



**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**RÜZGAR ENERJİSİ VE RÜZGAR ENERJİSİ  
POTANSİYELİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI  
YÖNTEMİYLE TAHMİNİ**

**Ümit ŞENOL**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Zabit MUSAYEV**

**Yozgat 2017**

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

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans/Doktora Programı 70111513008 numaralı öğrencisi Ümit ŞENOL'un hazırladığı "Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmini" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 12/10/2017 Perşembe günü saat 14.00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

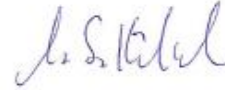
**Başkan** : Yrd. Doç. Dr. Fehim KÖYLÜ



**Jüri Üyesi (Danışman)** : Doç. Dr. Zabit MUSAYEV



**Jüri Üyesi** : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Sertol KÖKSAL



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 08...11...2017 tarih ve 30' sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

08...11...2017



**Doç. Dr. Fuat KÖKSAL**  
Müdür

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTIMA LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	6
2.2. Güneş Enerjisi .....	10
2.3. Jeotermal Enerji.....	11
2.4. Hidroelektrik Enerjisi .....	11
2.5. Biyokütle Enerjisi.....	12
2.6. Rüzgar Enerjisi .....	14
<b>3. RÜZGAR ENERJİSİ</b> .....	<b>16</b>
3.1. Rüzgar Enerjisinin Oluşumu .....	16
3.2. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi .....	17
3.3. Rüzgar Enerjisinin Avantajları .....	19
3.4. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları.....	21
3.5. Rüzgar Enerjisinin Diğer Enerji Kaynakları ile Karşılaştırılması .....	22
3.6. Rüzgarın Teorik Gücü (Betz Kanunu) .....	24
3.7. Rüzgar Türbin Teknolojisi .....	26
3.8. Rüzgar Türbin Çeşitleri .....	28
3.8.1. Dönme Eksenine Göre Rüzgar Türbinler.....	29
3.8.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT) .....	30
3.8.1.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT).....	31
3.8.1.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri .....	34

3.8.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinleri .....	35
3.8.2.1. Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri .....	35
3.8.2.2. Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri .....	35
3.8.2.3. Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	36
3.8.2.4. Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri.....	36
3.8.2.5. Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinlerinin Karşılaştırılması.....	36
3.8.3. Deniz Üstü (Off-Shore) Rüzgar Santralleri .....	37
<b>4. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ.....</b>	<b>40</b>
4.1. Dünyada Rüzgar Enerjisi.....	40
4.2. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi .....	42
4.2.1. Rüzgar Enerjisinin Türkiye’deki Durumu .....	42
4.2.2. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası.....	47
4.2.3. Türkiye’deki Kurulu Rüzgar Santralleri .....	54
<b>5. YAPAY SİNİR AĞLARI.....</b>	<b>56</b>
5.1. Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Tanımı .....	56
5.2. YSA’nın Yapısı ve Temel Bileşenleri.....	56
5.2.1. Biyolojik Sinir Hücresi .....	56
5.2.2. Yapay Sinir Hücresi .....	57
5.2.2.1. Girdiler .....	58
5.2.2.2. Ağırlıklar .....	59
5.2.2.3. Toplama Fonksiyonu.....	59
5.2.2.4. Aktivasyon Fonksiyonu .....	60
5.2.2.5. Çıktılar .....	61
5.3. YSA’ların Sınıflandırılması .....	61
5.3.1. Bağlantı Yapılarına Göre Ağlar .....	61
5.3.1.1. İleri Beslemeli YSA .....	61
5.3.1.2. Geri Beslemeli YSA.....	61
5.3.2. Öğrenme Algoritmalarına Göre YSA .....	62
5.3.2.1. Danışmalı Öğrenme .....	62
5.3.2.2. Danışmasız Öğrenme .....	63
5.3.2.3. Takviyeli Öğrenme.....	64
5.3.3. Öğrenme Kurallarına Göre Ağlar .....	65

5.3.3.1. Hebb Öğrenme Kuralı .....	65
5.3.3.2. Hopfield Öğrenme Kuralı .....	65
5.3.3.3. Delta Öğrenme Kuralı .....	65
5.3.3.4. Kohonen Öğrenme Kuralı .....	66
5.3.4. Katman Sayılarına Göre YSA.....	66
5.4. YSA'ların Genel Özellikleri.....	66
5.5. YSA'larının Avantaj ve Dezavantajları.....	67
5.5.1. Avantajları.....	67
5.5.2. Dezavantajları .....	67
5.6. YSA'larının Kullanım Alanları .....	68
<b>6. YAPAY SİNİR AĞI KULLANARAK ELEKTRİK ÜRETİM TAHMİNİ.....</b>	<b>70</b>
6.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	70
6.2. Çalışmada Kullanılacak Veriler .....	70
6.2.1. Rüzgar Hızı Verileri.....	70
6.2.2. Çalışma Bölgesine Ait Analizler (Rüzgar Enerjisi Potansiyel Haritaları) .....	72
6.2.3. Çalışmada Kullanılan Rüzgar Türbinleri .....	76
6.3. Verilerin Normalizasyonu .....	78
6.4. YSA ile Modelleme .....	80
6.5. Modelin Eğitimi ve Testi.....	83
6.6. Tasarlanan YSA Modeli Sonucu Elde Edilen Tahmini Sonuçlar .....	86
6.7. Gerçekleşen ve YSA Modeli Sonucu Elde Edilen Tahmini Sonuçların Karşılaştırılması.....	100
<b>7. SONUÇ.....</b>	<b>104</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>108</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>111</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>120</b>

# RÜZGAR ENERJİSİ VE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİYLE TAHMİNİ

Ümit ŞENOL

Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik  
Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

2017; Sayfa: 120

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zabit MUSAYEV

## ÖZET

Teknolojinin, sanayinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte dünya da yoğun bir enerji ihtiyacı ile karşı karşıya kalmıştır. Bu ihtiyacın büyük oranda karşılanmasında kullanılan fosil bazlı enerji kaynak rezervlerinin azalması ve çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle, yenilenebilir ve temiz kaynaklara verilen önem her geçen gün artmaktadır. Özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi kullanımı son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir. Dünyadaki bir çok ülke, yerli, sürekli, hammadde maliyeti olmayan, temiz enerji kaynağı olması, dışa olan bağımlılığı azaltması, türbin kuruluşunun hızla gerçekleştirilebilmesi gibi nedenlerle rüzgar enerjisini tercih etmektedir.

Bu çalışmada genel olarak rüzgar enerjisi incelenmiş olup uygulamada ise rüzgar enerjisi potansiyelinin yapay sinir ağları yardımıyla tahmini yapılmıştır. Oluşturulan modelde kullanılacak olan rüzgar hızı verileri test aşamasında, farklı tip rüzgar türbinlerine ait çıkış güçlerine ait veriler ise eğitim aşamasında kullanılmıştır. Uygulama sonrası yapılan regresyon eğrilerinde oluşturulan modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu anlaşılmıştır. Tahmin sonuçlarına göre seçilen bölgenin rüzgar potansiyelinin oldukça iyi olduğu ve kaliteli türbinlerle yüksek kapasiteli enerji üretiminin sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca enerji sektöründeki uygulamacılar ve karar konumunda olan kişilerin elektrik enerjisi ihtiyacının sürekli arttığı günümüzde, rüzgar enerjisine yönelik çalışmalarında alternatif olarak yapay sinir ağlarının da kolaylıkla kullanabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir Enerji, Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Santrali, Rüzgar Hızı, Yapay Sinir Ağı.

# **WIND ENERGY AND ESTIMATING WIND ENERGY POTENTIAL BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS METHOD**

**Ümit ŞENOL**

**Bozok University Institute Of Science  
Electrical And Electronical Engineering Master Thesis**

**2017; PAGE: 120**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zabit MUSAYEV**

## **ABSTRACT**

The world has faced with an intense energy need because of technological and industrial development and population explosion. The importance given to renewable and clean energy sources is increasing day after day due to environmental effects of fossil fuels, those used to meet this need in large scale, will end in the future. In particular, the use of wind energy, one of the renewable energy sources, has increased rapidly in recent years. Many countries in the world prefer wind energy owing to features such as being domestic, continuous, cost-free, clean energy source, reducing dependency on outsourcing, and the fast establishing of wind turbines.

In this study, the wind energy technologies have been examined, and in practice the wind energy potential is estimated with the help of artificial neural networks. In the created model, the wind speed data to be used is used during the test phase and the output powers belonging to different types of wind turbines are used during the training phase. It is understood that the predictions made by the model created in the regression curves after application are reliable and consistent. According to the estimation results, it is seen that the selected zone has very good wind potential and high quality energy production can be achieved with high quality turbines. Moreover, it has been demonstrated that in the constantly growing energy sector, the applications and the decision-makers can use artificial neural networks as an alternative to their work in wind energy.

**Keywords:** Renewable Energy, Wind Energy, Wind Power Plants, Wind Speed, Artificial Neural Network.



## TEŞEKKÜR

*Tez alışmamda tecrübeleri ve bilgisi ile araştırmama katkıda bulunan, eleştirilerini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, çalışmalarımda her zaman destek veren değerli tez hocam ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Zabit MUSAYEV'e Őükranlarımı sunuyorum.*

*Tüm hayatım boyunca iyi bir öğrenim görmemi sağlayan, her zaman beni destekleyen, herşeyimi borçlu olduğum güzide insanlar anneme, babama ve yaşamımın her aşamasında üzerimde büyük emeği olan sevgili ağabeylerim Nurettin Can ve Cengiz ŞENOL'a teőekkürü borç bilirim.*

*Çalışmalarım sırasında her zaman desteğini hissettiğim, tüm sabrı ve anlayışıyla beni sürekli teşvik eden ve her zaman yanımda olan hayat arkadaşım, sevgili eşim Kübra LEKESİZ'e çok teşekkür ederim.*

## SİMGELER LİSTESİ

<b>A</b>	: Rotor dönüşü sırasında taranan alan
<b>CP</b>	: Güç faktörü
<b>GW</b>	: Gigawatt
<b>kW</b>	: Kilowatt
<b>kWh</b>	: Kilowatt Saat
<b>MW</b>	: Megawatt
<b>MWh</b>	: Megawatt Saat
<b>NC</b>	: Kuplaj verimi
<b>NG</b>	: Jeneratör verimi
<b>ND</b>	: Dişli kutusu verimi
<b>Po</b>	: Rüzgarın teorik gücü
<b>U</b>	: Kanatların dönüş hızı
<b>V</b>	: Rüzgar hızı
<b><math>\rho</math></b>	: Hava yoğunluğu
<b><math>\lambda</math></b>	: Kanat uç hız oranı

## KISALTMA LİSTESİ

<b>YSA</b>	: Yapay Sinir Ağları
<b>DETR</b>	: Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri
<b>DMİ</b>	: Devlet Meteoroloji İşleri
<b>EERT</b>	: Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri
<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>ETKB</b>	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>REPA</b>	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
<b>RES</b>	: Rüzgar Enerji Santrali
<b>TEİAŞ</b>	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
<b>YEGM</b>	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
<b>YERT</b>	: Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri
<b>WMO</b>	: Dünya Meteoroloji Organizasyonu
<b>MLP</b>	: Multi Layer Perseptron
<b>LVQ</b>	: Learning Vector Quantization
<b>SOM</b>	: Self Organizing Map

## TABLULAR LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> 2014 Sonu İtibari İle Ülkelere Göre Toplam Yenilenebilir Enerji Kapasite Sıralaması [9].....	9
<b>Tablo 3.1.</b> Enerji Kaynaklarının Çevreye Olan Etkileri Açısından Değerlendirilmesi ...	22
<b>Tablo 3.2.</b> Enerji Kaynaklarının Yatırım ve Üretim Maliyetleri.....	23
<b>Tablo 3.3.</b> Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinlerinin Karşılaştırılması [23].....	37
<b>Tablo 4.1.</b> 2015 Yılı İtibariyle En Yüksek Pazar Payına Sahip Rüzgar Türbini Üreticileri [9].....	42
<b>Tablo 4.2.</b> Bölge Bazında Rüzgar Hızı ve Güç Yoğunluğu (10m) .....	53
<b>Tablo 4.3.</b> Türkiye Geneli Seçilmiş Rüzgar İstasyonlarına İlişkin Bilgiler .....	53
<b>Tablo 4.4.</b> EİE İdaresi Tarafından Ölçülen Bazı Yörelerin Aylık Ortalama Rüzgar Hızları (m/s).....	54
<b>Tablo 5.1.</b> Biyolojik Sinir Ağı ve Yapay Sinir Ağının Karşılaştırılması .....	58
<b>Tablo 5.2.</b> Toplama Fonksiyonu Örnekleri .....	59
<b>Tablo 5.3.</b> Aktivasyon Fonksiyonu Örnekleri .....	60
<b>Tablo 6.1.</b> Aylara Göre Günlük Ortalama Rüzgar Hızı Verileri (m/s).....	71
<b>Tablo 6.2.</b> Aydın'a Kurulabilecek RES Güç Kapasitesi [43].....	76
<b>Tablo 6.3.</b> Seçilen Rüzgar Türbinlerine Ait Teknik Bilgiler.....	76
<b>Tablo 6.4.</b> Rüzgar Türbinlerinin Rüzgar Hızına Göre Ürettiği Güç Miktarı (kW) .....	77
<b>Tablo 6.5.</b> Rüzgar Hızı Normalizasyon Değerleri.....	79
<b>Tablo 6.6.</b> YSA Özellikleri.....	81
<b>Tablo 6.7.</b> Ocak Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW) .....	87
<b>Tablo 6.8.</b> Şubat Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW).....	88
<b>Tablo 6.9.</b> Mart Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW) .....	89
<b>Tablo 6.10.</b> Nisan Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW).....	90
<b>Tablo 6.11.</b> Mayıs Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW).....	91
<b>Tablo 6.12.</b> Haziran Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW) .....	92
<b>Tablo 6.13.</b> Temmuz Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW).....	93
<b>Tablo 6.14.</b> Ağustos Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW).....	94
<b>Tablo 6.15.</b> Eylül Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW) .....	95

<b>Tablo 6.16.</b> Ekim Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW) .....	96
<b>Tablo 6.17.</b> Kasım Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW) .....	97
<b>Tablo 6.18.</b> Aralık Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW).....	98
<b>Tablo 6.19.</b> Aylara Tahmini Güç Değerleri (kW) .....	99
<b>Tablo 6.20.</b> Gerçekleşen ve Tahmini Değerlerinin Performansı .....	101
<b>Tablo 6.21.</b> Gerçekleşen ve Tahmini Değerlerinin Performansı .....	103



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Şekil 2.1.</b> 1970-2014 Döneminde Dünya Genelinde Enerji Arzi (Milyon Ton Petrol Eşdeğeri) [3] .....	4
<b>Şekil 2.2.</b> 1970-2014 Döneminde Dünya Geneli CO <sub>2</sub> Salınımı (Milyon Metrik Ton) [3] .....	5
<b>Şekil 2.3.</b> Dünyada 2015 Yılı Sonu İtibariyle Elektrik Üretiminde Kullanılan Enerji Kaynakları [9] .....	7
<b>Şekil 2.4.</b> Dünyada 2009-2014 Döneminde Yenilenebilir Enerji Üretim Kapasitesi Büyüme Oranları [9] .....	8
<b>Şekil 2.5.</b> Biyokütle Enerji Dönüşüm Döngüsü .....	13
<b>Şekil 3.1.</b> Eski Çağlarda Rüzgarın Kullanım Alanları .....	17
<b>Şekil 3.2.</b> Rüzgar Santrallerinin Hayvancılık ve Tarım Arazisi Olarak Kullanılması .....	21
<b>Şekil 3.3.</b> Bir Disk Şekilli Düzeneği Boyunca Akışkan Akış Şeması .....	25
<b>Şekil 3.4.</b> Rüzgar Türbini Bölümleri .....	27
<b>Şekil 3.5.</b> Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması .....	29
<b>Şekil 3.6.</b> YERT-Modern Rüzgar Türbini .....	31
<b>Şekil 3.7.</b> DERT-Eliptik Darrieus ve DERT-Darrieus Giromill-(H) Tipi Rüzgar Türbini .....	32
<b>Şekil 3.8.</b> Darrieus Modeli Türbinler .....	33
<b>Şekil 3.9.</b> Savonius Modeli Türbinler .....	34
<b>Şekil 3.10.</b> Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri .....	34
<b>Şekil 3.11.</b> Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinleri .....	35
<b>Şekil 3.12.</b> Deniz üstü (Offshore) rüzgar türbinleri .....	38
<b>Şekil 3.13.</b> Kara ve Deniz Üstü Rüzgar Türbinlerinin Gelişimi .....	39
<b>Şekil 4.1.</b> 2005-2015 Döneminde Dünyada Rüzgar Enerjisi Kapasitesi [34] .....	40
<b>Şekil 4.2.</b> 2014 Sonu İtibariyle En Fazla Rüzgar Kapasitesine Sahip Ülkeler [9] .....	41
<b>Şekil 4.3.</b> Türkiye'nin İlk Rüzgar Enerji Santrali-Alize Germiyan Santrali .....	43
<b>Şekil 4.4.</b> 2001-2016 Döneminde Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü Değişimi [28] .....	44
<b>Şekil 4.5.</b> Rüzgar Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Yıllara Göre Dağılımı [29] ..	45
<b>Şekil 4.6.</b> Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücünün Dağılımı [29] .....	45
<b>Şekil 4.7.</b> Türkiye'de İşletmede Olan Rüzgar Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Bölgelere Göre Dağılımı [29] .....	46

