çizelge 2.13'de görülmektedir [9].

Çizelge 2.13. Türkiye'de işletmede olan rüzgar elektrik santralleri (14.02.2010) [9]

MEVKİİ	ŞİRKET	KURULU GÜÇ (MW)
İZMİR-ÇEŞME	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	1.50
ÇANAKKALE-İNTEPE	Anemon	30.40
MANİSA-AKHİSAR	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	10.80
ÇANAKKALE-GELİBOLU	Doğal	14.90
MANİSA-SAYALAR	Doğal	34.20
İSTANBUL-ÇATALCA	Ertürk	60.00
İZMİR-ALİAĞA	İnnores	42.50
İSTANBUL-GAZİOSMANPAŞA	Lodos	24.00
İZMİR-ÇEŞME	Mare Manastır Rüzgar En. Santrali San. Ve Tic. A.Ş.	39.20
İSTANBUL HADIMKÖY	Sunjüt Sun'i Jüt San. Tic. A.Ş.	1.20
İSTANBUL-SİLİVRİ	Teperes	0.85
BALIKESİR-BANDIRMA	Yapısan	30.00
BALIKESİR-ŞAMLI	Baki	90.00
MUĞLA-DATÇA	Dares Datça Rüzgar En. Santrali San. Ve Tic. A.Ş.	29.60
HATAY-SAMANDAĞ	Deniz	20.00
AYDIN-DİDİM	Ayen Enerji A.Ş.	31.50
ÇANAKKALE-EZİNE	Alize	20.80
BALIKESİR-SUSURLUK	Alize	18.90
OSMANİYE-BAHÇE	Rotor Elektrik Üretim A.Ş.	77.50
İZMİR-BERGAMA	Ütopya Elektrik Üretim Sanayi ve Tic. A.Ş.	15.00
İZMİR-ÇEŞME	Mazi-3 Rüzgar Enerjisi Santrali Elektrik Üretim A.Ş.	22.50
BALIKESİR-BANDIRMA	Akenerji	15.00
BALIKESİR-BANDIRMA	Borascio Enerji ve Kimya Sanayi ve Tic A.Ş.	45.00
MANİSA-SOMA	Soma	52.00
HATAY-BELEN	Belen Elektrik Üretim A.Ş.	15.00
TEKİRDAĞ-ŞARKÖY	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	28.80
İZMİR-URLA	Kores Kocadağ Rüzgar Enerji Santrali Üretim A.Ş.	15.00
İZMİR-ÇEŞME	Ares Alaçatı Rüzgar Enerjisi Sant. San.ve Tic. A.Ş.	7.20
ÇANAKKALE-BOZCAADA	Bores Bozcaada Rüzgar Enerjisi Sant. San.ve Tic. A.Ş.	10.20
KAPASİTE TOPLAMI		803.55

Şu anda RES projelerinin büyük çoğunluğu EPDK'da inceleme ve değerlendirme aşamasındadır. Bu kapsamda 1 Kasım 2007 başvurularından önceki projeler ile ilgili olarak TEDAŞ, toplam 4916 MW uygun bağlantı görüşü vermiş olup bunun 3284 MW'ı lisanslanmıştır. 1 Kasım 2007 başvuruları ile ilgili olarak TEDAŞ tarafından son gelişmeler çerçevesinde başvuruyu yapan firmaların santral bilgi formundaki bağlantı noktaları dikkate alındığında, 3872 MW uygun bağlantı görüşü verilmiştir. Bunun 2028 MW'ı tekli başvurular olup; 1844 MW'ı da çoklu başvurudur ve ihaleye gireceği düşünülmektedir [9].

Türkiye'nin ilk rüzgar enerji santrali olma özelliğini taşıyan santral, İzmir'in Çeşme – Germiyan bölgesinde kurulmuştur. 3 adet türbinden oluşan tesisin kurulu gücü 1.74 MW'dır. Demier Holding tarafından tesisi yapılmıştır. Şubat 1998'den itibaren üretim yapan tesis, yılda yaklaşık 5 milyon kilowatt/saat elektrik üretmektedir. Bu üretim 5.000 kişinin elektrik ihtiyacını karşılayacak kapasitededir. Santral 1998 yılından 2005 yılına kadar yaklaşık 35 milyon kW saat elektrik üretmiştir. Bu elektrik bir kömür santralinde üretilseydi atmosfere 35 bin ton karbondioksit atılmış olacaktı [11, 12].

Türkiye'nin en büyük rüzgar santrali Sanko Holding tarafından Çatalca'da yaptırılmış ve 2009 yılında faaliyete geçmiştir. Santral her biri 3 MW enerji üretebilen 20 adet rüzgar türbininden oluşmuştur ve toplam 60 MW gücündedir [13].

Çatalca RES toplamda 100 milyon dolara mal olmuştur. Bu arada Çatalca Rüzgar Enerjisi Santrali'yle yılda 220 milyon kilowatt/saat elektrik üretimi gerçekleşecektir. Ortalama 122 bin hanenin yıllık enerji ihtiyacı karşılanacaktır [13]. Şekil 2.7 'de Türkiye'nin en büyük rüzgar enerjisi santrali görülmektedir.



Şekil 2.7. Türkiye'nin en büyük rüzgar enerjisi santrali (Sanko Çatalca RES) [14]

Dünyada rüzgar enerjisi kullanımı gittikçe artmaktadır ve ülkemizde de buna paralel bir gelişim yaşanmaktadır. Yine de RES kullanımının hala arzu edilen seviyede olmadığını belirtmek gerekmektedir. Ülkemizin rüzgar enerjisi kullanımında geri kalmasının birçok nedeni vardır. Bunlar arasında en önemlileri; iletim sisteminin iyileştirilememesi, bürokratik koordinasyonsuzluk, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yasal düzenlemenin istenilen seviyede yapılamaması ve projelere finansman imkanının kısıtlı olması sayılabilir.

2.8. Rüzgar Enerjisi ile Elektrik Üretimi

Rüzgar türbinlerinden sabit gerilim, sabit frekans çıkışı almanın zaman içinde gelişen değişik yöntemleri bulunmaktadır. Çizelge 2.14 'de sabit gerilim ve sabit frekans çıkışı için kullanılan türbin, dişli takımı ve generatör kombinasyonları verilmiştir [15].

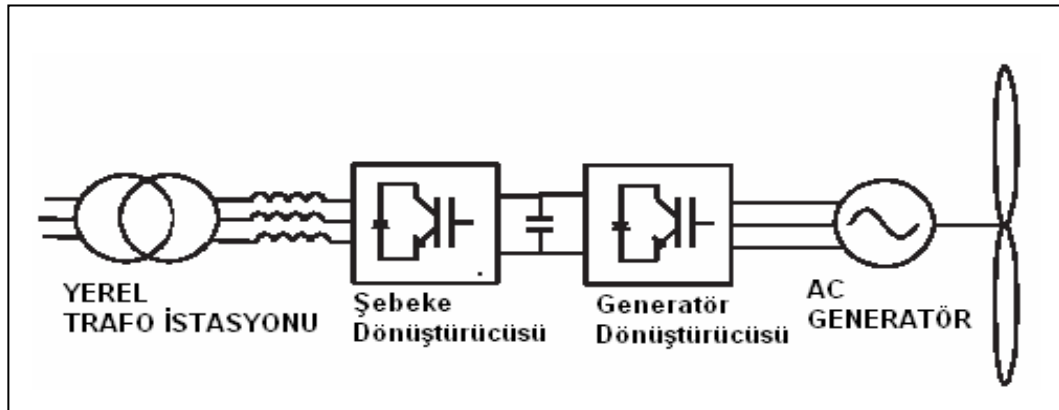
Çizelge 2.14. Senkron güç elde edilme yöntemleri [15]

NO	TÜRBİN	DİŞLİ TAKIMI	GENERATÖR
1	Değişken Kanat Açısı Sabit Hız	Sabit Oranlı Dişli Takımı	Asenkron Generatör
2	Değişken Kanat Açısı Sabit Hız	İki Oranlı Dişli Takımı	Asenkron Generatör
3	Sabit Kanat Açısı Sabit Hız	Sabit Oranlı Dişli Takımı	Asenkron Generatör
4	Sabit Kanat Açısı Değişken Hız	Sabit Oranlı Dişli Takımı	DC Generatör- DC Motor- Asenkron Genenratör
5	Sabit Kanat Açısı Değişken Hız	Sabit Oranlı Dişli Takımı	AC Generatör- Doğrultucu-DC Motor- AC Generatör
6	Sabit Kanat Açısı Değişken Hız	Sabit Oranlı Dişli Takımı	AC Generatör- Doğrultucu-İnverter
7	Sabit Kanat Açısı Değişken Hız	Değişken Oranlı Dişli Takımı	AC Generatör

Generatörün, şebekeye doğrudan bağlanarak çalışmasına doğrudan şebeke senkronizasyonu adı verilir. Şebeke ile generatör arasında güç elektroniği devreleri, dönüştürücüler, kullanıldığı takdirde bu çalışma biçimi dolaylı şebeke senkronizasyonu olarak ifade edilir [15].

Doğrudan şebeke senkronizasyonu, generatörün nominal çalışma hızında sağlanır. Değişken rüzgar uygulamalarında nominalin altındaki hızlarda generatör şebekeden ayrılarak motor olarak çalışması engellenir. Maliyeti düşüktür, bağlantı için gereken kontrol devresi ve güç elektroniği devreleri fiyat bakımından dolaylı şebeke senkronizasyonu uygulamalarının çok ltındadır. Modern rüzgar türbinleri şebekeye yumuşak bir şekilde senkron olurlar. Aksi takdirde ilk anda çok büyük güç çeken generatörler, şebekede istenmeyen gerilim düşümlerine neden olurlar [15].

Şekil 2.8 'teki dolaylı şebeke senkronizasyonunda, türbin hızının her değerinde şebeke ile senkronizasyon sağlanır. Aşırı hızlarda, şebekeye doğrudan senkronizasyonda verilemeyen fazla enerji, daha sonra aktarılmak üzere depolanır. Özellikle zayıf bir şebekeye bağlı rüzgar türbinlerinde, güç elektroniği devreleri sayesinde reaktif güç kontrolü sağlanır, güç kalitesi iyileştirilir [15].

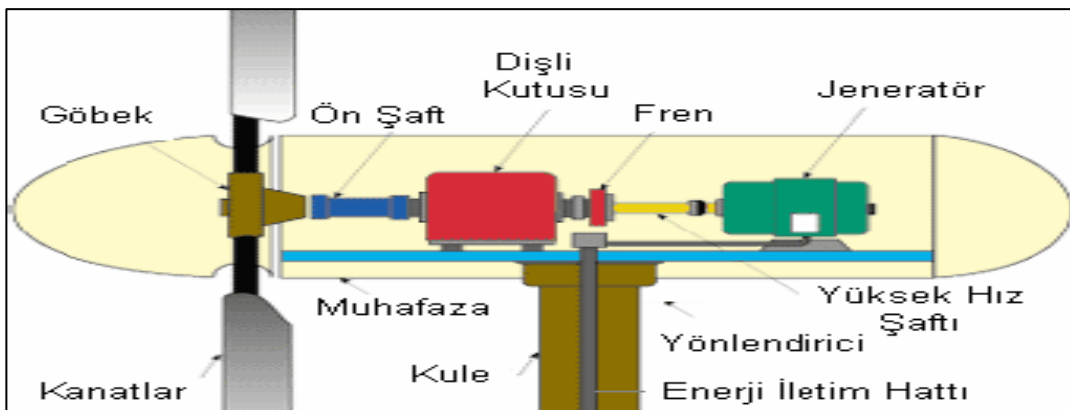


Şekil 2.8. Güç elektroniği devresi ile dolaylı şebeke senkronizasyonu [15]

Bu sistemin en büyük dezavantajı maliyetidir. Kullanılan güç elektroniği elemanları pahalı, kontrol sistemi yazılımları ileri seviyede olup karmaşıktır. Yüksek frekansta çalışan güç elektroniği devrelerinin arızalanması, işletmenin sürekliliğini bozmakla birlikte, AC-DC-AC dönüştürme işlemleri, ilave güç kayıplarına neden olmaktadır [15].

2.9. Rüzgar Türbinin İç Yapısı

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir makinedir. Bir rüzgar türbini başlıca; kule, pervane, gövde, yüksek ve düşük hız şaftları, dişli kutusu, frenleme sistemi, rotor, anemometre, otomatik yöneltme düzeni, yaw mekanizması ve jeneratörden meydana gelmektedir. Şekil 2.9’de tipik bir rüzgar türbinine ait ekipmanlar ve konumları görülmektedir.



Şekil 2.9. Rüzgar türbininin başlıca elemanları [16]

2.9.1. Makine yeri

Makine yeri, rüzgâr türbininin dişli kutusu ve elektrik generatörü dahil kilit parçalarını içerir. Servis personeli, makine yerine türbin kulesinden girebilir. Makine yeri solunda, rüzgâr türbini pervanesi yani pervane kanatları ve göbek bulunur.

2.9.2. Pervane

Pervane; gelen rüzgar hareketini, şaft vasıtasıyla dişli kutusuna, oradan da jeneratöre gönderen en dış birimdir. 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.

2.9.3. Kule

Kuleler, 20m.'den başlamakta, rotor çapına göre 100m.'ye kadar büyümektedir. Büyük kuleler; flanşlı modüller halinde montaj veya taşınabilecek boyutlarda kaynaklı olarak üretilmelidir. Örneğin, 44m.'lik bir rotor çapına sahip, 600 kW'lık bir türbinin 50 m. yükseklikte ve 40 ton ağırlığında kuleye ihtiyacı vardır. Türbinin her bileşeni özel testlerden geçirilmelidir. Bu itibarla, kulelerin her türlü yapısal, dinamik ve aerodinamik testleri yapılmalıdır.

2.9.4. Frenleme sistemi

Modern rüzgar türbinlerinin fren tertibatı iki şekildedir. Bunlardan birincisi aerodinamik fren sistemi, ikincisi ise mekanik fren sistemidir. Aerodinamik fren sistemi, rotor kanatlarının boyuna eksen etrafında yaklaşık 90 derecelik döndürülmesini (derece veya aktif kontrollü türbinler için geçerli) veya rotor kanat uçlarının 90 derece döndürülmesini esas alır Bu sistemler elektriksel güç hatalarının oluşmasında çalışmaya devam etmesi için ve türbinlerdeki basınç kayıplarında hidrolik sistemi otomatik olarak aktif hale getirmesi için kullanılır. Genellikle rotasyon sorunlarında sistem türbini durduracaktır. Mekanik frenleme sistemi ise türbinin yavaşlatıcı kontrolde durdurulması için aerodinamik frenleme sistemlerine destek vermek amacıyla kullanılmaktadır.

2.9.5. Dişli kutuları

Pervaneden gelen düşük devirli torku, jeneratöre uygun yüksek devirli torka yükselten bir kuvvet aktarma mekanizmasıdır. Jeneratörlerin elektrik üretebilmeleri için dakikada 1200-1550 devirlik bir döndürme gücü almaları gerekmektedir.

2.9.6. Yaw (saptırma) mekanizması

Rotorun rüzgara dik olmadığı durumlarda rüzgar türbinin bir yaw (rotadan çıkma) hatasına sahip olduğu söylenir. Bir yaw hatası, rüzgardaki enerjinin düşük bir parçasının rotor alanına doğru akmasını ifade eder. Yaw kontrolü, rüzgar türbin rotorunun güç giriş kontrolünün en iyi yoludur. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin hemen hemen tümünde yaw döndürme mekanizması kullanılır. Bu türbinlerde, rüzgara karşı elektrik motoru ve dişli kutuları kullanarak, döndürülen türbini tutan bir mekanizma vardır. Türbin çalıştırıldığında, pervane kanadı, konumunu belirli zaman aralıklarında elektronik kontrollere yaw mekanizması vasıtasıyla hareket ettirir.

2.9.7. Göbek

Pervane göbeği, rüzgâr türbininin düşük hız miline bağlıdır

2.9.8. Düşük hız mili

Rüzgâr türbininin düşük hız mili, pervane göbeğini dişli kutusuna bağlar. Modern bir 600 kW rüzgâr türbininde dişli nispeten yavaş, dakikada 19 - 30 devir hızı ile döner. Bu mil aerodinamik frenlerin çalışması için hidrolik sisteme ait borular içerir.

2.9.9. Mekanik frenli yüksek hız mili

Mekanik frenli yüksek hız mili, dakikada yaklaşık 1500 devir hız ile döner ve elektrik üreticini çalıştırır. Bir acil durum mekanik freni vardır. Mekanik fren, aerodinamik frenlerin çalışmaması durumunda veya türbin bakımdayken kullanılır.

2.9.10. Jeneratör

Basit bir jeneratörün çalışma prensibi; ilk olarak rotordan bir hareket sağlanır. Örneğin rüzgar veya su vs. gücüyle türbin rotor miline hareket verilir. Verilen hareket sonucu, rotor sargılarındaki elektronlar göreceli olarak hareket ettiği için geleneksel motor durumunun tersi yönde bir döner manyetik alan oluşturur. Bu alan statorda elektrik akımı indükler ve statordan elektrik akımı çekilmeye başlanmasıyla elektrik enerjisi üretilmiş olur.

Rüzgar türbinlerinde genel olarak iki tip jeneratör kullanılır. Bu jeneratörler;

1. DC (Doğru Akım) Jeneratörler
2. AC (Alternatif Akım) Jeneratörler
 - a) Senkron Jeneratörler (Alternatörler)
 - b) Asenkron (Endüksiyon) Jeneratörler

2.9.11. Kontrol sistemi

Rüzgar türbininden sürekli yüksek bir verim alabilmek için rotor güç katsayısı değerinin devamlı olarak maksimumda tutulması gerekir. Teorik olarak C_p 'nin maksimum değeri 0,59 iken, pratikte limit değeri 0,5'dir. 0,4'ün üstündeki değerler iyi olarak nitelendirilir. Rüzgar hızı değiştiğinde türbin hızı da değişecektir. Bu değişikliklere cevap verebilecek ve kontrolü sağlayabilecek mekanizmalar rüzgar türbin sistemlerinde kullanılmalıdır. Düşük rüzgar hızlarında da yüksek çıkış gücü elde edilecek şekilde tasarlanmalıdır.

2.9.12. Soğutma birimi

Soğutma ünitesi, üretici soğutmak için kullanılan bir soğutma birimini içerir. Ayrıca dişli kutusundaki yağı soğutmak için kullanılan bir soğutma birimi de içerir.

2.9.13. Eğim mekanizması

Eğim mekanizması, pervane ile birlikte makine yerini rüzgâra karşı döndürmek üzere elektrik motorlarından yararlanır. Eğim mekanizması, yelkovanı kullanarak rüzgâr yönünü algılayan elektronik kontrol ünitesi tarafından çalıştırılır. Rüzgâr, yön değiştirdiğinde normalde türbin bir defada sadece birkaç derece eğilir.

2.9.14. Anemometre ve yelkovan

Anemometre (Rüzgâr ölçer) ve yelkovan, rüzgâr hızı ve yönünü ölçmek için kullanılır. Anemometreden gelen elektronik sinyaller, rüzgâr türbininin elektronik kontrol ünitesi tarafından rüzgâr hızı yaklaşık 5 m/s 'ye yaklaştığında rüzgâr türbinini çalıştırmak için kullanılır. Bilgisayar, türbini ve çevresini korumak için rüzgâr hızı genellikle 25 m/s 'yi aştığında türbini otomatik olarak durdurur. Yelkovan, sinyalleri rüzgâr türbininin elektronik kontrol ünitesi tarafından rüzgâr türbinini rüzgâra karşı döndürmek üzere kullanılır.

2.10. Rüzgar Ölçüm Cihazları ve Ölçüm Tekniği

Rüzgar yönü ve şiddeti ile tanımlanır. Rüzgar hızı ölçümleri genellikle analog veya ayısal anemometreler vasıtasıyla yapılmaktadır. Bunlar arasında kupa anemometre, pervane tipi anemometre veya ultrasonik anemometre gibi farklı çeşitler bulunmakla birlikte en yaygın olarak kullanılanı Şekil 2.11'de görünen kupa anemometrelerdir [17].

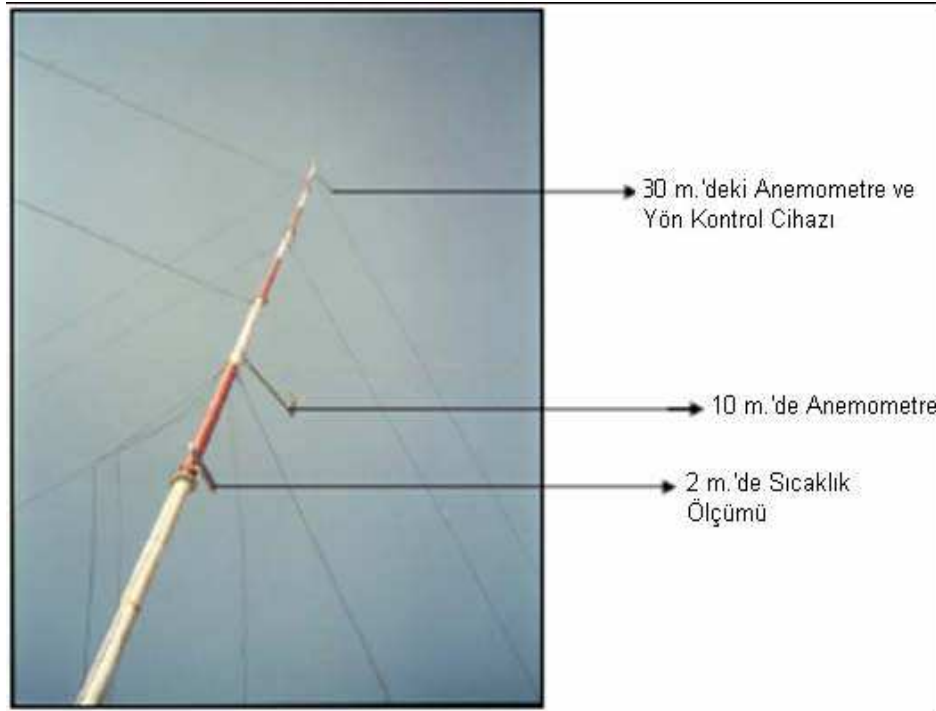


Şekil 2.11. Kupa tipi anemometre [17]

Ölçme İşlemi: Herhangi bir başlangıç anında numaratör değeri okunur ve kaydedilir. 10 dakika sonra yeni değer okunur. İki değer arasındaki fark 60'a bölünerek m/s cinsinden rüzgar hızı bulunur [17].

2.10.1. Rüzgar gözlem istasyonu (RGİ)

Ülkemizin, rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) Rüzgar Enerjisi Şube Müdürlüğü, 1990 yılından itibaren rüzgar potansiyeli olan seçilmiş alanlarda, rüzgar hızlarını ve yönlerini ölçmektedir. Fizibilite amaçlı ölçümlerde 10m.'de rüzgâr hızı, 30m.'de rüzgâr hızı ve yönü, 2m.'de sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır. Bu cihazların ölçüm direği üzerinde görünümü Şekil 2.12'de gösterilmiştir [18].



Şekil 2.12. Rüzgar gözlem istasyonu [18]

2.11. Rüzgar Enerjisi Hakkında Kütahya İlinde Yapılmış Çalışmalar

Bu konuyla ilgili Kütahya rüzgar karakteristiğinin istatistiksel analizi ve elektrik üretimine uygulanabilirliği başlıklı bir doktora tezi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, alternatif ve temiz bir enerji kaynağı olarak bütün dünyada önem kazanan rüzgar enerjisinden yararlanma olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampus alanı içerisinde bulunan Bünelek Tepe, rüzgar ölçümü için uygun arazi olarak belirlenmiş ve bu bölgeye rüzgar ölçüm istasyonu kurulmuştur. Bölgeye kurulan istasyondan; Temmuz 2001-Haziran 2004 tarihleri arasında 36 ay boyunca rüzgar verileri, CallAlog 02 yazılımı vasıtasıyla alınmış ve alınan bu veriler çeşitli istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Alınan verilerin değerlendirilmesinde; Maksimum Olabilirlik Tahmini (MLE), En Küçük Kareler Yöntemi (LSM) ve Robust Asimetrik Dağılım Parametre Tahmini (RADPE) parametre kestirim tekniği olarak kullanılmıştır. Bu parametre kestirim teknikleri ile olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak; Weibull, Lognormal ve Gamma dağılımları test edilmiştir [19, 20, 21].

Alınan veriler ile yapılan testler neticesinde, RADPE parametre kestirim tekniği ve Lognormal olasılık yoğunluk fonksiyonunun seçilen bölge için daha iyi sonuçlar verdiği

görülmesine karşın enerji hesaplamaları yapılırken, parametre kestirim tekniği olarak MLE ve olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak Weibull dağılımı kullanılmıştır. Bunun nedeni, rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında kullanılan mevcut yazılımların, farklı parametre kestirim teknikleri ve farklı olasılık yoğunluk fonksiyonları seçimine olanak vermemesidir.

Çalışmada, MLE parametre kestirim tekniği ve Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre ALWIN yazılımı ile bölgenin rüzgar enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda; ölçümlerden elde edilen yıllık ortalama rüzgar hızı 4,80 m/s, Weibull ölçek parametresi (c) 5,36 m/s, şekil parametresi (k) 1,58 ve bölgenin güç yoğunluğu 53-61 W/m² olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra rüzgar gözlem istasyonundan alınan veriler kullanılarak, 6 farklı rüzgar türbini imalatçısının 26 farklı modeldeki türbinlerinin katalog değerleri ile bölgeden üretilebilecek elektrik enerjisi ve kapasite faktörleri hesaplanmıştır. Rüzgardan elektrik enerjisi üretimi için, bölgeden elde edilen rüzgar verilerine göre sahaya kurulması düşünülen rüzgar türbininin maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan analizde, Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüsü'nün elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla belirlenen rüzgar türbini modeline göre enerji üretim maliyeti hesaplanmış ve bu maliyete göre sistemin kendisini 17,55 yılda geri ödeyeceği belirlenmiştir.

Sonuç olarak; bölge rüzgar karakteristiğinin istatistiksel değerlendirilmesi ve yapılan maliyet analizi, bölgede rüzgar santralından elektrik enerjisi üretiminin mevcut teknolojiye göre şu an ekonomik olmadığını göstermektedir. Gelecekte ise; elektrik enerjisi alanında rüzgar enerjisi kaynaklarının kullanımını özendirecek teşvik uygulamaları, toplumsal fayda ön planda tutularak yapılacak yasal düzenlemeler, malzeme bilimindeki gelişmeler, rüzgar türbini ekipmanlarının teknolojik gelişimi ve seri üretimlerinden dolayı maliyetlerinin düşmesi sayesinde bölgede rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin mümkün olabileceği söylenebilir denmiştir. [19, 20 ,21]

Bu tespitler sonucunda; Kütahya ili rüzgar hızı potansiyelinin analizi başlıklı tez çalışmasında ortaya çıkan sonuçların Kütahya Merkez için bu çalışmayla aynı doğrultuda olduğu ve her iki çalışmanın da birbirini destekler durumda olduğu görülmektedir.

3. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Rüzgar türbinleri; eksenlerine, güçlerine, kanat sayısına olmak üzere 3 gruba ayrılırlar.

3.1. Eksenlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Eksenlerine göre rüzgar türbinleri yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere ikiye ayrılırlar.

3.1.1. Düşey eksenli rüzgar türbinleri

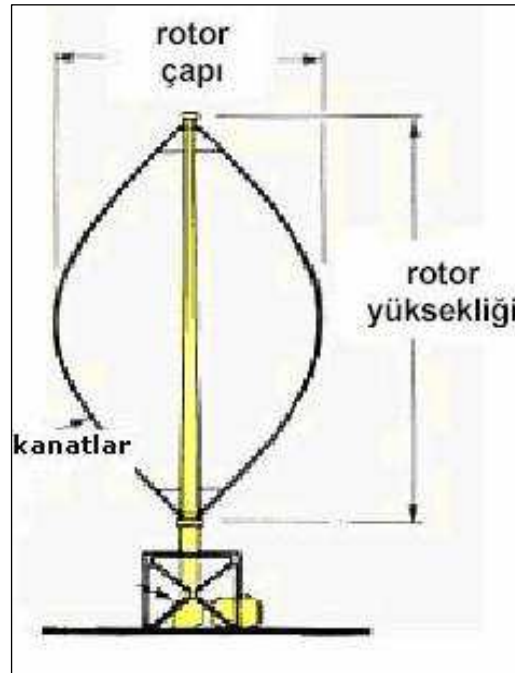
Düşey eksenli rüzgar türbinleri mutfakta kullanılan yumurta çırpacağına benzemektedir. Kanatlar bir düşey şafta bağlanmıştır. Bu türbinler G.J.M. Darrieus isimli bir Fransız mühendis tarafından 1931'de icat edildiğinden Darrieus türbini olarak da isimlendirilir. Yatay eksenli türbinlere göre üstünlükleri şunlardır.

1. Rüzgar doğrultusundan etkilenmez. Dolayısıyla yönlendiriciye ihtiyaç yoktur.
2. Bütün elektromekanik aksam yerde olduğu için yatırım ve bakım masrafları daha azdır.

Buna karşılık düşey eksenli türbinlerinin başlıca iki eksikliği vardır:

1. Türbin kanatları dizaynı dolayısıyla verimleri düşüktür.
2. Kanatların yere yakınlığı sonucu düşük rüzgar hızına maruz kalırlar, bu ise enerji üretimini azaltır.

Verim düşüklüğü dolayısıyla düşey eksenli rüzgar türbinleri fazla uygulama alanı bulamamıştır. Uygulama Kanada ve Kaliforniya'daki birkaç ünite ile sınırlı kalmıştır. "H" türbini denen ve bir kulenin tepesinde düşey şaft üzerine yerleştirilen türbin araştırma konusu oluyorsa da henüz ekonomik açıdan uygun olamamıştır. Şekil 3.1 'de düşey eksenli bir rüzgar türbini görülmektedir [22].



Şekil 3.1. Düşey eksenli rüzgar türbini [22]

3.1.2. Yatay eksenli rüzgar türbinleri

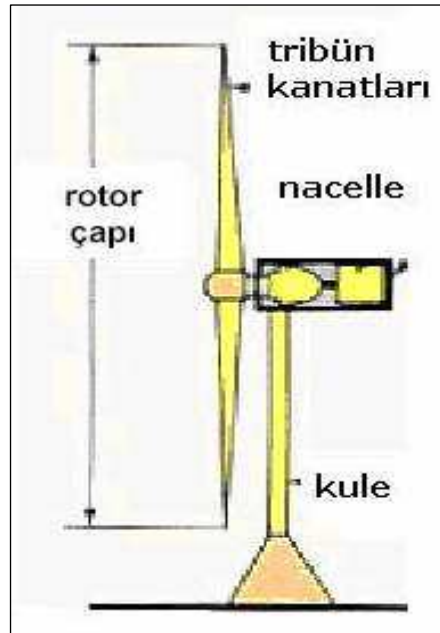
Ticari amaçlı türbinlerin hemen tamamı bu gruba girmektedir. Rotor, dişli çark, jeneratör ve fren bir kule üzerinde yatay safta bağlanmışlardır. Büyük türbinlerde (1 MW' dan büyük) transformatör de kulenin tepesinde türbin gövdesinde yer alır. Küçüklerde, transformatör şebeke bağlantı sistemleri ile birlikte yerde bulunur.