<b>Şekil 4.8.</b> İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Dağılımı [30] .....	47
<b>Şekil 4.9.</b> Türkiye Rüzgar Atlası [32].....	48
<b>Şekil 4.10.</b> Türkiye'de 30 m'de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri. [32].....	50
<b>Şekil 4.11.</b> Türkiye'de 50 m'de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri [32].....	50
<b>Şekil 4.12.</b> Türkiye'de 70 m'de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri [32].....	51
<b>Şekil 4.13.</b> Türkiye'de 100 m'de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri [32].....	51
<b>Şekil 4.14.</b> Türkiye Geneli 50 m Yükseklikteki Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu Dağılımı [32] .....	52
<b>Şekil 4.15.</b> Türkiye Geneli 50 m Yükseklikteki Ortalama Kapasite Faktörü Dağılımı [32] .....	52
<b>Şekil 4.16.</b> Soma RES (240,1 MW).....	55
<b>Şekil 5.1.</b> Bir Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı .....	57
<b>Şekil 5.2.</b> YSA'nın Temel Elemanları .....	58
<b>Şekil 5.3.</b> İleri Beslemeli Ağ İçin Blok Diyagramı.....	61
<b>Şekil 5.4.</b> Geri Beslemeli Ağ İçin Blok Diyagramı .....	62
<b>Şekil 5.5.</b> Danışmanlı Öğrenme Yapısı .....	63
<b>Şekil 5.6.</b> Danışmansız Öğrenme Yapısı .....	64
<b>Şekil 5.7.</b> Takviyeli Öğrenme Yapısı.....	64
<b>Şekil 5.8.</b> YSA'larının Uygulama Alanları.....	68
<b>Şekil 6.1.</b> 2015 Yılı Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızı Grafiği .....	72
<b>Şekil 6.2.</b> Rüzgar Hız Dağılımı (50 metre) [43] .....	73
<b>Şekil 6.3.</b> Kapasite Faktörü Dağılımı (50 metre) [43] .....	74
<b>Şekil 6.4.</b> RES İçin Uygun Olmayan Bölgeler [43].....	74
<b>Şekil 6.5.</b> Enerji Nakil Hatları ve Trafo Merkezleri [43].....	75
<b>Şekil 6.6.</b> Seçilen Rüzgar Türbinleri İçin Güç Eğrileri.....	78
<b>Şekil 6.7.</b> MATLAB YSA Ait Parametreleri Ara Yüzü .....	81
<b>Şekil 6.8.</b> Kullanılan Matlab YSA Arayüzü ve Eğitim Parametreleri .....	82
<b>Şekil 6.9.</b> Eğitim, Doğrulama ve Test Verilerine Ait Eğitim Aşamasındaki Performans Fonksiyonunun Değişimleri.....	84
<b>Şekil 6.10.</b> Gradyent Değeri, Doğrulama Hatası ve Öğrenme Oranı Değişimleri.....	84
<b>Şekil 6.11.</b> Eğitim, Doğrulama ve Test Verilerinin Ve Tüm Datanın Sonuçlarına Ait Regresyon Eğrileri .....	85

<b>Şekil 6.12.</b> Rüzgar Türbinlerinin Aylara Göre Ortalama Elektrik Üretim Tahmin Değerleri Grafiği.....	99
<b>Şekil 6.13.</b> Gerçekleşen ve Tahmini Rüzgar Gücü Değerleri Grafiği (V117).....	102
<b>Şekil 6.14.</b> Gerçekleşen ve Tahmini Rüzgar Gücü Değerleri Grafiği (SWT2.3) .....	102





## 1. GİRİŞ

Günümüzde ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgazdan karşılamaktadır. Bununla birlikte fosil yakıt kaynaklarının tükenmeye başlaması ve çevreye olan zararlarından dolayı, başta rüzgar ve güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları gündeme gelmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtların sahip olduğu arz güvenliğine ilişkin sorunlar, sera gazları salınımına sebep olarak iklim değişikliklerine neden olma, dışa bağımlılık ve cari açığa neden olma gibi dezavantajlara sahip değildir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesinde enerji ihtiyacı yüksek olan gelişmiş ülkeler başı çekmekle birlikte, Türkiye gibi fosil yakıt rezervleri sınırlı olan gelişmekte olan ülkelerin yatırımlarının olduğu görülmektedir.

Türkiye ekonomisinin ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük bir kısmını fosil bazlı enerji kaynakları ile karşılamaktadır. Buna karşılık Türkiye'nin sahip olduğu petrol, doğalgaz ve kömür rezervlerinin düşük olması, enerji talebinin karşılanmasında yurt dışına bağımlı olmasına neden olmaktadır. Yüksek cari açık problemi ile mücadelede eden Türkiye'nin enerji ihtiyacının büyük kısmını ithal petrol, doğalgaz ve kömür gibi kaynaklar ile karşılamakta, söz konusu durum da ekonomik açıdan sorunlara neden olmaktadır. Türkiye açısından giderek artan enerji talebinin karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla maliyetleri düşürmek, daha temiz bir çevre oluşturmak ve ülkelerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi sürdürülebilir şekilde temin edebilmek için yenilenebilir enerji üretiminin hızla arttırılması gerekmektedir.

Dünya genelinde de incelendiğinde fosil bazlı enerji kaynaklarının rezervlerinin kısıtlı olması, sadece dünyanın belli bölgelerinde yoğunlaşmış olması ve çevreye olan olumsuz tesirleri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Alternatif enerji kaynakları içerisinde rüzgar enerjisi kümülatif kurulu güç bakımından dünyada ilk sırada yer almaktadır. Ülkeler rüzgardan enerji üretimini sağlamak amacı ile teknolojik, ekonomik ve kurumsal olarak gerekli yapıyı kurmaya

çalışmaktadırlar. Rüzgar enerjisi potansiyelinin bulunduğu alanların tespiti ile bu potansiyelden en düşük maliyet ile yararlanmaya yönelik teknolojilerin geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir. Türkiye rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Türkiye açısından rüzgar enerjisi gerek yatırım maliyetleri gerekte rezerv potansiyeli açısından pek çok avantaja sahiptir. Bu açıdan önümüzdeki yıllarda rüzgar enerjisi alanına olan yatırımların artarak, toplam enerji üretimindeki payının yükseleceği öngörülmektedir. Bu alanda potansiyeli tespit etmek amacıyla rüzgar ölçümleri yapılmakta, çeşitli teşvik programları ile rüzgar enerjisine yatırımlar özendirilmeye çalışılmaktadır.

Bu tez kapsamında, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgar enerjisinin önemine değinilerek, rüzgar enerjisi alanında yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Yapay sinir ağları (YSA) modeli ile geçmişteki rüzgar hızı verileri ve çeşitli rüzgar türbinlerini kullanarak gelecekte oluşabilecek rüzgar enerjisi üretimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Rüzgar enerjisi üretim tahmini yapılacak bölge için Aydın'ın Çine ilçesi Turguttepe mevki seçilmiş olup bu bölgeye ait rüzgar hızı verileri Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) ve bölgede kurulu olan rüzgar ölçüm direklerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada (YSA) çıktı verileri olarak kullanılacak rüzgar türbinleri Gamesa G97, Suzlon S.88, Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Vestas V117 tipi rüzgar türbinleri seçilmiştir.

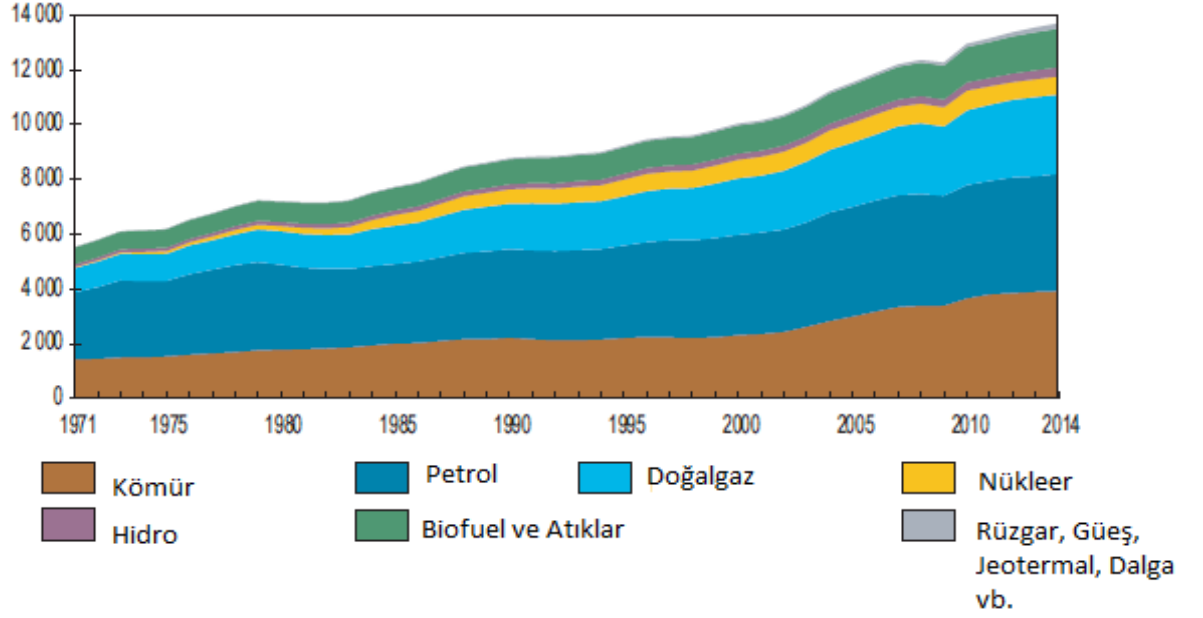
Çalışmanın birinci bölümünde enerji kaynaklarından bahsedilmiş olup bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi anlatılmıştır. İkinci bölümde başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji ve biyokütle enerjisi incelenmiştir. Üçüncü bölümde rüzgar enerjisi sistemleri incelenmiştir. Rüzgar türbinlerinin tarihsel gelişimi, rüzgar enerjisinin oluşumu, rüzgar enerjisinin avantajları, rüzgar türbini çeşitleri ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde Dünyada ve Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyeli, beşinci bölümde ise çalışmada kullanılan YSA metodu anlatılmıştır. Altıncı bölümde YSA metodu ile rüzgar enerjisi üretimi tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Son bölümde ise çalışmadan çıkabilecek sonuçlar irdelenmiştir.

## **2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI**

Dünya genelinde kullanım alanı bulunan enerji kaynakları enerjinin elde edildiği kaynaklardan yola çıkarak sınıflandırılması yapıldığında enerji kaynakları iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlardan ilki olan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil bazlı enerji kaynakları, hayvan ve bitki artıklarından elde edilmektedir. Ayrıca nükleer enerji de yenilenemeyen enerji kaynakları içinde değerlendirilmektedir. İkincil enerji kaynakları ise güneş, jeotermal, rüzgar, dalga, hidrojen, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır [1].

Günümüzde enerji üretiminde ağırlıklı olarak fosil enerji kaynaklarından olan kömür, petrol ve doğalgaz kullanılmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının genel olarak üç özelliği bulunmaktadır; tükenebilir ve kıt olmaları, dünya geneline eşit miktarda dağılmamaları ve enerji kaynaklarının dönüşümünün çevre tahribatı oluşturmasıdır [2]. Öte yandan fosil bazlı yakıt rezervlerindeki azalış ülkeleri başta hidroelektrik, rüzgar ve güneş olmak üzere alternatif enerji kaynakları bulma arayışına itmektedir.

1970-2014 döneminde dünya genelinde enerji üretiminde kullanılan kaynaklar Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



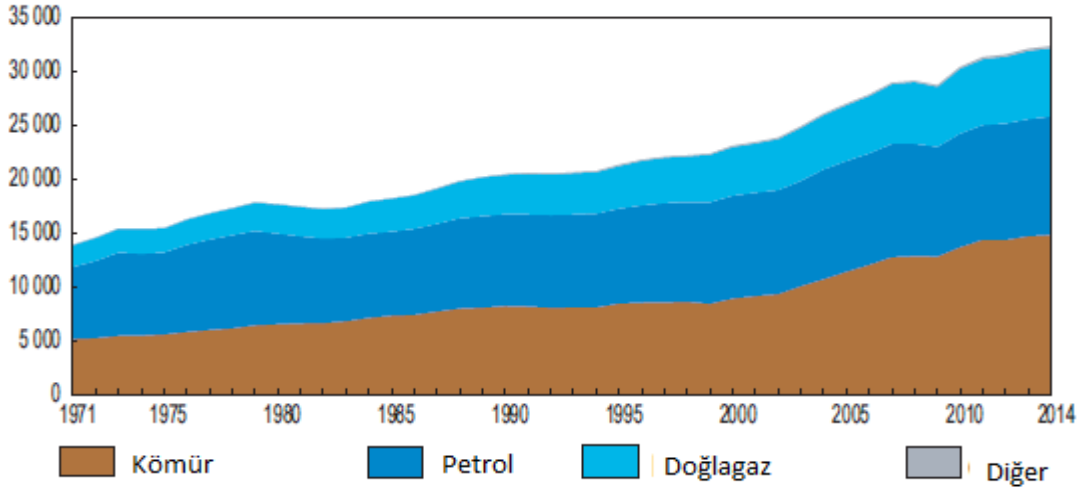
**Şekil 2.1.** 1970-2014 Döneminde Dünya Genelinde Enerji Arzı (Milyon Ton Petrol Eşdeğeri) [3]

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere Dünya genelinde enerji üretiminin büyük bölümü kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının Dünyada sadece belli bölgelerde yoğunlaşmış olması hem taşıma maliyetlerini yükseltmekte hem de bu enerji kaynaklarına sahip olmayan ülkeler açısından enerji arzı güvenliğini tehlikeye düşürmektedir. Buna karşılık son yıllarda nükleer, rüzgar, güneş, jeotermal ve deniz dalgası gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımında artış yaşandığı dikkat çekmektedir.

Yaygın şekilde kullanılan fosil kaynaklı yakıtların dünyadaki bütün canlıların yaşam standartlarına zarar verdiği bilinmektedir [4]. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu atmosfere salınan CO<sub>2</sub> gazının oluşturduğu sera etkisi neticesinde oluşan sıcaklık artışları (küresel ısınma) çağımızı en hayati çevre problemlerinden biri olarak görülmektedir. Söz konusu kaynakların kullanımı miktarı, ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazı büyüklüğünde en belirleyici faktördür. Ayrıca her fosil yakıt kaynağı içinde yer alan

bileşimler ve yakılma şekline göre farklı miktarlarda gaz salınımına neden olabilmektedir.

CO<sub>2</sub> gazı salınımından kaynaklan çevre kirliliği 1970 yılından itibaren hızlı bir şekilde artmıştır. 1970-2014 döneminde dünya genelinde en fazla CO<sub>2</sub> gazı salınımına neden olan enerji kaynakları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** 1970-2014 Döneminde Dünya Geneli CO<sub>2</sub> Salınımı (Milyon Metrik Ton) [3]

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere çevre kirliliği ve küresel ısınma konusunda olumsuz etkileri bulunan CO<sub>2</sub> salınımında kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarının büyük payı bulunmaktadır. 1970 yılı ile karşılaştırıldığında 2014 yılında söz konusu fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonunun iki katından fazla artarak 30.000 milyon metrik tonu aşması Dünya açısından önemli bir tehdit olarak görülmektedir.

1973-1980 döneminde yaşanan petrol krizi yenilenebilir enerji kaynaklarının ön plana çıkmasına neden olmuştur. Bu dönemde gelişmiş ülkeler başta rüzgar enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji teknolojilerine yatırım yapmaya başlamışlardır [5]. Ülkeler enerji kaynaklarının çeşitliliğini ve devamlılığını sağlamaya çalışmaktadır. Bu arayışta geleneksel enerji kaynaklarının üretim maliyetlerinin yüksek olması, oluşturdukları atıklar nedeniyle çevre kirliliğine ve iklim değişikliklerine yol açması gibi faktörler de

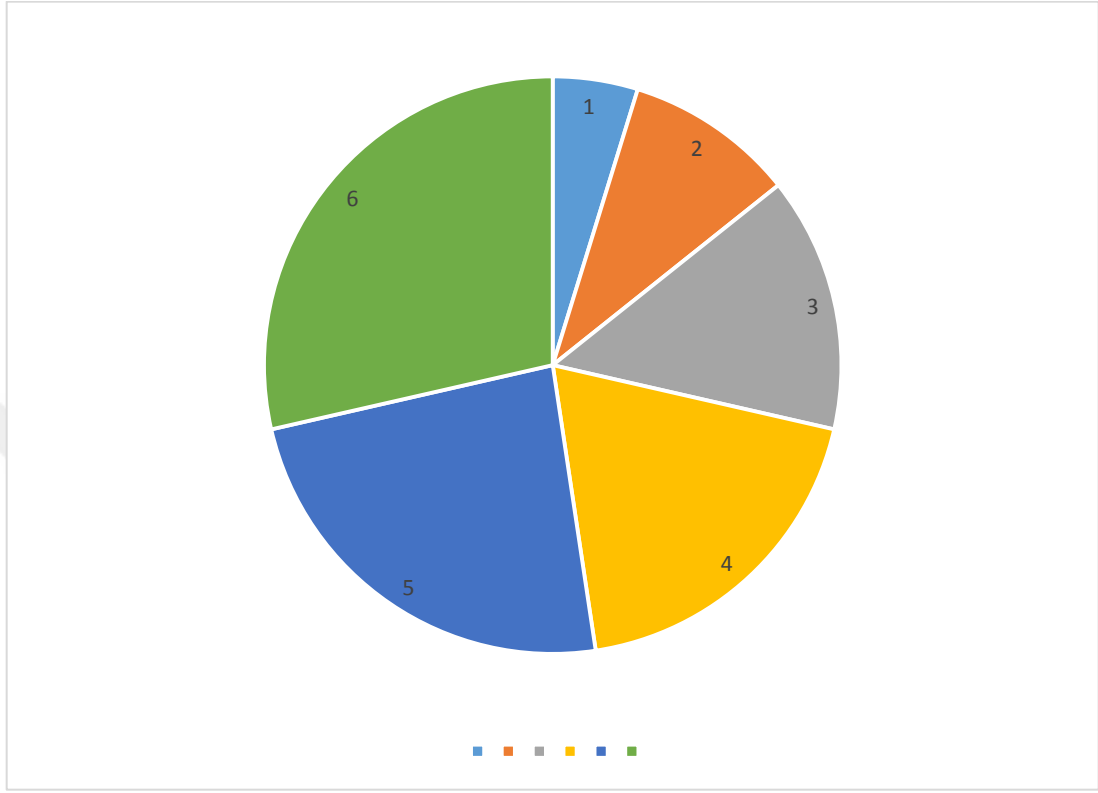
etkili olmaktadır [6]. Bu nedenlerle ülkeler fosil yakıtlar yerine yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yönelerek ekonomik ve politik durumlarını güvenceye almak istemektedirler.

Bu bölümde geliştirilmeye uygun ve dünya genelinde kullanımı hızla artmakta olan yenilenebilir enerji kaynakları ve dünyada kullanım alanları ele alınacaktır.

## **2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji, doğa tarafından sunulan alanlardan temin edilebilen ve doğa tarafından devamlı olarak rezervleri yerine konularak tamamlanan enerjiye denir. Bir diğer ifadeyle yenilenebilir enerji, *“üretimi için sürekli devam eden doğal süreçlerden faydalanan, üretim için kullandığı kaynakların tükenme hızından çok daha kısa sürede kendini yenileyebilen enerji kaynaklarıdır”* [7]. Bu kaynakların tükenmesi söz konusu değildir. Doğa tarafından yenilenmekte ve üretim süreci sonucunda çevreye verilen zarar ihmal edilebilir düzeydedir. Yenilenebilir enerji kaynakların başlıcaları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi ve biyokütle enerjisi olarak sıralanabilir. 2015 yılı sonu itibariyle, *“dünyada üretilen elektriğin yaklaşık %23,7’si yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilmiştir”* (%16.6’sı hidroelektrikten elde edilmiştir.) [8].

Dünyada enerji ısınma, taşıma gibi birçok değişik formda kullanılmakla birlikte en temel kullanım alanlarından birisi elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi üretiminde petrol, taş kömürü, linyit, doğalgaz gibi fosil yakıtların yanı sıra, nükleer, jeotermal, güneş, hidro, biyokütle ve rüzgar gibi enerji kaynakları da kullanılmaktadır. 2015 yılı sonu itibariyle elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının sahip olduğu paylar Şekil 2.3’te gösterilmiştir.

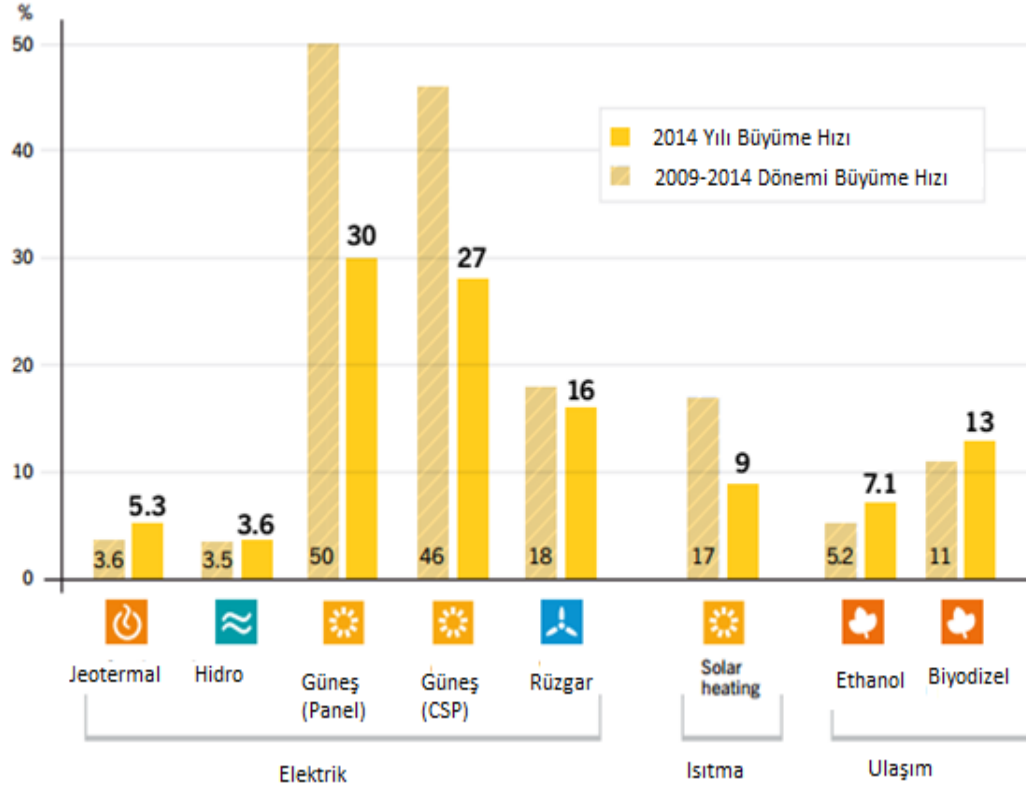


**Şekil 2.3.** Dünyada 2015 Yılı Sonu İtibariyle Elektrik Üretiminde Kullanılan Enerji Kaynakları [9]

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere 2015 sonu itibariyle dünyada elektrik üretiminde büyük oranda fosil yakıtlar ve nükleer enerji kullanılmaktadır (%76,30). Hidroelektrik santralleri ikinci önemli elektrik enerjisi üretim kaynağıdır (%16,60). Buna karşılık diğer yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgar (%3,70), biyokütle (%2), güneş (%1,20), ve jeotermal (%0,40) enerjilerinin payı oldukça düşüktür. Öte yandan yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlarla her geçen yıl bu alandaki kapasitenin arttığı görülmektedir.

Artan enerji talebi ve teknolojik gelişmeler enerji kaynaklarının çeşitlendirmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede devletlerin yenilenebilir enerjiye desteğini arttırdığı ve dünya genelinde iddialı hedefler belirlediği gözlemlenmektedir [8]. Bu alanda güneş ve rüzgar enerji kaynakları yüksek oranda yatırımın yapıldığı enerji kaynakları olarak dikkat çekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirme konusunda ülkelerin yarış halinde olduğu söylenebilir. Her yıl yenilenebilir enerjisi üretim kapasitelerinde kayda değer artışlar gerçekleşmektedir. Dünyada 2009-2014 döneminde yenilenebilir enerji üretim kapasitesi büyüme oranları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** Dünyada 2009-2014 Döneminde Yenilenebilir Enerji Üretim Kapasitesi Büyüme Oranları [9]

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere 2009-2014 döneminde yenilenebilir enerji kaynak kapasitelerinde önemli oranda artış yaşanmıştır. Özellikle güneş ve rüzgar enerjilerinden elektrik üretiminde sırasıyla %50 ve %18 oranlarında artış yaşanmıştır. Öte yandan artan petrol fiyatlarının da etkisiyle, taşımada petrol alternatifleri olan etanol ve biyodizel üretiminde sırasıyla %5 ve %11 oranlarında artış yaşandığı görülmektedir. Hidroelektrik santralleri ve jeotermal enerji kaynaklarındaki gelişimin ise sınırlı kalarak yaklaşık %3



olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Burada dikkat çekici bir diğer husus da güneş enerjisi kullanımının yalnız elektrik üretimi ile sınırlı kalmayıp ısıtma alanında da yaygın olarak kullanılmakta olduğudur. Bu alanda 2009-2014 yılları arasında %17 gibi yüksek bir oranda büyüme yaşanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapan ülkeler incelendiğinde yüksek enerji ihtiyacına sahip ekonomilere sahip ülkelerin başı çektiği görülmektedir. Bunlara ek olarak çevre duyarlılığı nedeniyle özellikle Avrupa ülkelerinin de fosil yakıt alternatiflerine yönelmektedir.

Yenilenebilir enerji alanında yatırımlar yapılmaya devam etmekte olduğu için yıllara göre ülke sıralamalarında değişiklikler yaşanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları üretim kapasitesi açısından dünya genelinde önde gelen ülkeler Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** 2014 Sonu İtibari İle Ülkelere Göre Toplam Yenilenebilir Enerji Kapasite Sıralaması [9]

	Yenilenebilir (Hidrogüç içeren)	Yenilenebilir (Hidrogüç içermeyen)	Kişi Başına Yenilenebilir Güç (Hidrogüç içermeyen)	Jeotermal	Solar Güneş Pili	Hidro	Rüzgar
1	Çin	Çin	Danimarka	ABD	Almanya	Çin	Çin
2	ABD	ABD	Almanya	Filipinler	Çin	Brezilya	ABD
3	Brezilya	Almanya	İsveç	Endonezya	Japonya	Kanada	Almanya
4	Almanya	İspanya/İtalya	İspanya	Meksika	İtalya	ABD	İspanya
5	Kanada	Japonya/Hindistan	Portekiz	Yeni Zelanda	ABD	Rusya	Hindistan

Tablo 2.1’de görüldüğü üzere Çin, ABD ve Almanya yenilenebilir enerji kapasitesi anlamında dünyanın önde gelen ekonomileridir. Bunlara ek olarak Danimarka, İspanya (Rüzgar), İtalya (Güneş) ve İsveç gibi Avrupa ülkelerinin de yenilenebilir enerji üretim kapasiteleri artırmakta oldukları görülmektedir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji

kapasitesinin yüksek olduğu ülkelerin genel olarak enerji ihtiyacı yüksek olan ülkeler ile çevre duyarlılığının fazla olduğu Avrupa ülkeleri olduğu söylenebilir.

Rüzgar enerjisi açısından değerlendirildiğinde ise 2015 yılı itibariyle Çin'in bu kaynağı en çok kullanan ülke olduğu görülmektedir. Çin'i ABD ve Almanya takip etmektedir. İspanya ve Hindistan da rüzgar enerjisi kullanımında Dünyada önde gelen ülkeler arasındadır. Söz konusu ülkeler gerek karada gerekse deniz üstünde rüzgar türbinleri inşa etmektedirler. Rüzgar enerjisi üretiminde coğrafi olarak daha geniş alana yayılmış, denizlere ve okyanuslara komşu olan ülkelerin büyük avantajı bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından karşılaşılan problemlerin başında teknolojik altyapı maliyetin yüksekliği, enerji depolanmasındaki güçlük ve mevcut enerji altyapısının yenilenebilir enerji kaynakları ile uyumlu olmayan fosil yakıtlara göre kurulmuş olmasıdır. Enerji altyapısının yeniden ele alınıp yenilenebilir enerji rezervlerinin bulunduğu yerlere kaydırılması, yenilenebilir enerji teknolojileri açısından başlangıç maliyetlerini önemli oranda arttırmaktadır. Bu nedenlerle yüksek büyüme oranlarına rağmen 2050 yılına ilişkin olarak yapılan projeksiyonlarda, kısa ve orta vadede yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı açısından birincil enerji kaynaklarının yerini alamayacağı öngörülmektedir [10].

Yukarıda bahsedildiği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarını; güneş enerjisi, jeotermal enerji, dalga ve hidroelektrik enerjisi, biyokütle enerjisi ve rüzgar enerjisi olarak gruplanmaktadır. Söz konusu enerji kaynaklarına ilişkin açıklamalara aşağıda yer verilmektedir.

## **2.2. Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisi, güneşte meydana gelen hidrojeni helyuma gazına dönüştüren füzyon reaksiyonu sonucunda ortaya çıkar. Füzyon tepkimesi sonucu ortaya çıkan bu güçlü enerji radyasyon yolu ile uzay boşluğuna yayılmakta ve bu enerjinin bir bölümü güneş ışınları olarak dünyaya ulaşmaktadır. Hesaplamalara göre dünyaya gelen güneş enerjisi yaklaşık olarak  $700 \times 10^{12}$  MWh olup, güneşin yıllık ürettiği toplam enerjinin ancak iki

milyarda biridir [11]. Yayılan bu enerjinin dünyaya ulaşan miktarı toplam enerji içinde çok küçük olsa bile insanoğlunun tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek büyüklüktedir.

1970'lere kadar daha çok su ısıtması amacıyla kullanılan güneş enerjisinin, güneş ışınlarını toplayarak elektrik enerjine çeviren panellerin geliştirilmesiyle birlikte kullanım alanı genişlemiştir. Güneş pilleri, çevreye zararının az, düşük bakım maliyeti ile uzun süreli yararlanılabilmesi sebebi ile tercih edilmektedir [12]. Çevre az zarar verdiği için tercih edilen güneş enerjisinin, geliştirilen yeni teknolojiler ile yüksek ilk yatırım maliyeti düşmektedir. Güneş enerjisi teknolojilerine yapılan yatırımlar neticesinde verimlilik artışı ve maliyet konularında gelişmeler yaşanmış, bu durum da son yıllarda dünyada güneş enerjisi kullanımında artışa neden olmuştur.

### **2.3. Jeotermal Enerji**

Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazların doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır. Jeotermal enerji geleneksel olarak mutfak, banyo ve hamamlarda kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde termik santrallerdeki elektrik üretimine benzer olarak, jeotermal kaynaklardaki sıcak suyun oluşturduğu buhar ile çalışan türbinler sayesinde elektrik üretilebilmektedir.

Türkiye güneş enerjisinde olduğu gibi jeotermal enerji kaynakları açısından da zengin bir ülkedir. Bu açıdan Türkiye dünyada jeotermal enerji kaynakları kullanımında ilk 5 ülke arasında yer almaktadır. Denizli, Kütahya ve İzmir-Aliağa bölgelerde jeotermal enerji kaynaklarından konut ısıtma ve elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Jeotermal enerji ile Türkiye'de 2008 yılı itibariyle 51 bin 600 konut ısıtılırken, 20 MW elektrik üretilmektedir.

### **2.4. Hidroelektrik Enerjisi**

Hidroelektrik enerjisi, suyun akış gücü kullanılarak üretilmektedir. Suyun akışının yarattığı kinetik enerji su kanalları vasıtasıyla türbinlere iletilmekte ve suyun türbinlerin pervanelerini döndürmesiyle elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Yükseltinin fazla

olduğu bölgelerin hidroelektrik enerji üretim potansiyeli, suyun akış hızının da fazla olması nedeniyle yüksektir.

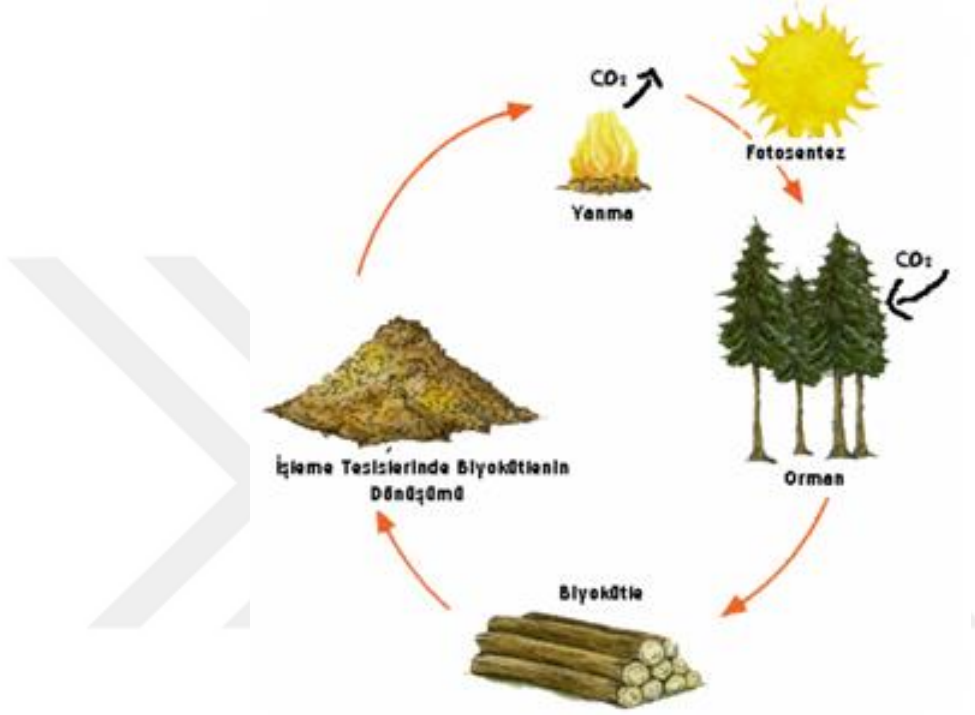
Hidroelektrik santrallerini işletebilmek için yüksek maliyetli barajların inşa edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte bu yatırım ile sera gazı salınımı yaratmadan, doğada bulunan kaynakları tüketmeden uzun yıllar boyunca düşük maliyetle elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Ayrıca yapılan barajlar ile yerleşim yerlerine içme suyu sağlama ve tarım arazilerini sulama gibi fonksiyonlar ifa edilebilmektedir. Öte yandan yapılan barajların, bölgede bulunan canlıların yaşam alanlarını kısıtlaması, tarihi veya kültürel yerleşim alanlarını tahrip etmesi hidroelektrik enerji amacıyla baraj yapılmasını engelleyebilmektedir. Hidroelektrik enerjinin bir diğer dezavantajı da hidroelektrik enerjisi potansiyelinin daha çok yükseltinin fazla olduğu ancak nüfus yoğunluğunun nispeten düşük olduğu bölgelerde yoğunlaşmasıdır. Bu da enerji üretim alanlarından tüketim bölgelerine nakil sırasında enerji kayıplarının yüksek olmasına neden olmaktadır.