Rotora iki veya üç kanat bağlıdır. Üç kanatlı rotor daha sürekli üretim sağlar ve daha sessiz çalışır, ancak fiyatı daha yüksektir. Eskiden rotorlar genellikle metalden imal edilirken, artık yenileri hafif kompozit malzemelerden üretilmektedir. 500 kW ile 3 MW arasındaki türbinler için rotor çapı 40-80 m olmaktadır. Rotor genellikle kulenin önünde yer alır. Rotorun kulenin arkasında kalması halinde kulenin yarattığı türbülans türbin verimini düşürmektedir. Rotorun türbin önünde rüzgar doğrultusuna göre ayarlanabilmesi için elektrikli yönlendirici bulunur ve bu türbin gövdesi ile kule arasında yer alır. Kule genellikle çelikten imal edilir.

Jeneratörün sabit hızlı olması halinde rotor hızının kontrolü gerekmektedir. Aksi halde aşırı rüzgar hızlarında rotor kontrolsüz hızlanır ve kazaya sebep olur. Rotor kontrolü iki şekilde yapılmaktadır. Rotor kanatlarının uygun tasarımı ile rüzgar hızı belirli bir değerin üstüne çıksa dahi (örneğin 25 m/s) türbin hızı sabit kalır (stall control). Bu olay hidroelektrik türbinlerindeki kaviteasyona benzemektedir (yani artan düşüye rağmen kaviteasyon başladıktan sonra türbin hızı

sabit kalır). Diğer yöntem ise kanatların rüzgar doğrultusu ile açısının bir hidrolik sistemle değiştirilmesi (pitch control). Çok yüksek hızlarda kanatlar rüzgara en az direnç gösterecek şekilde çevrilerek türbin hızı ayarlanabilir. Bunun hidroelektrikteki benzeri Kaplan türbinleridir. Açısı değiştirilebilen rotor kanatlarının diğer faydası düşük rüzgar hızlarında da yüksek verimin elde edilebilmesidir. Teknolojide diğer bir gelişme değişken hızlı jeneratörlerdir. Böylece yüksek rüzgar hızında da enerjiyi verimli üretmek mümkün olmaktadır. Ancak bu jeneratörler sabit hızlılara göre daha pahalıdır. Ayrıca elektriğin şebekeye aktarılabilmesi için çıkış frekansının elektronik olarak 50 Hz'e sabitlenmesi gerekmektedir.

Türbin hızını jeneratörün tasarım hızına çıkartmak için rotor ile jeneratör arasında dişli sistemi kullanılır. Ancak bu hem maliyeti hem de bakım masraflarını artırır. Son yıllarda dişli kutusuna gerek olmadan rotor şaftının doğrudan özel tasarlanmış bir jeneratöre bağlanması mümkün olmuştur. Jeneratör fiyatı biraz yüksek olsa da dişli kutusunun ortadan kalkması ve bakım masraflarının azalması bu maliyeti fazlasıyla karşılamaktadır. Şekil 3.2 'de yatay eksenli bir rüzgar türbini gösterilmiştir [22].



Şekil 3.2. Yatay eksenli rüzgar türbini [22]

3.2. Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri güçlerine göre; mikro, küçük güçlü, orta güçlü, büyük güçlü olmak üzere 4'e ayrılır.

3.2.1. Mikro türbinler

Genellikle sabit mıknatıslı jeneratörlerle birlikte batarya şarj etmek üzere kullanılmakta ve güçleri 50 W ile 2 kW arasında değişen türbinlerdir. Bu türbinler uzak iletişim sistemlerinde, ev içi sistemlerde ve gezi teknelerinde kullanılabilir. Şebekeden bağımsız olarak akü şarj prensibiyle çalışır. Rotor çapları metreden küçüktür [23].

3.2.2. Küçük güçlü rüzgar türbinleri

Güçleri 2 kW ile 40 kW ve rotor çapları 3 m ile 12 m arasında değişen rüzgar türbinleridir. Küçük rüzgar türbinleri genellikle şebekenin olmadığı veya ulaştırmanın ekonomik olmadığı ya da sorunlu olduğu yerlerde kullanılır. Genellikle akü şarj prensibine göre çalışır [23].

3.2.3. Orta güçlü rüzgar türbinleri

Güçleri 40 kW ile 999 kW ve rotor çapları 12 m ile 45 m arasında değişen rüzgar türbinleridir [23].

3.2.4. Büyük güçlü rüzgar türbinleri

Rüzgardan elde edilen elektrik enerjisi gücünün 1 MW 'tan büyük, rotor çapının ise 46 metreden büyük olduğu türbinlerdir. Büyük güçlü türbinler, rüzgar çiftliği olarak adlandırılan diziler halinde kurulurlar. Bir rüzgar çiftliğinin toplam gücü 1-150 MW arasındadır.

Yatırım amaçlı kurulan büyük güçlü türbinlerden üretilen enerji, mevcut şebekeye verilir. Bu yüzden yatırımdan önce yapılması gerekli olan bazı çalışmalar vardır. Öncelikle bölgenin rüzgar açısından durumunun belirlenmesi gerekir. Yapılan detaylı ve en az bir yıl sürecek teknik rüzgar ölçümleriyle, rüzgar hızı ortalamaları, günlük, mevsimlik ve yıllık dağılımlar ile yaklaşık rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenir. Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmaları sonucunda, kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri, üretilecek enerjinin maliyeti gibi sonuçlara ulaşılır [23].

3.3. Kanat Sayısına Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinlerinin kanat sayısına göre sınıflandırırsak; tek kanatlı, iki kanatlı ve üç kanatlı olmak üzere 3'e ayrılabilir.

3.3.1. Tek kanatlı rüzgar türbinleri

Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin kullanımının temel amacı, pervanelere etkiyen yüksek dönme hızının düşürülmesidir. Öte yandan tek kanatlı rüzgar türbinleri aerodinamik olarak dengesizdir ve bu durumda ek hareketler ile istenmeyen bazı yüklere sebep olur. Bu mekanizmayı kontrol etmek için, göbek kısmına ek yapıların yerleştirilmesini gerektirir. Diğer mahsurlarından birisi de, yüksek aerodinamik gürültü seviyesidir. Uç hız oranı 120 m/s civarındaki üç kanatlı pervanelerle kıyaslandığında uç hızı iki kat daha yüksektir. Dolayısı ile üç kanatlı rüzgar türbinlerinden daha gürültülüdür [24].

3.3.2. İki kanatlı rüzgar türbinleri

20 yıl öncesine kadar iki kanatlı rüzgar türbinleri yaygın bir şekilde kullanılırdı. 10 metreden 100 metreye kadar değişen farklı pervane çaplarında Avrupa'da ve Amerika'da kullanılmıştır. İki kanatlı rüzgar türbinleri, üç kanatlı rüzgar türbinlerinden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, iki kanatlı rüzgar türbinleri dinamik etkilerden dolayı bir takım ek ekipmanlar gerektirdiğinden, üç kanatlı rüzgar türbinleri ile yaklaşık olarak aynı maliyete gelmektedir. Üç kanatlı rüzgar türbinlerinden farklı olarak dönmeden meydana gelen ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahiptir. Bu durum rüzgar türbini üzerinde ek bir yüklenme meydana getirir ve sadece sallanan göbek ile giderilebilir. Sallanan göbek kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektir. Ayrıca düşük şiddetteki rüzgar hızlarında (örneğin 3 m/s) pervane devreye girememektedir [24].

3.3.3. Üç kanatlı rüzgar türbinleri

Modern rüzgar türbinlerinde en çok kullanılan model üç kanatlı olanıdır. Bunun temel nedeni, pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm pervaneler bu avantaja sahiptir. Ayrıca, üç kanatlı pervane bu avantajından dolayı rüzgar türbini üzerinde ek bir yük getirmemektedir [24].

3.4. Çalışma Hızlarına Göre Rüzgar Türbinleri

Çalışma hızlarına göre rüzgar türbinleri düşük hızlarda ve yüksek hızlarda çalışan rüzgar türbinleri olmak üzere 2 ye ayrılırlar.

3.4.1. Düşük hızlarda çalışan rüzgar türbinleri

Genellikle bu tip rüzgar türbinlerinin çapı 5 ile 8 m arasında değişir. Bu tipin en büyük örneği ABD’de inşa edilmiş olup, çapı 15 m ’dir. Yavaş çalışan rüzgar türbinleri 2-3 m/s arası rüzgar hızlarında kendiliğinden çalışmaya başlarlar. Bu türbinlerin özellikleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Genellikle hızları 3-7 m/s arasında değişen rüzgarlarda kullanılırlar.
- Elektrik üretimi için verimleri düşüktür.
- Çap büyüdükçe ağırlık artacağından, bu türbinleri kurmak kolay değildir.
- Bu tipteki türbinler, daha çok su pompalama işi için idealdirler.
- Genellikle pistonlu pompalarda kullanılırlar [25].

3.4.2. Yüksek hızlarda çalışan rüzgar türbinleri

Yüksek hızlarda çalışan bu tip rüzgar türbinlerinde kanat sayısı 1 ile 4 adet arasındadır. Düşük hızlarda çalışan çok kanatlı rüzgar türbinlerinden çok daha fazla hafiftirler. En çok kullanılan tip üç kanatlı olanlardır. İki kanatlı türbinler, üç kanatlılara göre % 2-3 daha az verimlidir. Tek kanatlı türbinler ise, iki kanatlı türbinlerden %6 daha verimsizdirler. Ayrıca tek kanatlı türbinlerde dengeleyici olarak karşı ağırlık kullanılır. Yüksek rüzgar hızlarında çalışan türbinlerde, kanat sayısı arttıkça verim artar. Ancak 3 kanattan daha fazla sayıda kanat, maliyeti önemli ölçüde arttıracığından tercih edilmez. Bir ve iki kanatlı türbinler daha hızlı döndüklerinden, üç kanatlı türbinlere göre daha fazla gürültü yaparlar. Bütün bunların yanında, üç kanatlı türbinlerin estetik görünüşleri de bu tip türbinlerin daha çok tercih edilmesinde önemli bir etkidir. Söz konusu türbinlerin yavaş hızlarda çalışan rüzgar türbinlerine göre avantajları şunlardır;

- Düşük kanat sayısı; bu tipteki türbinlerin fiyatını ve ağırlığını önemli ölçüde azaltır.
- Ani rüzgar patlamalarından kaynaklanan basınç değişimlerinden etkilenmezler.
- Çok yüksek hızlarda çalışan kanat koruyucu sistemleri, bu tip türbinlerde daha ucuzdur.
- Tek dezavantajı ise güçlkle çalışmaya başlamasıdır.
- Yüksek verimleri nedeniyle günümüzde elektrik üretimi amaçlı kullanılan rüzgar türbinlerinin neredeyse tamamı bu tipli türbinlerdir [25].

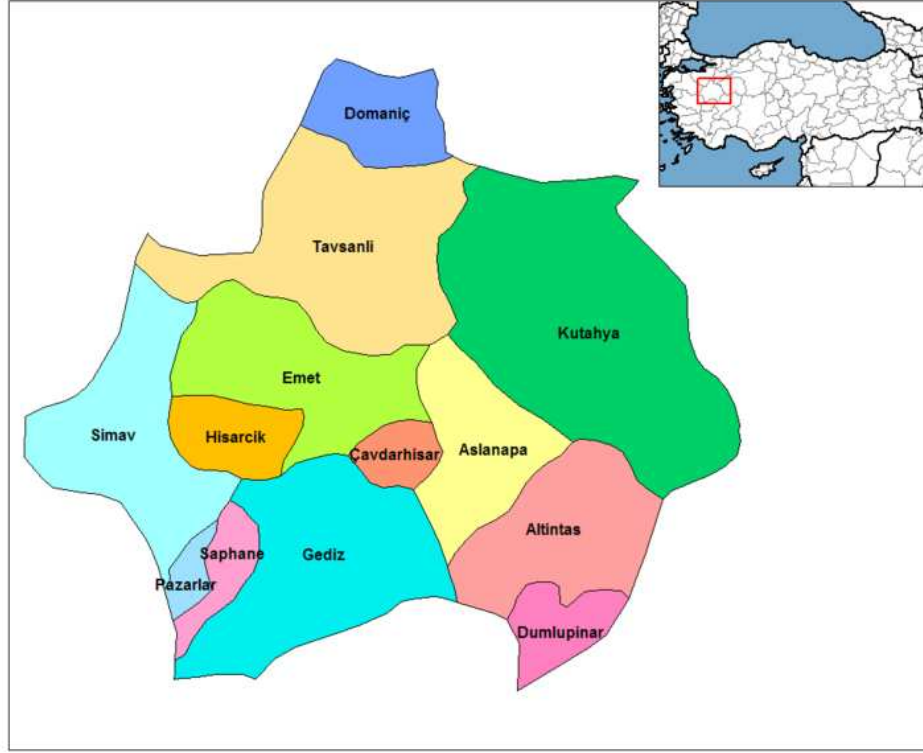
4. KÜTAHYA İLİNİN RÜZGAR HIZI POTANSİYELİ

4.1. Kütahya'nın Konumu ve Yer Yüzü Şekilleri

Kütahya ve çevresi, Ege Bölgesinin (İç Batı Anadolu) bölümünde yer alır. Ege Bölgesinin bu bölümü, İç Anadolu Bölgesiyle asıl Ege Bölgesi arasında bir eşik durumundadır. Eşiğin bariz karakteri ortalama yüksekliği 1200 metre civarındaki yaylalardan ibaret oluşudur. Bu sebepten coğrafya diliyle "Kütahya Yaylaları" diye anılır. Kütahya, kuzeyinde Bursa, kuzey doğusunda Bilecik, doğusunda Eskişehir ve Afyon, güneyinde Uşak, batısında Manisa ve Balıkesir illerimizle çevrilidir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 ' de Kütahya'nın Türkiye haritasındaki yeri ve il idari haritası görülmektedir [26].



Şekil 4.1. Türkiye haritası üzerinde Kütahya'nın konumu [26]



Şekil 4.2. Kütahya il idari haritası [26]

38° 70' ve 39° 80' kuzey enlemleri ile 29° 00' ve 30° 30' doğu boylamları arasında yer alan Kütahya İli 11 875 km² lik yüzölçümüyle Türkiye topraklarının % 1.5 'nu kaplamaktadır.

Kütahya, dağların ve platoların ağırlıkta olduğu bir topografik yapıya sahiptir. Topraklarının % 57,5 ini dağlar, % 11 ini ovalar, % 31,5 ini de platolar oluşturmaktadır.

4.2. Kütahya'nın İklimi

Kütahya'nın iklimi Ege, Marmara ve İç Anadolu arasında "geçiş iklimi" özelliğini gösterir. İkliminde her üç iklim tipinin özelliklerini görmek mümkündür. Sıcaklık şartları daha çok İç Anadolu'nun karasal iklim şartlarını andırmakta ise de bu ikliminin dışında kalır. Kurak iklim ile nemli iklim arasındaki "geçiş iklimi" tipine girer.

Kütahya' da ortalama sıcaklık ölçümleri aylara göre değişir. Yıllık ortalaması 10,6 °C 'dir. Yüksekliği 1000 metrenin altında olan ovalar Kütahya'nın en ılıman yerleridir. Buralardan yaylalara ve dağlık kesime doğru girdikçe sıcaklık yavaş ve düzenli bir biçimde azalma gösterir.

Kütahya' da yıllık ortalama yağış miktarı 568 mm' yi bulur. Ancak bu değer bazı yerlerde azalırken bazı yerlerde ortalamanın üzerine çıkar. İlin genelinde yağışlar 400 ile 1100 mm arasında değişir. Farklılığın en önemli nedeni yükseklik farklarıdır.

En çok yağış alan yerler Gümüş, Yellice, Yeşil ve Türkmen dağlarıdır. Alçak yaylalar ile ovalık alanlar ilin az yağış alan kesimleridir. Bunların yağış ortalaması 400-600 mm arasında değişir. En yağışlı ay Aralık, en kurak ay Ağustos' dur. Eylül ile birlikte yağışlar artmaya başlar ve en yüksek seviyeye Aralık ve Ocak ayında erişir. Yağışların % 38,8 kış mevsiminde, % 29,4 ilkbaharda, % 19,3 sonbaharda, % 12,5 yaz aylarında görülür.

Kütahya'nın rakımının yüksek oluşu ve kış sıcaklık değerlerinin düşük oluşu kar yağışlarını olağan getirmektedir. Yılın 19 günü kar yağışlı geçer. Kar yağışı en çok Ocak, Şubat ve Mart aylarında görülür. İlin karla örtülü olduğu günler ortalaması 31 gündür [26].

4.3. Kütahya'nın Rüzgar Özellikleri

Kütahya' da hakim rüzgar yönü kuzeydir. Yıldız adı verilen kuzey rüzgarı her yıl ortalama 2944 kez görülür. Bunu karayel (kuzeybatı) izler. Daha sonra lodos (güneybatı) rüzgarı görülür. Ortalama rüzgar hızı 1,7 m/sn' dir. Ölçülen en yüksek rüzgar hızı 27,6 m/sn ile karayele aittir [26].

4.4. Rüzgar Hızı Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgar hızının potansiyelinin belirlenmesinde meteorolojinin 10 metrede yapmış olduğu ölçüm sonuçları yeterli olmadığından, bu seviyede ölçülen rüzgar hızının istenilen seviyede ne kadar olduğunu bulmak için 2 tip bağıntı mevcuttur.

4.4.1. Logaritmik fonksiyon bağıntısı ve Hellmann yükseltme bağıntısı

Bilindiği gibi pürüzlülük yere yakın olunan noktalarda rüzgar hızını düşürücü etki yapmaktadır. Yukarılara doğru çıkıldıkça pürüzlülük ve kayıplar azalacağından rüzgar hızında bir artış meydana gelecektir. Bu artış miktarını mesafeyle bağıntılı olarak ortaya koyan bağıntılar logaritmik fonksiyon bağıntısı ve Hellmann yükseltme bağıntısıdır [27].

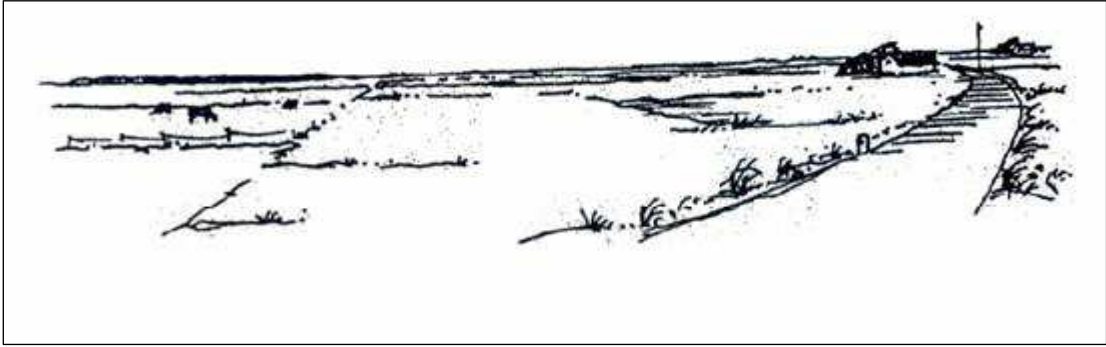
Pürüzlülük sınıfları ve rüzgar hızı profilleri

Pürüzlülük, rüzgar hızı profile üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu sebeple rüzgar enerjisi incelemelerinde alan pürüzlülüğü önemli bir parametredir. Rüzgar atlası çalışmalarında dört pürüzlülük sınıfı tanımlanmaktadır. Z_0 pürüzlülük uzunluğunu göstermek üzere, bu pürüzlülük sınıflarının özelliklerini gösteren şekiller, Şekil 4.3 - 4 - 5 - 6'da gösterilmiştir [27].



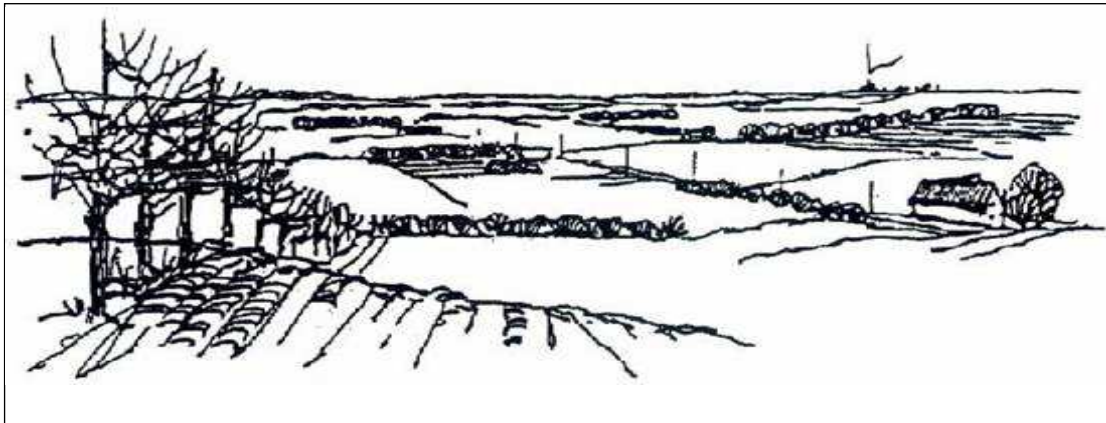
Şekil 4.3. Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği ($Z_0=0,0002$ m) [27]

Pürüzlülük sınıfı 0; bu sınıf; su alanları, deniz ve gölleri kapsar.



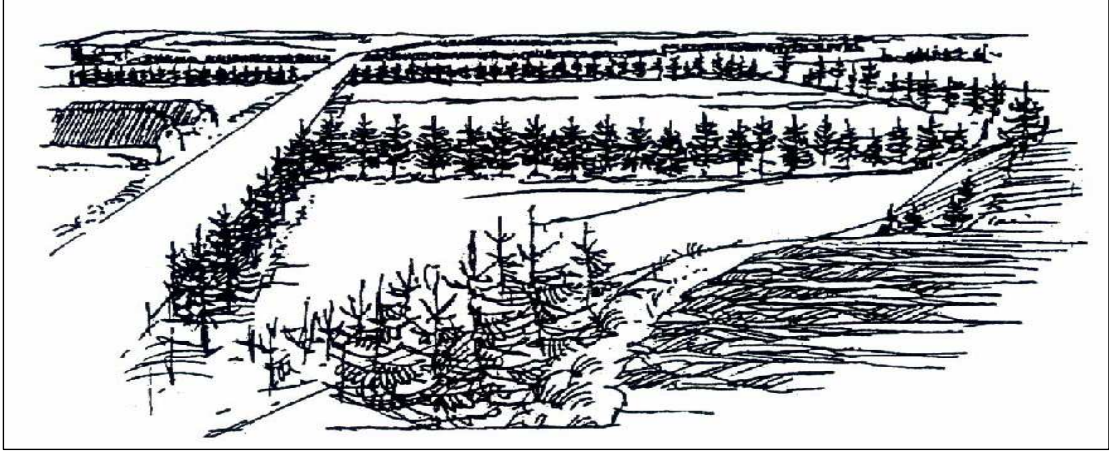
Şekil 4.4. Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği ($Z_0=0,03$ m) [27]

Pürüzlülük sınıfı 1; bu sınıftaki alanlarda, açık alanda birkaç rüzgar kırıcı engel bulunur. Açıklık, düz alanlar veya yumuşak engebeli alanlar bu sınıfa girer. Basit şekiller, ağaç veya çalılıklar bulunabilir.



Şekil 4.5. Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi ($Z_0=0,10$ m) [27]

Pürüzlülük sınıfı 2; rüzgar kırıcılarından oluşmuş bir alandır. Bu sınıfta rüzgar kırıcıları arasında araziye açık görünüş veren geniş alanlar bulunabilir. Arazi düz veya dalgalı olabilir, arazi üzerinde çok sayıda ağaç ve bina bulunabilir.



Şekil 4.6. Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi ($Z_0=0,40$ m) [27]

Pürüzlülük sınıfı 3; şehir alanları, ormanlar ve ortalama birkaç yüz metre aralıklarla çok sayıda rüzgar kırıcısı olan çiftlikler bu sınıfa girerler.

Bir arazinin pürüzlülüğü genellikle Z_0 pürüzlülük uzunluğu parametresi ile belirtilir. Pürüzlülük elemanları ile pürüzlülük uzunluğu arasındaki ilişki, Lettau (1969) tarafından ortaya konmuştur. Lettau'ya göre pürüzlülük uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır [27].

$$Z_0 = 0,5 \cdot \frac{h \cdot S}{A_H}$$

Burada;

h : pürüzlülük elemanın yüksekliği (m)

S : rüzgara karşı gelen dikey kesit alanı (m^2)

A_H : arazi üzerine dağılmış ortalama yatay kesit alanı (m^2)

A_H 'ın S 'den çok büyük olduğu durumlarda, hesaplanan Z_0 daha gerçekçidir. Yüzey yapısı özelliklerine göre seçilmesi gereken pürüzlülük uzunlukları (Z_0) ve pürüzlülük sınıfları Çizelge 4.1'de verilmiştir [27].

Çizelge 4.1. Pürüzlülük uzunluğu ve yüzey yapısı özelliklerine göre pürüzlülük sınıfları [27]

Pürüzlülük uzunluğu Z_0 (m)	Yüzey yapısı karakteristikleri	Pürüzlülük sınıfı
0,50	Büyük şehirlerin varoşları, taşra kentleri	3
0,30	Siper kuşakları, orman, küçük binalı şehir	
0,20	Birçok ağaç ve/veya çalılar, tek yada iki katlı seyrek binalar	2
0,10	Kapalı görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	
0,05	Açık görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	
0,03	Çok seyrek bina ve ağaçlı çiftlik arazisi	1
0,02	Havaalanları (binaları ve ağaçları ile birlikte)	
0,01	Havaalanı pistleri	
0,007	Biçilmiş çim	
0,005	Pürüzsüz çıplak toprak	0
0,001	Pürüzsüz kar yüzeyleri	
0,0003	Pürüzsüz kum yüzeyleri	
0,0001	Su yüzeyleri (göller, fiyortlar, denizler)	

Rüzgar yer yüzeyinden yaklaşık 1 km'ye kadar, yer yüzeyinin yüzey yapısından oldukça fazla etkilenir. Havakürenin alt katmanlarında rüzgar hızları sürtünme etkisi altında kalırlar. Bu duruma arazinin pürüzlü oluşu neden olur. Bir arazide pürüzlülük ne kadar çok ise rüzgar hızı o kadar azalır. Su yüzeyi, rüzgar hızını daha az etkileyen en pürüzsüz yüzeydir. Uzun ot, çalı ve çöp gibi pürüzlülük öğeleri rüzgar hızını daha çok etkiler, azaltır. Rüzgar enerjisinin hesaplanmasında pürüzlülük faktörü dikkate alındığında;

(V_{ist}), türbin yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s) hesabı iki eşitlikle ifade edilir [27].

Birincisi (logaritmik fonksiyon bağıntısı;

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \frac{\ln(Z / Z_0)}{\ln(Z_{ref} / Z_0)}$$

Burada;

V_{ist} : istenen yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

$V_{ölç}$: ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)

Z : hızı istenen yükseklik/kule yüksekliği (m)

Z_{ref} : rüzgar hızı ölçüm yüksekliği (m)

Z_0 : pürüzlülük uzunluğu katsayısını (m)

ifade etmektedir.

İkincisi ise (Hellmann yükseltme bağıntısı):

$$\frac{V_{ist}}{V_{ölç}} = \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^\alpha$$

Burada;

V_{ist} : İstenen Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)

$V_{ölç}$: Ölçülen Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)

H_{ist} : Çıkılması İstenen Yükseklik (m)

$H_{ölç}$: Ölçüm Yapılan Yükseklik (m)

α : Hellmann Katsayısı

ifade etmektedir.

Burada α : Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisini belirleyen katsayıdır ve değişik arazi yapısına göre 0,1 ile 0,4 arasında değerler alır. Bu farklı arazi yapılarına göre α değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir [27].

Çizelge 4.2. Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi [27]

DURUM	α (Hellmann Katsayısı)
Açık deniz, kıyı şeridi	0,10 – 0,13
Yeşil ve ekili alan	0,13 – 0,20
Ağaçlı alan	0,20 – 0,27
Yüksek bina ve kentsel alan	0,27 – 0,40

Bu çalışmada belirlenen yükseklikteki rüzgar hızlarını elde etmek için bu bağıntılardan en yaygın kullanılmakta olan Hellmann yükseltme bağıntısı kullanılmıştır.

Çalışmada Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan, Kütahya ilindeki rüzgar ölçüm istasyonlarında son 10 yılda (2000-2009) ölçülen değerler analiz edilmiştir. Çalışmadaki yöntem; Kütahya Merkez, Tavşanlı, Simav ve Gediz’de bulunan istasyonlarında 10 metre yükseklikte ölçülen değerler Hellmann yükseltme bağıntısı kullanılarak istenilen yüksekliğe çıkarılmış ve tekrar hesaplanmıştır. Bu bağıntılardan ve istatistiklerden yararlanılarak bu dört istasyon içinde rüzgar potansiyeline göre en uygun yer tespit edilmiştir.

Hesaplamalarda istenen yükseklikte rüzgar hızını hesaplamaya yarayan Hellmann yükseltme bağıntısı kullanılmıştır. Bu duruma göre Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden almış olduğum ve 10 metre yükseklikte ölçülmüş olan verileri daha doğrucu bir analiz yapmak için 50 metre ve 100 metre yükseklik için hesaplanmış ve bu konuda yapılması muhtemel bir uygulama çalışması için daha net potansiyel ortaya koymaya çalışılmıştır.

Hellmann Yükseltme Bağıntısı

Bu özellikler ve Kütahya'nın coğrafi özellikleri göz önünde bulundurularak Kütahya ili için α (Hellman Katsayısı) 0,27 olarak alınmış ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

50 Metre yükseklik için rüzgar hızı hesabı:

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^{\alpha} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{50}{10} \right)^{0,27} = V_{ölç} \cdot 1,5442$$

100 Metre yükseklik için rüzgar hızı hesabı:

$$V_{ist} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{H_{ist}}{H_{ölç}} \right)^{\alpha} = V_{ölç} \cdot \left(\frac{100}{10} \right)^{0,27} = V_{ölç} \cdot 1,862$$

V_{ist} = İstenen Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)

$V_{ölç}$ = Ölçülen Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)

H_{ist} = Çıkılması İstenen Yükseklik (m)

$H_{ölç}$ = Ölçüm Yapılan Yükseklik (m)

α = Hellmann Katsayısı

Kütahya İlindeki İstasyonlar:

- KÜTAHYA MERKEZ
- TAVŞANLI
- SİMAV
- GEDİZ

Kütahya il merkezi ve ilçelerde bulunan istasyonlardan alınan hakim rüzgar yönleri ve rakımları Çizelge 4.3 'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Kütahya ilinde bulunan istasyonların hakim rüzgar yönleri ve rakımları [28]

İSTASYON ADI	RAKIMI	HAKİM RÜZGAR YÖNÜ
Kütahya Merkez	960 metre	Kuzey
Tavşanlı	833 metre	Doğu
Simav	809 metre	Kuzey-Batı
Gediz	736 metre	Kuzey-Doğu

4.5. Kütahya İlinin Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009)

Çizelge 4.4 ‘den Çizelge 4.13 ‘e kadar olan tablolarda Kütahya ilinin 2000-2009 yılları arasında 10 metre yükseklikte ölçülmüş aylık ortalama rüzgar hızı değerleri; Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s ‘lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Kütahya 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2000 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,7	2,6	3,2	3
ŞUBAT	1,6	2,5	3	3
MART	1,7	2,6	3,2	3
NİSAN	1,5	2,3	2,8	3
MAYIS	1,5	2,3	2,8	3
HAZİRAN	1,7	2,6	3,2	3
TEMMUZ	1,4	2,2	2,6	3
AĞUSTOS	1,5	2,3	2,8	3
EYLÜL	1,2	1,9	2,2	3
EKİM	1,2	1,9	2,2	3
KASIM	0,7	1,1	1,3	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

Çizelge 4.5. Kütahya 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2001 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,3	2	2,4	3
ŞUBAT	1,7	2,6	3,2	3
MART	2	3,1	3,7	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,6	2,5	3	3
HAZİRAN	1,7	2,6	3,2	3
TEMMUZ	1,6	2,5	3	3
AĞUSTOS	1,3	2	2,4	3
EYLÜL	1,2	1,9	2,2	3
EKİM	1	1,5	1,9	3
KASIM	1,7	2,6	3,2	3
ARALIK	1,8	2,8	3,4	3

Çizelge 4.6. Kütahya 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2002 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1	1,5	1,9	3
ŞUBAT	1,3	2	2,4	3
MART	1,4	2,2	2,6	3
NİSAN	1,3	2	2,4	3
MAYIS	1,4	2,2	2,6	3
HAZİRAN	1,6	2,5	3	3
TEMMUZ	1,5	2,3	2,8	3
AĞUSTOS	1,3	2	2,4	3
EYLÜL	1	1,5	1,9	3
EKİM	1,1	1,7	2	3
KASIM	0,9	1,4	1,7	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

Çizelge 4.7. Kütahya 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2003 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI(KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2	3,1	3,7	3
ŞUBAT	2,1	3,2	3,9	3
MART	1,5	2,3	2,8	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,1	1,7	2	3
HAZİRAN	1,6	2,5	3	3
TEMMUZ	1,8	2,8	3,4	3
AĞUSTOS	1,4	2,2	2,6	3
EYLÜL	1,5	2,3	2,8	3
EKİM	2	3,1	3,7	3
KASIM	1,1	1,7	2	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

Çizelge 4.8. Kütahya 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2004 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,6	2,5	3	3
ŞUBAT	1,9	2,9	3,5	3
MART	2	3,1	3,7	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,7	2,6	3,2	3
HAZİRAN	1,5	2,3	2,8	3
TEMMUZ	1,6	2,5	3	3
AĞUSTOS	1,4	2,2	2,6	3
EYLÜL	1,3	2	2,4	3
EKİM	1,1	1,7	2	3
KASIM	1,3	2	2,4	3
ARALIK	1,1	1,7	2	3

Çizelge 4.9. Kütahya 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2005 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,4	2,2	2,6	3
ŞUBAT	2,1	3,2	3,9	3
MART	1,6	2,5	3	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,6	2,5	3	3
HAZİRAN	1,4	2,2	2,6	3
TEMMUZ	1,4	2,2	2,6	3
AĞUSTOS	1,3	2	2,4	3
EYLÜL	1,2	1,9	2,2	3
EKİM	1,1	1,7	2	3
KASIM	1,5	2,3	2,8	3
ARALIK	1,5	2,3	2,8	3

Çizelge 4.10. Kütahya 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2006 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI(KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,2	1,9	2,2	3
ŞUBAT	1,5	2,3	2,8	3
MART	1,9	2,9	3,5	3
NİSAN	1,8	2,8	3,4	3
MAYIS	1,3	2	2,4	3
HAZİRAN	1,7	2,6	3,2	3
TEMMUZ	1,6	2,5	3	3
AĞUSTOS	1,4	2,2	2,6	3
EYLÜL	1,1	1,7	2	3
EKİM	1	1,5	1,9	3
KASIM	1	1,5	1,9	3
ARALIK	0,7	1,1	1,3	3

Çizelge 4.11. Kütahya 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2007 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,4	2,2	2,6	3
ŞUBAT	1,3	2	2,4	3
MART	1,8	2,8	3,4	3
NİSAN	3,1	4,8	5,8	3
MAYIS	3	4,6	5,6	3
HAZİRAN	2,9	4,5	5,4	3
TEMMUZ	3,1	4,8	5,8	3
AĞUSTOS	2,9	4,5	5,4	3
EYLÜL	2,6	4	4,8	3
EKİM	2,2	3,4	4,1	3
KASIM	2	3,1	3,7	3
ARALIK	1,2	1,9	2,2	3

Çizelge 4.12. Kütahya 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2008 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,2	1,9	2,2	3
ŞUBAT	1,3	2	2,4	3
MART	1,9	2,9	3,5	3
NİSAN	1,6	2,5	3	3
MAYIS	1,3	2	2,4	3
HAZİRAN	1,5	2,3	2,8	3
TEMMUZ	1,5	2,3	2,8	3
AĞUSTOS	1,4	2,2	2,6	3
EYLÜL	1,3	2	2,4	3
EKİM	1,2	1,9	2,2	3
KASIM	1,2	1,9	2,2	3
ARALIK	1,2	1,9	2,2	3

Çizelge 4.13. Kütahya 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2009 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (KÜTAHYA)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,4	2,2	2,6	3
ŞUBAT	1,7	2,6	3,2	3
MART	1,7	2,6	3,2	3
NİSAN	1,3	2	2,4	3
MAYIS	1,5	2,3	2,8	3
HAZİRAN	1,6	2,5	3	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	1,5	2,3	2,8	3
EYLÜL	1,3	2	2,4	3
EKİM	1,3	2	2,4	3
KASIM	1,2	1,9	2,2	3
ARALIK	1,4	2,2	2,6	3

4.6. Tavşanlı İlçesinin Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009)

Çizelge 4.14 ‘den Çizelge 4.23 ‘e kadar olan tablolarda Tavşanlı ilçesinin 2000-2009 yılları arasında 10 metre yükseklikte ölçülmüş aylık ortalama rüzgar hızı değerleri; Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s ‘lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. Tavşanlı 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2000 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,2	3,4	4,1	3
ŞUBAT	1,9	2,9	3,5	3
MART	1,6	2,5	3	3
NİSAN	1,8	2,8	3,4	3
MAYIS	1,6	2,5	3	3
HAZİRAN	1,8	2,8	3,4	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	1,7	2,6	3,2	3
EYLÜL	1,7	2,6	3,2	3
EKİM	1,5	2,3	2,8	3
KASIM	1,3	2	2,4	3
ARALIK	1,7	2,6	3,2	3

Çizelge 4.15. Tavşanlı 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2001 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,8	2,8	3,4	3
ŞUBAT	1,9	2,9	3,5	3
MART	2,2	3,4	4,1	3
NİSAN	1,9	2,9	3,5	3
MAYIS	1,8	2,8	3,4	3
HAZİRAN	1,9	2,9	3,5	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	1,6	2,5	3	3
EYLÜL	1,5	2,3	2,8	3
EKİM	1,5	2,3	2,8	3
KASIM	1,8	2,8	3,4	3
ARALIK	2	3,1	3,7	3

Çizelge 4.16. Tavşanlı 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2002 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,9	2,9	3,5	3
ŞUBAT	1,8	2,8	3,4	3
MART	1,7	2,6	3,2	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,6	2,5	3	3
HAZİRAN	1,7	2,6	3,2	3
TEMMUZ	1,6	2,5	3	3
AĞUSTOS	1,6	2,5	3	3
EYLÜL	1,3	2	2,4	3
EKİM	1,4	2,2	2,6	3
KASIM	1,4	2,2	2,6	3
ARALIK	2	3,1	3,7	3

Çizelge 4.17. Tavşanlı 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2003 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,8	2,8	3,4	3
ŞUBAT	2,3	3,6	4,3	3
MART	2,1	3,2	3,9	3
NİSAN	2	3,1	3,7	3
MAYIS	1,4	2,2	2,6	3
HAZİRAN	1,5	2,3	2,8	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	1,4	2,2	2,6	3
EYLÜL	1,4	2,2	2,6	3
EKİM	1,8	2,8	3,4	3
KASIM	1,4	2,2	2,6	3
ARALIK	2,2	3,4	4,1	3

Çizelge 4.18. Tavşanlı 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2004 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,1	3,2	3,9	3
ŞUBAT	1,6	2,5	3	3
MART	1,9	2,9	3,5	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,6	2,5	3	3
HAZİRAN	1,4	2,2	2,6	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	1,4	2,2	2,6	3
EYLÜL	1,5	2,3	2,8	3
EKİM	1,4	2,2	2,6	3
KASIM	1,4	2,2	2,6	3
ARALIK	1,5	2,3	2,8	3

Çizelge 4.19. Tavşanlı 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2005 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,9	2,9	3,5	3
ŞUBAT	2,1	3,2	3,9	3
MART	1,7	2,6	3,2	3
NİSAN	1,9	2,9	3,5	3
MAYIS	1,8	2,8	3,4	3
HAZİRAN	1,7	2,6	3,2	3
TEMMUZ	1,5	2,3	2,8	3
AĞUSTOS	1,6	2,5	3	3
EYLÜL	1,4	2,2	2,6	3
EKİM	1,4	2,2	2,6	3
KASIM	1,7	2,6	3,2	3
ARALIK	1,9	2,9	3,5	3

Çizelge 4.20. Tavşanlı 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2006 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,6	2,5	3	3
ŞUBAT	1,9	2,9	3,5	3
MART	2,1	3,2	3,9	3
NİSAN	1,9	2,9	3,5	3
MAYIS	1,7	2,6	3,2	3
HAZİRAN	1,8	2,8	3,4	3
TEMMUZ	1,8	2,8	3,4	3
AĞUSTOS	1,8	2,8	3,4	3
EYLÜL	1,4	2,2	2,6	3
EKİM	1,4	2,2	2,6	3
KASIM	1,4	2,2	2,6	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

Çizelge 4.21. Tavşanlı 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2007 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,6	4	4,8	3
ŞUBAT	2,9	4,5	5,4	3
MART	3,5	5,4	6,5	3
NİSAN	2,8	4,3	5,2	3
MAYIS	3,1	4,8	5,8	3
HAZİRAN	2,8	4,3	5,2	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	3,4	5,3	6,3	3
EYLÜL	3	4,6	5,6	3
EKİM	2,5	3,9	4,7	3
KASIM	1,6	2,5	3	3
ARALIK	1,8	2,8	3,4	3

Çizelge 4.22. Tavşanlı 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2008 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,7	2,6	3,2	3
ŞUBAT	1,5	2,3	2,8	3
MART	2	3,1	3,7	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,5	2,3	2,8	3
HAZİRAN	1,7	2,6	3,2	3
TEMMUZ	1,8	2,8	3,4	3
AĞUSTOS	1,6	2,5	3	3
EYLÜL	1,5	2,3	2,8	3
EKİM	1,4	2,2	2,6	3
KASIM	1,5	2,3	2,8	3
ARALIK	1,7	2,6	3,2	3

Çizelge 4.23. Tavşanlı 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2009 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (TAVŞANLI)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,6	2,5	3	3
ŞUBAT	1,8	2,8	3,4	3
MART	1,9	2,9	3,5	3
NİSAN	1,7	2,6	3,2	3
MAYIS	1,7	2,6	3,2	3
HAZİRAN	1,7	2,6	3,2	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	1,7	2,6	3,2	3
EYLÜL	1,4	2,2	2,6	3
EKİM	1,5	2,3	2,8	3
KASIM	1,3	2	2,4	3
ARALIK	1,6	2,5	3	3

4.7. Simav İlçesinin Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009)

Çizelge 4.24 ‘den Çizelge 4.33 ‘e kadar olan tablolarda Simav ilçesinin 2000-2009 yılları arasında 10 metre yükseklikte ölçülmüş aylık ortalama rüzgar hızı değerleri; Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s ‘lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.24. Simav 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2000 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,6	2,5	3	3
ŞUBAT	1,5	2,3	2,8	3
MART	1,2	1,9	2,2	3
NİSAN	1,3	2	2,4	3
MAYIS	1,1	1,7	2	3
HAZİRAN	1,2	1,9	2,2	3
TEMMUZ	1	1,5	1,9	3
AĞUSTOS	1,3	2	2,4	3
EYLÜL	0,9	1,4	1,7	3
EKİM	0,8	1,2	1,5	3
KASIM	0,9	1,4	1,7	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

Çizelge 4.25. Simav 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2001 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,3	2	2,4	3
ŞUBAT	1,3	2	2,4	3
MART	1,5	2,3	2,8	3
NİSAN	1,4	2,2	2,6	3
MAYIS	1	1,5	1,9	3
HAZİRAN	1,3	2	2,4	3
TEMMUZ	1,3	2	2,4	3
AĞUSTOS	0,9	1,4	1,7	3
EYLÜL	0,8	1,2	1,5	3
EKİM	0,9	1,4	1,7	3
KASIM	1,4	2,2	2,6	3
ARALIK	1,6	2,5	3	3

Çizelge 4.26. Simav 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2002 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,1	1,7	2	3
ŞUBAT	1	1,5	1,9	3
MART	1,1	1,7	2	3
NİSAN	1	1,5	1,9	3
MAYIS	0,9	1,4	1,7	3
HAZİRAN	1,1	1,7	2	3
TEMMUZ	1,1	1,7	2	3
AĞUSTOS	1,1	1,7	2	3
EYLÜL	1	1,5	1,9	3
EKİM	0,8	1,2	1,5	3
KASIM	0,9	1,4	1,7	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

Çizelge 4.27. Simav 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2003 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,7	2,6	3,2	3
ŞUBAT	1,7	2,6	3,2	3
MART	1,5	2,3	2,8	3
NİSAN	1,6	2,5	3	3
MAYIS	1	1,5	1,9	3
HAZİRAN	1,1	1,7	2	3
TEMMUZ	1,2	1,9	2,2	3
AĞUSTOS	1,2	1,9	2,2	3
EYLÜL	1,1	1,7	2	3
EKİM	1,3	2	2,4	3
KASIM	0,9	1,4	1,7	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

Çizelge 4.28. Simav 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2004 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,6	2,5	3	3
ŞUBAT	1,6	2,5	3	3
MART	1,6	2,5	3	3
NİSAN	1,2	1,9	2,2	3
MAYIS	1,3	2	2,4	3
HAZİRAN	1,1	1,7	2	3
TEMMUZ	1,3	2	2,4	3
AĞUSTOS	1,1	1,7	2	3
EYLÜL	1,1	1,7	2	3
EKİM	0,7	1,1	1,3	3
KASIM	1,3	2	2,4	3
ARALIK	1,2	1,9	2,2	3

Çizelge 4.29. Simav 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2005 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,4	2,2	2,6	3
ŞUBAT	1,8	2,8	3,4	3
MART	1,2	1,9	2,2	3
NİSAN	1,4	2,2	2,6	3
MAYIS	1,1	1,7	2	3
HAZİRAN	1,2	1,9	2,2	3
TEMMUZ	1,1	1,7	2	3
AĞUSTOS	1,2	1,9	2,2	3
EYLÜL	0,8	1,2	1,5	3
EKİM	0,8	1,2	1,5	3
KASIM	1,5	2,3	2,8	3
ARALIK	1,6	2,5	3	3

Çizelge 4.30. Simav 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2006 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,1	1,7	2	3
ŞUBAT	1,3	2	2,4	3
MART	1,6	2,5	3	3
NİSAN	1,4	2,2	2,6	3
MAYIS	0,9	1,4	1,7	3
HAZİRAN	1,4	2,2	2,6	3
TEMMUZ	1,5	2,3	2,8	3
AĞUSTOS	1,1	1,7	2	3
EYLÜL	1,1	1,7	2	3
EKİM	0,7	1,1	1,3	3
KASIM	0,9	1,4	1,7	3
ARALIK	0,8	1,2	1,5	3

Çizelge 4.31. Simav 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2007 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,3	3,6	4,3	3
ŞUBAT	2,3	3,6	4,3	3
MART	2,4	3,7	4,5	3
NİSAN	1,2	1,9	2,2	3
MAYIS	2,1	3,2	3,9	3
HAZİRAN	1	1,5	1,9	3
TEMMUZ	0,2	0,3	0,4	3
AĞUSTOS	2	3,1	3,7	3
EYLÜL	1,9	2,9	3,5	3
EKİM	1,6	2,5	3	3
KASIM	1,5	2,3	2,8	3
ARALIK	1,1	1,7	2	3

Çizelge 4.32. Simav 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2008 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	0,9	1,4	1,7	3
ŞUBAT	1	1,5	1,9	3
MART	1,7	2,6	3,2	3
NİSAN	1,4	2,2	2,6	3
MAYIS	1	1,5	1,9	3
HAZİRAN	1,5	2,3	2,8	3
TEMMUZ	1,7	2,6	3,2	3
AĞUSTOS	1,6	2,5	3	3
EYLÜL	1,5	2,3	2,8	3
EKİM	1,4	2,2	2,6	3
KASIM	1,6	2,5	3	3
ARALIK	1,7	2,6	3,2	3

Çizelge 4.33. Simav 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2009 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (SİMAV)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,9	2,9	3,5	3
ŞUBAT	1,9	2,9	3,5	3
MART	1,8	2,8	3,4	3
NİSAN	1,6	2,5	3	3
MAYIS	1,6	2,5	3	3
HAZİRAN	1,6	2,5	3	3
TEMMUZ	1,8	2,8	3,4	3
AĞUSTOS	1,6	2,5	3	3
EYLÜL	1,4	2,2	2,6	3
EKİM	1,5	2,3	2,8	3
KASIM	1,4	2,2	2,6	3
ARALIK	1,9	2,9	3,5	3

4.8. Gediz İlçesinin Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri (2000-2009)

Çizelge 4.34 ‘den Çizelge 4.43 ‘e kadar olan tablolarda Gediz ilçesinin 2000-2009 yılları arasında 10 metre yükseklikte ölçülmüş aylık ortalama rüzgar hızı değerleri ; Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 , 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s ‘lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.34. Gediz 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2000 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,5	3,9	4,7	3
ŞUBAT	2,8	4,3	5,2	3
MART	2,5	3,9	4,7	3
NİSAN	2,1	3,2	3,9	3
MAYIS	2,4	3,7	4,5	3
HAZİRAN	3	4,6	5,6	3
TEMMUZ	2,6	4	4,8	3
AĞUSTOS	3,2	4,9	6	3
EYLÜL	2,1	3,2	3,9	3
EKİM	1,9	2,9	3,5	3
KASIM	1,7	2,6	3,2	3
ARALIK	1,8	2,8	3,4	3

Çizelge 4.35. Gediz 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2001 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2	3,1	3,7	3
ŞUBAT	2,6	4	4,8	3
MART	2,5	3,9	4,7	3
NİSAN	2,2	3,4	4,1	3
MAYIS	2,4	3,7	4,5	3
HAZİRAN	2,6	4	4,8	3
TEMMUZ	2,5	3,9	4,7	3
AĞUSTOS	2,6	4	4,8	3
EYLÜL	1,9	2,9	3,5	3
EKİM	2,7	4,2	5	3
KASIM	2,2	3,4	4,1	3
ARALIK	2,7	4,2	5	3

Çizelge 4.36. Gediz 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2002 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,5	3,9	4,7	3
ŞUBAT	2,2	3,4	4,1	3
MART	2,1	3,2	3,9	3
NİSAN	1,9	2,9	3,5	3
MAYIS	2,1	3,2	3,9	3
HAZİRAN	2,8	4,3	5,2	3
TEMMUZ	2,1	3,2	3,9	3
AĞUSTOS	2,2	3,4	4,1	3
EYLÜL	1,5	2,3	2,8	3
EKİM	1,7	2,6	3,2	3
KASIM	1,2	1,9	2,2	3
ARALIK	2,2	3,4	4,1	3

Çizelge 4.37. Gediz 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2003 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,2	3,4	4,1	3
ŞUBAT	3,2	4,9	6	3
MART	2,8	4,3	5,2	3
NİSAN	2,3	3,6	4,3	3
MAYIS	1,8	2,8	3,4	3
HAZİRAN	2,2	3,4	4,1	3
TEMMUZ	2,9	4,5	5,4	3
AĞUSTOS	2,7	4,2	5	3
EYLÜL	2,4	3,7	4,5	3
EKİM	2,4	3,7	4,5	3
KASIM	1,8	2,8	3,4	3
ARALIK	2	3,1	3,7	3

Çizelge 4.38. Gediz 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2004 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,9	2,9	3,5	3
ŞUBAT	2,1	3,2	3,9	3
MART	2,6	4	4,8	3
NİSAN	2,4	3,7	4,5	3
MAYIS	2	3,1	3,7	3
HAZİRAN	2,1	3,2	3,9	3
TEMMUZ	2,7	4,2	5	3
AĞUSTOS	2,3	3,6	4,3	3
EYLÜL	2,6	4	4,8	3
EKİM	1,8	2,8	3,4	3
KASIM	1,8	2,8	3,4	3
ARALIK	1,5	2,3	2,8	3

Çizelge 4.39. Gediz 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2005 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,2	3,4	4,1	3
ŞUBAT	2,7	4,2	5	3
MART	2	3,1	3,7	3
NİSAN	2,5	3,9	4,7	3
MAYIS	1,7	2,6	3,2	3
HAZİRAN	2,6	4	4,8	3
TEMMUZ	2	3,1	3,7	3
AĞUSTOS	2,4	3,7	4,5	3
EYLÜL	2	3,1	3,7	3
EKİM	2,2	3,4	4,1	3
KASIM	1,7	2,6	3,2	3
ARALIK	1,9	2,9	3,5	3

Çizelge 4.40. Gediz 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2006 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,7	4,2	5	3
ŞUBAT	1,7	2,6	3,2	3
MART	1,9	2,9	3,5	3
NİSAN	2,2	3,4	4,1	3
MAYIS	1,8	2,8	3,4	3
HAZİRAN	2,4	3,7	4,5	3
TEMMUZ	3,1	4,8	5,8	3
AĞUSTOS	2,3	3,6	4,3	3
EYLÜL	2	3,1	3,7	3
EKİM	0,8	1,2	1,5	3
KASIM	0,4	0,6	0,7	3
ARALIK	0,8	1,2	1,5	3

Çizelge 4.41. Gediz 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

2007 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	3	4,6	5,6	3
ŞUBAT	3,5	5,4	6,5	3
MART	3,7	5,7	6,9	3
NİSAN	3,4	5,3	6,3	3
MAYIS	3,3	5,1	6,1	3
HAZİRAN	3,3	5,1	6,1	3
TEMMUZ	4,4	6,8	8,2	3
AĞUSTOS	4,1	6,3	7,6	3
EYLÜL	3,8	5,9	7,1	3
EKİM	2,7	4,2	5	3
KASIM	1,5	2,3	2,8	3
ARALIK	1,7	2,6	3,2	3

Çizelge 4.42. Gediz 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

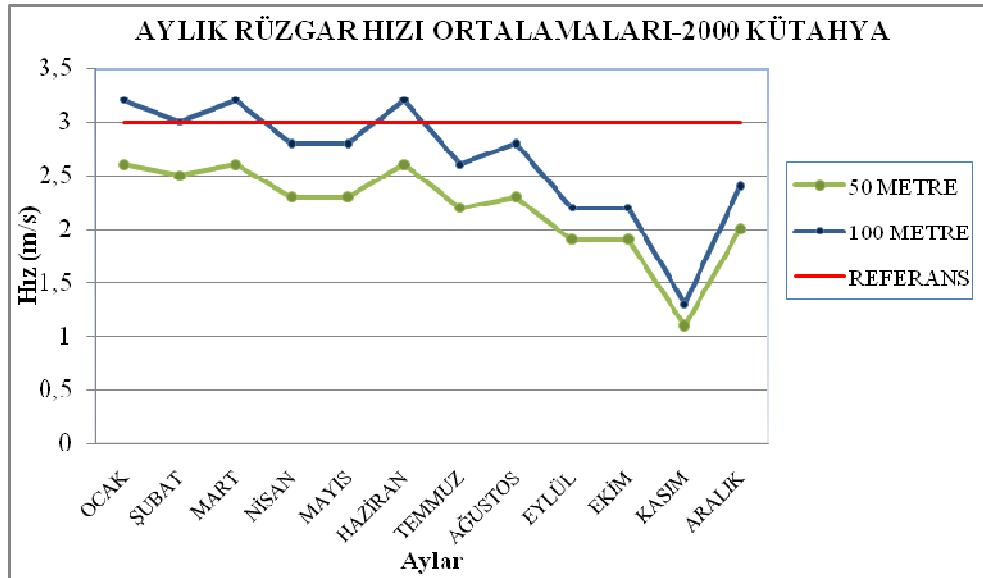
2008 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,7	2,6	3,2	3
ŞUBAT	2	3,1	3,7	3
MART	2	3,1	3,7	3
NİSAN	1,8	2,8	3,4	3
MAYIS	1,9	2,9	3,5	3
HAZİRAN	2	3,1	3,7	3
TEMMUZ	2,2	3,4	4,1	3
AĞUSTOS	2,2	3,4	4,1	3
EYLÜL	1,7	2,6	3,2	3
EKİM	1,7	2,6	3,2	3
KASIM	1,3	2	2,4	3
ARALIK	1,4	2,2	2,6	3

Çizelge 4.43. Gediz 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

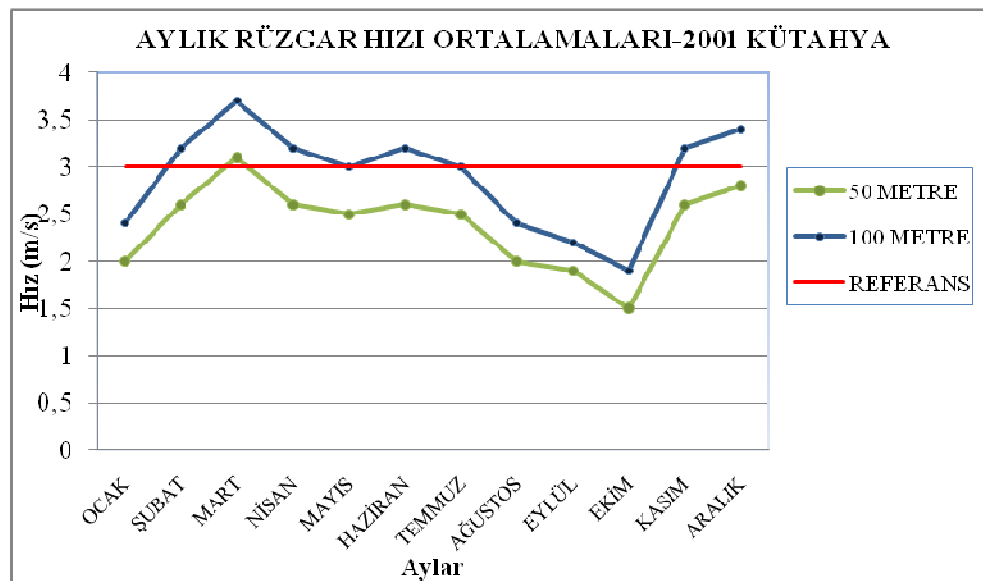
2009 YILI AYLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI (GEDİZ)				
	HIZ(m/s)			
AY	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,4	2,2	2,6	3
ŞUBAT	1,6	2,5	3	3
MART	1,7	2,6	3,2	3
NİSAN	1,6	2,5	3	3
MAYIS	1,7	2,6	3,2	3
HAZİRAN	2	3,1	3,7	3
TEMMUZ	2,3	3,6	4,3	3
AĞUSTOS	2,4	3,7	4,5	3
EYLÜL	1,6	2,5	3	3
EKİM	1,5	2,3	2,8	3
KASIM	1,3	2	2,4	3
ARALIK	1,3	2	2,4	3

4.9. Kütahya Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselle Gösterimleri (2000-2009)

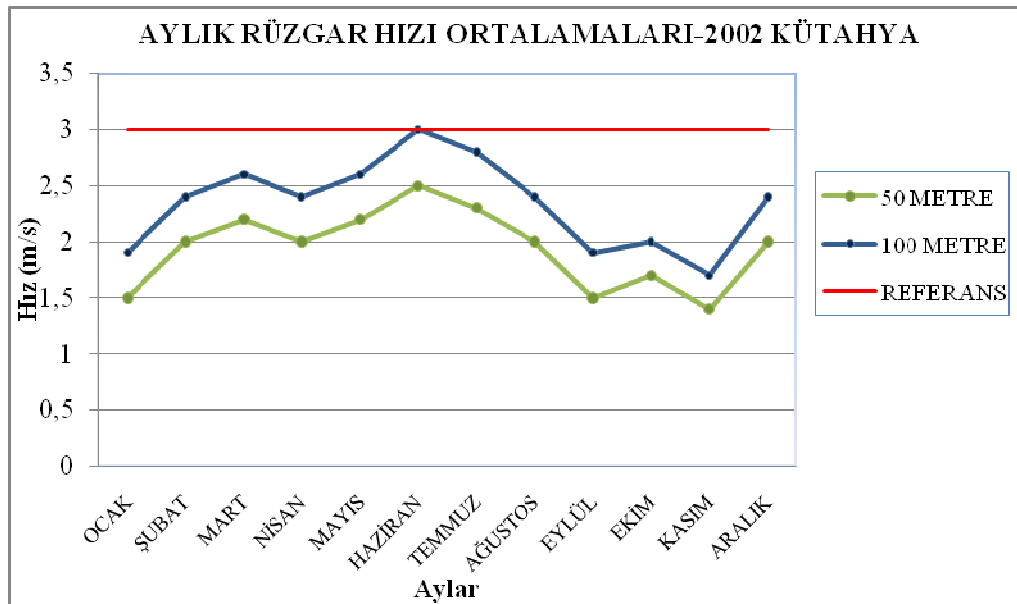
Şekil 4.7 ‘den Şekil 4.16 ‘ya kadar olan grafiklerde; Kütahya ili için bir önceki bölümde (4.5.) hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