## **2.5. Biyokütle Enerjisi**

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak tanımlanabilir. Biyokütle enerjisi de her türlü organik atıktan, bitkiler, otlar ve yosunlardan oluşan biyokütleden elde edilmektedir. Geleneksel olarak bitki ve hayvan atıklarının yakılarak ısınma amaçlı kullanım yaygındır. Tarih boyunca ısınma amaçlı kullanılan biyokütleler, günümüzde biyodizel ve türevlerinin üretiminde de kullanılmaktadır. Bunun için mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler (meyve ve sebze artıkları) kaynak oluşturmaktadır.

Biyokütleler, fotosentez yoluyla güneşten gelen enerjinin organik madde sentezlenmesiyle oluşmaktadır. Bu işlem sırasında, atmosferden CO<sub>2</sub> salımı alınıp, O<sub>2</sub> verilir. Sentezlenmiş olan organik maddelerin yakılarak enerji elde edilmesi sırasında da CO<sub>2</sub> salımı gerçekleşmektedir. Bu nedenle biyoyakıtların yakılması, atmosferde net

karbondioksit artışına neden olmamaktadır. Bahsedilen biyokütle döngüsü Şekil 2.5’te özetlenmiştir.



Şekil 2.5. Biyokütle Enerji Dönüşüm Döngüsü

Biyokütle enerjisi bir yıl gibi kısa süreler içerisinde yenilenebilir bir kaynak olması, dünyanın hemen hemen her bölgesinde elde edilebilmesi ve özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Biyoenerjinin, atık yağlar, hayvan gübresi, şehir çöplüğü gibi alanlardan temin edilebilmesi, çevrenin korunması açısından oldukça faydalı görülmektedir. Buna karşılık, verimli tarım alanlarının biyoyakıt amaçlı bitkilere tahsis edilmesi dünya gıda fiyatları üzerinde baskı oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkelerin enerji ihtiyaçlarını mısır, şeker kamışı, soya fasulyesi gibi biyoküteller ile karşılamaya çalışmaları, gıda fiyatlarını arttırarak açlıkla baş etmekte zorlanan az gelişmiş ülkeleri olumsuz etkilemektedir.

## 2.6. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, “*alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır*” [13]. Rüzgar, basıncın yüksek olduğu yerden alçak olduğu alanlara doğru hareket eden hava olup, basınç farkı arttıkça rüzgarın şiddeti de artış gösterir. Yer değiştiren bu hava kütlelerin iş yapabilme yeteneği ise rüzgar enerjisi potansiyeli denilmektedir.

Güneşin enerjinin %1-2 gibi küçük bir miktarı Dünyada rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Bu anlamda rüzgar enerjisi güneş var olduğu müddetçe yenilebilir bir kaynak olarak kullanılabilir.

Rüzgar enerjisi tarih boyunca mekaniksel güç için yel değirmeni, su veya kuyu pompalama için rüzgar pompaları, gemileri yürütmek yelkenler ve son olarak günümüzde elektrik üretmek için rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisinden elde edilen güç Betz teoremine göre havanın yoğunluğu, rüzgar tribünün kesit alanı ve rüzgar hızının küpü ile orantılıdır. Havanın yoğunluğunun dünya genelinde homojen kabul edildiği göz önünde bulundurulduğunda, rüzgar enerjisi üretiminde yüksek rüzgar alan bölgeler ile daha fazla enerji elde etmeye yönelik rüzgar türbin teknolojilerine odaklanılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisi kullanım alanı ve yaygınlığı açısından ilk sırada yer almaktadır. Bunda, en düşük işletme maliyetine sahip olması ve dünyanın büyük kısmında yararlanılabilmesi etkili olmaktadır. Rüzgar enerjisinde kurulu kapasite açısından Çin 2015 yılında ABD’yi geçerek dünyada liderliği eline geçirmiştir. Ayrıca Danimarka, İspanya ve Portekiz gibi ülkelerde rüzgar enerjisi toplam elektrik enerjisi talebinin %20’sinden fazlasını karşılamaktadır [8]. Bu kapsamda enerji talebi yüksek olan gelişmiş ekonomiler ile çevre duyarlılığı yüksek olan ülkelerin rüzgar enerjisi üretimine ağırlık verdiği görülmektedir.

Günümüzde rüzgar enerjisi elektrik üretiminde fosil yakıtlara bir alternatif olarak görülmektedir. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak, sera gazı etkisine neden olmamakla birlikte, yakın çevresinde görüntü ve ses kirliliğine neden olması nedeniyle

rüzgar santralleri hoş karşılanmayabilmektedir. Rüzgar enerjisinin üstünlükleri genel olarak şöyle sıralanabilir;

- Rüzgarın elde edilmesi için maliyete katlanılmaz.
- Enerji üretim sürecinde çevreye zararlı atık ortaya çıkmaz.
- Rüzgar enerjisi üretimi istikrarlıdır ve üretim maliyetlerinin zaman içerisinde yükselme durumu yoktur.
- Maliyeti fosil kaynak kullanan santrallerle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.
- Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür.
- Rüzgar santralleri kolaylıkla bir bölgeden bir başka bölgeye taşınabilir.
- Teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleşebilir.
- Küçük işletmeler veya tesislerin ihtiyaçlarını karşılamak için bile kullanılabilir.

### 3. RÜZGAR ENERJİSİ

#### 3.1. Rüzgar Enerjisinin Oluşumu

Rüzgar enerjisi, dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yüzde biri gibi küçük miktarının atmosferi ısıtması sonucunda meydana gelmektedir. Atmosfer yükselti, coğrafi şekil, konum, güneş açısı gibi farklılıklar nedeniyle eşit şekilde ısınmamaktadır. Bu durum da bölgeler arası basınç farklılıklarına ve hava akımlarına neden olmaktadır. Bilindiği üzere ısının hava yükselmekte ve daha düşük sıcaklıkta olan hava kütleleri ile yer değiştirmektedir. Bu anlamda rüzgar, sıcaklık farklılığı nedeniyle oluşan yüksek ve düşük basınç merkezleri arasında yer değiştiren hava kütleleri olarak adlandırılabilir. Bu basınç merkezleri arasındaki fark ne kadar büyük olursa, hava akımının hızı da o oranda büyümektedir.

Rüzgarın yönünü basınç merkezlerinin konumu kadar dünyanın dönüşü, yeryüzü şekilleri, bitki örtüsü, bölgesel ısı dağılımı, hava akımlarının karşılaştığı diğer atmosferik olaylar gibi faktörler etkileyerek şekillendirir. Bu nedenle rüzgarın hızı ve yönü zamana ve bölgeye göre değişiklik gösterir. Hava tahminlerinde yüksek basınç alanları ve alçak basınç alanları kadar bu hususların da göz önünde bulundurulması gereklidir. Rüzgar santrallerinin tasarımında tüm bu öğelerin dikkate alınması bir zorunluluktur.

Rüzgar hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgar hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir [14]. Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgardan sağlanacak enerjinin miktarı, yine rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise, hızın küpü ile orantılı olarak artar. Sağlayacağı enerji, gücüne ve estiği süreye bağlıdır. Özgül rüzgar gücü, hava debisine dik olarak, birim yüzeye düşen güçtür. Topoğrafik koşullara bağlı olarak, rüzgarın yerden 50 metre yükseklikteki özgül gücü, rüzgarın hızı 3,5 m/s'den küçük iken 50 W/m<sup>2</sup>'den az, 11,5 m/s'den büyük iken 1800 W/m<sup>2</sup>'den çok olabilir. Dünya yüzeyinin %27'sinde yıllık ortalama rüzgar hızının, yerden 10 m yükseklikte 5,1 m/s'den büyük olduğu saptanmıştır. Bu alan rüzgar enerjisi bakımından zengin olan bölgelerin toplamıdır [14].



### 3.2. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgar enerjisi milattan önceki yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Yelkenli gemiler, yel değirmenleri ve rüzgarlı su pompaları insanlık tarihinde rüzgar enerjisinin ilk kullanım örnekleridir. Yelkenli gemilerde rüzgarın kinetik enerjisi gemileri hareket ettirmek için kullanılmış, yel değirmenlerinde buğday gibi tahılların öğütülmesi sağlanmış ve rüzgar pompaları ile kuyulardan su çıkarılarak sulamada kullanılmıştır. Günümüzde ise daha çok elektrik üretiminde ve yelkenli gemilerde kullanılmaktadır.



Yelkenli gemi

Yel Değirmeni

**Şekil 3.1.** Eski Çağlarda Rüzgarın Kullanım Alanları

İnsanlar yelkenlileri hareket ettirmek ve gemileri yürütmek için en az 5500 yıldan beri rüzgarın gücünden faydalanmaktadır. Rüzgar enerjisinin toplum tarafından ilk kullanımı, Batı Medeniyetlerinden ziyade, Asya medeniyetlerinden olan Çin, Tibet, Hindistan, Afganistan ve İran tarafından yapılmıştır. Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başladıkları bilinmekte olup, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak haçlı seferleri sırasında tanımışlardır. Fransa ve İngiltere’de rüzgar değirmenlerinin kullanılmaya başlanması 12. yüzyılda olmuştur. 13. yüzyılda yel değirmenleri, İngiltere’de sanayi makinalarını hareket ettirmek için kullanılmıştır. 18. yüzyılda ise Hollandalı göçmenler tarafından Amerika’ya götürüldüğü bilinmektedir. Rüzgar santrallerinin tarımsal ürünleri öğütmek, sulama, hızar çalıştırmak gibi amaçlar kullanımı Avrupa’da Endüstri Devrimi’ne kadar sürmüştür.

18. yüzyılda Hollandalı göçmenler tarafından Amerika kıtasına taşınan rüzgar türbinleri, Avrupa'da Endüstri Devrimi ile buhar makinesinin geliştirilmesi ile önemini yitirmeye başlamıştır. Buhar makineleri ile odun, kömür gibi yakıtlar kullanılarak kesintisiz olarak enerji edilmiştir. Elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan ilk rüzgar türbini ise 17 metre çapında 144 adet rotor kanadından oluşmaktadır ve 1890 yılında Amerika'da General Electric şirketinin kurucularından olan Amerikalı Elektrik Mühendisi Charles F. Brush tarafından yapılmıştır. Avrupa'da ilk rüzgar türbini ise 1891 yılında Danimarkalı Meteorolog Poul La Cour tarafından yapılmıştır [15].

20'nci yüzyılda rüzgar türbinlerinden elektrik üretmeye yönelik çabalar artmıştır. 1918 yılında Danimarka'da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimini 20-30 kW'lık rüzgar türbinlerinin kullanımı sağlanmıştır. Rusya 1931 yılında 100 kW'lık rüzgar türbini geliştirmiştir. 1941 yılında ABD'de Vermont yakınlarında kurulan Putnam rüzgar türbini, 1250 kW gücü ile dönemin en büyük rüzgar kuvvet makinesi olmuştur. İki kanatlı rotorun çapı 53 m idi. Putnam türbini, modern rüzgar makinelerinin ilkidir. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından 1945'de İngiltere'de başlatılan deneysel çalışmalar sonucunda, 10 kW gücündeki Andreu makinesi kurulmuştur. Bu rüzgar türbininin rotoru üç kanatlı olup, çapı 15 metreydi. 1947 yılında Danimarka'da başlatılan ve modern yaklaşımlar içeren elektrik üretim amaçlı bir başka çalışmanın son ürünü ise, 1959 yılında işletmeye sokulan 200 kW'lık Gedser türbini olmuştur. Bu makinenin 24 metre çaplı rotoru üç kanatlı idi. Aynı dönemde Fransa'da yapılan makinelerden Noeget Le Roi'deki rüzgar türbini 300 kW gücündedir [16]. Özellikle hızla artan elektrik enerjisi talebi karşısında bu yıllarda rüzgar enerjisine ilgi artmıştır.

1960'lardan sonra motorların yaygınlaşması ve elektrik üretimindeki gelişmeler sonucu ekonomik nedenlerle ikinci planda kalan rüzgar türbinleri 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizi sonrası tekrar gündeme taşınmıştır. 1980'li yıllarda evlerin ihtiyacını karşılayabilecek küçük türbin tasarımlarının ardından 1981 yılında Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO)'nun yürüttüğü bazı deneylerde rüzgar enerji kaynağı olarak kullanılmış ve rüzgar çiftlikleri kurulmaya başlanmıştır [17].

Bundan sonraki süreç sanayi devriminin etkisi altında gelişmiş ve sanayileşme hamleleri ile az maliyetli dizel yakıtının bulunması rüzgar enerjisine olan rağbeti azaltmıştır. Daha sonraki yıllarda petrolün fiyatının arttığı dönemlerde rüzgar enerjisine olan rağbet artmış, petrolün fiyatının azaldığı dönemlerde rüzgar enerjisi geri planda kalmıştır [11]. Tarihsel süreçte enerji alanında petrolün ikamesi olarak rüzgar enerjisi petrol fiyatlarındaki dalgalanmalardan etkilenmiştir. Rüzgar enerjisinin dünya genelinde ve Türkiye'deki gelişimi dönemin enerji sektör koşullarına göre gerçekleşmektedir. Günümüzde rüzgar enerjisinin bulunduğu konum diğer enerji kaynaklarının gelişimi ile yakından ilişkili olmakta ve iktisat ve enerji politikalarının belirlediği politik ve ekonomik çerçeve ölçüsünde belirlenmektedir.

### **3.3. Rüzgar Enerjisinin Avantajları**

Rüzgar enerjisinin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Rüzgar yerli, sürekli, temiz, çevreyi kirliletmeyen ve doğrudan kullanılabilirliği nedeniyle, yakıt-hammadde maliyeti olmayan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bunun sonucu olarak Rüzgar türbinlerinin çevreye olan en önemli katkısı, fosil yakıtların yanması sonucu oluşan zararlı gazları oluşturmayarak, sera etkisi ve asit yağmurlarına neden olmamasıdır.
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltır. Her geçen gün güvenilir olmakta ve ucuzlamaktadır.
- Bir rüzgar türbini ortalama olarak 20-30 yıl kullanılabilir. Bu da yapılan yatırım sonrasında, düşük bir maliyetle uzun bir süre boyunca üretimin aksamadan yapılabilmesi anlamına gelmektedir.
- Rüzgar türbin santralleri dört-beş ay gibi kısa bir sürede inşa edilebilir. Bu süre nükleer enerji santrallerinde yedi yıl, hidroelektrik santrallerinde iki-on yıl, doğalgaz çevrim santrallerinde ise bir-iki yıl olabilmektedir. Rüzgar santrallerinin kolay şekilde farklı bölgelere taşınabileceği de dikkate alındığında, enerji üretiminde oldukça esneklik sağladığı görülmektedir.

- Rüzgar türbinleri kurulmuş oldukları tarım alanlarının yüzde birinden daha az bir bölümünü işgal ederler. Dolayısıyla rüzgar çiftlikleri kurulmuş oldukları bölgelerdeki tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yürütülmesine engel olmazlar.
- Rüzgar çiftlikleri, termik, hidrolik vb. santrallerle, ekonomik açıdan rekabet edecek düzeye gelmiştir. kWh başına maliyet 4,5–6 cent civarındadır ve bunun yakın zamanda daha da düşeceği tahmin edilmektedir.
- Rüzgar çiftlikleri ekonomik değeri olmayan kırsal alanların kullanıma açılmasını sağlamakta, istihdam olanakları yaratarak bölgesel kalkınmaya imkan tanımaktadır.
- Rüzgar türbinlerinin söküm maliyetleri, sökülen parçaların hurda değeri ile karşılanabilmektedir. Ayrıca çiftliklere yeni türbinler inşa edilerek üretime devam edilebilmekte, istenildiği takdirde kullanılan alanlar eski hallerine kolayca getirilebilmektedir.
- Rüzgar enerjisi, kısa sürede ucuz bir şekilde devreye sokulabildiği için arz esnekliği sağlamaktadır. Nükleer ve termik santraller gibi üretilen gücün taşınması için yüksek şebeke yatırımı yapılmasına ihtiyaç duyulmaması önemli bir diğer avantajıdır. Her bölgede ihtiyacı olan işletmeler rüzgar santrallerini hızlı şekilde inşa ederek ekstra taşıma masraflarından kaçınabilir [18].



**Şekil 3.2.** Rüzgar Santrallerinin Hayvancılık ve Tarım Arazisi Olarak Kullanılması

Rüzgar enerjisi, yakıt maliyeti olmayan bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak çevre olumsuz etkileri bulunan fosil yakıtlara önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Kyoto Protokolü çerçevesinde küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olan, sera gazlarının azaltılması konusunda çalışmakta olan ülkeler açısından karbon salınımına neden olmayan rüzgar santrallerinin kullanımı giderek artmaktadır. Rüzgar enerjisi dünyanın büyük bölümünde yeterli potansiyele sahip olduğu için, maliyet avantajını da kullanarak önümüzdeki yıllarda daha fazla kullanım alanı bulacaktır.

#### **3.4. Rüzgar Enerjisinin Dezavantajları**

- Rüzgar hızının değişken olması, Rüzgar enerjisi santrallerinin en büyük engellerinden birisidir. Buna bağlı olarak enerjiye ihtiyaç duyulan zamanda rüzgar yeterli derecede değilse elektrik üretimi gerçekleştirilemez.

- Rüzgar türbinlerinin bazı kuş türleri açısından zararlı olabileceği görülmüştür. Tesislerin kuşların göç yolları dikkate alınarak kurulması gereklidir.
- Rüzgar türbinlerinin oluşturduğu gürültü, görüntü ve radyo ve televizyon kirliliği o bölgede yaşayanları olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca radyo ve televizyon alıcılarında parazitler oluşturması da olumsuz etkilerinden gösterilebilir.
- Rüzgar enerjisi santrallerine ilişkin teknolojilerin gelişmiş ülkeler tarafından geliştirilmesi, santrallerin kurulumu için gerekli malzemeler konusunda yurt dışına bağımlılığa neden olmaktadır. Söz konusu durum aynı zamanda maliyet dezavantajına da neden olmaktadır.

Rüzgar enerjisinin çevreye verdiği zararlar gibi dezavantajları olmasına rağmen özellikle rüzgar türbinin ilk kullanıldığı yıllara kıyasla gelişen türbin teknolojisi sayesinde her geçen gün azaltılmaktadır. Rüzgar enerjisinin sahip olduğu avantajlar ve gün geçtikçe azalan dezavantajlar daha ekonomik ve cazip hale getirmektedir.

### 3.5. Rüzgar Enerjisinin Diğer Enerji Kaynakları ile Karşılaştırılması

Rüzgar enerjisi doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olarak kaynağını güneşten alması, diğer enerji kaynaklarına göre daha avantajlı konumda olduğunu göstermektedir. Enerji üretimi için seçilecek yönteme karar verilmesinde en etkili faktörler kaynağın elde edilebilirliği, çevreye etkisi, yatırım ve üretim maliyetleri, kaynağın ömrüdür.

**Tablo 3.1.** Enerji Kaynaklarının Çevreye Olan Etkileri Açısından Değerlendirilmesi

Enerji Türü	İklim Değişikliği	Aşit Yağmuru	Su Kirliliği	Toprak	Gürültü	Radyasyon
Petrol	Var	Var	Var	Var	Var	-
Kömür	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Doğalgaz	Var	Var	Var	-	Var	-
Nükleer	-	-	Var	Var	-	Var
Hidrolik	Var	-	-	-	-	-
Rüzgar	-	-	-	-	(Çok az)	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	Var	Var	-	-

Tablo 3.1’de enerji kaynakları değerlendirildiğinde doğalgaz çevrim santrallerinin ve hidroelektrik santrallerinin maliyet açısından avantajlı konumda olduğu görülmektedir. Rüzgar enerjisi söz konusu kaynaklara oranla daha yüksek bir yatırım/fayda oranına sahiptir. Buna karşılık belli bir alana yoğunlaşmış enerji üretim tesislerinin (Baraj, doğalgaz termik santraller), enerjinin kullanılacağı alanlara enerji transferi maliyetlerini artıracığı da bir gerçektir. Ayrıca enerji üretim tesislerinin çevreye olan zararlarının da negatif dışsallık olarak dikkate alınması gereklidir. Tablo 3.1’de görüldüğü gibi rüzgar enerjisinin tek çevresel etkisi gürültüdür. Ancak bu sorun, rüzgar santrallerini yerleşim yerlerinden ve ormanlar gibi doğal yaşamın olduğu yerlerden uzak bölgelere konumlandırarak çözülebilmektedir. Ayrıca gelişen rüzgar türbini teknolojisi ile bu sorunun ileride kalkacağı düşünülmektedir [19]. Rüzgar santrallerinin iklim üzerinde de bilinen herhangi bir olumsuz etkisi bulunmamaktadır.

Enerji yatırımlarının planlanmasında, üretim tesis ömrü, yatırım maliyeti, üretim maliyeti ve kaynak konusunda dışa bağımlılık gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu hususlara ilişkin çeşitli enerji kaynaklarının karşılaştırılması Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.2.** Enerji Kaynaklarının Yatırım ve Üretim Maliyetleri

<b>Enerji Türü</b>	<b>Dışa Bağımlı /Yerel</b>	<b>Kalan Ömür (Yıl)</b>	<b>Yatırım Maliyeti</b>	<b>Üretim Maliyeti</b>
<b>Petrol</b>	Dışa Bağımlı	40-45	1.500-2.000	6,0
<b>Kömür</b>	Yerel/ Dışa Bağımlı	200-250	1.400-1.600	2,5-3,0
<b>Doğalgaz</b>	Dışa Bağımlı	60-65	600-700	3,0
<b>Nükleer</b>	Dışa Bağımlı	-	3.000-4.000	7,5
<b>Hidrolik</b>	Yerel	-	750-1.200	0,5-2,0
<b>Rüzgar</b>	<b>Yerel</b>	-	<b>1.000-1.200</b>	<b>3,5-7,0</b>
<b>Güneş</b>	Yerel	-	Yüksek	10,0-20,0
<b>Jeotermal</b>	Yerel	-	1.500-2.000	3,0-4,0

Tablo 3.2’de görüldüğü üzere kömür, doğalgaz, nükleer gibi enerji kaynaklarında dışa bağımlılık söz konusudur. Söz konusu kaynaklar deniz yolu ile veya boru hatları vasıtasıyla yurt dışından ithal edilmektedir. Fiyat seviyelerinde yaşanan dalgalanmalar ve zaman zaman ülkeler arasında yaşanan politik gelişmeler söz konu enerji kaynaklarının arzında sıkıntılara neden olabilmektedir. Öte yandan, uzun vadeli düşünüldüğünde rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımlar ve araştırmalar, enerji kaynağı üzerinde bir ömür sınırı olmadığından her zaman için geçerliliklerini koruyacaklardır [19].

### 3.6. Rüzgarın Teorik Gücü (Betz Kanunu)

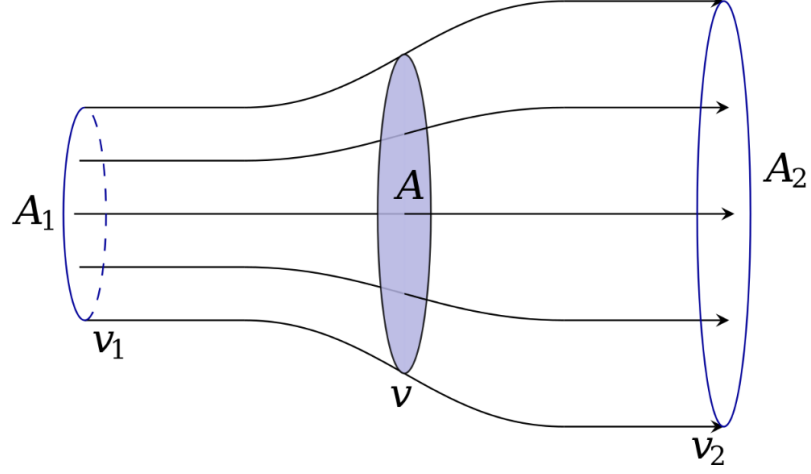
Atmosferdeki gazlar belli bir kütleyle sahiptir ve rüzgar formunda harekete geçmeleri halinde kinetik enerjiye sahip olmaktadır. Atmosferde serbest olarak hareket eden rüzgarın teorik gücü ( $P_o$ ) Alman fizikçi Albert Betz tarafından kinetik enerji ve momentumun korunumu ilkelerinden yola çıkarak aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir [20].

$$P_o = 0,5 \rho V^3 A \quad (3.1)$$

Bu formülde;  $\rho$  hava yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  rüzgarın ilerleme yönüne dik kesit alanını ( $\text{m}^2$ ) ve  $V$  rüzgar hızını ( $\text{m/sn}$ ) ifade etmektedir. Bu formüle göre rüzgarın teorik gücü, havanın yoğunluğu ve rüzgar panelinin alanı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Buna karşılık rüzgarın teorik gücünün rüzgar hızının küpüyle orantılı olması, rüzgar enerji santrallerinin rüzgar hızının fazla olduğu yerlere kurmanın ekonomik faydasını arttırmaktadır.

Teorik olarak hesaplanan rüzgar gücünün ( $P_o$ ) uygulamada rüzgar türbini tarafından tamamının elektrik enerjisine dönüştürülmesi mümkün değildir. Bunun nedeni, belli bir kesit alanına ( $A$ ) ilerleyen rüzgarın hızının tamamen sıfıra düşmemesi, rüzgar türbinine ulaşan havanın türbinden belli bir hız ile ayrılması gerekir. Akım borusu olarak ifade edilen bu kavrama göre, herhangi bir rüzgar türbininden maksimum elde edilebilir rüzgar enerjisi, toplam teorik rüzgar enerjisinin %59’una eşittir (Şekil 3.3).





**Şekil 3.3.** Bir Disk Şekilli Düzeneci Boyunca Akışkan Akış Şeması

(Sabit bir yoğunlukta bir akışkan için, enine kesit alanı, hız ile ters orantılı olarak değişir.)

Teorik rüzgar gücünün ( $P_0$ ) rüzgar türbini tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilen kısmı aşağıdaki şekilde formülü edilmiştir [20];

$$P_0 = 0,5 C_P \rho A V^3 N_G N_D N_C \quad (3.2)$$

Bu formülde;  $C_P$  güç faktörü,  $A$  rotor dönüşü sırasında taranan alan ( $m^2$ ),  $N_G$  jeneratör verimi,  $N_D$  dişli kutusu verimi ve  $N_C$  ise kuplaj verimi olarak ifade edilmektedir.

Güç faktörü, elde edilen şaft gücünün rüzgar türbinine gelen rüzgar gücüne oranı olarak tanımlanır. Güç faktörü maksimum %59 olup bu değere Betz Limiti denilmektedir. Günümüz teknolojisi kullanılarak iyi tasarlanmış ideal bir rüzgar türbini için güç faktörü değeri %40 civarındadır. Güç faktörü, kanatların dönüş hızı ( $U$ ) ile kanatlara çarpan rüzgar hızı ( $V$ ) oranının bir fonksiyonudur.

$$C_P = f(U/V) \quad (3.3)$$

Denklemler 3.3'te ifade edildiği üzere, elde edilecek gücün devamlı şekilde en üst seviyede olması için, rotor dönüş hızının, anlık rüzgar hızlarına göre değiştirilerek kanat ucu çevresel hız oranının maksimum  $C_P$  değerini verebilecek bir optimumda tutulması

gerekmektedir. Günümüzde gelişen rüzgar türbini teknolojileri, bu düzenlemeleri otomatik olarak yapma olanağı tanımaktadır.

Rüzgar türbininin elektrik üretimine başlayabilmesi için rüzgar hızının belli bir seviye ulaşması gerekmektedir. Devreye girme hızı (Cut-in) adı verilen bu rüzgar hızının altında türbin elektrik enerjisi üretememektedir. Türbin sistemi rüzgar hızı arttıkça daha fazla enerji üretme imkanına sahip olmaktadır. Her bir rüzgar türbini için belirlenmiş bir rüzgar hızında, sistemden elde edilen güç en büyük değere ulaşır. Bu en büyük güce “nominal güç” ve bu rüzgar hızına “nominal hız” adı verilmektedir. Buna karşılık rüzgar hızı, söz konusu nominal hızını aşsa bile, elde edilecek güç nominal güç miktarını aşamayacaktır. Öte yandan rüzgar hızının belli değerleri aşması halinde, türbin sistemine zarar verebilmektedir. Bu tip durumlarda sistemin zarar görmesini önlemeye yönelik olarak rüzgar türbinlerinin durdurulması gerekir. Bu maksimum hıza sistemin devreden çıkma hızı (Cut-out) hızı adı verilmektedir. Diğer bir ifadeyle, bir rüzgar türbini devreye giriş ve çıkış rüzgar hızları arasında enerji üretimini gerçekleştirir. Modern rüzgar türbinlerinin devreye giriş hızları 3-4 m/s, nominal hızları 11-15 m/s ve devreden çıkış hızları ise 25-30 m/s arasındadır.

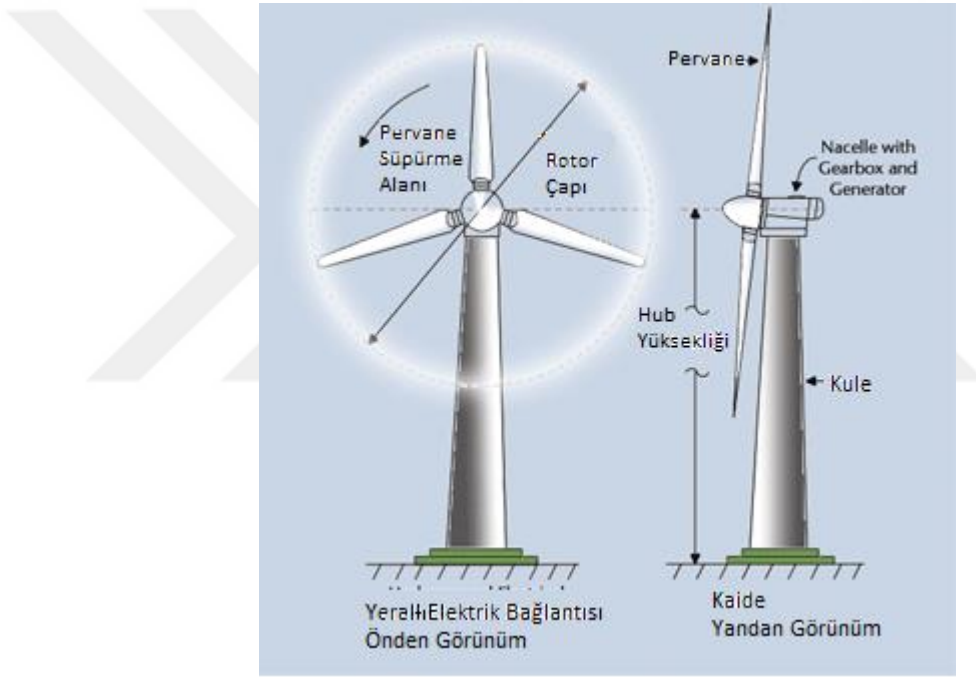
### **3.7. Rüzgar Türbin Teknolojisi**

Rüzgar enerjisinden faydalanarak mekanik veya elektrik enerjisi elde etmeye yarayan makinelere rüzgar türbini denir. Elektrik santrallerinde rüzgar türbini, rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Dünyada; rüzgar enerjisinden elektrik üreten ilk türbin, 1891’de modern aerodinamik mühendisi olan Paul la Cour tarafından Danimarka’da inşa edilmiştir [21].

Türbinlerin üç ana bölümü vardır. Bunlar türbin gövdesi, pervaneler (kanatlar) ve kuledir. Pervane kanatları, pervane göbeği (hub) ve pervane milinin tamamına rotor da denir. Rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Pervane mili dişli kutusuna bağlıdır. Dişli kutusunu jeneratöre bağlayan mile de jeneratör mili denir. Rüzgar türbinlerinde kullanılan jeneratörlere arojeneratör denir. Jeneratör, dişli kutusu ve fren

düzenekleri tekne de denilen gövde içerisinde bulunur. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır. Rüzgar türbinlerinde, türbini rüzgar doğrultusunda yönlendiren yönlendirici veya türbini yavaşlatan fren sistemleri de bulunmaktadır.

Aşağıdaki şekilde günümüzde yaygın olarak kullanılan 1,0-6,0 MW gücünde yatay eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Rüzgar Türbini Bölümleri

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere, rüzgar türbinleri, çevredeki engellerin rüzgar hız profilini değiştirmeyeceği yükseklikte bir kulenin üzerine yerleştirilmektedir. Türbin kanatlarının polyester ile kuvvetlendirilmiş fiberglass veya epoxy ile güçlendirilmiş fiber karbondan yapıldığı ve çelik omurga ile desteklendiği görülmektedir. Üç kanatlı yeni nesil rüzgar türbinlerinin kanat çapları 100 metreye kadar yükselmiştir.

Günümüzde kullanılan rüzgar türbinleri rüzgar gücünden maksimum seviyede yararlanabilmek için yerden mümkün olduğunca yüksekte konumlandırılmaya çalışılmaktadır. Uygulamada rotor göbekleri (hub) yer seviyesinden 60-100 m

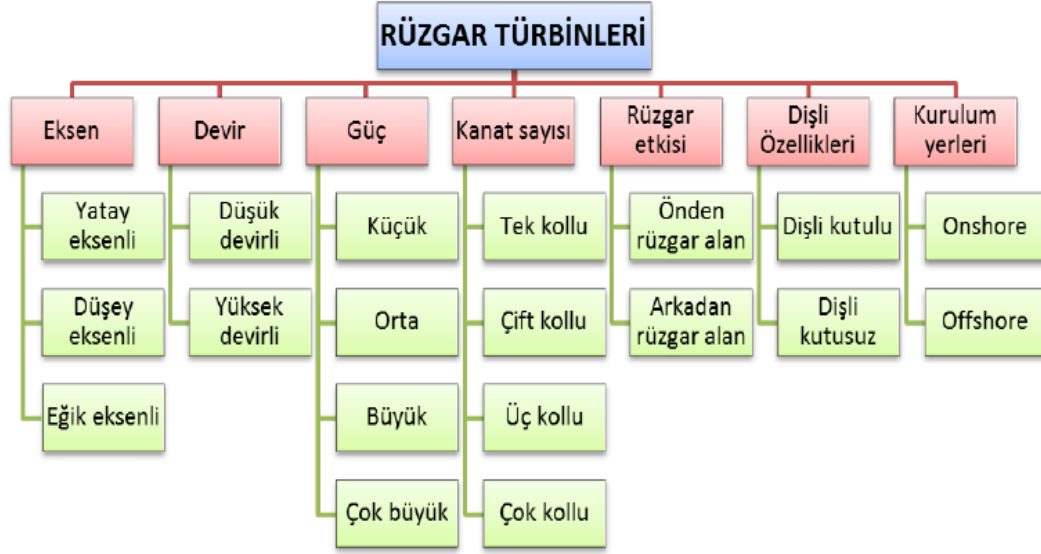
yükseklikte bir kule üzerine yerleştirilmektedir. Rüzgar hızı yükseklik arttıkça artacağı için, türbin hub yüksekliği artırılmaya çalışılmaktadır.

Rüzgar türbini tasarımında dikkat edilen bir diğer husus ses kirliliğini önlemektir. Bu nedenle türbin parçalarına gürültüyü engellemeye yönelik olarak ses izolasyonu uygulanmaktadır. Kafes şeklindeki kuleler ise görüntü kirliliğine neden olmaları nedeniyle tercih edilmemektedir. Söz konusu kulelerin bakım maliyetlerinin yüksek oluşu bir diğer olumsuz özellikleridir. Maliyeti fazla olmakla beraber günümüzde yaygın olarak açık gri renge boyanmış silindirik konik kesitli kuleler kullanılmaktadır.