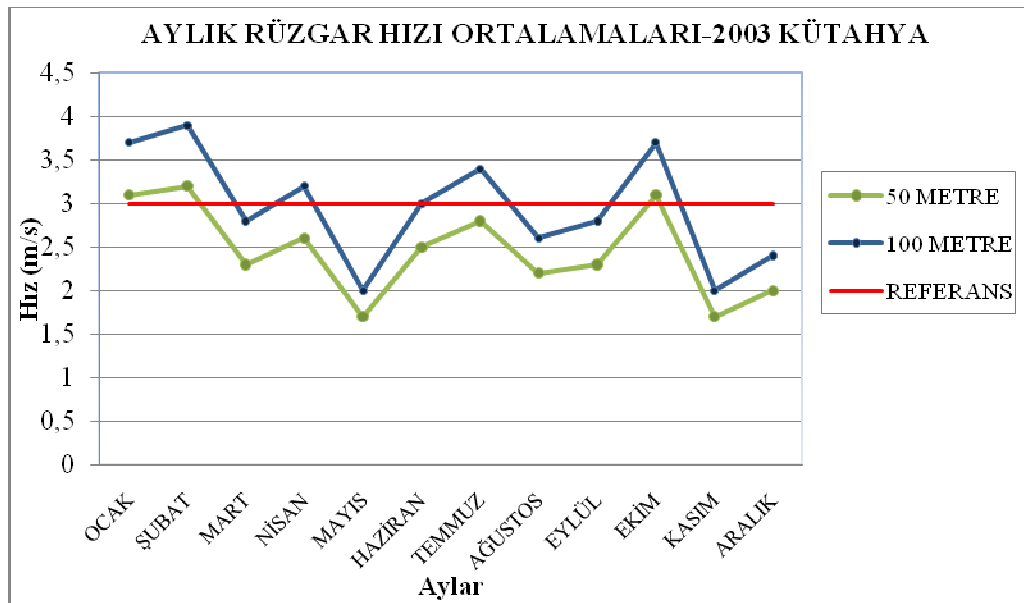
Şekil 4.7. Kütahya 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



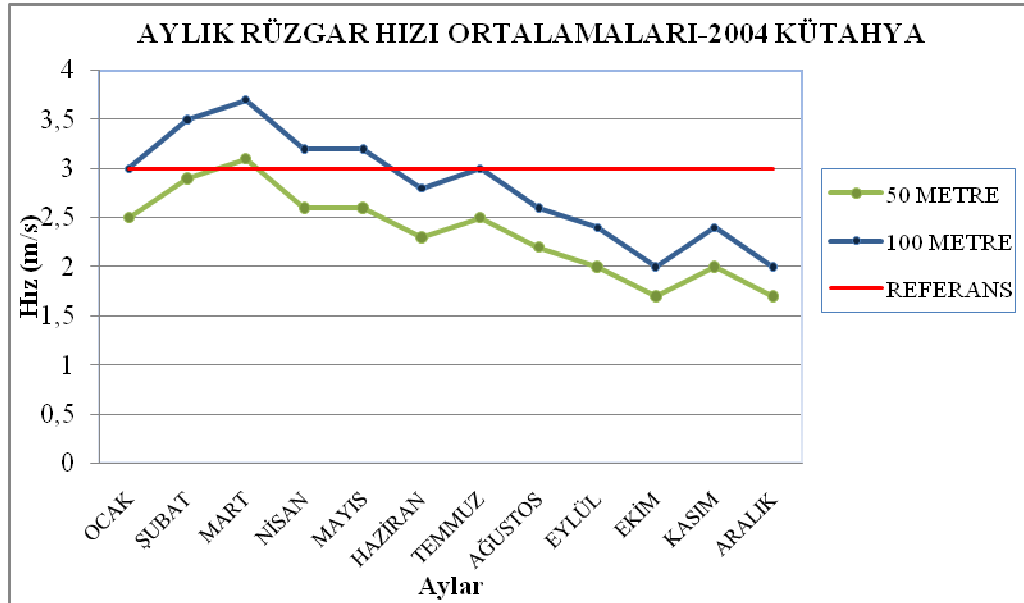
Şekil 4.8. Kütahya 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



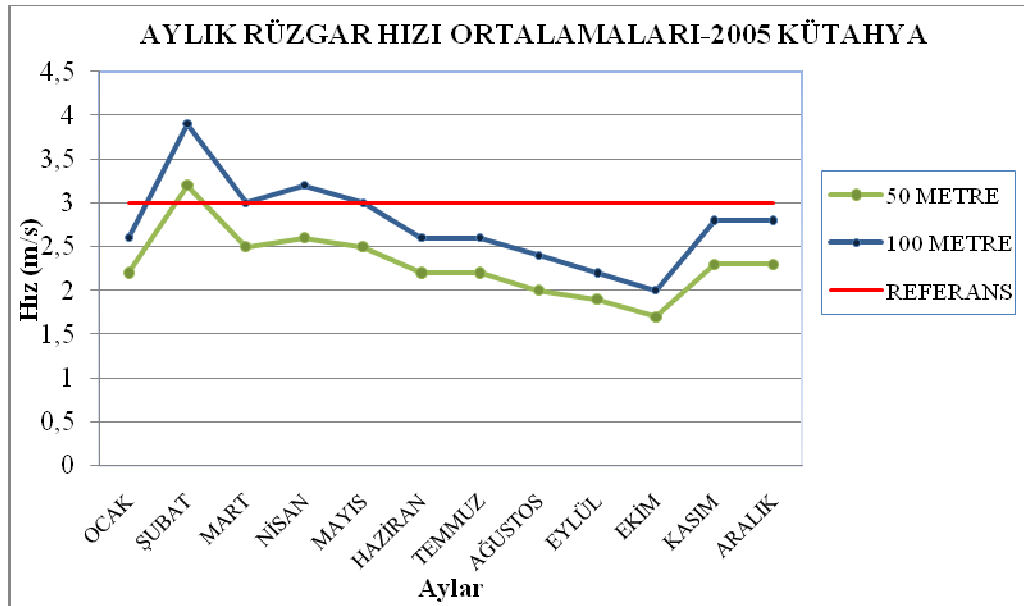
Şekil 4.9. Kütahya 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



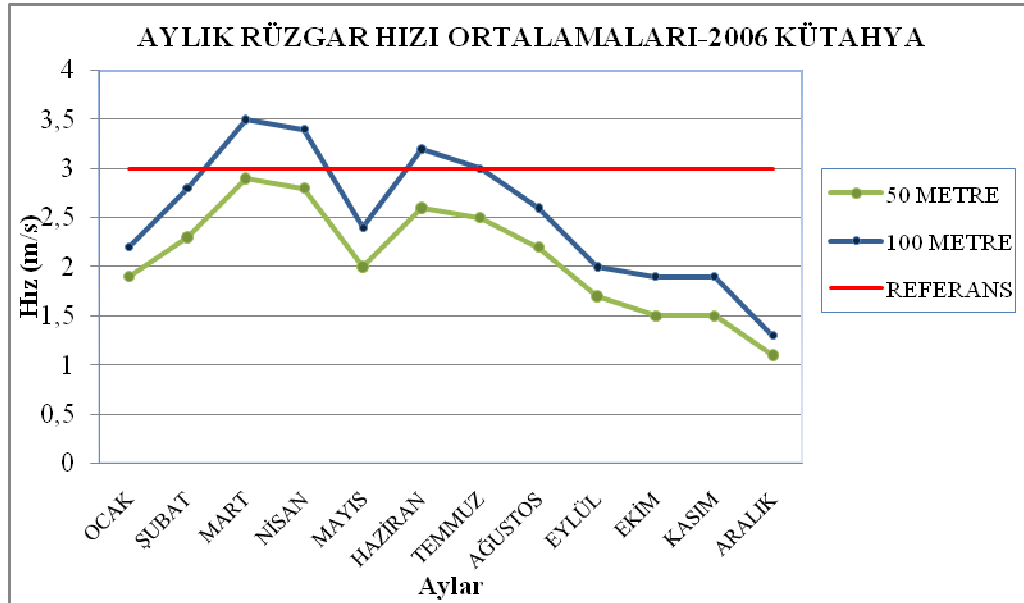
Şekil 4.10. Kütahya 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



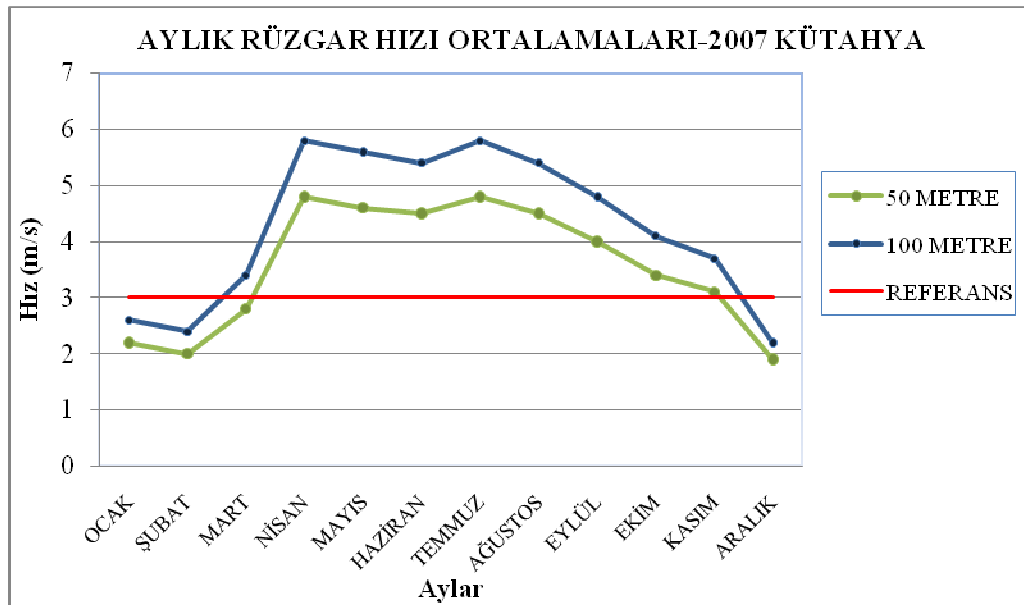
Şekil 4.11. Kütahya 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



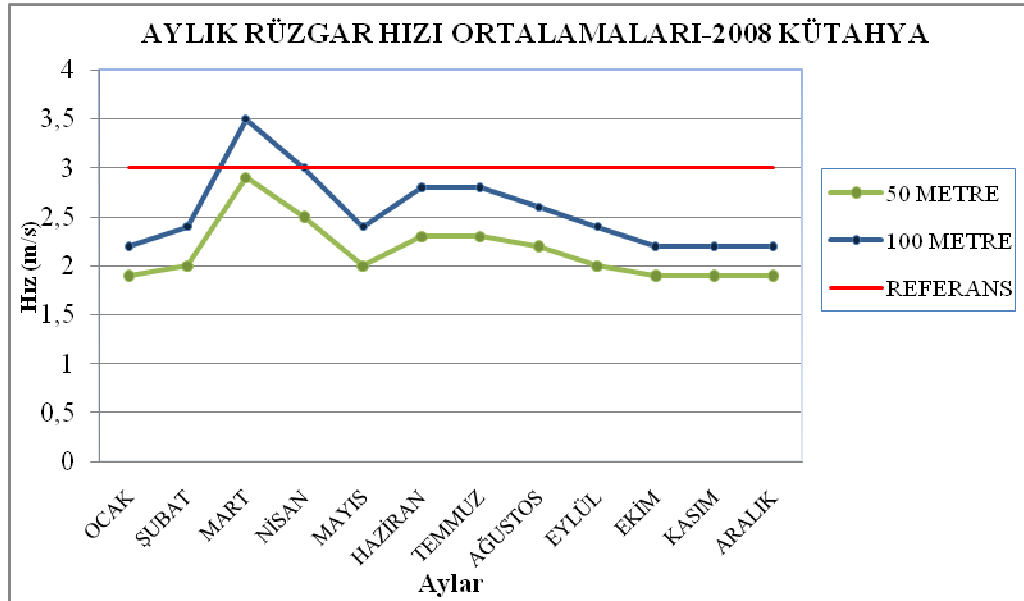
Şekil 4.12. Kütahya 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



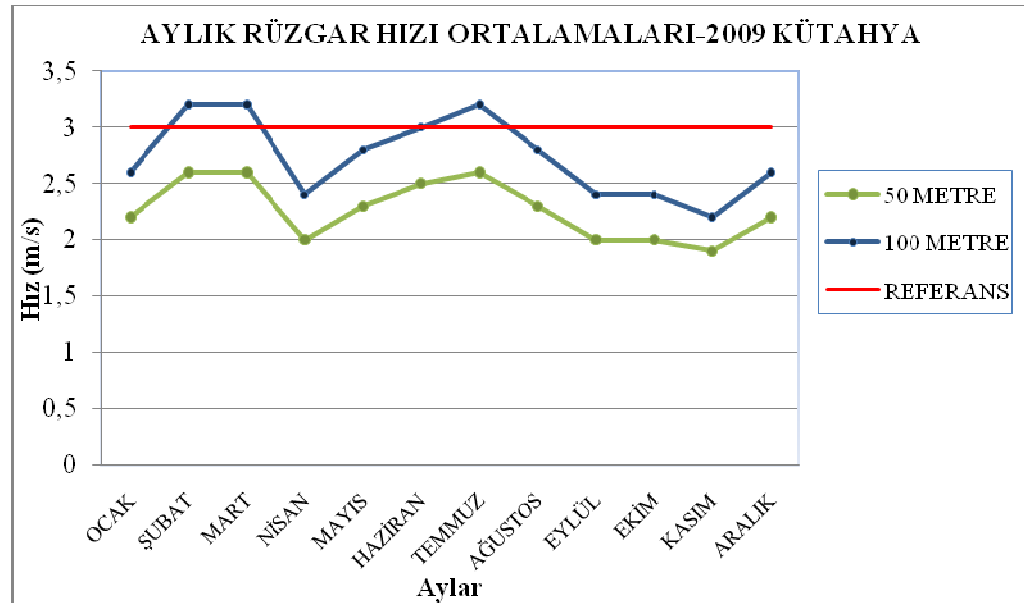
Şekil 4.13. Kütahya 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



Şekil 4.14. Kütahya 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



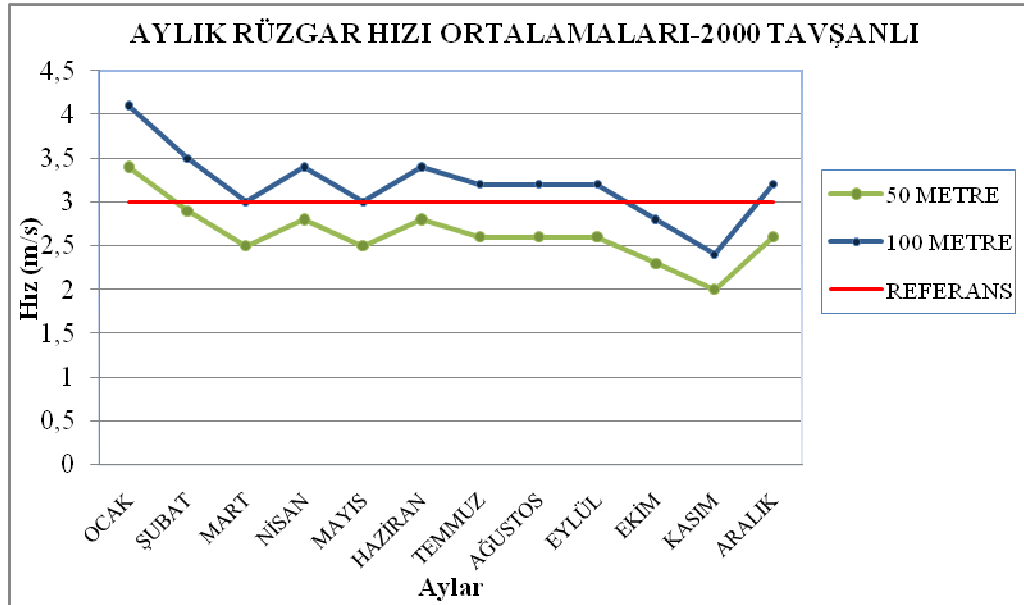
Şekil 4.15. Kütahya 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



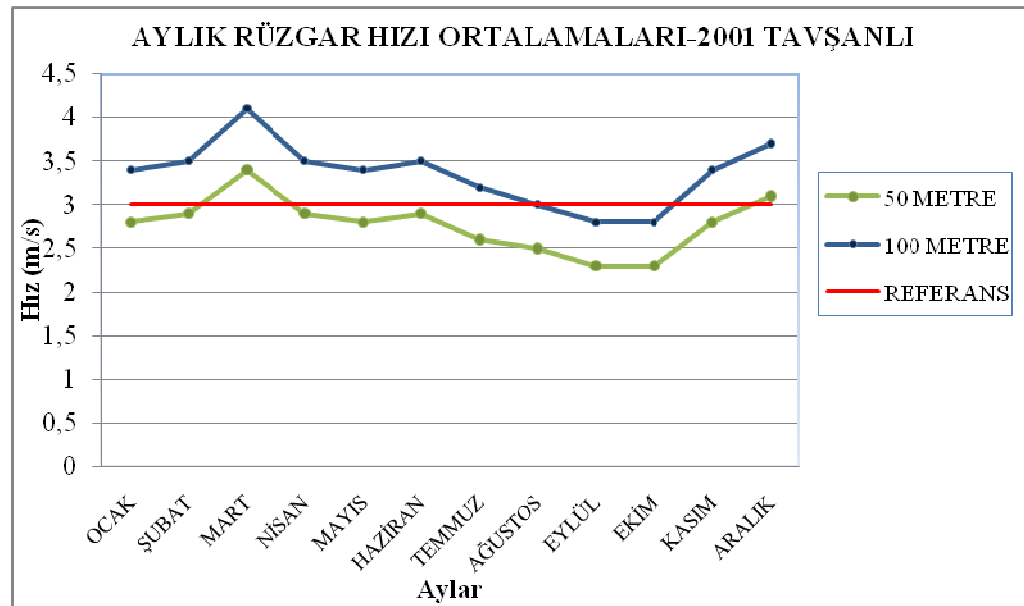
Şekil 4.16. Kütahya 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği

4.10. Tavşanlı Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselsel Gösterimleri (2000-2009)

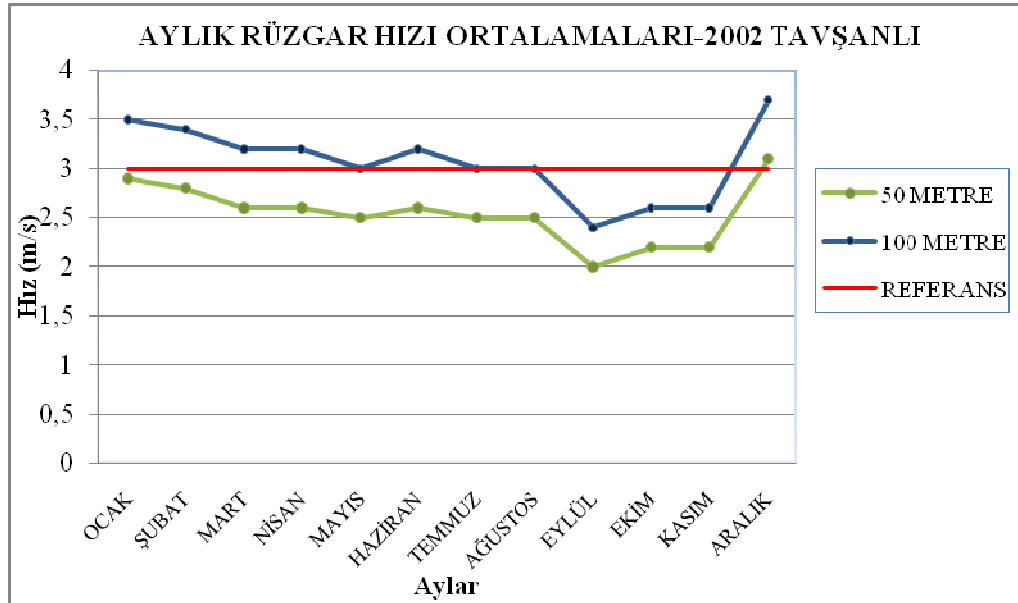
Şekil 4.17 ‘den Şekil 4.26 ‘ya kadar olan grafiklerde; Tavşanlı ilçesi için bir önceki bölümde (4.6.) hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



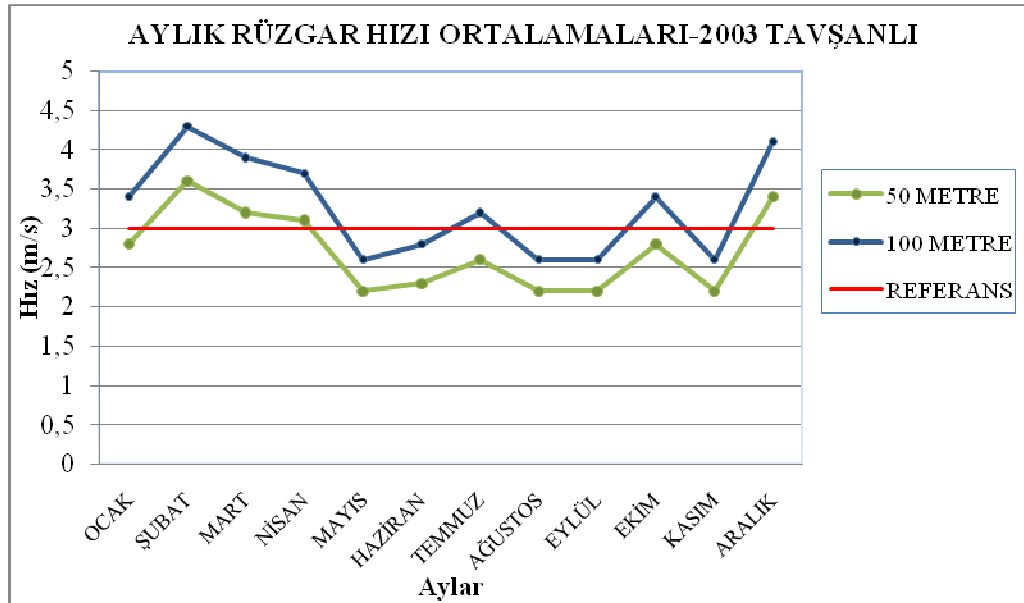
Şekil 4.17. Tavşanlı 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



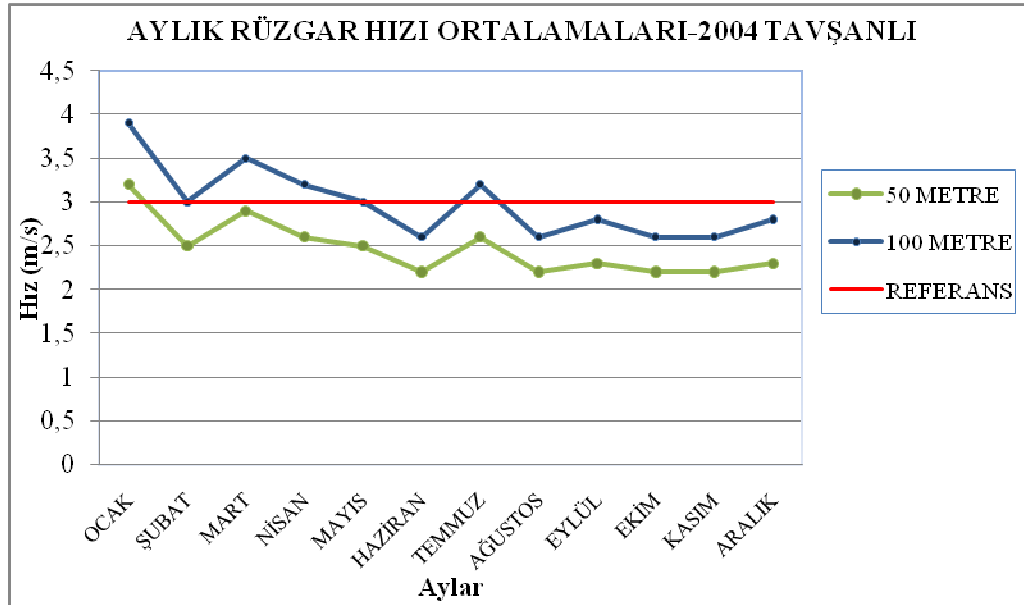
Şekil 4.18. Tavşanlı 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



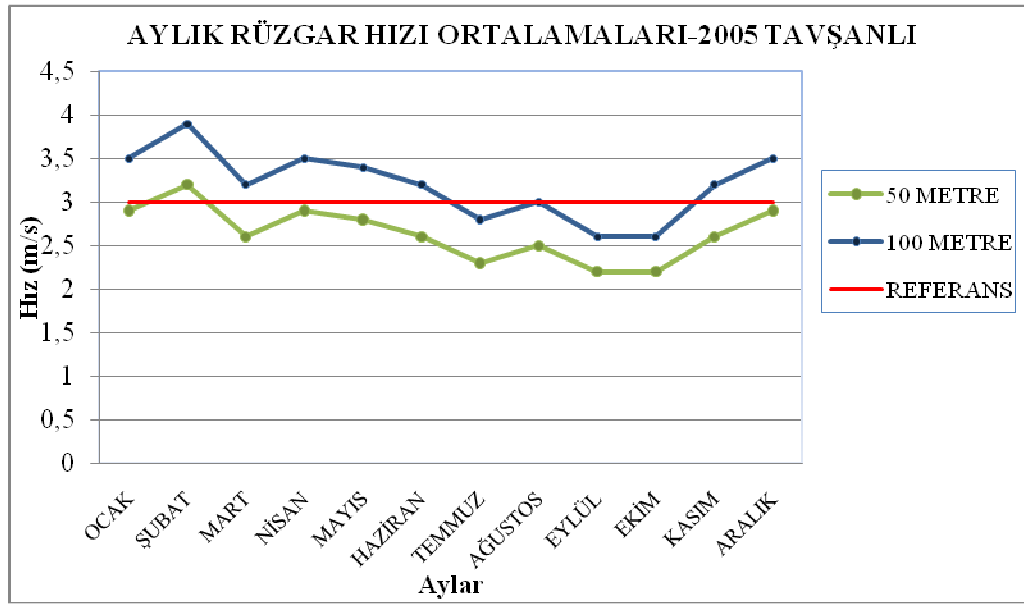
Şekil 4.19. Tavşanlı 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



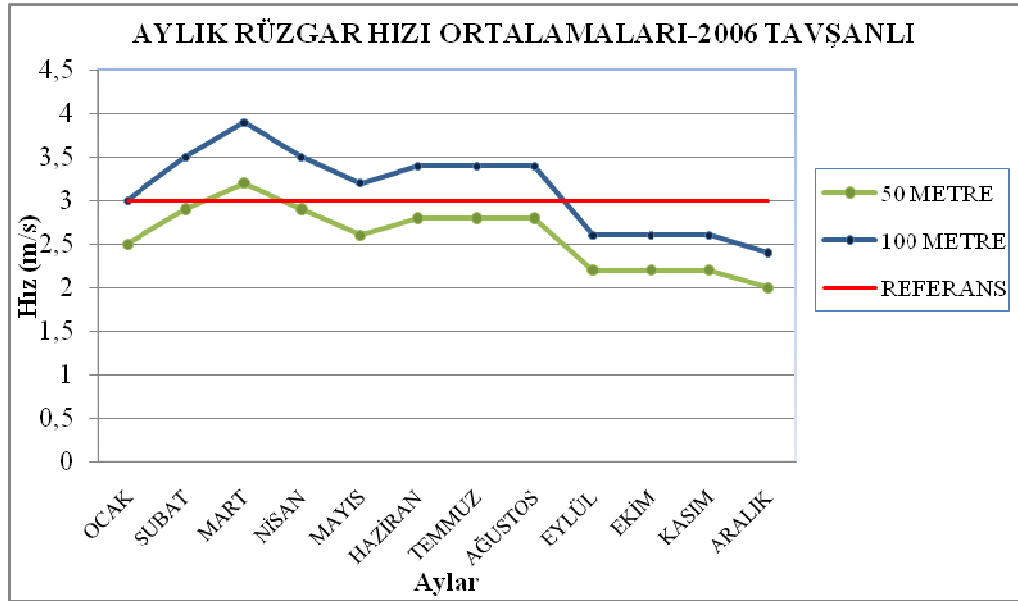
Şekil 4.20. Tavşanlı 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



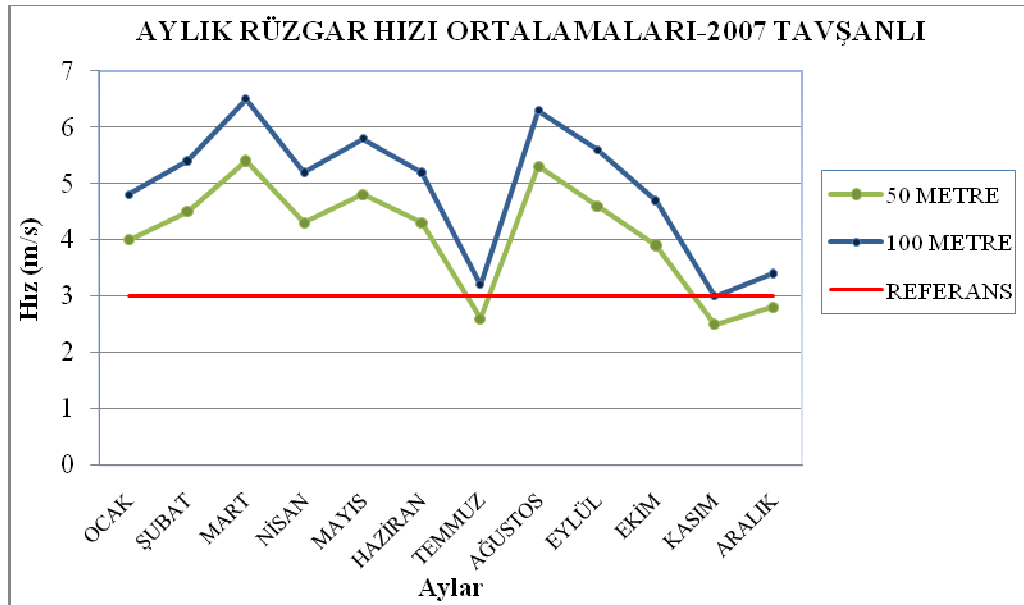
Şekil 4.21. Tavşanlı 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



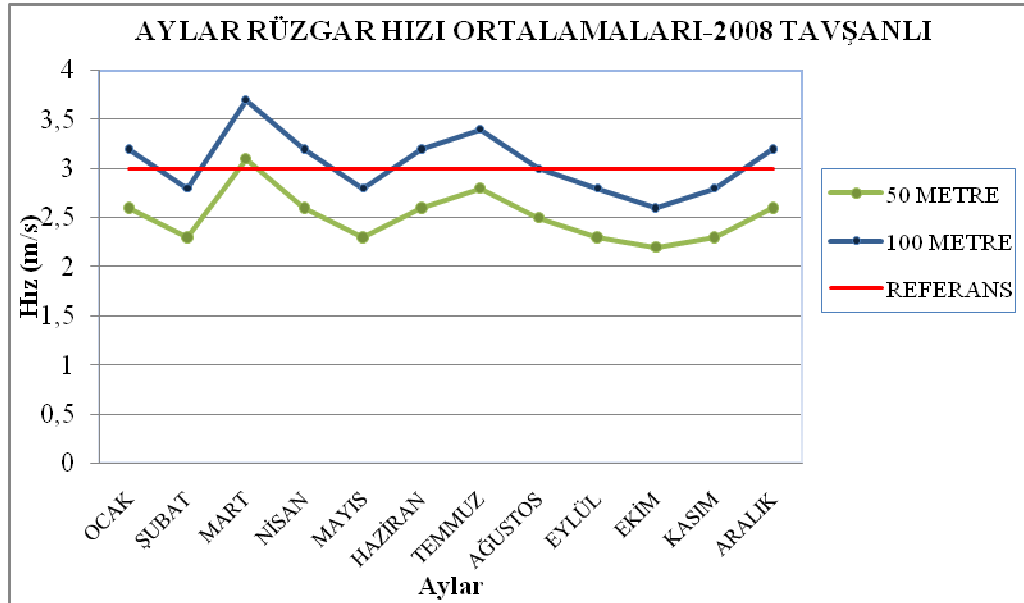
Şekil 4.22. Tavşanlı 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



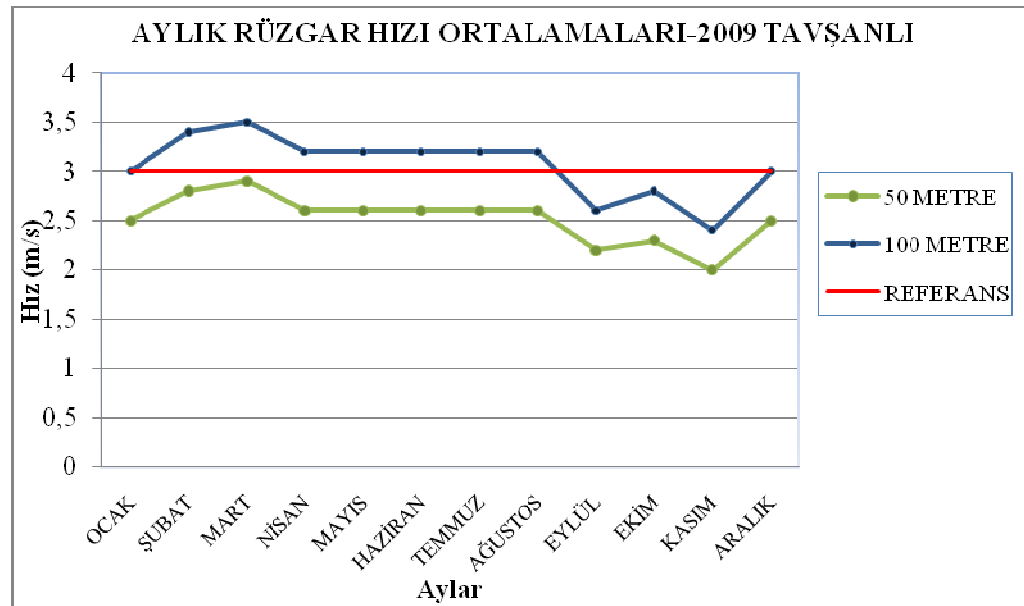
Şekil 4.23. Tavşanlı 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



Şekil 4.24. Tavşanlı 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



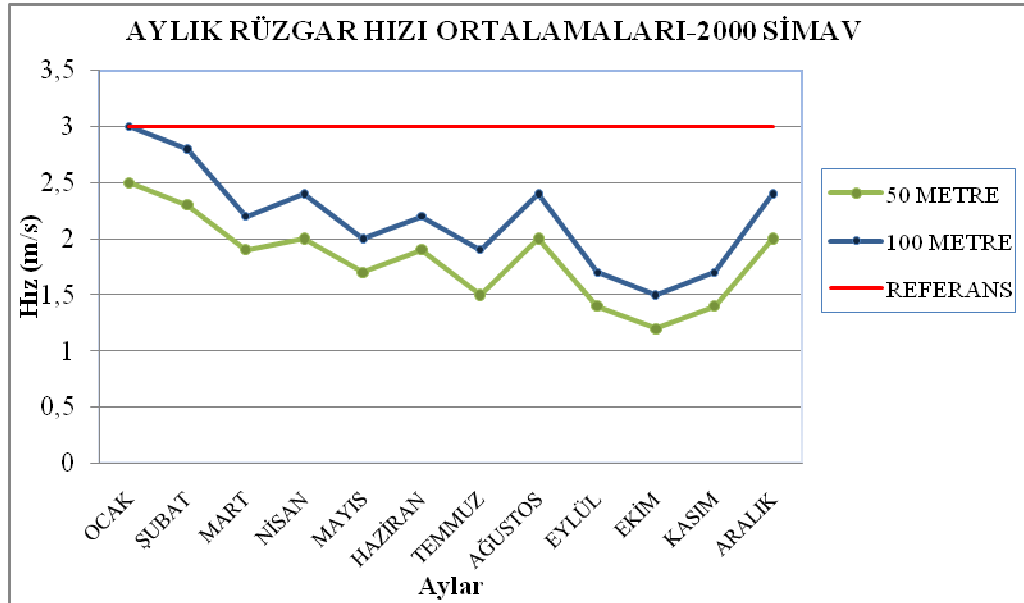
Şekil 4.25. Tavşanlı 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



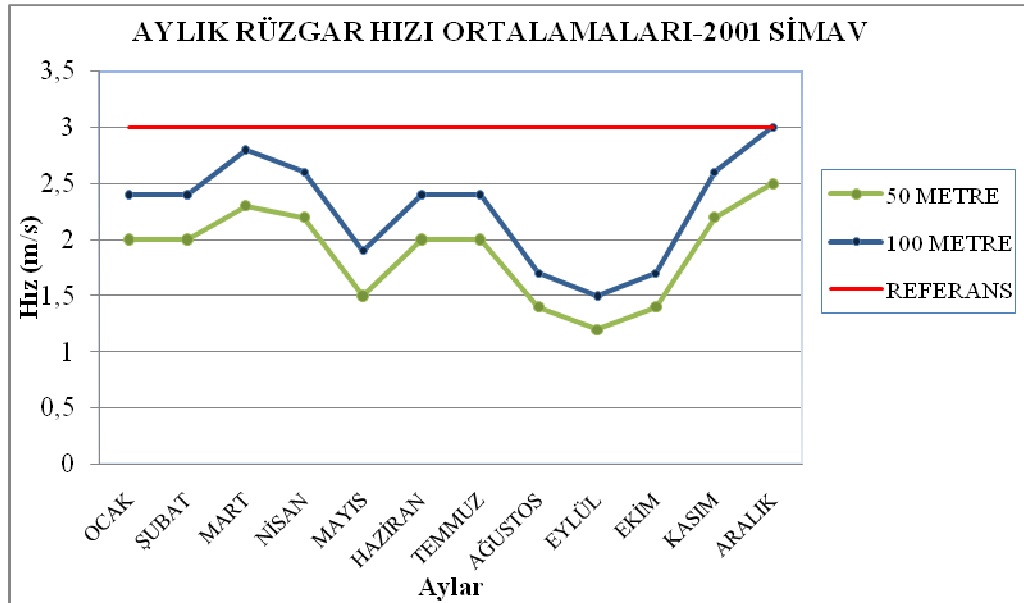
Şekil 4.26. Tavşanlı 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği

4.11. Simav Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselsel Gösterimleri (2000-2009)

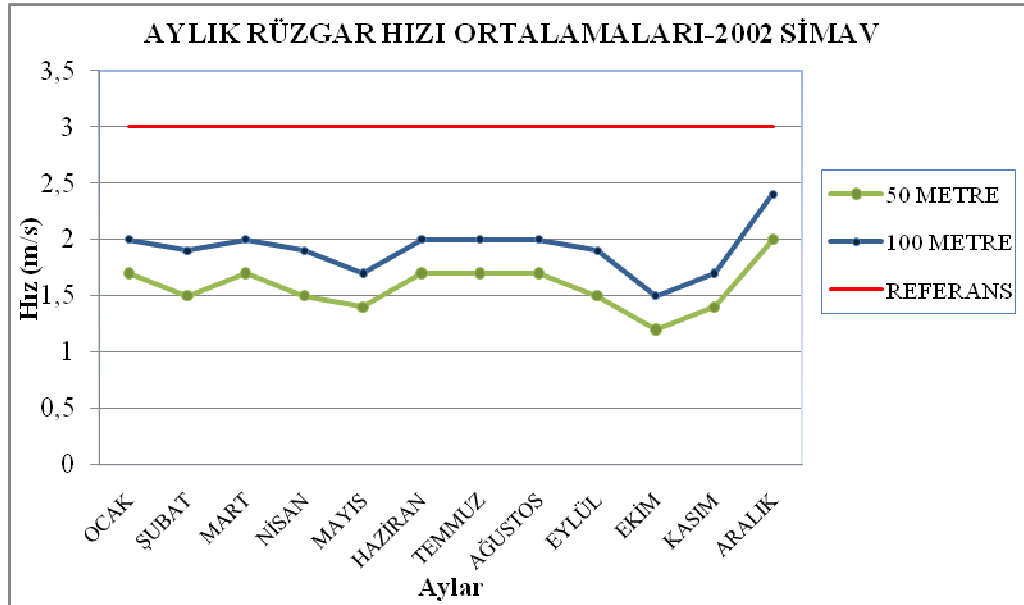
Şekil 4.27 'den Şekil 4.36 'ya kadar olan grafiklerde; Simav ilçesi için bir önceki bölümde (4.7.) hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



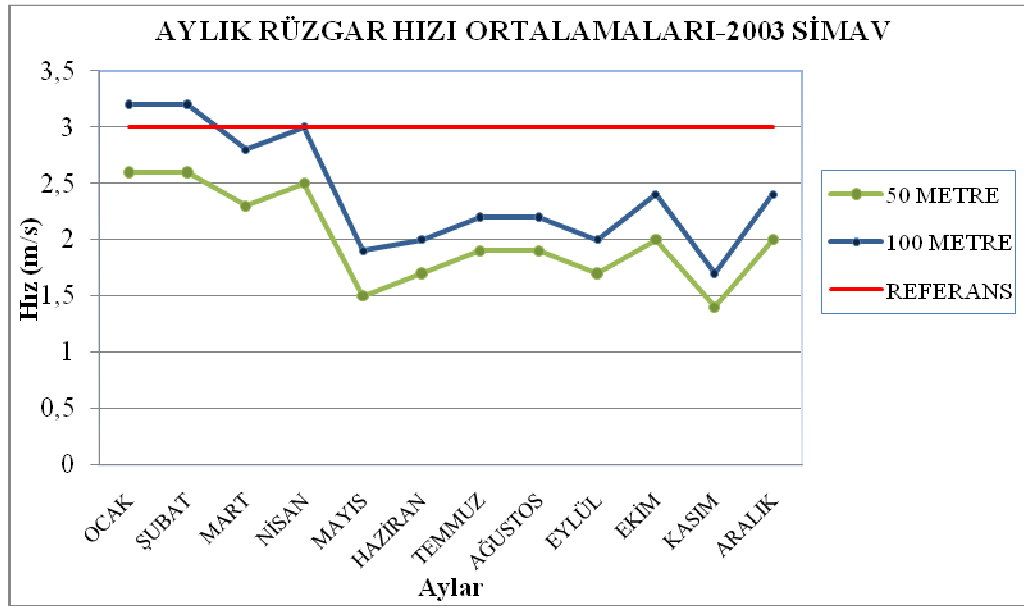
Şekil 4.27. Simav 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



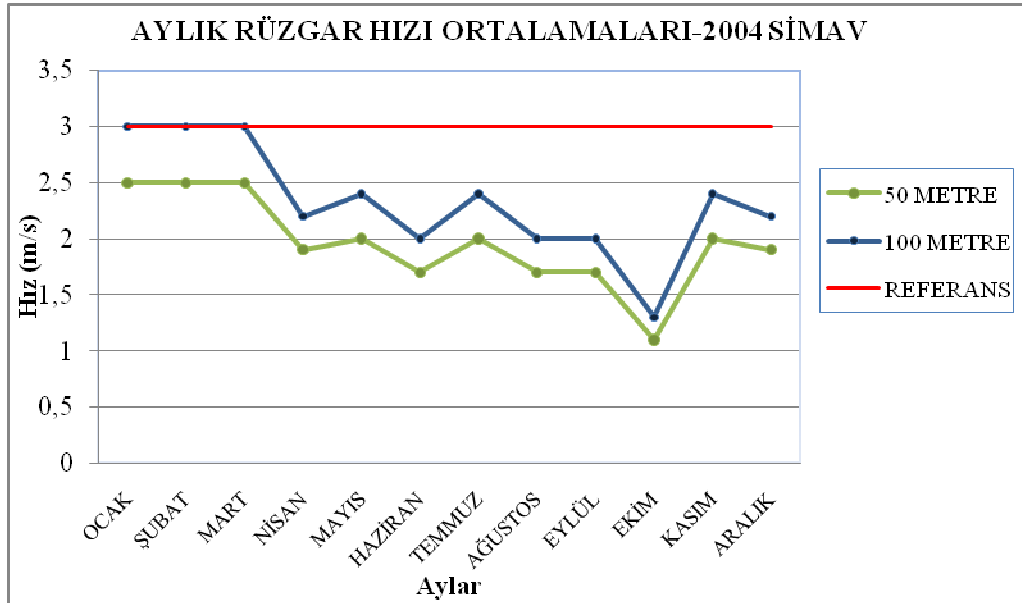
Şekil 4.28. Simav 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



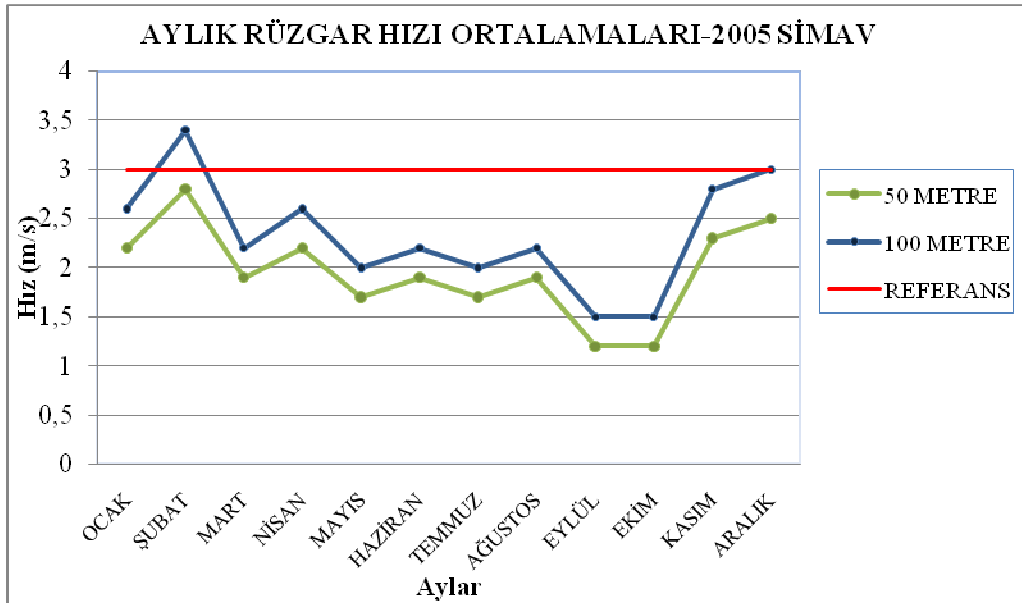
Şekil 4.29. Simav 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



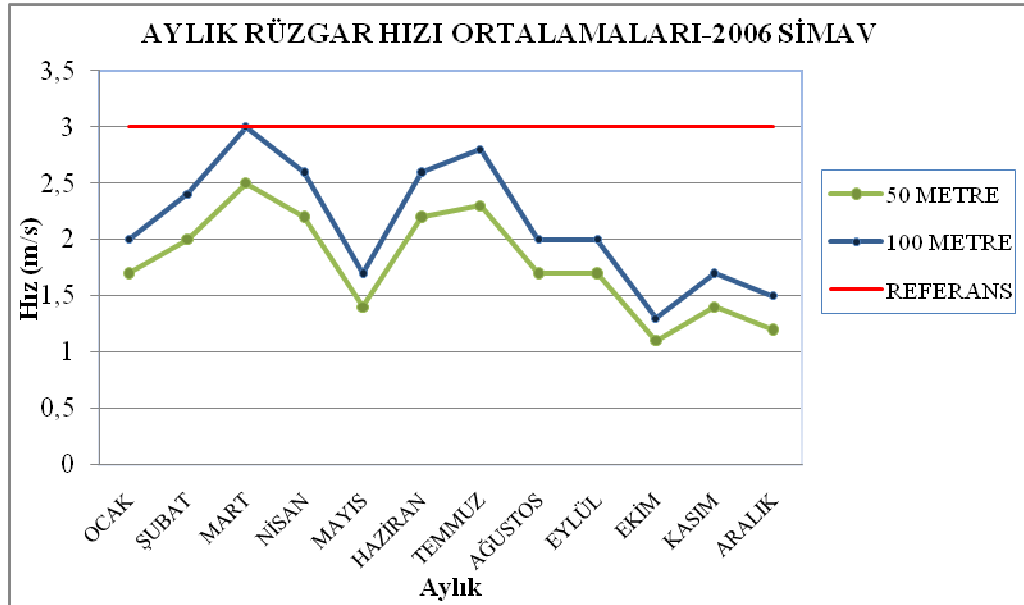
Şekil 4.30. Simav 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



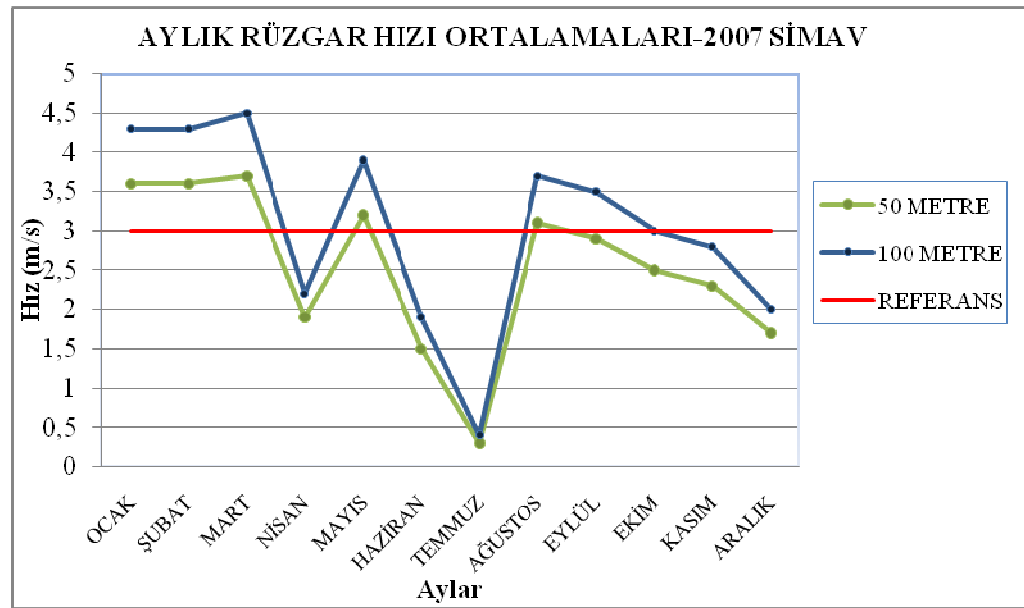
Şekil 4.31. Simav 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



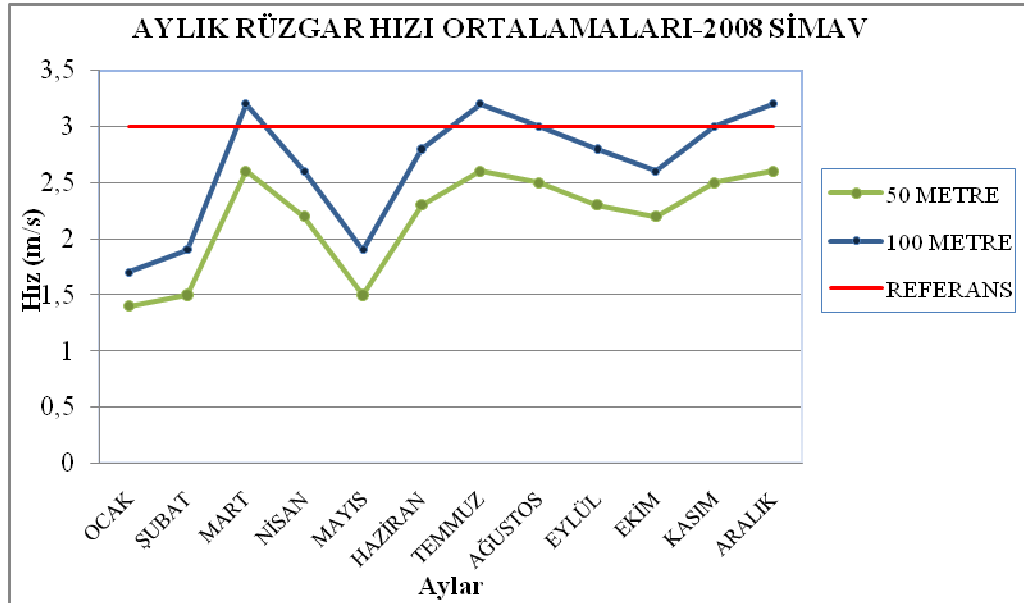
Şekil 4.32. Simav 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



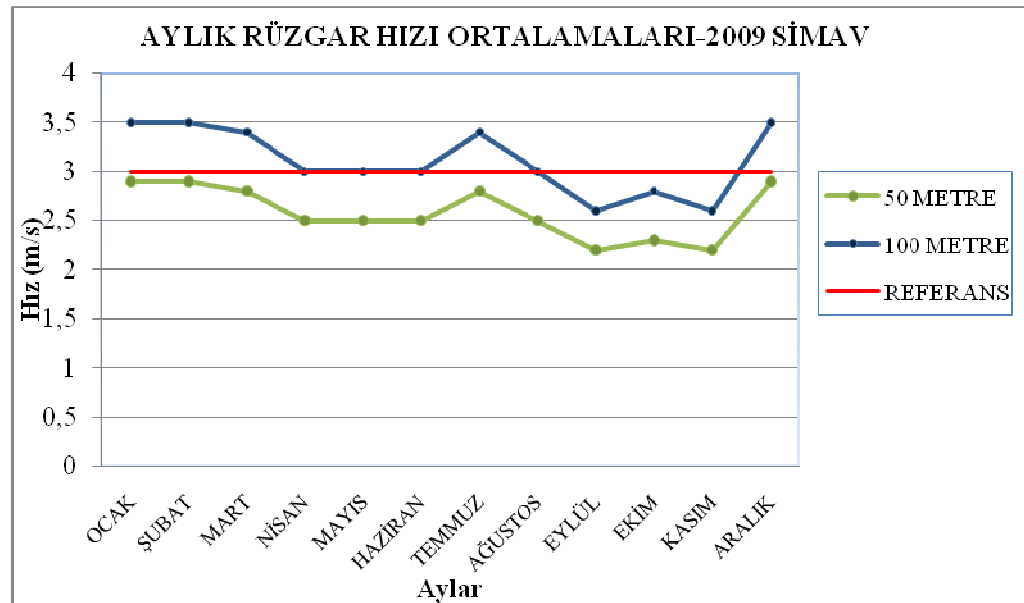
Şekil 4.33. Simav 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



Şekil 4.34. Simav 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



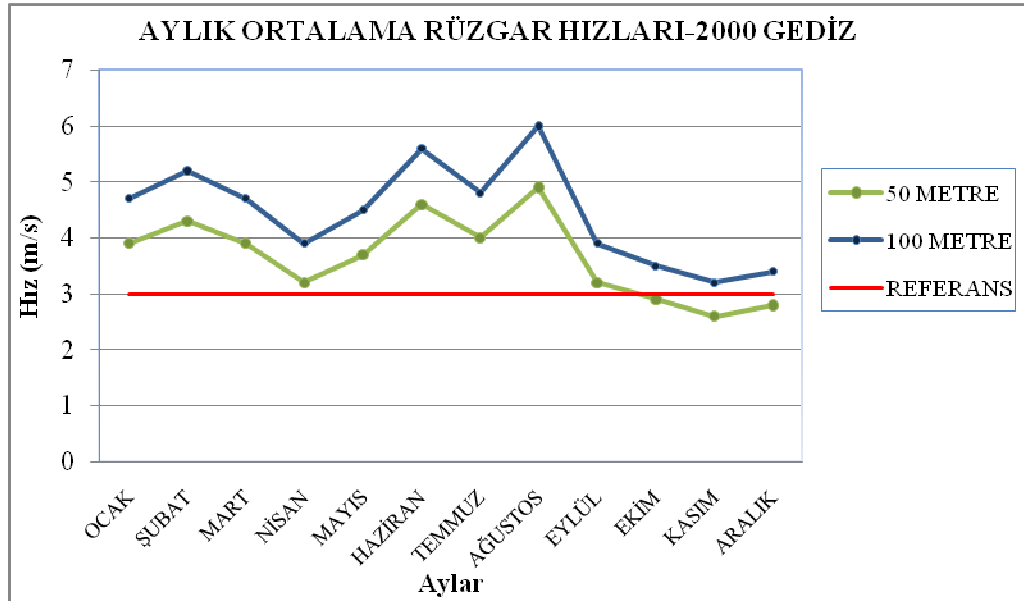
Şekil 4.35. Simav 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



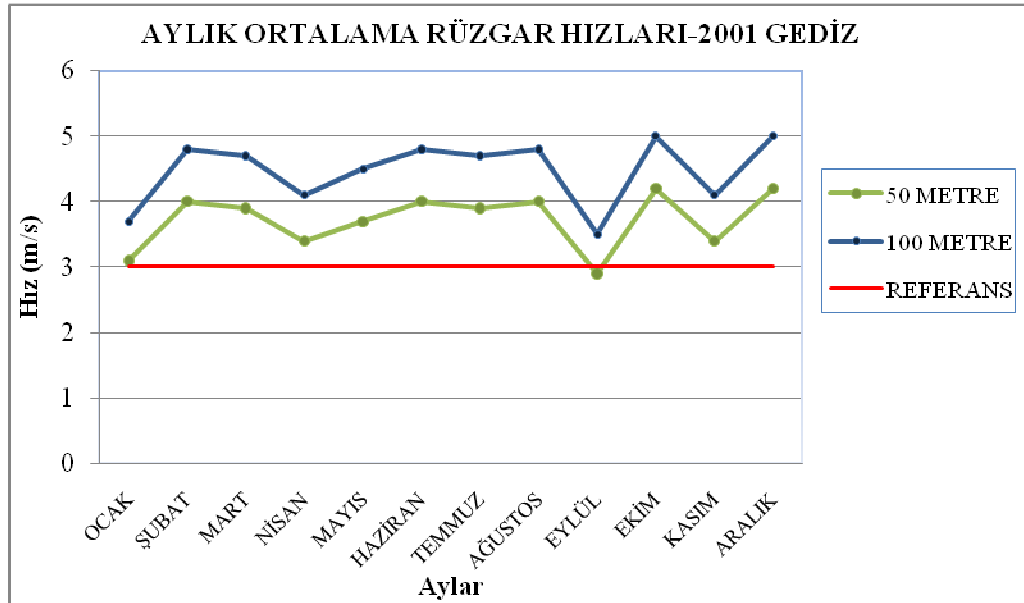
Şekil 4.36. Simav 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği

4.12. Gediz Aylık Ortalama Rüzgar Hızları Grafikselle Gösterimleri (2000-2009)

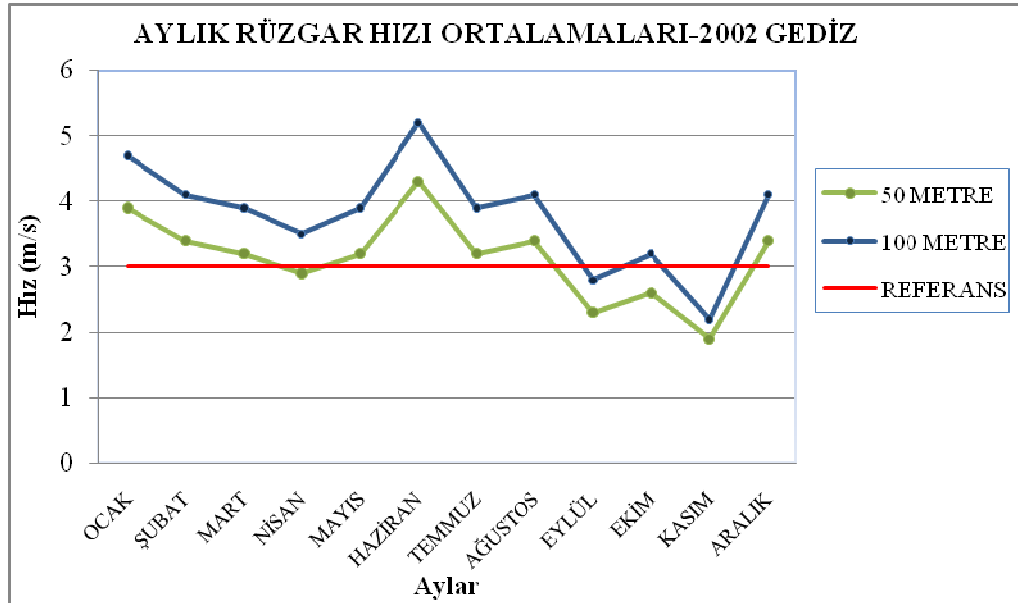
Şekil 4.37’den Şekil 4.46 ‘ya kadar olan grafiklerde; Gediz ilçesi için bir önceki bölümde (4.8.) hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