Rüzgar türbinlerinin iç tasarımı dikkate alındığında, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çeviren rotor en önemli parçadır. Rotor düşük devirli bir ana mile bağlıdır ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi gövde içerisindeki iletim sistemine (dişli kutusu vb.) oradan da jeneratöre aktarılır. İletim sistemi, jeneratör ve yardımcı üniteler gövde içerisinde yer alır. Türbinlerde söz konusu parçalar dışında fren düzeneği, kontrol kumandası, yönlendirme motoru ve mekanizması, anemometre ve rüzgargülü gibi ölçüm cihazları bulunur.

### **3.8. Rüzgar Türbin Çeşitleri**

Rüzgar türbinleri havanın hareket etmesinden kaynaklanan kinetik enerjiyi pervaneleri aracılığıyla mekanik enerjiye çevirmektedir. Sonrasında da mekanik enerji rotor vasıtasıyla jeneratöre aktarılmakta ve elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Rüzgar türbinleri birçok farklı dizaynda tasarlanmıştır. Rüzgar türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgar etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılmaktadır [22]. Şekil 3.5'te rüzgar türbinlerinin sınıflandırılmasına yer verilmiştir.



**Şekil 3.5.** Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli, düşey eksenli ve düşey eksenli olarak tasarlanabilirler. Kanat sayısı açısından ise tek, çift, üç ve çok kollu modelleri mevcuttur. Türbinler rüzgar etkisi açısından ise rüzgarı önden alan ve arkadan alan modeller olarak ikiye ayrılır. Bazı türbin modellerinde dişli kutusu bulunurken bazı modellerin dişli kutusu bulundurmayan sistemler kullanılır. Güç ve devir açısından ise ihtiyaçlar ve rüzgar potansiyeli açısından yapılan değerlendirme sonucunda uygun olan modellerin kullanıldığı görülmektedir. Son olarak bazı bölgelerde türbinler karada kullanılırken, bazı durumlarda denizdeki rüzgar potansiyelinden yararlanmak üzere deniz üstüne yerleştirilmektedir (Offshore).

### 3.8.1. Dönme Eksenine Göre Rüzgar Türbinler

Kullanımdaki rüzgar türbinleri boyut ve tip olarak çok çeşitlilik gösterse de genelde dönme eksenine göre sınıflandırılır. Rüzgar türbinleri dönme eksenine göre Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT), Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT) ve Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (EERT) olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

Bu tiplerden en fazla kullanılanı yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri, dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatları ise rüzgar yönüne dik vaziyette çalışırlar. Bu tip rüzgar türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı yapılmaktadır. Yatay eksenli rüzgar türbinleri; rüzgarın kuleyi yalamadan rotora çarpması durumunda ileri ya da önden rüzgarlı (up-wind), önce kuleye dokunup sonra rotora gelmesi koşulunda geri ya da arkadan rüzgarlı (down-wind) türbin adını alırlar. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olup kanatları da düşey vaziyettedir. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinde rüzgarın esme yönü değiştiği zaman yatay eksenli rüzgar türbinlerinde olduğu gibi herhangi bir pozisyon değiştirmesi olmaz. Elektrik üretim amaçlı şebeke bağlantılı modern rüzgar türbinleri çoğunlukla 3 kanatlı, yatay eksenli ve up-wind türü rüzgar türbinleridir.

#### **3.8.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)**

Bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgar yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgar yönüyle dik açı yaparlar. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir. Rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir.

Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgarı arkadan alan türbinlerin yaygın bir kullanım yeri yoktur. Rüzgarı önden alan türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgar gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgara bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır.

Yatay eksenli türbinlere örnek olarak pervane tipi rüzgar türbinleri verilebilir. Bu tip türbinlerin kanatları tek parça olabileceği gibi iki ve daha fazla parçadan da oluşabilir. Günümüzde en çok kullanılan tip üç kanatlı olanlardır. Bu türbinler elektrik üretmek için kullanılır. Geçmişte çok kanatlı türbinler tahıl öğütme, su pompalamak ve ağaç kesmek için kullanılmıştır.

Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10 m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) denir [22].

Eğer;

$\lambda= 1-5$  Çok kanatlı rotor

$\lambda= 6-8$  Üç kanatlı rotor,

$\lambda= 9-15$  İki kanatlı rotor,

$\lambda>15$  Tek kanatlı rotor kullanılır.



Şekil 3.6. YERT-Modern Rüzgar Türbini

### 3.8.1.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

Yatayda olduğu gibi bir pervane görünümüne sahip değildir. Türbin mili düşeydir ve rüzgarın geliş yönüne diktir. Daha çok deney amaçlı üretilmiştir. Ticari kullanımı çok azdır. Savonius tipi, Darrieus tipi gibi çeşitleri vardır.

Bu türbinlerin üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Jeneratör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için, türbini kule üzerine yerleştirmek gerekmez, böylece kule masrafı olmaz.
- Türbini rüzgar yönüne çevirmeye, dolayısıyla dümen sistemine ihtiyaç yoktur.
- Türbin mili hariç diğer parçaların bakım ve onarımı kolaydır.
- Elde edilen güç toprak seviyesinde çıktığından, nakledilmesi daha kolaydır.

### **i. Darrieus Tipi**

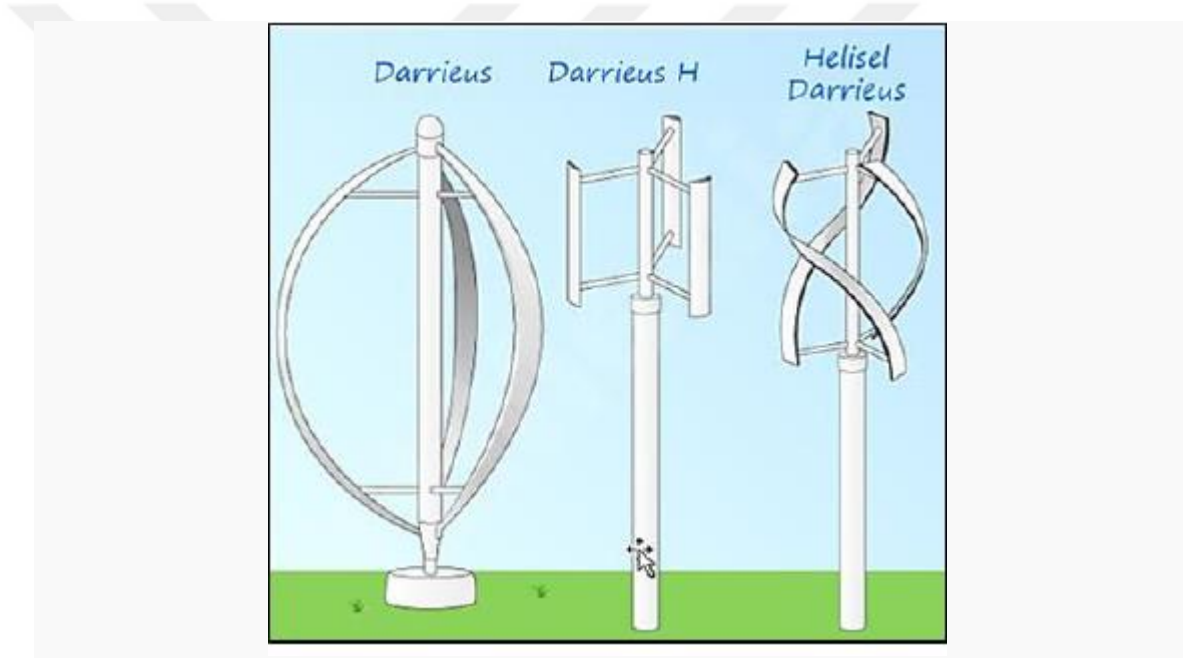
Darrieus tipi rüzgar türbini, Fransız havacılık mühendisi Georges Jean Marie Darrieus tarafından 1931’de patentlenmiştir. Türbin dikey bir şafta monte edilmiş birkaç adet kıvrımlı aerofoil kanattan oluşur.



**Şekil 3.7.** DERT-Eliptik Darrieus ve DERT-Darrieus Giromill-(H) Tipi Rüzgar Türbini



Darrieus rüzgar türbini, düşey şekilli iki kanatta oluşmaktadır. Kanatlar eliptik bir şekil oluşturacak şekilde, türbin miline bağlanmıştır. Kanatlar içbükey ve dışbükey satırları arasındaki itme-çekme kuvvetleri arasındaki farklılık nedeniyle hareket etmekte ve kendi eksenini etrafında dönmektedir. Darrieus rüzgar türbininde, elde edilen güç sinüs eğrisini oluşturacak şekilde, her devirde iki defa en yüksek değer ve en düşük değer arasında salınım yapar. Elips şeklindeki Darrieus rüzgar türbinlerine ek olarak, H şeklinde ve helezon (Helisel) şeklinde de dizaynlara rastlanmaktadır.



Şekil 3.8. Darrieus Modeli Türbinler

## ii. Savonius Tipi

Savonius türbinleri, iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklindedir. En yaygını iki adet kepçenin bulunduğu durumdur ve “S” şeklini andıran bir görüntüsü vardır. Savonius türbininde akışkan içbükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izler ve burada dönel akışlar meydana gelir. Bu dönel akışlar Savonius türbininin performansını düşürür, bu nedenle elektrik üretiminde pek fazla kullanılmazlar. Kullanım amaçları

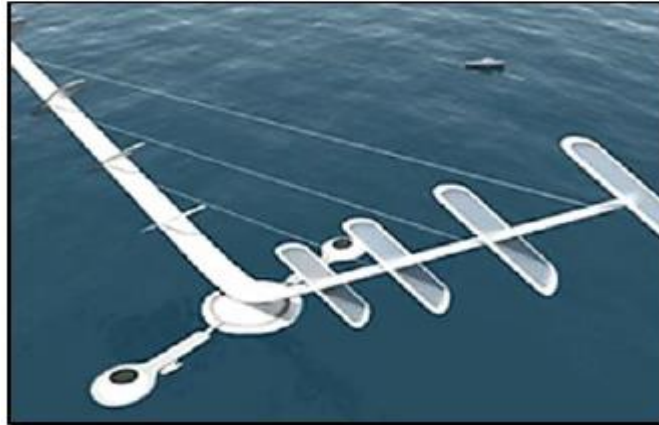
incelendiğinde çoğunlukla tarımsal sulamada pompa olarak ve rüzgar hızı ve yoğunluğuna ilişkin ölçüm çalışmalarında kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 3.9. Savonius Modeli Türbinler

### 3.8.1.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri

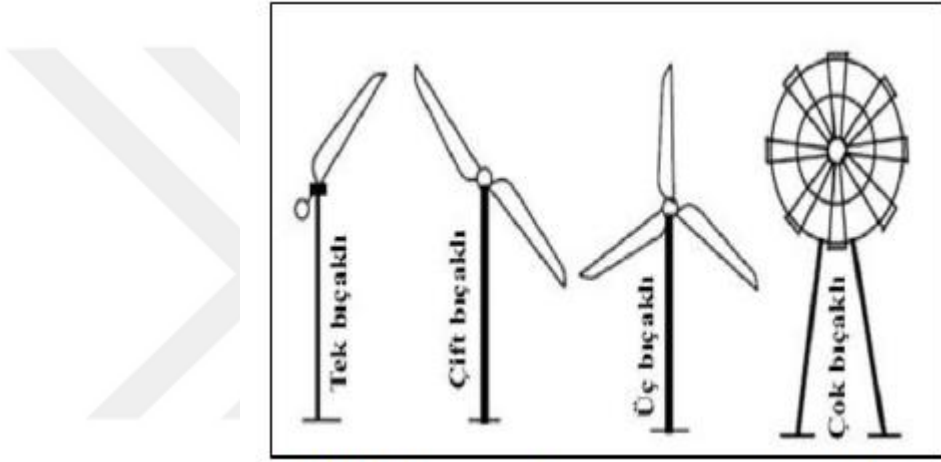
Eğik eksenli türbinlerde kanatlar, rüzgara karşı belli bir açı yapacak şekilde dizayn edilmektedir. Dönme eksenini ile kanatlar arasındaki açı ayarlanarak, kanatların dönme hızı ayarlanabilmektedir. Dönme sayısının artırılması istendiğinde eğiklik azaltılmakta, dönme sayısının azaltılması istendiğinde eğiklik arttırabilmektedir. Bu türbinler dikey ve düşey eksenli türbinlerin hibrid versiyonları olarak değerlendirilebilir. Şekil 3.10'da deniz üzerine kurulmuş eğik eksenli bir rüzgar türbini örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri

### 3.8.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbini tasarımında pervane veya kanat sayıları da önem taşımaktadır. Değişik ihtiyaçlara göre, rüzgar türbinlerinin kanat sayısı tek, çift, üç veya daha fazla olabilmektedir. Aşağıda farklı sayıda kanat/bıçak bulunduran rüzgar türbini örneklerine yer verilmiştir.



Şekil 3.11. Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinleri

#### 3.8.2.1. Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Tek kanatlı rüzgar türbinleri kanata etki eden yüksek rotasyon hızının düşürülmesi amacıyla kullanılır. Tek kanatlı rüzgar türbinleri, aerodinamik yapı olarak düzensiz bir dönüşe sahiptir ve bu düzensizlik nedeniyle kanatların kontrolü için ek mekanizmalara ihtiyaç duyulur. Tek kanatlı rüzgar türbinlerinde, kanatların uç hız oranı 120 m/s civarındaki üç kanatlı pervanelerle kıyaslandığında, neredeyse 2 kat daha yüksektir. Bu nedenle, bu tip türbinler yüksek seviyede gürültüye neden olurlar.

#### 3.8.2.2. Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Kanat sayısındaki artış doğal olarak türbin üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Bu nedenle iki kanatlı rüzgar türbinleri uzun zaman boyunca optimum fayda maliyet sağlayan türbin modeli olarak kabul görmüştür. 20'nci yüzyılın sonlarına kadar Dünyada 10m'den 100 m'ye kadar değişen farklı kanat çaplarında kullanılan iki kanatlı türbinler

sonrasında yerlerini üç kanatlı rüzgar türbinlerine bırakmaya başlamıştır. İki kanatlı türbinler, kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahip olmakta, bu momentin oluşturduğu ekstradan yükleme ise ancak sallanan göbek mekanizması ile giderilebilmektedir. Böylelikle, sallanan göbek sistemi dönen kanatlardaki atalet momentum değişikliklerinin neden olduğu olumsuzlukları engelleyebilmektedir. Buna ek olarak iki kanatlı rüzgar türbinleri düşük rüzgar hızlarında (örneğin 3 m/s) etkin şekilde çalışmamaktadır. Bu gibi nedenlerle iki kanatlı rüzgar türbinleri yerlerini, ekonomik olarak daha uygun olan üç kanatlı modellere bırakmıştır.

### **3.8.2.3. Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri**

Günümüzde en sık rastlanılan rüzgar türbinleri, üç kanatlı olarak tasarlanan modellerdir. Üç kanatlı rüzgar türbinleri, iki kanatlı modellerin aksine sabit atalet momentine sahiptir. Üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm türbinlerin sahip olduğu bu avantaj, kullanımlarının hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur.

### **3.8.2.4. Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri**

Teknolojinin daha düşük olduğu dönemlerde, çok kanatlı rüzgar türbinleri kuyulardan su pompalamak amacıyla yoğun olarak kullanılmaktaydı. Rüzgar gücünden maksimum seviyede istifade etmeye yönelik olarak çok kanatlı olarak tasarlanan rüzgar gülleri bu türün en bilinen örneklerinden biridir. Çok kanatlı rüzgar türbinlerin çalışma hızı oldukça düşüktür. Pervane göbeğine daha fazla kanat takılabilmesi için, kanatlar göbekten uçlara gidildikçe artan genişlikte olarak şekilde tasarlanmıştır.

### **3.8.2.5. Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinlerinin Karşılaştırılması**

Yukarıda belirtildiği üzere rüzgar türbinleri modellerinin fonksiyonel özelliklerinden kaynaklanan değişik özellikleri bulunmaktadır. Bazı modeller elektrik üretimi için uygun bulunurken, bazı modeller ise su pompalama amacıyla kullanılmaktadır. Bazı modeller, maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle günlük kullanımdan kalkmıştır. Pervane dizaynları görüntü veya ses kirliliğine neden olan modellerin de kullanılma oranlarının düşük olduğu söylenebilir.

Tablo 3.3'te rüzgar türbinlerinin kanat yapı ve sayılarına bağlı olarak sahip oldukları özellikler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

**Tablo 3.3.** Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbinlerinin Karşılaştırılması [23]

	YERT			DERT		
	Tek Kanatlı	Çift Kanatlı	3 Kanatlı	Çok Kanatlı	Savonius	Darrieus
<b>Maliyet</b>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
<b>Görünüm</b>	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
<b>Gürültü</b>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
<b>Çalışma Hızı</b>	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
<b>Kule İhtiyacı</b>	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
<b>Kullanım Amacı</b>	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az Elektrik/ Su Pompalama	Az Elektrik/ Su Pompalama	Az Elektrik/ Su Pompalama
<b>Günümüzde Kullanım</b>	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
<b>Rotorun Dönmesi İçin Rüzgarı</b>	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır ve Sürükler	Kaldırır ve Sürükler	Kaldırır ve Sürükler

### 3.8.3. Deniz Üstü (Off-Shore) Rüzgar Santralleri

Rüzgar hızı ve gücü deniz üstünde karaya göre daha yüksek olmaktadır. Ayrıca santral kurulumunda arsa maliyeti deniz üstü tesisler için daha düşük olmaktadır. Bu nedenle denizlerde de deniz üstü (Offshore - Alarga) Rüzgar santralleri inşa edilmeye başlanmıştır. İlk etapta derinliği 10 metreyi aşmayan ve sahilden çok uzak olmayan bölgelere rüzgar türbinleri yerleştirilmiştir. Bu konuda ilk uygulama 5 MW güçle Danimarka'da Lolland adası yakınlarında yapılmıştır (Vindeby Rüzgar çiftliği). Mevcut durumda İngiltere, İspanya ve İsveç'te 12MW gücünde santraller bulunmaktadır.

Geleceğe ilişkin projeksiyonlarda, 2030'lu yıllarda Avrupa'daki rüzgar enerjisi üretiminin %25'ini deniz üstü tesislerde yapılması öngörülmektedir.

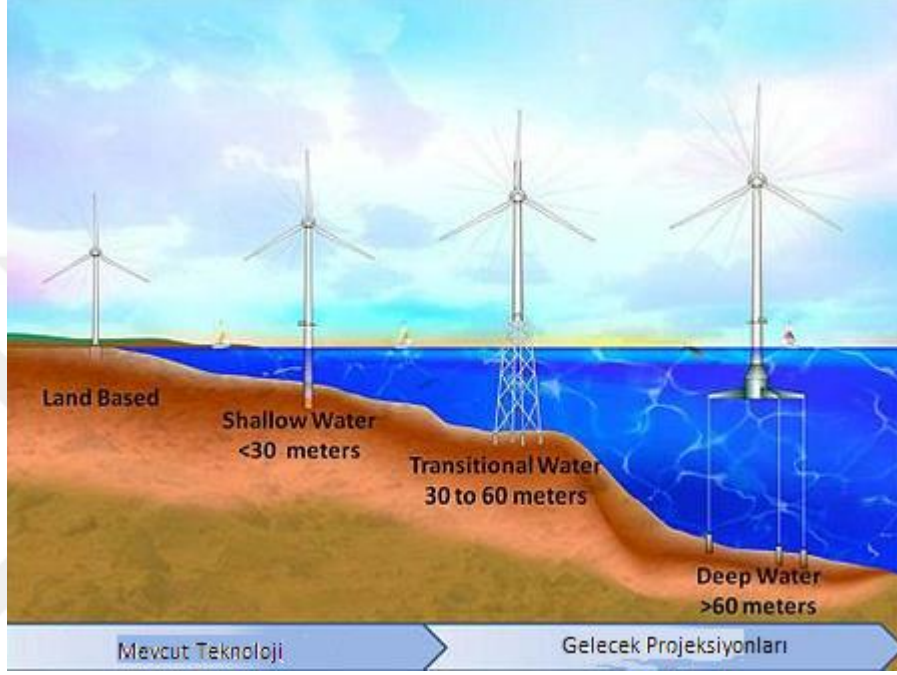


**Şekil 3.12.** Deniz üstü (Offshore) rüzgar türbinleri

Deniz üstü rüzgar türbinlerinin inşa maliyeti karadakilere daha yüksek olmaktadır. Avrupa'da santral yerleşimi için kara alanlarının nispeten dar olması nedeniyle deniz üstü rüzgar türbinlerin yaygınlaşmaktadır. Kurulu gücü 50 MW ve üstü tesislerde, bu maliyet dezavantajının üstünden gelinebilmektedir [24]. Deniz üstü rüzgar türbinlerinin bir diğer dezavantajı da işletim ve onarım maliyetlerinin yüksek oluşudur. Özellikle olumsuz hava koşulları denizdeki rüzgar türbinlerine ulaşımı engelleyebilmektedir. [25].

Şekil 3.13'te rüzgar türbinlerinde gelişim özetlenmiştir. Şekil 3.13'te görüldüğü üzere rüzgar türbinleri öncelikle karada inşa edilmiştir. Sonrasında 30 metre derinliğe kadar deniz üstü rüzgar türbinlerinin inşasına başlanmıştır Halihazırda yapılan çalışmalar ile 60 metre derinliğe kadar rüzgar türbini inşası planlanmaktadır. Gelecekte ise rüzgar türbinlerinin ayaklarının deniz tabanına oturtulmasına gerek olmayan rüzgar türbinlerinin, okyanuslarda inşası planlanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken

husus, rüzgar türbinlerinin sahilden uzaklaştıkça üretilen elektrik enerjisinin karaya transfer maliyetindeki artıştır.

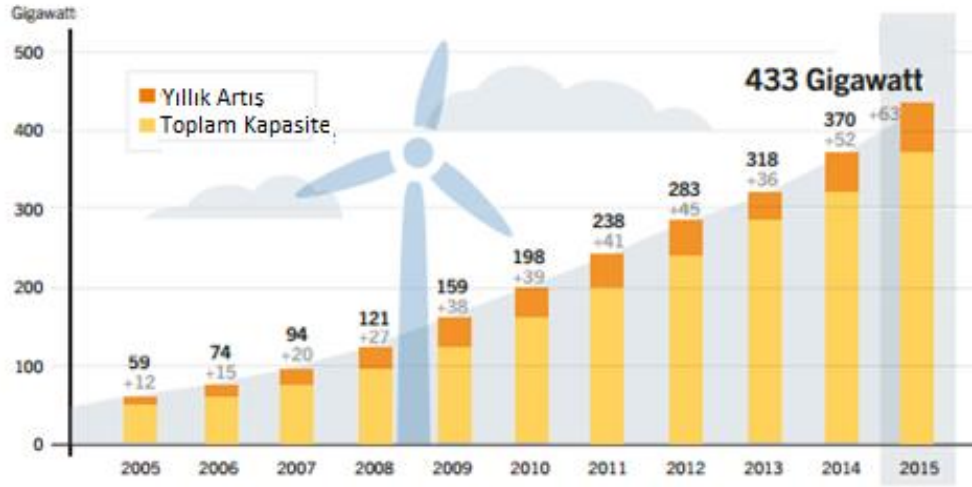


**Şekil 3.13.** Kara ve Deniz Üstü Rüzgar Türbinlerinin Gelişimi

## 4. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ

### 4.1. Dünyada Rüzgar Enerjisi

1990'lı yıllardan itibaren rüzgar enerjisi teknolojisi büyük gelişme kaydetmiş ve yüksek kapasiteli rüzgar güç santralleri kurulmuştur. 1990'lı yılların başında dünya genelinde kurulu rüzgar gücü sadece 2.160 MW iken, 1999 yılının sonunda dünyanın kurulu rüzgar gücü yaklaşık 6 kat artarak 13.455 MW'a ulaşmıştır. 2000'li yıllarda bu artış devam etmiş, dünyanın kurulu rüzgar gücü 2003 yılı sonunda 33.400 MW, 2006 yılının sonunda 74.000 MW ve 2015 yılına kadar bu güç 432.883 MW'a ulaşmıştır [26].



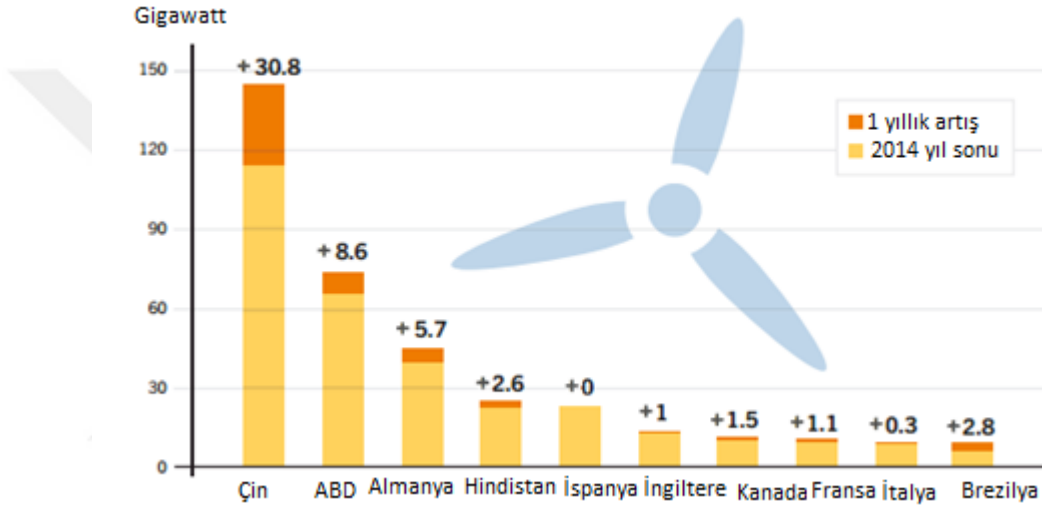
Şekil 4.1. 2005-2015 Döneminde Dünyada Rüzgar Enerjisi Kapasitesi [34]

2015 yılı Aralık ayı itibarı ile dünyada işletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu gücü 432.883,00 MW olarak hesaplanmıştır. Greenpeace'in dünya rüzgar enerjisi raporunda bu gücün 147.771 MW'ının Avrupada, 100.969 MW'ının Amerikada, 175.831 MW'ının Asyada, 4.823 MW'ının Pasifik ülkelerinde ve 3.489 MW'ının da Orta Doğu ve Afrika ülkelerinde bulunduğu ifade edilmektedir [27].

Kurulu rüzgar santrallerinin büyük çoğunluğu Asya, ikinci olarak Avrupa ve geriye kalan kısmı da Amerika kıtası ile kalan diğer kıtalarda bulunan ülkelerdedir. Çin son yıllarda rüzgar kapasitesini büyük oranda artırarak (2015 yılında yaklaşık %25) liderliği



ABD'den almıştır. 2015 yılı sonu itibariyle dünyada en büyük kurulu rüzgar güç santralleri 148.217 MW güç ile Çin'de, 73.025 MW güç ile ABD'de, 44.947 MW güç ile Almanya'da, 23.000 MW güç ile Hindistan ve İspanya'da bulunmaktadır. İngiltere, Kanada, Fransa, İtalya ve Brezilya rüzgar enerjisi kapasitesi yüksek olan diğer ülkelerdir.



**Şekil 4.2.** 2014 Sonu İtibariyle En Fazla Rüzgar Kapasitesine Sahip Ülkeler [9]

Rüzgar enerjisi teknolojisinde de küresel bir yarış sürmektedir. Ülkeler gerek yatırımlar için gerekse de daha verimli teknolojilerin geliştirilmesi için teşvik programları yürütmektedir. Rüzgar türbini üreten şirketlerin 2015 yılı itibariyle pazar payları incelendiğinde en büyük 10 şirketin toplam Pazar payının %65'ine sahip olduğu görülmektedir. Çin merkezli Goldwind (%12,5), Danimarka merkezli Vestas (%11,8), ABD merkezli GE (%9,5) ve Almanya merkezli Siemens (%8) şirketleri rüzgar türbini pazarında en fazla paya sahip şirketlerdir. Ayrıca en büyük 5 Çin merkezli şirketin toplam pazar payının %29'a ulaşması dikkat çekicidir. 2015 yılı itibariyle rüzgar türbini üretiminde en fazla paya sahip şirketler ve söz konusu şirketlerin kurulmuş olduğu ülkeler Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** 2015 Yılı İtibariyle En Yüksek Pazar Payına Sahip Rüzgar Türbini Üreticileri

[9]

Sıra	Şirket	Ülke	Pazar Payı	Sıra	Şirket	Ülke	Pazar Payı
1	Goldwind	Çin	%12,5	6	Enercon	Almanya	%5
2	Vestas	Danimarka	%11,8	7	United Power	Çin	%4,9
3	GE Wind	ABD	%9,5	8	Mingyang	Çin	%4,1
4	Siemens	Almanya	%8	9	Envision	Çin	%4
5	Gamesa	İspanya	%5,4	10	CSIC Haizhuang	Çin	%3,4

## 4.2. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi

### 4.2.1. Rüzgar Enerjisinin Türkiye’deki Durumu

Gelişmekte olan ülkeler statüsündeki Türkiye’nin hızlı nüfus artışı ve sanayileşmesine paralel olarak enerjiye olan ihtiyacı sürekli artmaktadır. Ülkemizde enerji tüketimimizin yarıya yakınını karşılayan petrol ve doğal gaz kaynaklarının büyük bir bölümü mevcut değildir. Enerji ihtiyacının güvenli olarak karşılanması ve dışa bağımlılığın azalması için birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim önem kazanmıştır. Ülkemizde tüketilen yakıtların çoğu yenilenemez yakıtlar olup CO<sub>2</sub> salınımı ile çevreye zarar vermekte ve artan enerji talebi ile kullanılacak yakıtlarla birlikte bu çevre kirliliğinin büyük ölçüde artması beklenmektedir. Artan enerji taleplerine rağmen Türkiye’nin yeterli ölçüde enerji üretilmiyor olması ve kullanılan enerjinin çoğunun ithal ediliyor olması, ülkemizde fazlasıyla mevcut olan rüzgar enerjisi potansiyeline doğru yönlendirmektedir [28].

Rüzgar enerjisi; temiz ve sürekli bir enerji kaynağı olması çevreyi kirletmemesi, ülkemizin de yüksek bir potansiyele sahip olması sebebiyle son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Şu anda 11 GW mevcut proje stoku ve 2023 yılındaki hedefi 20 GW olan rüzgar enerjisi kapasitesi ile Avrupa’nın önemli rüzgar pazarı haline gelmiştir. Rüzgar

gücünden sağlanan elektrik üretimi, yaşanan gelişmelere bağlı olarak ekonomik değer kazanması sadece enerji sektörüne değil aynı zamanda ekolojik dengenin de bozulmadan korunmasına olumlu katkı sağlayacaktır [28].

Türkiye’de rüzgar enerjisinin kullanılmaya başlanması yakın tarihlere dayanmaktadır. Türkiye’de rüzgar türbini ilk defa 1985 yılında Çeşme’de turistik bir tesisin elektrik enerjisi ihtiyacının %5’ini karşılamak için kurulmuştur. Daha sonra Türkiye’de ilk rüzgar enerji santrali 1998 yılında İzmir ilinin Çeşme ilçesine bağlı Germiyan köyünde Otoprodüktör statüsünde kurulmuştur. Her biri 500 kW olan üç türbini bulunan bu santral 1.5 MW’lık güce sahiptir. Bunu takiben yine Çeşme ilçesine bağlı Alaçatı köyünde Yap İşlet Devret modeli ile 7.2 MW’lık 12 adet türbinden oluşan ikinci bir rüzgar santrali işletmeye alınmıştır. 25 Haziran 2000 tarihinde Çanakkale Bozcaada’da 17 adet rüzgar türbininden oluşan 10.2 MW gücünde olan üçüncü bir santral devreye girmiştir.



**Şekil 4.3.** Türkiye’nin İlk Rüzgar Enerji Santrali-Alize Germiyan Santrali

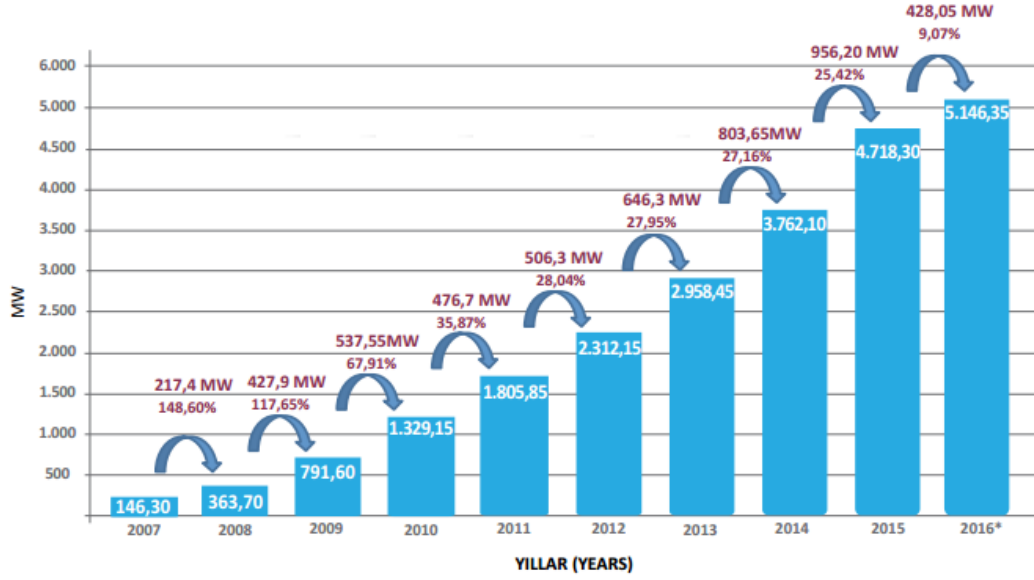
Türkiye’nin elektrik enerji ihtiyacı, gelişmekte olan bir ekonomi olarak devamlı olarak artış göstermektedir. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına sağlanan teşvikler ve verilen önem sayesinde özellikle hidrolik, rüzgar ve jeotermal olmak üzere bu

kaynakların kurulu güç içindeki payı son yıllarda artış göstermiştir. Bu kapsamda Türkiye'nin kurulu gücü 2001 yılında yaklaşık 28.000 MW olan kurulu güç, 2016 yılında 77.000 MW'a ulaşmıştır. (Şekil 4.4)