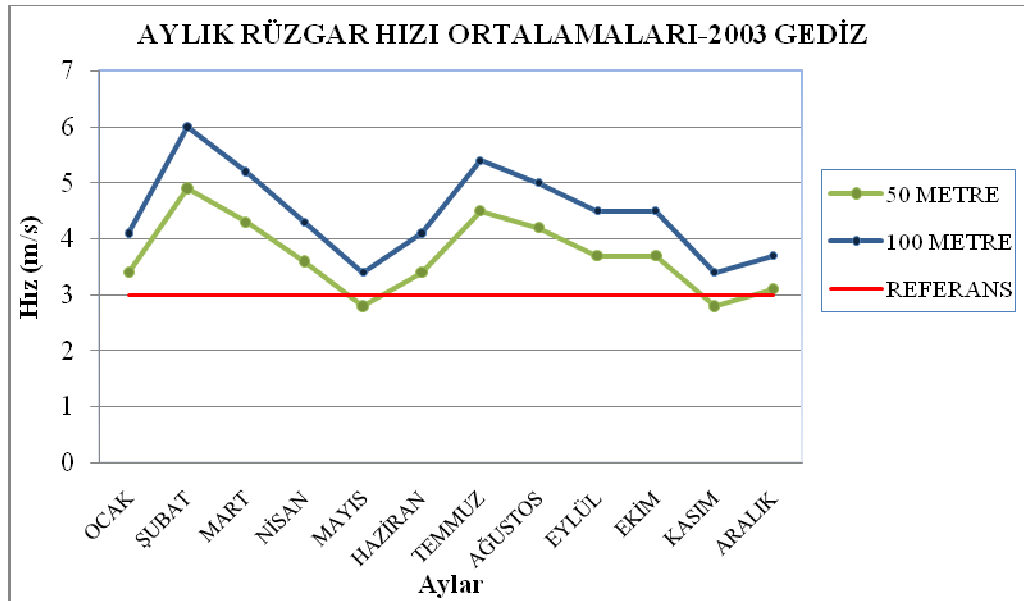
Şekil 4.37. Gediz 2000 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



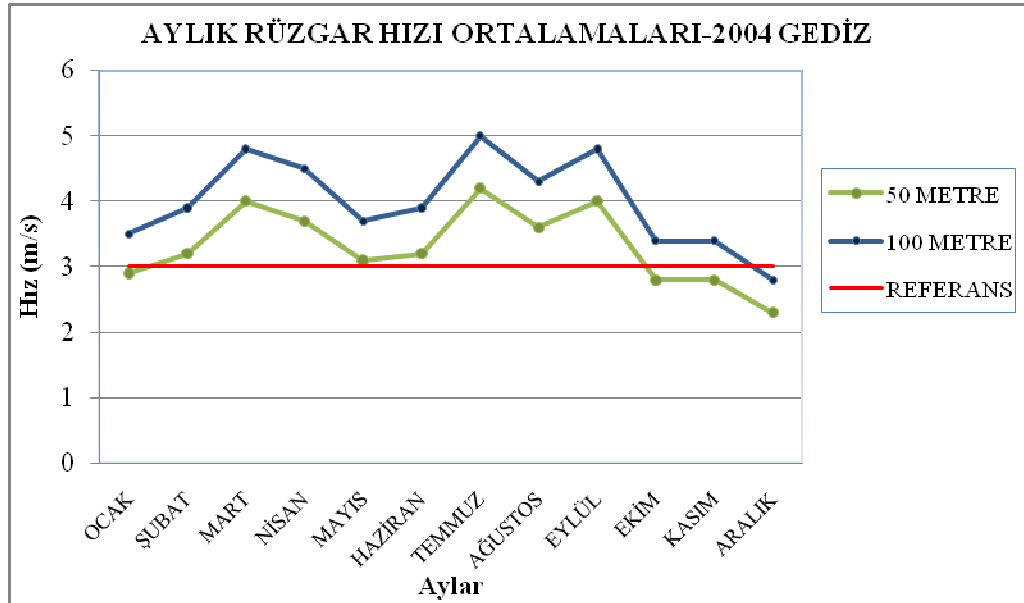
Şekil 4.38. Gediz 2001 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



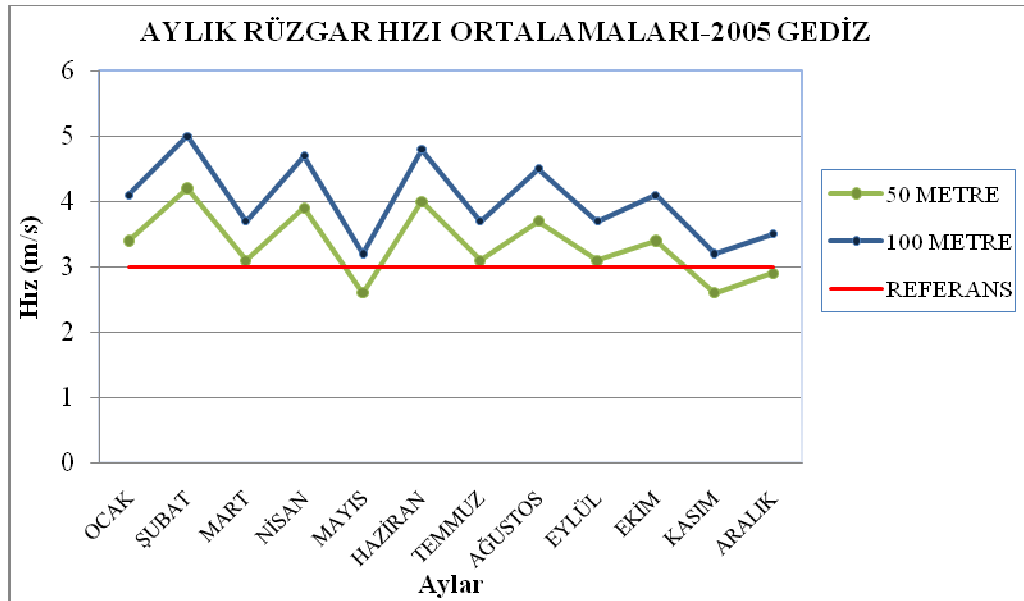
Şekil 4.39. Gediz 2002 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



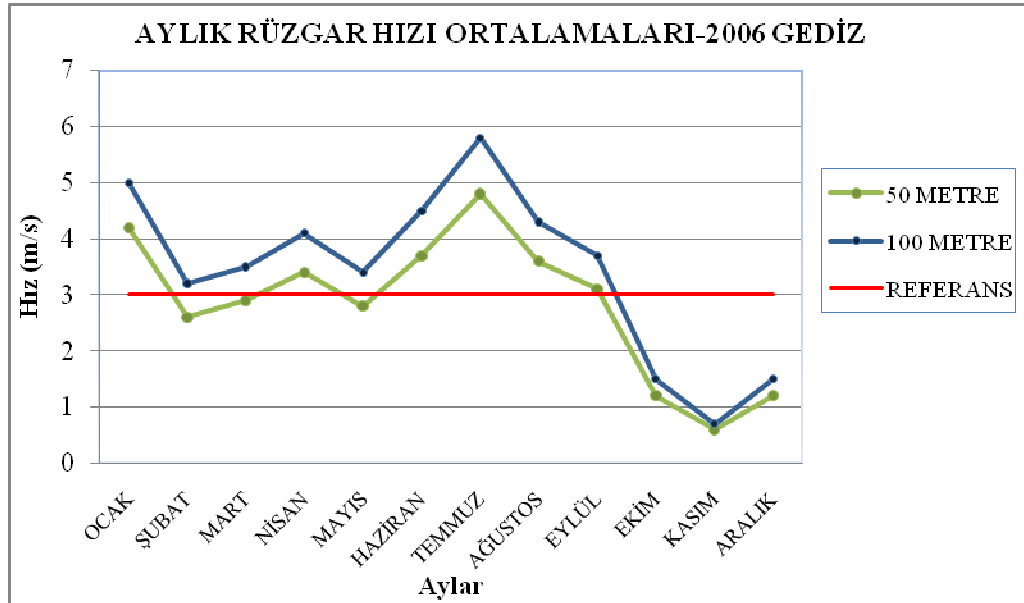
Şekil 4.40. Gediz 2003 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



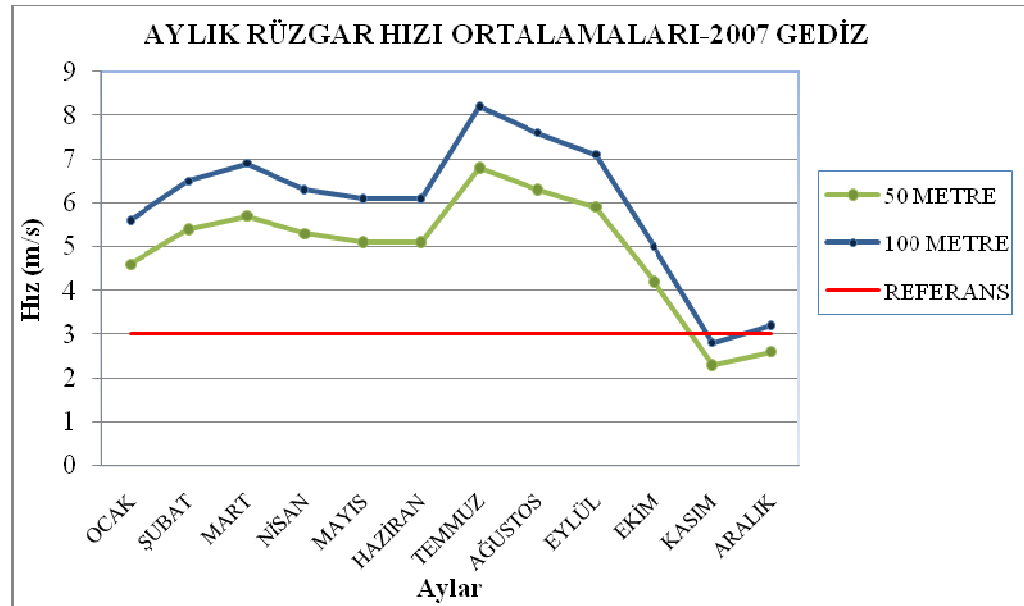
Şekil 4.41. Gediz 2004 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



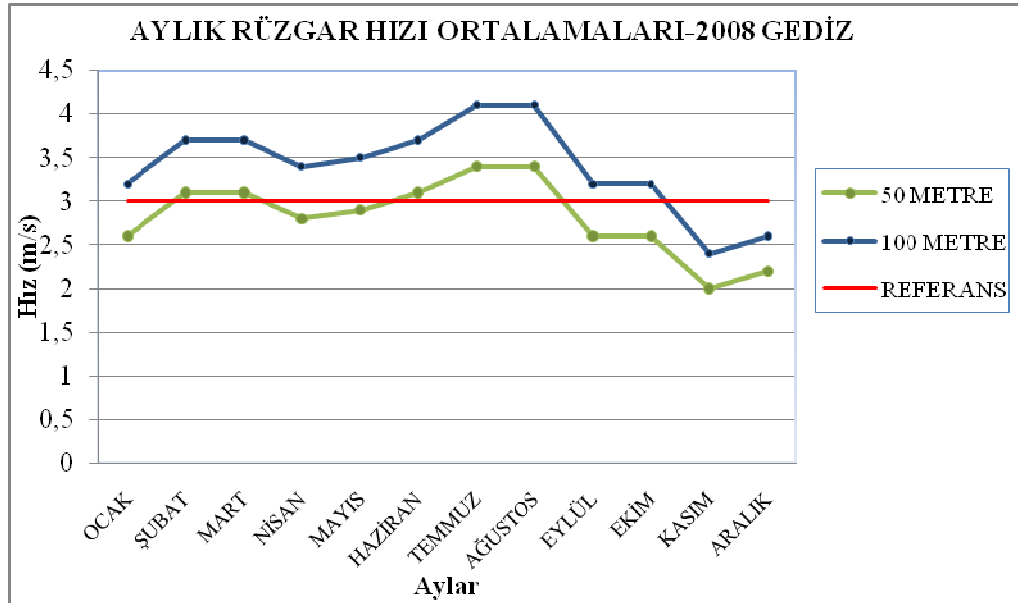
Şekil 4.42. Gediz 2005 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



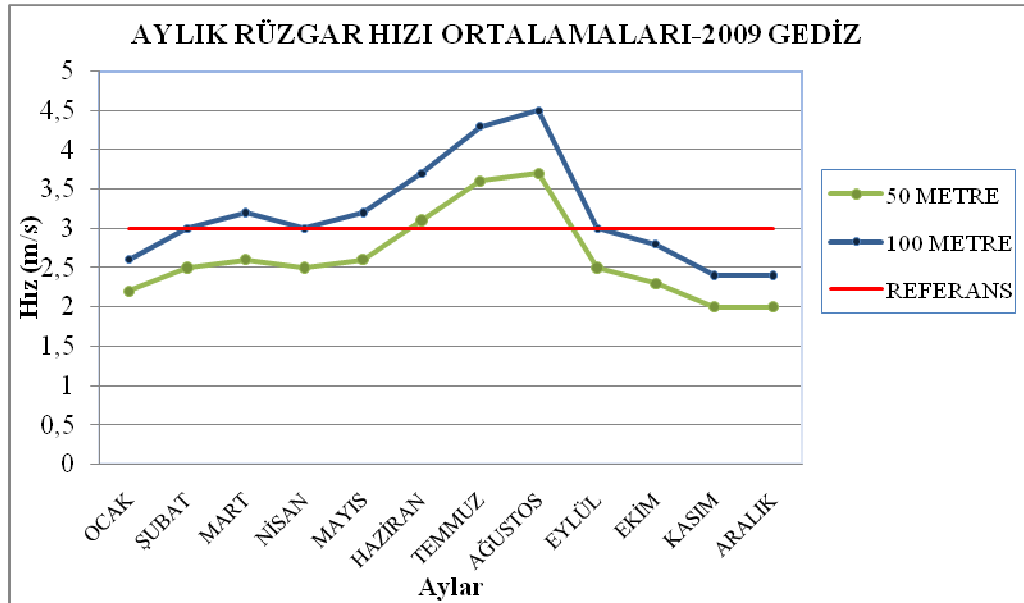
Şekil 4.43. Gediz 2006 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



Şekil 4.44. Gediz 2007 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



Şekil 4.45. Gediz 2008 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği



Şekil 4.46. Gediz 2009 yılı aylık ortalama rüzgar hızı grafiği

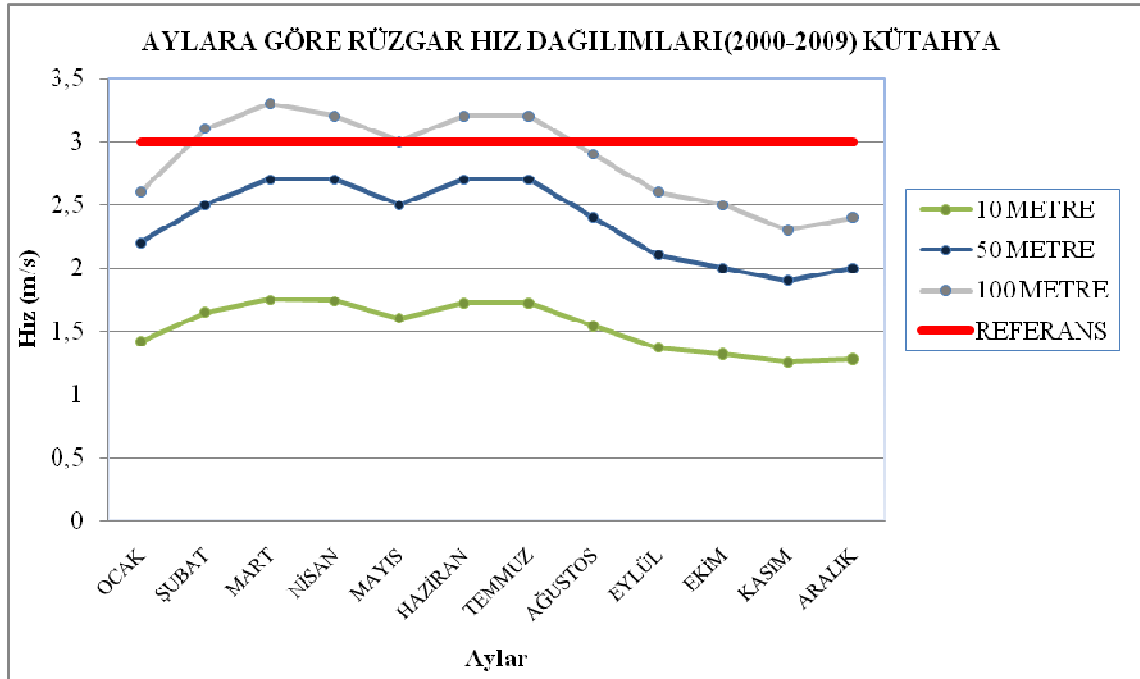
4.13. Aylara Göre Rüzgar Hız Dağılımları (2000-2009)

Çizelge 4.44 ‘de 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Kütahya merkezde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının ay-ay ortalaması alınıp (ör: 2000-2009 yılları arasındaki ocak ayları ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s’lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.44. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya

AYLARA GÖRE RÜZGAR HIZ DAĞILIMLARI (2000-2009) KÜTAHYA				
	ORTALAMA HIZ (m/s)			
AYLAR	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,42	2,2	2,6	3
ŞUBAT	1,65	2,5	3,1	3
MART	1,75	2,7	3,3	3
NİSAN	1,74	2,7	3,2	3
MAYIS	1,6	2,5	3	3
HAZİRAN	1,72	2,7	3,2	3
TEMMUZ	1,72	2,7	3,2	3
AĞUSTOS	1,54	2,4	2,9	3
EYLÜL	1,37	2,1	2,6	3
EKİM	1,32	2	2,5	3
KASIM	1,26	1,9	2,3	3
ARALIK	1,28	2	2,4	3

Şekil 4.47 ‘de Çizelge 4.44 ‘de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



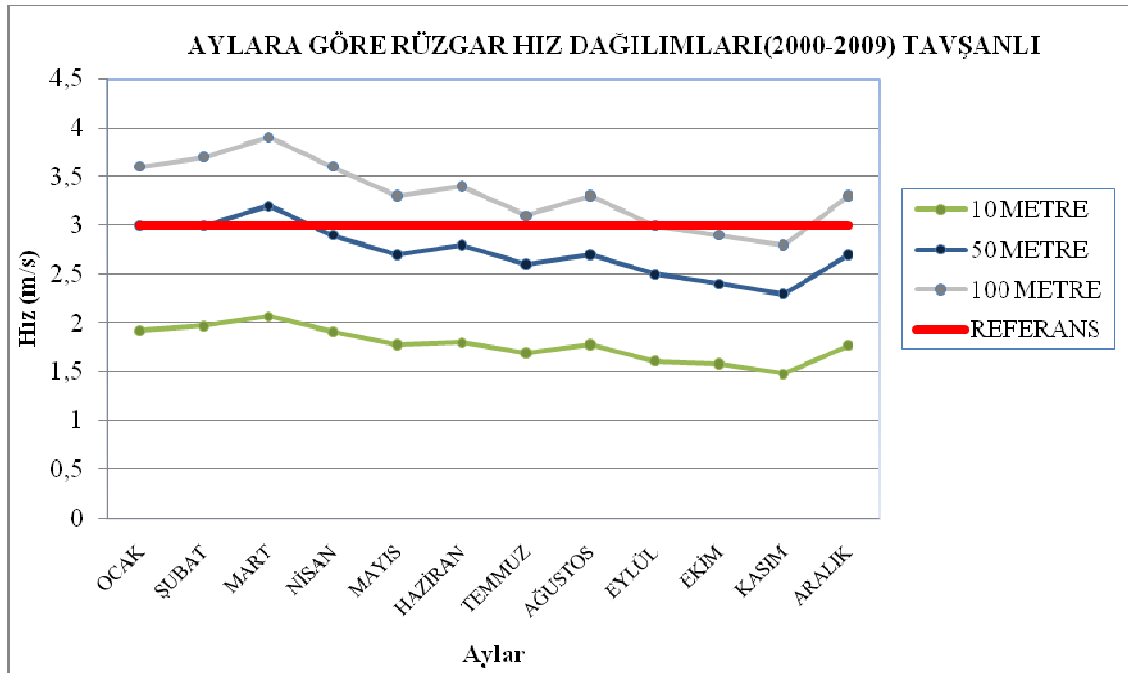
Şekil 4.47. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya

Çizelge 4.45 'de 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Tavşanlı ilçesinde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının ay-ay ortalaması alınıp (ör: 2000-2009 yılları arasındaki ocak ayları ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s 'lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.45. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı

AYLARA GÖRE RÜZGAR HIZ DAĞILIMLARI(2000-2009) TAVŞANLI				
	ORTALAMA HIZ (m/s)			
AYLAR	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,92	3	3,6	3
ŞUBAT	1,97	3	3,7	3
MART	2,07	3,2	3,9	3
NİSAN	1,91	2,9	3,6	3
MAYIS	1,78	2,7	3,3	3
HAZİRAN	1,80	2,8	3,4	3
TEMMUZ	1,69	2,6	3,1	3
AĞUSTOS	1,78	2,7	3,3	3
EYLÜL	1,61	2,5	3	3
EKİM	1,58	2,4	2,9	3
KASIM	1,48	2,3	2,8	3
ARALIK	1,77	2,7	3,3	3

Şekil 4.48 'de Çizelge 4.45 'de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.

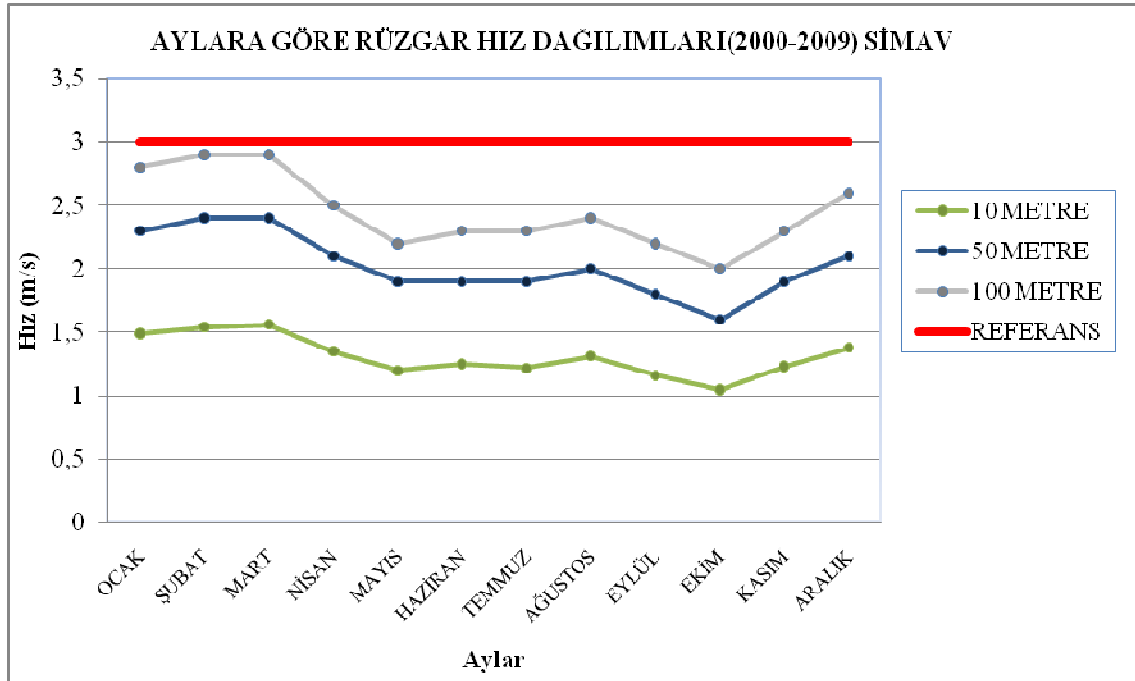
**Şekil 4.48.** Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı

Çizelge 4.46 ‘da 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Simav ilçesinde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının ay-ay ortalaması alınıp (ör: 2000-2009 yılları arasındaki ocak ayları ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s ‘lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.46. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav

AYLARA GÖRE RÜZGAR HIZ DAĞILIMLARI(2000-2009) SİMAV				
	ORTALAMA HIZ (m/s)			
AYLAR	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	1,49	2,3	2,8	3
ŞUBAT	1,54	2,4	2,9	3
MART	1,56	2,4	2,9	3
NİSAN	1,35	2,1	2,5	3
MAYIS	1,2	1,9	2,2	3
HAZİRAN	1,25	1,9	2,3	3
TEMMUZ	1,22	1,9	2,3	3
AĞUSTOS	1,31	2	2,4	3
EYLÜL	1,16	1,8	2,2	3
EKİM	1,05	1,6	2	3
KASIM	1,23	1,9	2,3	3
ARALIK	1,38	2,1	2,6	3

Şekil 4.49 ‘de Çizelge 4.46 ‘de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



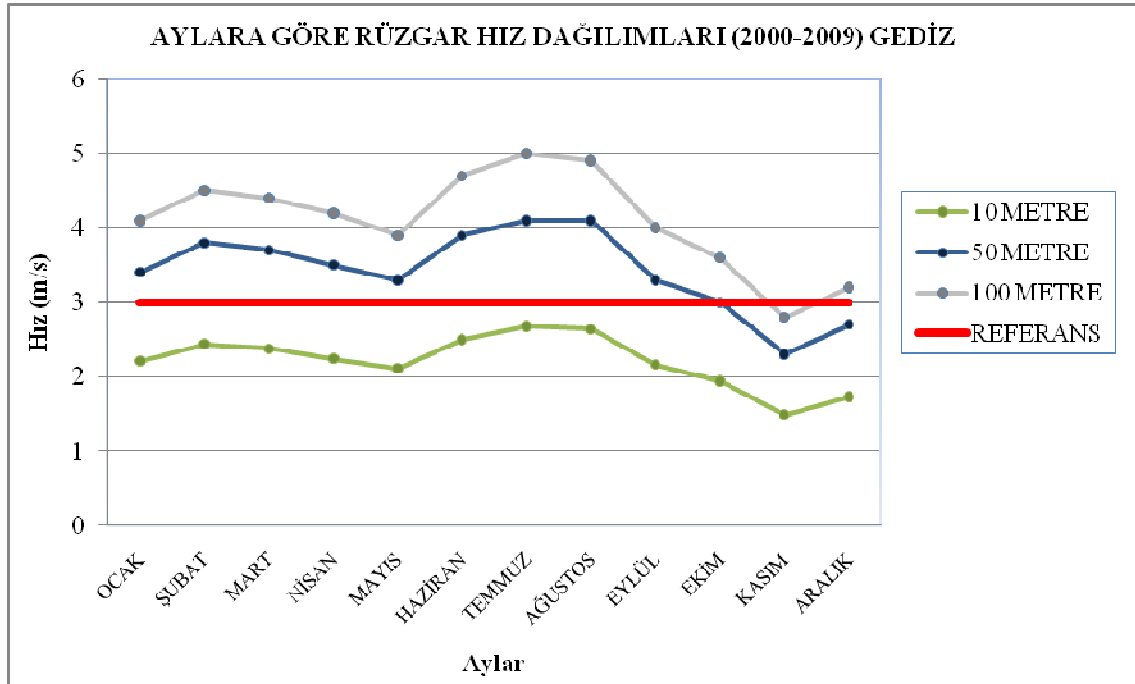
Şekil 4.49. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav

Çizelge 4.47 'de 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Gediz ilçesinde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının ay-ay ortalaması alınıp (ör: 2000-2009 yılları arasındaki ocak ayları ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s 'lık hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.47. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz

AYLARA GÖRE RÜZGAR HIZ DAĞILIMLARI(2000-2009) GEDİZ				
	ORTALAMA HIZ (m/s)			
AYLAR	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
OCAK	2,21	3,4	4,1	3
ŞUBAT	2,44	3,8	4,5	3
MART	2,38	3,7	4,4	3
NİSAN	2,24	3,5	4,2	3
MAYIS	2,11	3,3	3,9	3
HAZİRAN	2,50	3,9	4,7	3
TEMMUZ	2,68	4,1	5	3
AĞUSTOS	2,64	4,1	4,9	3
EYLÜL	2,16	3,3	4	3
EKİM	1,94	3	3,6	3
KASIM	1,49	2,3	2,8	3
ARALIK	1,73	2,7	3,2	3

Şekil 4.50 ‘de Çizelge 4.47 ‘de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



Şekil 4.50. Aylara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz

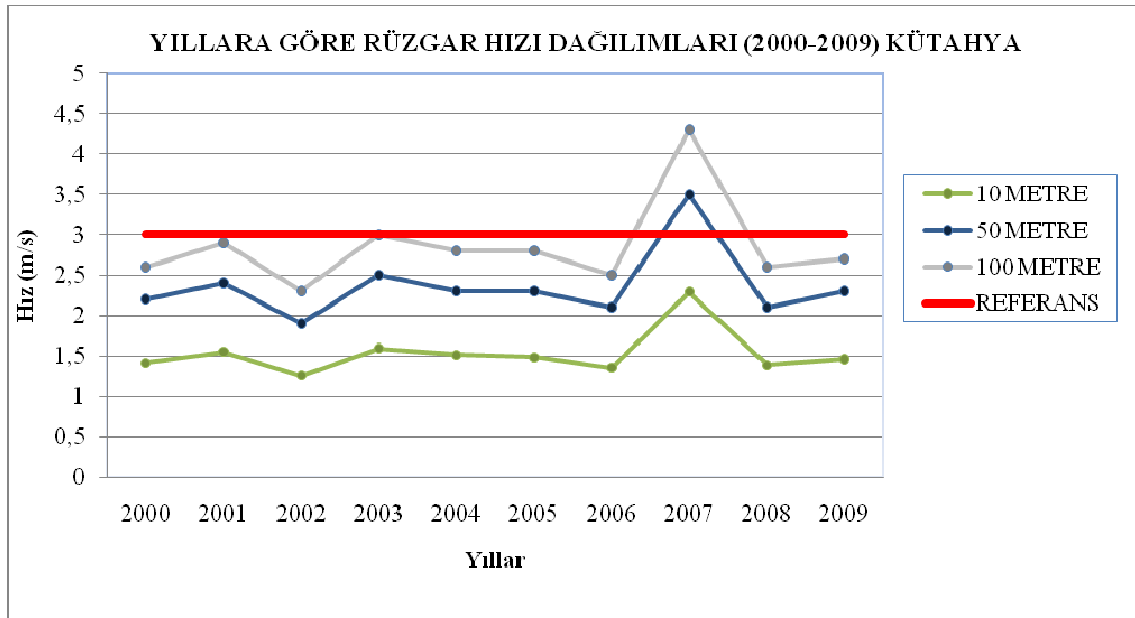
4.14. Yıllara Göre Rüzgar Hız Dağılımları (2000-2009)

Çizelge 4.48 'de 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Kütahya merkezde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının yıllık ortalaması alınıp (ör: 2000 yılının 12 ayının ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s 'lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.48. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya

YILLARA GÖRE RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) KÜTAHYA				
	HIZ (m/s)			
YIL	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
2000	1,41	2,2	2,6	3
2001	1,55	2,4	2,9	3
2002	1,25	1,9	2,3	3
2003	1,59	2,5	3	3
2004	1,51	2,3	2,8	3
2005	1,48	2,3	2,8	3
2006	1,35	2,1	2,5	3
2007	2,29	3,5	4,3	3
2008	1,38	2,1	2,6	3
2009	1,46	2,3	2,7	3

Şekil 4.51 'de, Çizelge 4.48 'da hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 10, 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.

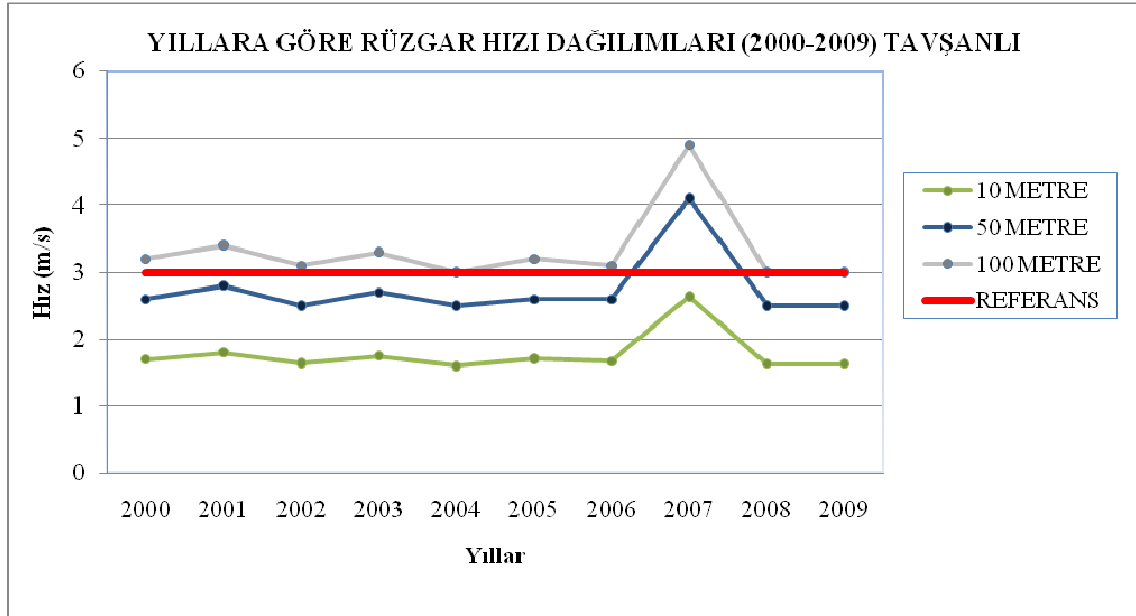
**Şekil 4.51.** Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Kütahya

Çizelge 4.49 ‘da 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Tavşanlı ilçesinde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının yıllık ortalaması alınıp (ör: 2000 yılının 12 ayının ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s ‘lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.49. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı

YILLARA GÖRE RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) TAVŞANLI				
	HIZ (m/s)			
YIL	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
2000	1,7	2,6	3,2	3
2001	1,8	2,8	3,4	3
2002	1,64	2,5	3,1	3
2003	1,75	2,7	3,3	3
2004	1,6	2,5	3	3
2005	1,71	2,6	3,2	3
2006	1,67	2,6	3,1	3
2007	2,64	4,1	4,9	3
2008	1,63	2,5	3	3
2009	1,63	2,5	3	3

Şekil 4.52 ‘de, Çizelge 4.49 ‘de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 10, 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



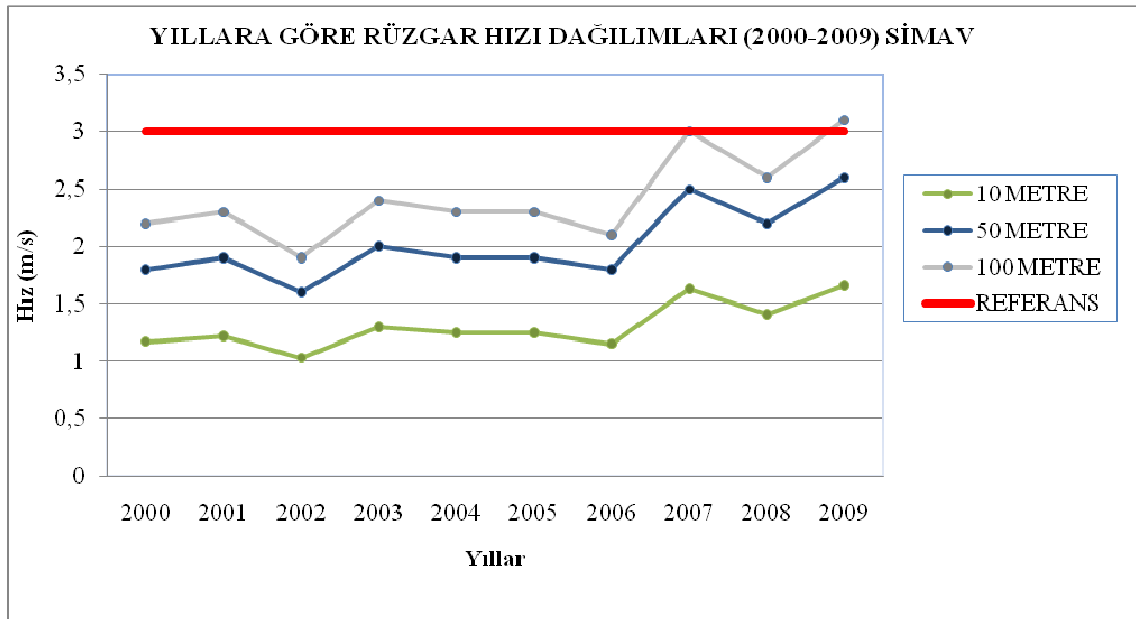
Şekil 4.52. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Tavşanlı

Çizelge 4.50 'de 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Simav ilçesinde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının yıllık ortalaması alınıp (ör: 2000 yılının 12 ayının ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s 'lık hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.50. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav

YILLARA GÖRE RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) SİMAV				
	HIZ (m/s)			
YIL	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
2000	1,17	1,8	2,2	3
2001	1,22	1,9	2,3	3
2002	1,03	1,6	1,9	3
2003	1,3	2	2,4	3
2004	1,25	1,9	2,3	3
2005	1,25	1,9	2,3	3
2006	1,15	1,8	2,1	3
2007	1,63	2,5	3	3
2008	1,41	2,2	2,6	3
2009	1,66	2,6	3,1	3

Şekil 4.53 'de, Çizelge 4.50 'de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 10, 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



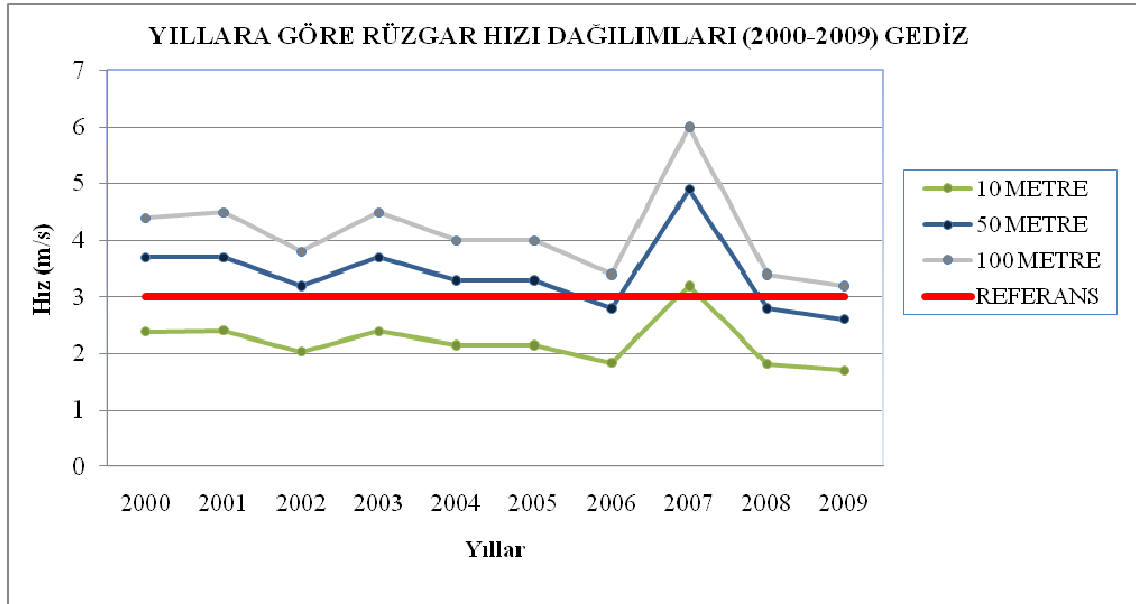
Şekil 4.53. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Simav

Çizelge 4.51 'de 2000-2009 yılları arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikte Gediz ilçesinde ölçülen aylık ortalama rüzgar hızlarının yıllık ortalaması alınıp (ör: 2000 yılının 12 ayının ortalaması vb.), Hellmann yükseltme bağıntısı ile hesaplanan 50 metre yükseklik için 1,5442 ile, 100 metre yükseklik için 1,862 ile çarpılarak bu yüksekliklerdeki rüzgar hızları hesaplanmıştır. Bu değerler bir rüzgar türbininin ortalama üretime geçme hızı olan 3 m/s 'lik hızla kıyaslanarak, bu yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgar hızı değerlerinin elektrik üretimi yapılabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

Çizelge 4.51. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz

YILLARA GÖRE RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) GEDİZ				
	HIZ (m/s)			
YIL	10 METRE	50 METRE	100 METRE	REFERANS
2000	2,38	3,7	4,4	3
2001	2,4	3,7	4,5	3
2002	2,04	3,2	3,8	3
2003	2,39	3,7	4,5	3
2004	2,15	3,3	4	3
2005	2,15	3,3	4	3
2006	1,84	2,8	3,4	3
2007	3,2	4,9	6	3
2008	1,82	2,8	3,4	3
2009	1,7	2,6	3,2	3

Şekil 4.54’de, Çizelge 4.51 ‘de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 10, 50 ve 100 metre yükseklikteki aylık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



Şekil 4.54. Yıllara göre rüzgar hız dağılımları (2000-2009) Gediz

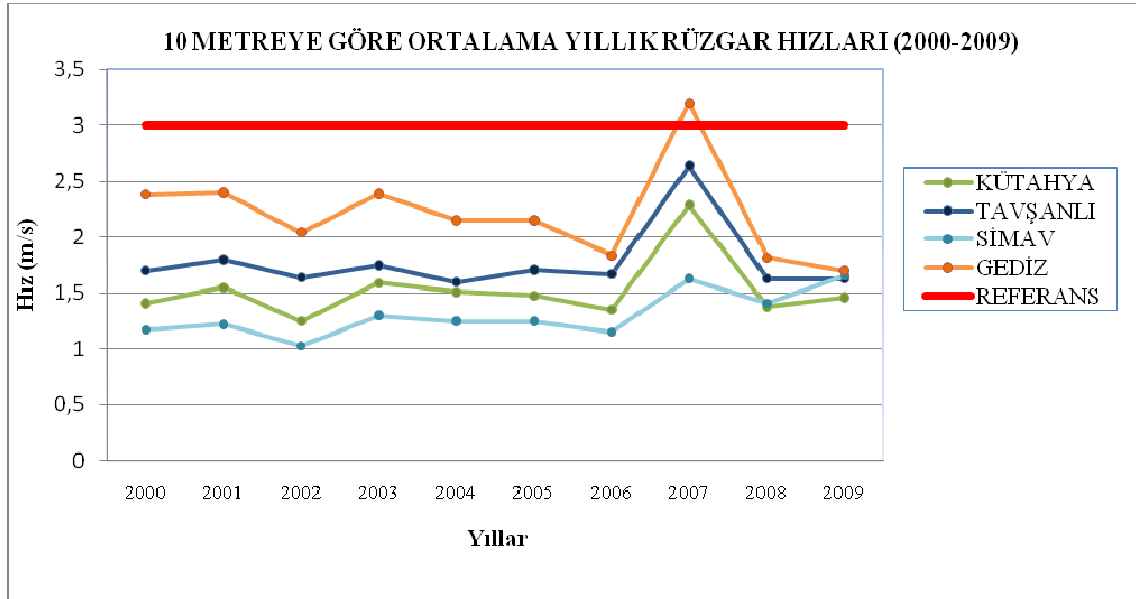
4.15. 10-50-100 Metreye Göre Ortalama Yıllık Rüzgar Hızları (2000-2009)

Çizelge 4.52 'de Kütahya, Tavşanlı, Simav ve Gediz'in 2000-2009 yılları arasındaki yıllarda ölçülmüş ortalama aylık rüzgar hızlarının yıllık ortalamaları 10 metre yükseklik için görülmektedir.

Çizelge 4.52. 10 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)

10 METREYE GÖRE ORTALAMA YILLIK RÜZGAR HIZLARI (2000-2009)					
	HIZ (m/s)				
YIL	KÜTAHYA	TAVŞANLI	SİMAV	GEDİZ	REFERANS
2000	1,41	1,7	1,17	2,38	3
2001	1,55	1,8	1,22	2,4	3
2002	1,25	1,64	1,03	2,04	3
2003	1,59	1,75	1,3	2,39	3
2004	1,51	1,6	1,25	2,15	3
2005	1,48	1,71	1,25	2,15	3
2006	1,35	1,67	1,15	1,84	3
2007	2,29	2,64	1,63	3,2	3
2008	1,38	1,63	1,41	1,82	3
2009	1,46	1,63	1,66	1,7	3

Şekil 4.55 'de, Çizelge 4.52 'de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 10 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



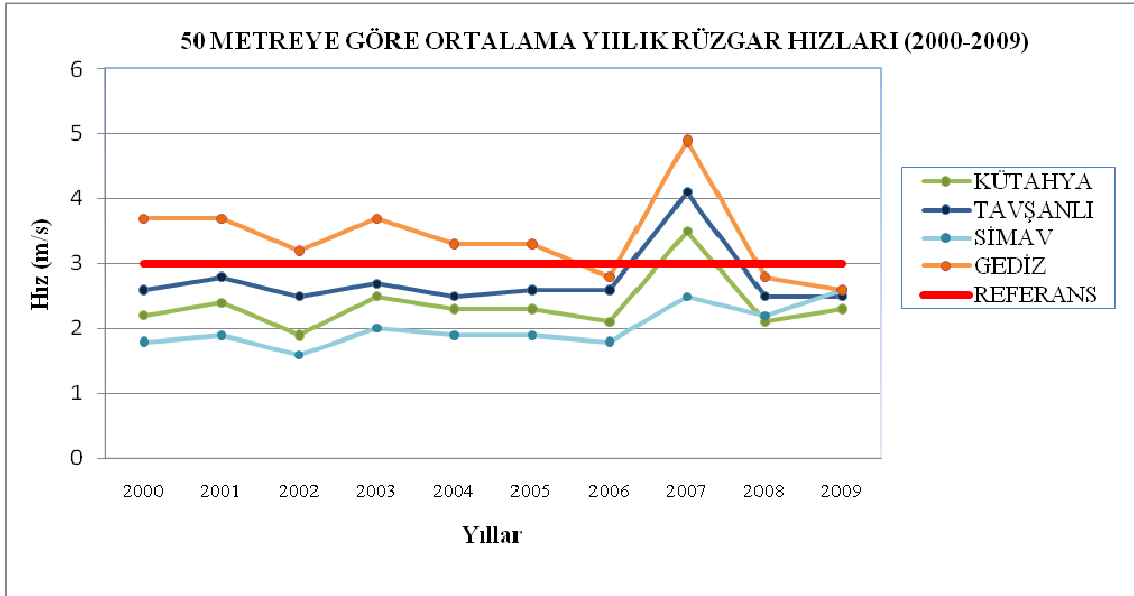
Şekil 4.55. 10 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)

Çizelge 4.53 ‘de Kütahya Merkez, Tavşanlı, Simav ve Gediz’in 2000-2009 yılları arasındaki yıllarda ölçülmüş ortalama aylık rüzgar hızlarının yıllık ortalamaları 50 metre yükseklik için görülmektedir.

Çizelge 4.53. 50 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)

50 METREYE GÖRE ORTALAMA YILLIK RÜZGAR HIZLARI (2000-2009)					
	HIZ (m/s)				
YIL	KÜTAHYA	TAVŞANLI	SİMAV	GEDİZ	REFERANS
2000	2,2	2,6	1,8	3,7	3
2001	2,4	2,8	1,9	3,7	3
2002	1,9	2,5	1,6	3,2	3
2003	2,5	2,7	2	3,7	3
2004	2,3	2,5	1,9	3,3	3
2005	2,3	2,6	1,9	3,3	3
2006	2,1	2,6	1,8	2,8	3
2007	3,5	4,1	2,5	4,9	3
2008	2,1	2,5	2,2	2,8	3
2009	2,3	2,5	2,6	2,6	3

Şekil 4.56 ‘de, Çizelge 4.53 ‘de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 50 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



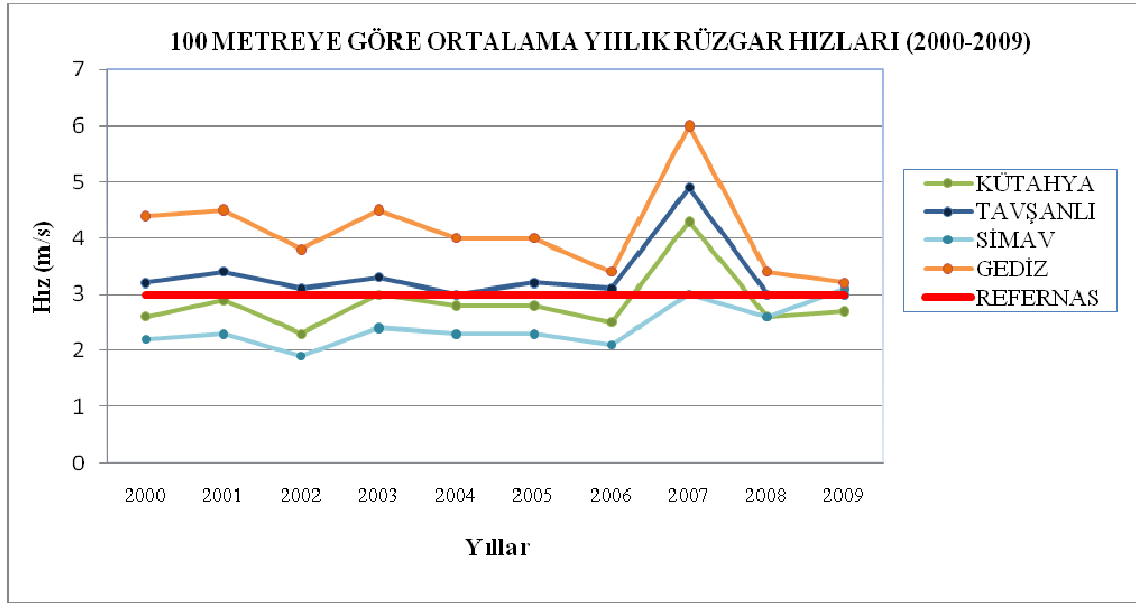
Şekil 4.56. 50 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)

Çizelge 4.54 'de Kütahya, Tavşanlı, Simav ve Gediz'in 2000-2009 yılları arasındaki yıllarda ölçülmüş ortalama aylık rüzgar hızlarının yıllık ortalamaları 100 metre yükseklik için görülmektedir.

Çizelge 4.54. 100 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)

100 METREYE GÖRE ORTALAMA YILLIK RÜZGAR HIZLARI (2000-2009)					
	HIZ (m/s)				
YIL	KÜTAHYA	TAVŞANLI	SİMAV	GEDİZ	REFERANS
2000	2,6	3,2	2,2	4,4	3
2001	2,9	3,4	2,3	4,5	3
2002	2,3	3,1	1,9	3,8	3
2003	3	3,3	2,4	4,5	3
2004	2,8	3	2,3	4	3
2005	2,8	3,2	2,3	4	3
2006	2,5	3,1	2,1	3,4	3
2007	4,3	4,9	3	6	3
2008	2,6	3	2,6	3,4	3
2009	2,7	3	3,1	3,2	3

Şekil 4.57 'de, Çizelge 4.54 'de hesaplanan 2000-2009 arasındaki yıllara ait 100 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızlarının, referans ortalama üretime başlama hızı olan 3 m/s hızı ile kıyaslanması gösterilmiştir.



Şekil 4.57. 100 metreye göre ortalama yıllık rüzgar hızları (2000-2009)

4.16. Yıllara ve Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımları (2000-2009)

Çizelge 4.55, Çizelge 4.56, Çizelge 4.57 ve Çizelge 4.58’ de Kütahya, Tavşanlı, Simav ve Gediz’in aylara (ör:2000-2009 yılı ocak aylarının ortalaması vb.) ve yıllara (ör: 2000 yılı tüm ayların ortalaması vb.) ait 10 metre yükseklikteki ortalama rüzgar hızı değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.55. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Kütahya

YILLARA ve AYLARA GÖRE ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) KÜTAHYA													
Yıl/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	V (ort)
2000	1,7	1,6	1,7	1,5	1,5	1,7	1,4	1,5	1,20	1,2	0,7	1,3	1,41
2001	1,3	1,7	2	1,7	1,6	1,7	1,6	1,3	1,2	1	1,7	1,8	1,55
2002	1	1,3	1,4	1,3	1,4	1,6	1,5	1,3	1	1,1	0,9	1,3	1,25
2003	2	2,1	1,5	1,7	1,1	1,6	1,8	1,4	1,5	2	1,1	1,3	1,59
2004	1,6	1,9	2	1,7	1,7	1,5	1,6	1,4	1,3	1,1	1,3	1,1	1,51
2005	1,4	2,1	1,6	1,7	1,6	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,5	1,48
2006	1,2	1,5	1,9	1,8	1,3	1,7	1,6	1,4	1,1	1	1	0,7	1,35
2007	1,4	1,3	1,8	3,1	3	2,9	3,1	2,9	2,6	2,2	2	1,2	2,29
2008	1,2	1,3	1,9	1,6	1,3	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,38
2009	1,4	1,7	1,7	1,3	1,5	1,6	1,7	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4	1,46
V (ort)	1,42	1,65	1,75	1,74	1,6	1,72	1,72	1,54	1,37	1,32	1,26	1,28	(m/s)

Yıl bazında genel toplam ort. hız= 1,527 m/s Ay bazında genel toplam ort. hız= 1,53 m/s

Çizelge 4.56. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Tavşanlı

YILLARA ve AYLARA GÖRE ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) TAVŞANLI													
Yıl/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	V (ort)
2000	2,2	1,9	1,6	1,8	1,6	1,8	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,7	1,7
2001	1,8	1,9	2,2	1,9	1,8	1,9	1,7	1,6	1,5	1,5	1,8	2	1,8
2002	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,3	1,4	1,4	2	1,64
2003	1,8	2,3	2,1	2	1,4	1,5	1,7	1,4	1,4	1,8	1,4	2,2	1,75
2004	2,1	1,6	1,9	1,7	1,6	1,4	1,7	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6
2005	1,9	2,1	1,7	1,9	1,8	1,7	1,5	1,6	1,4	1,4	1,7	1,9	1,71
2006	1,6	1,9	2,1	1,9	1,7	1,8	1,8	1,8	1,4	1,4	1,4	1,3	1,67
2007	2,6	2,9	3,5	2,8	3,1	2,8	1,7	3,4	3	2,5	1,6	1,8	2,64
2008	1,7	1,5	2	1,7	1,5	1,7	1,8	1,6	1,5	1,4	1,5	1,7	1,63
2009	1,6	1,8	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,4	1,5	1,3	1,6	1,63
V(ort)	1,92	1,97	2,07	1,91	1,78	1,80	1,69	1,78	1,61	1,58	1,48	1,77	(m/s)

Yıl bazında genel toplam ort. hız= 1,77 m/s Ay bazında genel toplam ort. hız= 1,78 m/s

Çizelge 4.57. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Simav

YILLARA ve AYLARA GÖRE ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) SİMAV													
Yıl/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	V (ort)
2000	1,6	1,5	1,2	1,3	1,1	1,2	1	1,3	0,9	0,8	0,9	1,3	1,17
2001	1,3	1,3	1,5	1,4	1	1,3	1,3	0,9	0,8	0,9	1,4	1,6	1,22
2002	1,1	1	1,1	1	0,9	1,1	1,1	1,1	1	0,8	0,9	1,3	1,03
2003	1,7	1,7	1,5	1,6	1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,3	0,9	1,3	1,3
2004	1,6	1,6	1,6	1,2	1,3	1,1	1,3	1,1	1,1	0,7	1,3	1,2	1,25
2005	1,4	1,8	1,2	1,4	1,1	1,2	1,1	1,2	0,8	0,8	1,5	1,6	1,25
2006	1,1	1,3	1,6	1,4	0,9	1,4	1,5	1,1	1,1	0,7	0,9	0,8	1,15
2007	2,3	2,3	2,4	1,2	2,1	1	0,2	2	1,9	1,6	1,5	1,1	1,63
2008	0,9	1	1,7	1,4	1	1,5	1,7	1,6	1,5	1,4	1,6	1,7	1,41
2009	1,9	1,9	1,8	1,6	1,6	1,6	1,8	1,6	1,4	1,5	1,4	1,9	1,66
V (ort)	1,49	1,54	1,56	1,35	1,2	1,25	1,22	1,31	1,16	1,05	1,23	1,38	(m/s)

Yıl bazında genel toplam ort. hız= 1,3 m/s Ay bazında genel toplam ort. hız= 1,31 m/s

Çizelge 4.58. Yıllara ve aylara göre ortalama rüzgar hızı dağılımları (2000-2009) Gediz

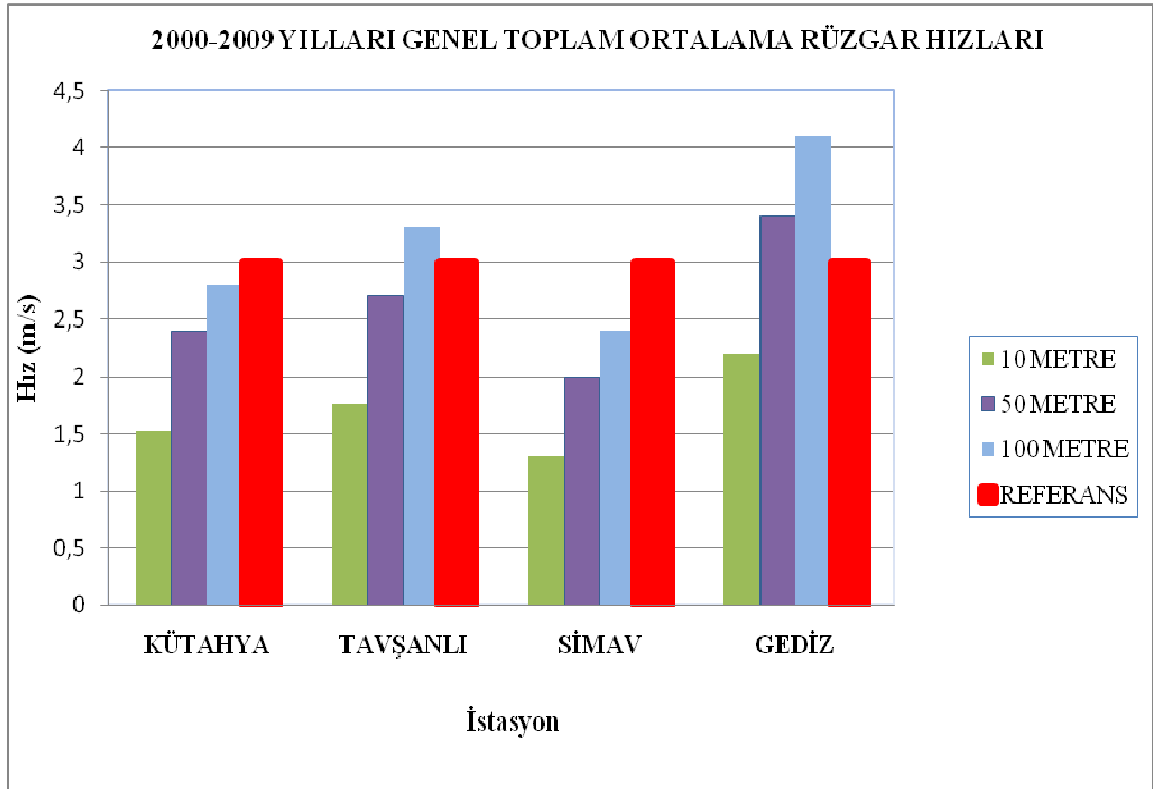
YILLARA ve AYLARA GÖRE ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMLARI (2000-2009) GEDİZ													
Yıl/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	V (ort)
2000	2,5	2,8	2,5	2,1	2,4	3	2,6	3,2	2,1	1,9	1,7	1,8	2,38
2001	2	2,6	2,5	2,2	2,4	2,6	2,5	2,6	1,9	2,7	2,2	2,7	2,4
2002	2,5	2,2	2,1	1,9	2,1	2,8	2,1	2,2	1,5	1,7	1,2	2,2	2,04
2003	2,2	3,2	2,8	2,3	1,8	2,2	2,9	2,7	2,4	2,4	1,8	2	2,39
2004	1,9	2,1	2,6	2,4	2	2,1	2,7	2,3	2,6	1,8	1,8	1,5	2,15
2005	2,2	2,7	2	2,5	1,7	2,6	2	2,4	2	2,2	1,7	1,9	2,15
2006	2,7	1,7	1,9	2,2	1,8	2,4	3,1	2,3	2	0,8	0,4	0,8	1,84
2007	3	3,5	3,7	3,4	3,3	3,3	4,4	4,1	3,8	2,7	1,5	1,7	3,2
2008	1,7	2	2	1,8	1,9	2	2,2	2,2	1,7	1,7	1,3	1,4	1,82
2009	1,4	1,6	1,7	1,6	1,7	2	2,3	2,4	1,6	1,5	1,3	1,3	1,7
V (ort)	2,21	2,44	2,38	2,24	2,11	2,50	2,68	2,64	2,16	1,94	1,49	1,73	(m/s)

Yıl bazında genel toplam ort. hız= 2,2 m/s Ay bazında genel toplam ort. hız= 2,21 m/s

Aşağıdaki Çizelge 4.59 ve Şekil 4.58 'de her bir istasyonun yıl bazında genel toplam ortalama hız değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.59. 2000-2009 Yılları genel toplam ortalama rüzgar hızları

2000-2009 YILLARI GENEL TOPLAM ORTALAMA RÜZGAR HIZLARI				
	HIZ (m/s)			
İSTASYON	KÜTAHYA	TAVŞANLI	SİMAV	GEDİZ
10 METRE	1,53	1,77	1,3	2,2
50 METRE	2,4	2,7	2	3,4
100 METRE	2,8	3,3	2,4	4,1
REFERANS	3	3	3	3



Şekil 4.58. 2000-2009 Yılları genel toplam ortalama rüzgar hız dağılımları

4.17. Gediz’de Su Çıkarma Amaçlı Kurulacak Rüzgar Türbinlerinin Su Çıkarma Kapasitelerinin Örnek Bir Yıl İçin Hesaplanması

Rüzgar enerjisini diğer enerji türlerine dönüştürerek kullanmak mümkündür. Bunlardan biri de mekanik enerjidir. Mekanik uygulamalarda özellikle su pompajı amacıyla rüzgar enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; Kütahya ilindeki ortalama rüzgar hızları alınan alanlar içerisinde en uygun ortalama rüzgar hızına sahip Gediz ilçesi için ortalama rüzgar hızlarına göre su çıkarma amacıyla kurulabilecek rüzgar türbinlerinin su çıkarma kapasiteleri örnek bir yıl için hesaplanarak uygulanabilirliğini ortaya çıkarmaya çalışılmıştır. Bu amaçla 2 farklı rüzgar türbini belirlenmiş ve 10 m derinlikten su çektikleri düşünülerek çıkarılabilecek su miktarları lt/s olarak ortaya konulmuştur.

Konuya tarımsal üretim açısından baktığımızda, tarımsal üretim amacıyla kullanılan enerjinin hem temin edilmesi hem de maliyeti bakımından son derece önemli olduğu görülmektedir. Temini açısından önemli olması, tesisin kurulacağı yere genellikle enerji kaynağının yakın olup olmamasından kaynaklanmaktadır. Maliyet açısından ise, artan enerji

maliyetleri üreticiler için önemli bir girdi olmaktadır. Maliyeti azaltmak için rüzgar ve güneş gibi doğal kaynaklardan yararlanmak konusu düşünülmesi gereken bir husustur. Tarımsal alanda rüzgar türbinlerinin kullanım alanlarından en önemlisi ise sulamadır [29, 30].

Rüzgar gücünün su pompajı için verimli ve ekonomik olarak kullanımı mümkündür. Burada suyu depolama ve gerektiğinde kullanabilme olanağı vardır. Ayrıca rüzgar pompaları, elektrik ve dizel pompalara oranla birçok avantaja da sahiptir. Bunlardan biri de rüzgar enerjisinin doğada bol miktarda bulunması ve bedava olmasıdır. Sistemin kuruluş maliyetinin yüksek olmasına karşılık bakım ve onarım masrafı yok denecek kadar azdır [29, 31].

Su çıkarmada kullanılan rüzgar türbinleriyle uygun bir işletme sağlayabilmek için, bu tesislerin kurulacağı yörelerde esen rüzgarların, yılın en az %60'ında 2,2 m/s ve daha fazla hızla esmeleri gerekmektedir [29, 32].

Materyal

Rüzgar türbininin su çıkarmada kullanılacağı sistem ile ilgili bazı özellikler aşağıda verilmiştir:

- Suyun çıkarılacağı toplam yükseklik (manometrik yükseklik) (H): 10 m
- Sistemde kullanılacak pistonlu pompanın verimi (η): %50
- Suyun özgül ağırlığı (γ): 1 kgf/l

Yukarıda belirtilen sistem için 2 farklı rüzgar türbini kullanılacağı düşünülmüştür. Bu 2 rüzgar türbini ile ilgili özellikler de aşağıda verilmiştir:

- 1. Rüzgar türbininin yüksekliği (h): 10 m
- 1. Rüzgar türbininin rotor çapı (d): 5 m
- 2. Rüzgar türbininin yüksekliği (h): 20 m
- 2. Rüzgar türbininin rotor çapı (d): 10 m
- Havanın özgül ağırlığı (ρ): 1,225 kg/m³
- Rotorların güç katsayısı (C_p): 0,45

Yöntem

Rüzgar türbininin aktif gücü aşağıdaki şekilde hesaplanır [29, 33];

$$P(W) = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \quad \text{dir.}$$

Buradaki kesit alanını açarsak;

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{dür.}$$

Kesit alanını ilk eşitlikte yerine koyarsak;

$$P(W) = 0,125 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot C_p \quad \text{olur.}$$

Bu eşitlikte de “rüzgar türbininin su çıkarmada kullanılacağı sistem ile ilgili özellikleri” ve “rüzgar türbinlerinin özelliklerini” yerine koyarsak eşitliğimiz aşağıdaki şekli alır:

1. Rüzgar türbini için;

$$P(W) = 5,4118842 \cdot v^3$$

2. Rüzgar türbini için;

$$P(W) = 21,6475368 \cdot v^3$$

Çıkarılan su miktarı ise aşağıdaki şekilde hesaplanır [29, 34];

$$P(W) = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{\eta \cdot 102} \cdot 1000$$

$$Q \cdot \gamma \cdot H \cdot 1000 = P \cdot \eta \cdot 102$$

$$Q \text{ (lt/s)} = \frac{P \cdot \eta \cdot 102}{\gamma \cdot H \cdot 1000}$$

$$Q \text{ (lt/s)} = 0,102 \cdot \frac{P \cdot \eta}{\gamma \cdot H}$$

Rüzgarın aktif gücünü veren eşitliği bu eşitlikte yerine koyarsak eşitliğimiz aşağıdaki son halini alır.

1.Rüzgar türbini için;

$$Q \text{ (lt/s)} = 0,0276006 \cdot v^3$$

2.Rüzgar türbini için;

$$Q \text{ (lt/s)} = 0,1104024 \cdot v^3$$

Gediz bölgesine ilişkin 10 m ve 20 m yükseklikteki rüzgar hızı değerleri göz önünde bulundurularak materyal bölümünde belirtilen su çıkarma sistemi için belirtilen yöntem uygulanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.60. Gediz ilçesi için 2007 yılına ait rüzgar hızı ve su pompajı değerleri

AYLAR	A	B	C	D	E	F	MEVSİM
OCAK	3	0,7	146,1	3,6	5,2	1010	KIŞ
ŞUBAT	3,5	1,2	232	4,2	8,2	1603,8	KIŞ
MART	3,7	1,4	274,1	4,5	10,1	1972,6	İLKBAHAR
NİSAN	3,4	1,1	212,7	4,1	7,6	1491,9	İLKBAHAR
MAYIS	3,3	1	194,5	4	7,1	1385,4	İLKBAHAR
HAZİRAN	3,3	1	194,5	4	7,1	1385,4	YAZ
TEMMUZ	4,4	2,4	460,9	5,3	16,4	3222,7	YAZ
AĞUSTOS	4,1	1,9	372,9	4,9	13	2546,7	YAZ
EYLÜL	3,8	1,5	296,9	4,6	10,7	2107	SONBAHAR
EKİM	2,7	0,5	106,5	3,3	4	777,9	SONBAHAR
KASIM	1,5	0,1	18,3	1,8	0,6	126,2	SONBAHAR
ARALIK	1,7	0,1	26,6	2	0,9	173,2	KIŞ

A: 10 metredeki rüzgar hızı (m/s)

B: 1. Türbin için çıkarılan su miktarı (lt/s)

C: 1. Türbinde üretilen güç (W)

D: 20 metredeki rüzgar hızı (m/s)

E: 2. Türbin için çıkarılan su miktarı (lt/s)

F: 2. Türbinde üretilen güç (W)

Buradaki çizelgeyi incelediğimizde görmekteyiz ki Gediz ilçesi genel olarak örnek alınan yıl için Kasım ve Aralık ayları için su çıkarma kapasitesine sahip değildir. Buna rağmen yılın geri kalan aylarında hem 1. rüzgar türbini hem de 2. rüzgar türbini için bu bölgede su çıkarma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

Anılan aylarda 1. rüzgar türbini için 2,4 lt/s ile yüksek su çıkarma kapasitesine Temmuz ayında ulaşıldığı görünürken, 2. rüzgar türbini için en yüksek su çıkarma kapasitesine ise 16,4 lt/s ile yine Temmuz ayında ulaşıldığı görülmektedir. Bu kapasitelere 10 metre yükseklik için 4,4 m/s ve 20 metre yükseklik için 5,3 rüzgar hızı potansiyelinde ulaşıldığı da ayrıca görülmektedir.

Mevsimsel yönden bakıldığında tarım için sulamanın en gerekli olduğu aylar olan Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında su pompajının Gediz bölgesi için 2. rüzgar türbini kullanılarak uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Genel bir değerlendirme yapacak olursak 1. rüzgar türbini ile elde edilen su kapasiteleri ile 2. rüzgar türbini ile elde edilen su kapasiteleri kıyaslandığında, Gediz bölgesinde 2. rüzgar türbini ile su pompajı amaçlı rüzgar türbini kurmanın ideal olabileceği görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SAYISAL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hellmann yükseltme bağıntısı kullanılarak 10 metreden, 50 ve 100 metreye yükseltilmiş ortalama rüzgar hız değerlerine bağlı olarak istasyonların ayrı ayrı potansiyel analizi yapılmış, son olarak da kendi aralarında kıyaslama yapılarak uygun olan istasyon sahası belirlenmiştir. Referans rüzgar hızının 3 m/s seçilmesinin sebebi, rüzgar türbinlerinin elektrik enerjisi üretimine genel olarak 3 m/s hızdan sonra başlamalarıdır. Bu istatistiksel tablo ve grafikler göz önüne alınarak yapılan tespitler şu şekildedir.

Şekil 4.47'deki 2000-2009 yılları arasındaki aylara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Kütahya Merkez'inin, genel olarak 10 ve 50 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu, buna karşın 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise sadece Şubat, Mart, Nisan, Haziran ve Temmuz aylarında ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, bu aylar dışında kalan aylarda ise yetersiz olduğu görülmektedir.

Şekil 4.48'deki 2000-2009 yılları arasındaki aylara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Tavşanlı'nın, genel olarak 10 ve 50 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu, buna karşın 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Aralık aylarında ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, bu aylar dışında kalan aylarda (Eylül, Ekim, Kasım) ise yetersiz olduğu görülmektedir.

Şekil 4.49'deki 2000-2009 yılları arasındaki aylara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Simav'ın, genel olarak 10 , 50 ve 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu görülmektedir.

Şekil 4.50'deki 2000-2009 yılları arasındaki aylara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Gediz'in, genel olarak 10 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu, buna karşın 50 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise Ekim, Kasım ve Aralık ayları hariç geri kalan tüm aylarda ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin Kasım ayı hariç tüm aylarda ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu görülmektedir.

Şekil 4.51'deki 2000-2009 yılları arasındaki yıllara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Kütahya Merkez'inin, genel olarak 10 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu, 50 ve 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise sadece 2007 yılında ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, geri kalan yıllar için ise yetersiz olduğu görülmektedir.

Şekil 4.52'deki 2000-2009 yılları arasındaki yıllara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Tavşanlı'nın, genel olarak 10 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu, 50 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise sadece 2007 yılında ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, geri kalan yıllar için ise yetersiz olduğu, 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin 2000, 2001, 2002, 2003 ve 2005 yıllarında ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, geri kalan yıllarda yetersiz olduğu görülmektedir.

Şekil 4.53'deki 2000-2009 yılları arasındaki yıllara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Simav'ın, genel olarak 10 ve 50 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu, 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise sadece 2009 yılında ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, geri kalan yıllar için ise yetersiz olduğu görülmektedir.

Şekil 4.54'deki 2000-2009 yılları arasındaki yıllara göre rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Gediz'in, genel olarak 10 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin bu istasyon sahasını barındıran bölgede ideal bir RES (Rüzgar Enerji Santrali) yatırımı için yetersiz olduğu, 50 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise sadece 2006, 2008 ve 2009 yıllarında ideal bir RES yatırımı için yeterli düzeyde olduğu, geri kalan yıllar için ise yetersiz olduğu, 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin ise tüm yıllar için yeterli olduğu görülmektedir.

Şekil 4.55'deki 2000-2009 yılları arasındaki yıllarda 10 metreye göre ortalama rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında genel olarak Kütahya Merkez, Tavşanlı, Simav ve Gediz'in bu değerlere göre bölgede ideal bir RES yatırımı için yetersiz potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.56'deki 2000-2009 yılları arasındaki yıllarda 50 metreye göre ortalama rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Kütahya Merkez, Tavşanlı ve Simav'ın bu değerlere göre bölgede ideal bir RES yatırımı için yetersiz potansiyele sahip olduğu, Gediz'in ise 2006 ve 2008

yılları hariç geri kalan yıllarda ideal bir RES yatırımı için yeterli potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.57'deki 2000-2009 yılları arasındaki yıllarda 100 metreye göre ortalama rüzgar hız dağılımlarına bakıldığında Kütahya Merkez ve Simav'ın bu değerlere göre bölgede ideal bir RES yatırımı için yetersiz potansiyele sahip olduğu, Tavşanlı'nın referans hızlarına yakın değerlerde ideal sayılması tartışmaya açık bir RES yatırım için yeterli potansiyele sahip olduğu, Gediz'in ise bütün yıllarda ideal bir RES yatırımı için yeterli potansiyele sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.58'ye bakıldığında Kütahya Merkez ve Simav'ın 10, 50 ve 100 metredeki ortalama rüzgar hızı değerlerinin istasyonun çevresindeki bölgelerde ideal bir RES yatırımı için yetersiz potansiyele sahip oldukları, Tavşanlı'nın 10 ve 50 metredeki ortalama rüzgar hız değerlerinin istasyonun çevresindeki bölgelerde ideal bir RES yatırımı için yetersiz, 100 metredeki ortalama rüzgar hız değerlerinin istasyonun çevresindeki bölgelerde ideal bir RES yatırımı için yeterli, Gediz'in 10 metredeki ortalama rüzgar hız değerlerinin istasyonun çevresindeki bölgelerde ideal bir RES yatırımı için yetersiz, 50 ve 100 metredeki ortalama rüzgar hız değerlerinin istasyonun çevresindeki bölgelerde ideal bir RES yatırımı için yeterli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.55, Çizelge 4.56, Çizelge 4.57 ve Çizelge 4.58 'dan da görülebileceği gibi yıl bazında ve ay bazında 2000-2009 yılları genel toplam ortalama hız değerleri, her bir istasyon için kendi içinde ciddi farklılıklar göstermemektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak Kütahya Merkez, Tavşanlı, Simav ve Gediz bölgelerinin tamamen ideal sayılabilecek bir RES yatırımı için yeterli bir rüzgar potansiyeline sahip olmadıkları görülmektedir. Bu bölgeleri sahip oldukları rüzgar potansiyeline göre değerlendirecek olursak bölgede en uygun yer Gediz istasyonunun bulunduğu saha seçilebilir ve potansiyeli en yüksek yer olarak Gediz görünmektedir. Simav istasyonunun bulunduğu saha ise potansiyeli en düşük saha çıkmıştır. Bu tespitlere dayanarak Simav ve Kütahya Merkez’de ideal bir RES yatırımı önerilmezken, Tavşanlı için daha uygun koşullar sağlanırsa ideal bir RES yatırımı önerilebilir ve son olarak ta Gediz için ideal sayılabilecek bir RES yatırımı uygun saha ve yükseklikte önerilebilir. Yani bu bölgelerin hiç birinde büyük güçlü rüzgar türbinleri kurulması uygun değildir, ancak Tavşanlı ve Gediz’e küçük güçlü rüzgar türbinleri kurulabilir.

Tarımsal işletmelerin doğal kaynakları kullanmaları halinde ise girdi kaleminde önemli kazanımlar sağlayacakları ortadadır. Bu nedenle de temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı özendirilmelidir. Özellikle de rüzgardan elde edilebilecek güç tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılabilir durumdadır. Küçük rüzgar türbinlerinin teknolojik gelişimleri ile ilgili olarak yapılacak çalışmalar da bu sistemlerin kullanımının özendirilmesinde faydalı olacaktır.

Bugün için kurulma maliyetlerinin yüksek olması, rüzgar türbinlerinin kullanımının önündeki en büyük engeldir. Ancak yerli üretimin devreye girmesi ile kurulum masraflarında bir miktar düşme olması mümkün olacaktır. Uzun vadeli bir kullanım ömrüne sahip olmaları ve tamir-bakım masraflarının yok denecek kadar az olması da göz önüne alındığında rüzgar türbinleri çok ucuz bir enerji maliyetine sahiptirler.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] www.femir.org
- [2] www.dmi.gov.tr (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Web Sitesi)
- [3] <http://quarters.blogcu.com/ruzgar-enerjisi/25402>
- [4] www.solarenerji.com
- [5] <http://www.gurkanmutlu.tk/atamyo/ELK222/ruzgar.pdf>
- [6] http://www.uteg.org/makaleler/potansiyeli_cevresel_etkilerinin.pdf
- [7] Demir, F. N., 2007, Rüzgar türbinleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisans Bitirme Tezi, 1-6 s.
- [8] Türkiye Enerji Stratejileri & Politikaları Araştırma Merkezi Haftalık Haber Bülteni Dergisi, 1 s.
- [9] Durak, M., 2010, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği 2009 Yılı Sonu İtibari ile Dünya’da ve Ülkemizde Rüzgar Elektrik Santral (RES) Projelerinin Son Durumu, 1-10
- [10] Dündar, C., Rüzgar Tahmin Sistemi (RETS), 6 s.
- [11] www.alternaturk.org/turkiyede-ruzgar-enerjisi.php
- [12] www.demirer.com.tr/otoproduktor/ceres (Demirer Holding Web Sitesi)
- [13] <http://webhatti.com/genel-sohbet/447306-turkiyenin-en-buyuk-ruzgar-santrali.html>
- [14] <http://www.dacel.com.tr/upload/data/images/sanko1.gif>
- [15] Ünsalver, C., 2008, Rüzgar Enerji Sistemlerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 18-19 s.
- [16] Kasırga, H., Rüzgar Türbinlerinin Başlıca Elemanları, 1 s.
- [17] EİE, “Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Durumu”, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, 2006 11-15 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [18] Türksoy, F., “Rüzgar Verisi Ölçüm ve Analizi”, Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, İzmir, 2001, 87-88, 95-98, 101-102 s.
- [19] Özgür, M.A. ,2006, Dumlupınar Üniversitesi Kampüs Alanında Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 4-5 s.
- [20] Köse, R., 2004, An Evaluation of Wind Energy Potential as a Poer Generation Source in Kütahya, Turkey, Energy Conversion and Managment
- [21] Yaşar, C., Aslan, Y., Dumlupınar Üniversitesi Kampüsündeki Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi (Makale), Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
- [22] <http://www.dcdenergy.com/ruzgar/RuzgarTurbinleriTurleri.pdf>
- [23] Turhan, F., 2009, Rüzgar Enerjisinin Dünya’da Ve Türkiye’de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Değerlerinin İncelenmesi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 68-69 s.
- [24] Turhan, F., 2009, Rüzgar Enerjisinin Dünya’da Ve Türkiye’de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Değerlerinin İncelenmesi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 73-74 s.
- [25] Uçar, S., 2007, Rüzgar Enerjisi ile Elektrik Üretimi ve Kayseri ili için Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 42-44 s.
- [26] <http://www.kutahya.gov.tr/cografya.asp> (Kütahya Valiliği Web Sitesi)
- [27] Şimşek, V., 2007, Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 40-44 s.
- [28] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Kütahya, Simav, Tavşanlı, Gediz Meteoroloji Ölçüm İstasyonları Sözlü Görüşme Mayıs-2010
- [29] Su Çıkarma Amaçlı Rüzgar Türbinlerinin Su Çıkarma Kapasiteleri Üzerine Bir Araştırma Doç. Dr. Ali Vardar, Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, 1-6 s.
- [30] Durak, M., B. Çaldaş, L. Şaylan, 2000. Rüzgar Enerjisinin Tarımda Kullanımı, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, Cilt I 365-374 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [31] Anonim, 2000. Rüzgar Enerjisi, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara
- [32] Yavuzcan, 1994. Enerji Teknolojisi, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın No: 134, Ankara
- [33] Klug, H., 2001. Basic Course in Wind Energy, Deutsche Windenergie Institute GmbH, İstanbul
- [34] Eker, B., 2000. Su Çıkarma Makinaları, T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Tekirdağ, Yayın No:224 Yrd. Ders Kitabı 11 s.

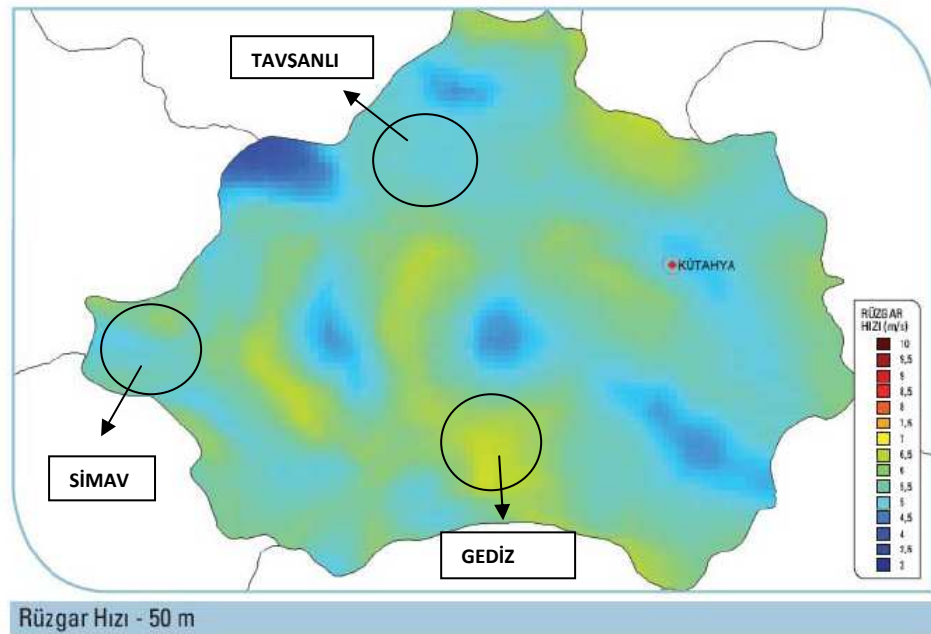
EKLER

Ek 1. Kütahya Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)

Kütahya ili için DMI'nin hazırlamış olduğu Kütahya rüzgar enerjisi potansiyeli atlası da (REPA), tez çalışmasında elde edilen tespit ve önerilerin doğruluğunu destekler biçimdedir. Aşağıdaki datalar meteoroloji uzmanlarının geliştirmiş olduğu rüzgar tahmin programından elde edilmiş olup, bu çalışma il potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla Türkiye genelinde 81 vilayet için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu tespitlere göre aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere sarı renkle gösterilen yer Gediz ilçesine ait sahadır. Bu alan rüzgar potansiyeli açısından değerlendirilecek olursa Kütahya, Tavşanlı ve Simav'a göre daha iyi durumda olduğu görülmektedir.

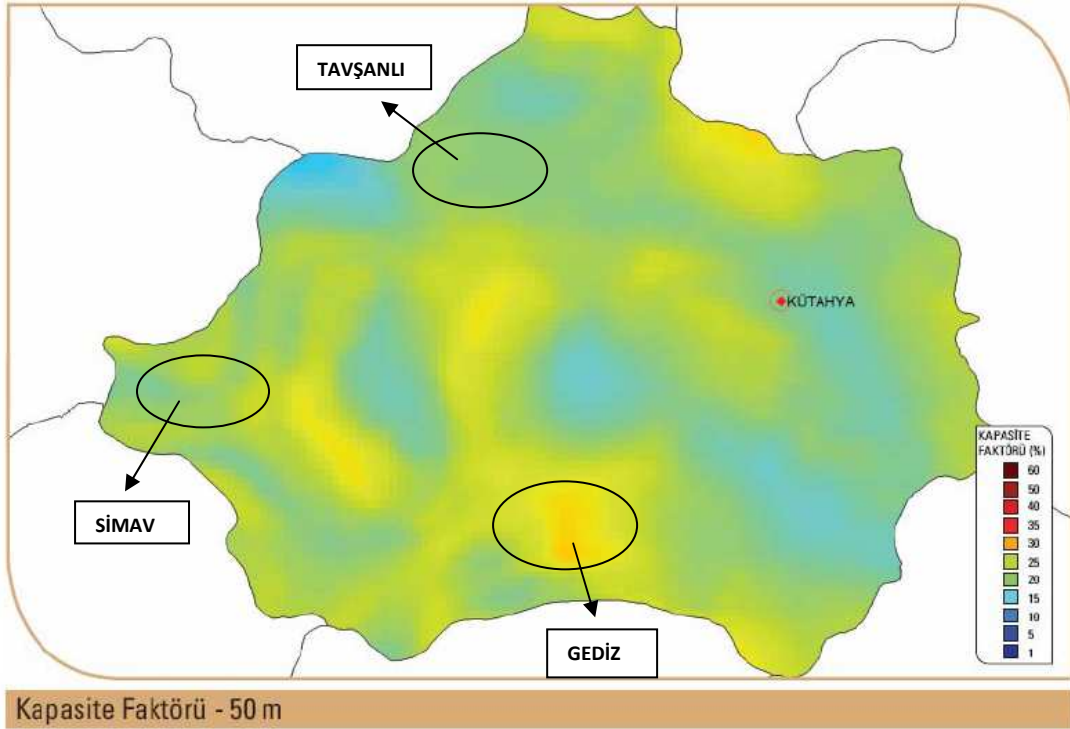
Kütahya İli Rüzgar Kaynak Bilgileri

RÜZGAR HIZ DAĞILIMI – 50 metre



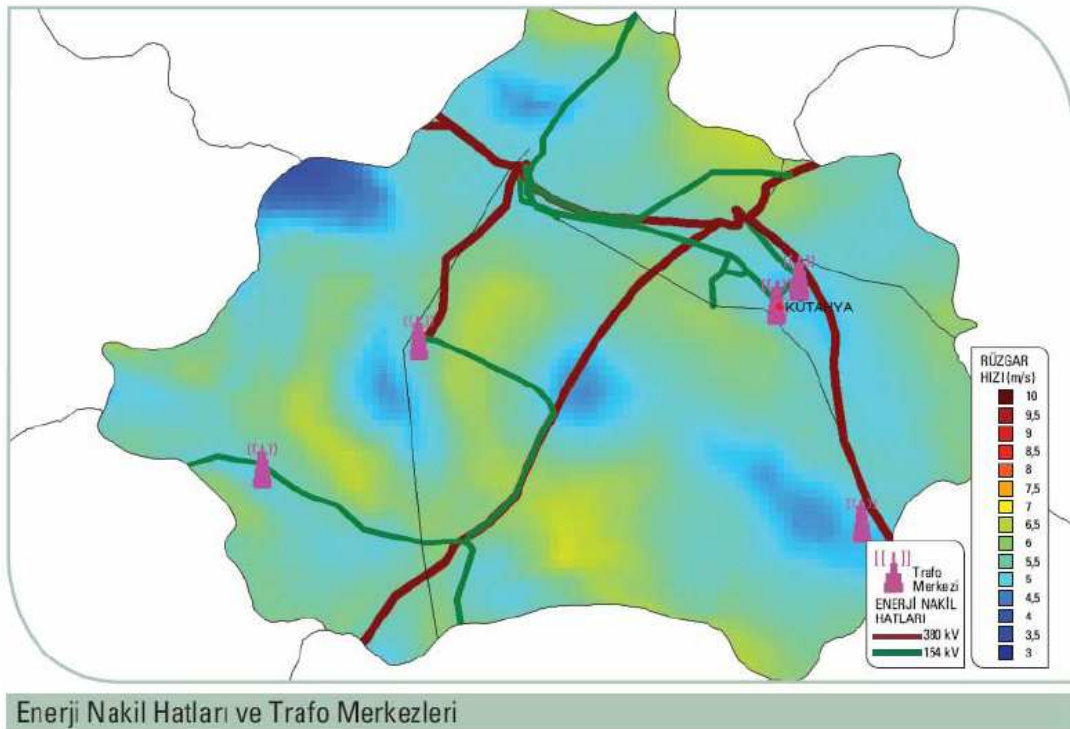
Ekonomik RES yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı gerekmektedir.

KAPASİTE FAKTÖRÜ DAĞILIMI – 50 metre

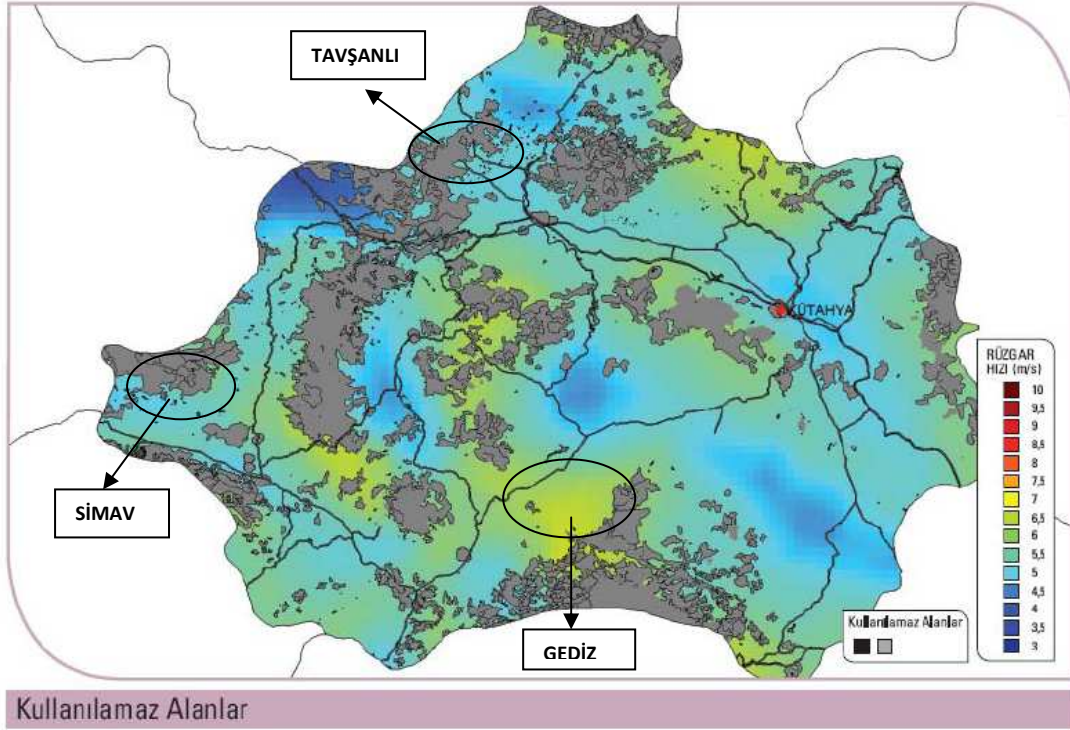


Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir.

TRAFO MERKEZLERİ VE ENERJİ NAKİL HATLARI



RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ KURULABİLİR ALANLAR



GRİ RENKLİ ALANLARA RÜZGAR SANTRALİ KURULAMAYACAĞI KABUL EDİLMİŞTİR.