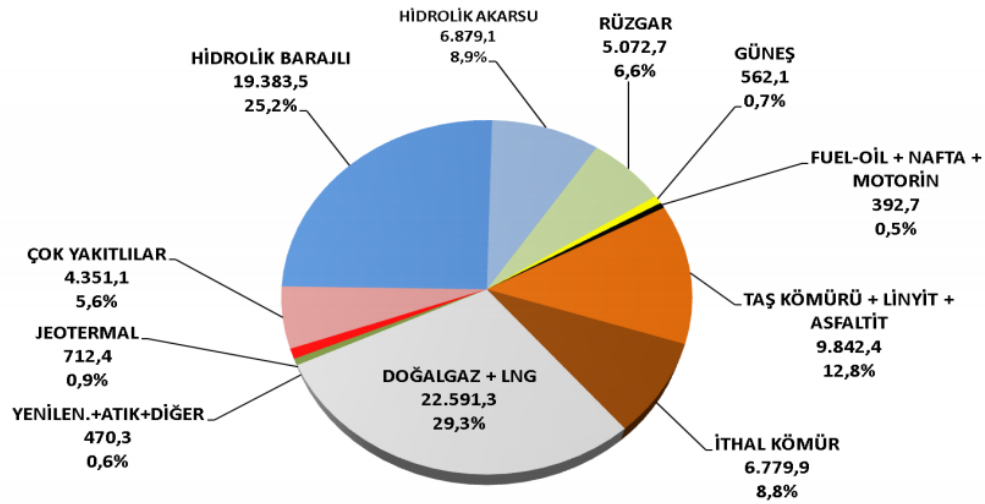


**Şekil 4.4.** 2001-2016 Döneminde Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü Değişimi [28]

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına sağlanan teşvikler ve verilen önem sayesinde özellikle hidrolik, rüzgar ve jeotermal olmak üzere bu kaynakların kurulu güç içindeki payı son yıllarda artış göstermiştir. Türkiye şebekeye bağlı rüzgar enerjisiyle elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve özellikle 2005 yılından itibaren 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun yürürlüğe girmesinden sonra rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç ve enerji üretiminde büyük artış göstermiştir. Şekil 4.5'te işletmede olan yaklaşık 127 adet rüzgar santraliyle 2016 Temmuz ayı itibariyle 5.146 MW seviyesine ulaşmıştır. Bu anlamda 2016 Temmuz itibariyle Türkiye'deki Kurulu elektrik enerjisi kapasitesinin yaklaşık %6,6'sı Rüzgar santrallerinden oluşmaktadır. (Şekil 4.6)



Şekil 4.5. Rüzgar Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Yıllara Göre Dağılımı [29]

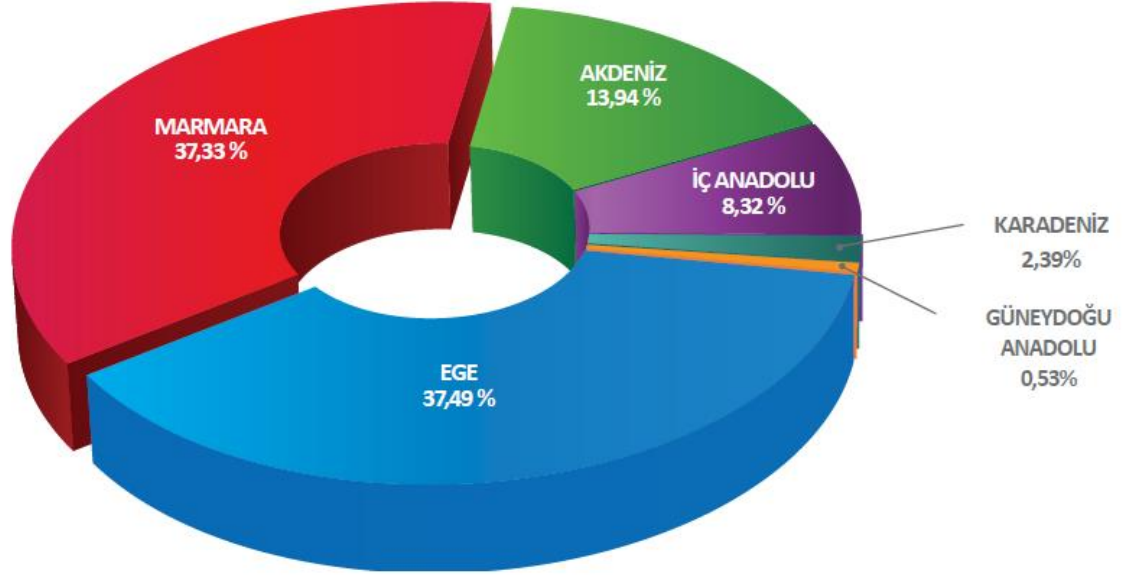


**KURULU GÜÇ (07/2016) : 77.037,5 MW**

Şekil 4.6. Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücünün Dağılımı [29]

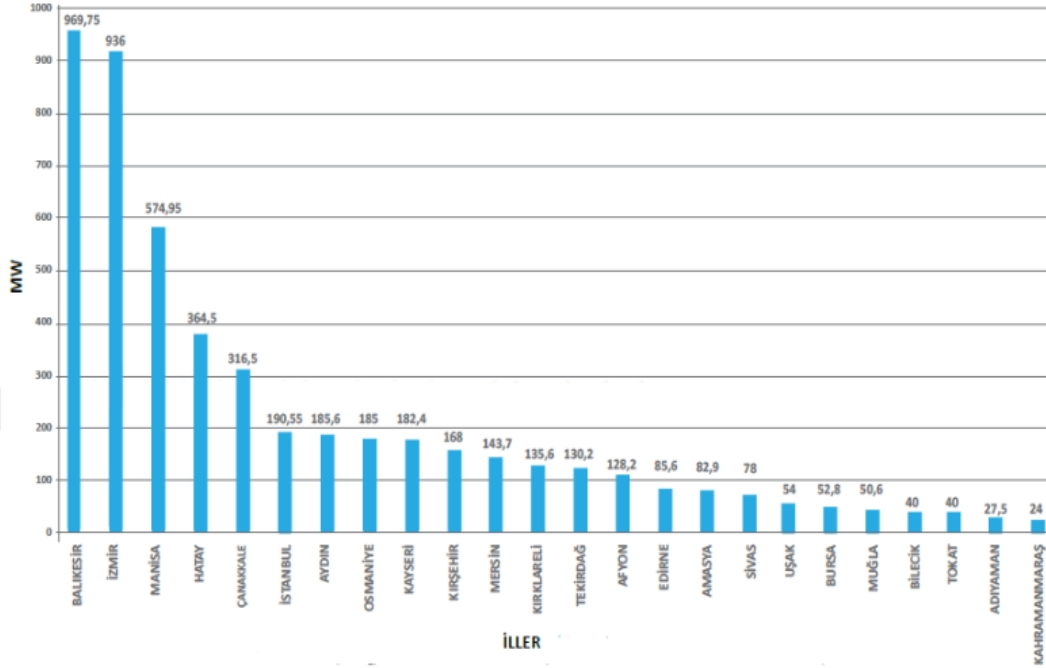
Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücün bölgelere göre dağılımının, rüzgar potansiyeli ile uyumlu olarak Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaştığı Şekil 4.7’de

görülmektedir. Ülkemizin coğrafyasının geniş olmasından dolayı, rüzgarın olmadığı zaman dilimi çok azdır. Bu yüzden Türkiye rüzgar haritaları incelendiği zaman Marmara ve Ege bölgelerinin dışında da pek çok bölgede rüzgar enerjisi çalışmalarının yapılmakta olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.7.** Türkiye’de İşletmede Olan Rüzgar Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Bakımından Bölgelere Göre Dağılımı [29]

Türkiye’de Rüzgar enerji sistemlerinin kurulu gücü illere göre dağılımı Şekil 4.6’da görülmektedir. Tabloya göre en yüksek kurulum gücü İl bazında yapılan değerlendirmeye göre Balıkesir 969.75 MW güç %19,58 pay ile Rüzgar kurulu gücünde ile birinci sırada bulunmaktadır. Balıkesir’i 936 MW (%17,11) ile İzmir, 574.95 MW (%12,19) ile Manisa, 364.5 MW (%7,73) ile Hatay izlemektedir. Bölgelerin Rüzgar enerji yoğunluğu incelendiği zaman Güney Doğu Anadolu Bölgesinde sadece Adıyaman ilinde Rüzgar güç santralının bulunduğu dikkatleri çekmektedir. Rüzgar potansiyeli bakımından zengin olan bölgelerimiz Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz kıyılarıdır.



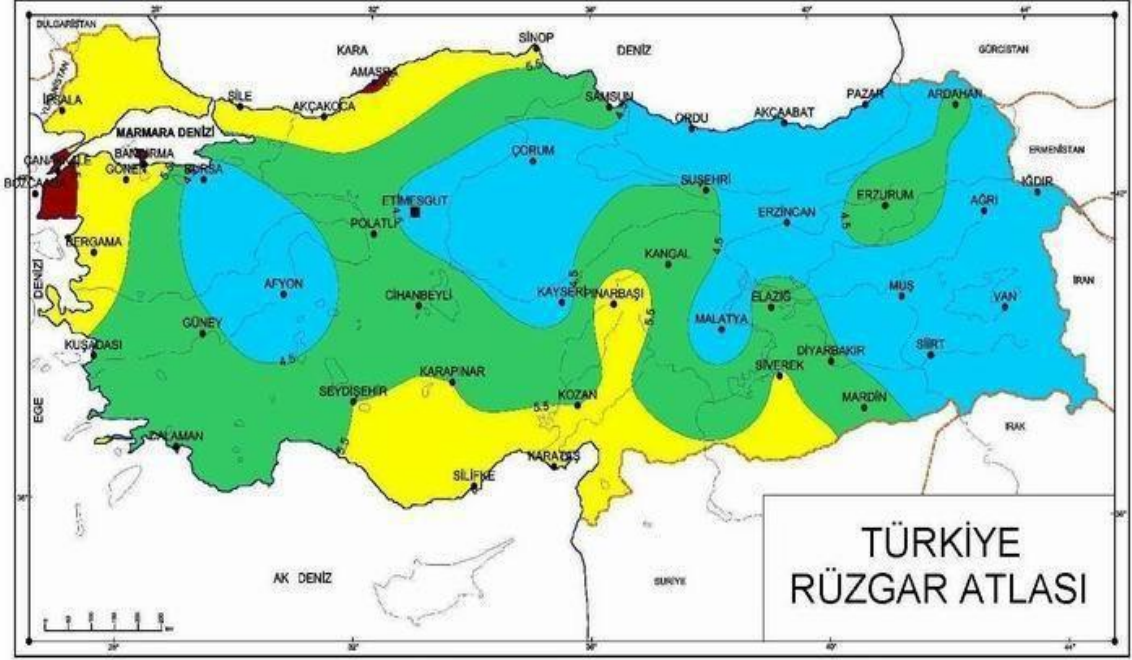
Şekil 4.8. İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Dağılımı [30]

#### 4.2.2 Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası

Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgar enerji kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek için Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından hazırlanmıştır. REPA orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak üretilen rüzgar hızı kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlasıdır. REPA ile denizlerde, kıyılarda ve yüksek rakımlı bölgelerde daha önceden ölçülemeyen yüksek yoğunluklu potansiyeller görünür hale gelmiştir. Hazırlanan bu atlasta verilen detaylı rüzgar kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgar enerjisinden elektrik üretimine elverişli bölgelerin belirlenmesinde kullanılacak bir altyapı imkanı sunmaktadır [31].

EİE tarafından hazırlanan Türkiye rüzgar atlası Şekil 4.9'da görülmektedir. Yine aynı kurum tarafından hazırlanan 30, 50, 70 ve 100 m' deki yıllık ortalama rüzgar hızları Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'de gösterilmiştir. Şekil 4.31 ve Şekil

4.9'da ise 50 m'deki yıllık ortalama güç yoğunluğu ve kapasite faktörü dağılımı gösterilmiştir.



U (m/s)	> 7.5	6.5 – 7.5	5.5 – 6.5	4.5 – 5.5	< 4.5
P (W/m <sup>2</sup> )	> 500	300 - 500	200 - 300	100 - 200	< 100

\* Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgar potansiyeli sınıf aralıkları

Şekil 4.9. Türkiye Rüzgar Atlası [32]

Türkiye rüzgar atlasındaki bölgeler renklere göre aşağıda açıklanmıştır:

**Koyu Mavi Bölge:** Türkiye'de açık alanlardaki rüzgar hızı ortalaması 7,5 m/s'den büyük olan alanları göstermektedir. Bu alanlar Türkiye'de çok az olduğundan ve bu alanlar rüzgar türbini kurmak için küçük alanlar olduğundan bu bölge haritada bu ölçekte görülmemekte, il bazında olan REPA haritalarında bazı şehirlerde görülmektedir.

**Kırmızı Bölge:** Bu bölge açık alanlardaki 50 m. yükseklikteki rüzgar hızı ortalaması 6,5- 7,5 m/s olan alanları göstermektedir. Bu bölge rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek



olan bir bölgedir. Örneğin Bandırma, Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, Amasra bu bölgede yer almaktadır.

**Sarı Bölge:** Bu bölge rüzgar hızı ortalaması açık alanlarda 5,5- 6,5 m/s olan alanları göstermektedir. Sarı bölgeden ülkemizde birçok yer bulunmaktadır. Örneğin, Antakya, Bergama, Şile, Sinop, Edirne, Mersin bu bölgededir.

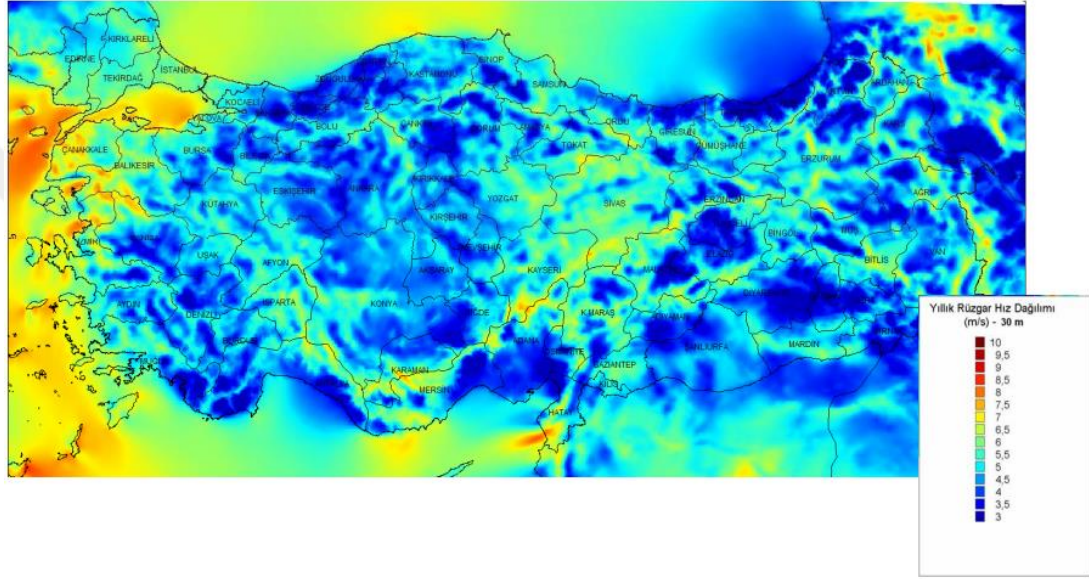
**Yeşil Bölge:** Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 50 m. yükseklikte 4,5-5,5 m/s olan alanları göstermektedir. Türkiye’de yaygın bir dağılıma sahip olan bu bölge birçok şehri kapsamaktadır.

**Açık Mavi Bölge:** Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 4,5 m/s’den küçük olan alanları göstermektedir. Bu bölge de Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu’nun bazı kesimlerini kapsamaktadır. Bu bölge rüzgar türbini kurmak açısından verimsiz bölge olarak sayılmaktadır.

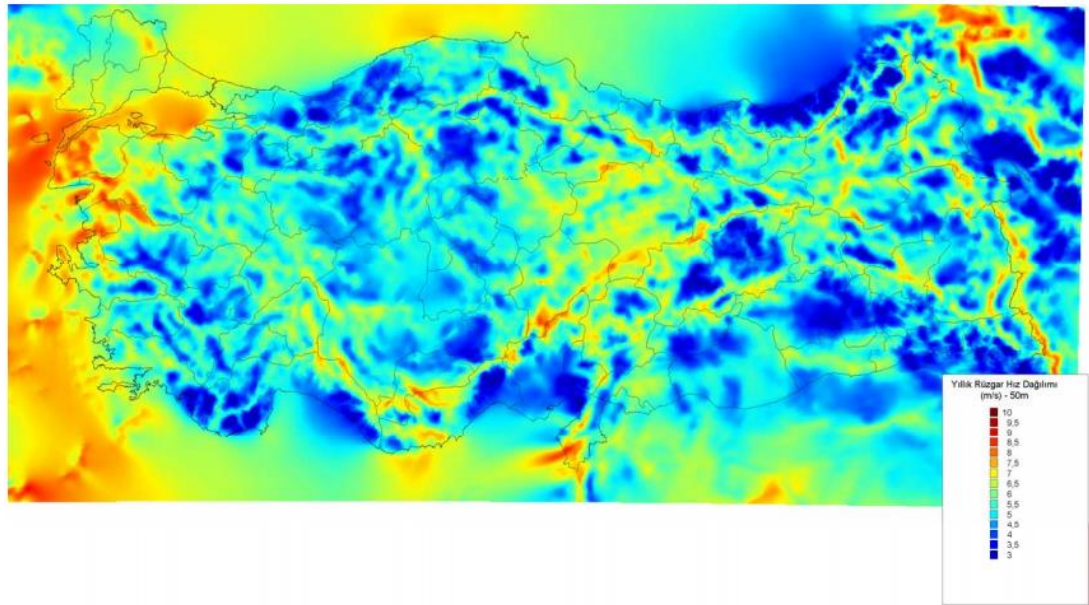
Rüzgar hızı haritalarında görüldüğü üzere, Türkiye’deki en yüksek rüzgar kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık alanların etrafında bulunmaktadır. Açık alanların etrafındaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgar hızları Türkiye’nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede görülmektedir. Rüzgar enerjisi santralleri için yapılan fizibilite çalışmalarında rüzgar hızının belirlenen limitlerde olmasının yanında güç yoğunluğu ve kapasite faktörünün de bilinmesi gerekir [33].

Türkiye rüzgar güç yoğunluğu haritasında görüldüğü üzere diğer bölgelere göre Marmara ve Ege bölgelerinde rüzgar yoğunluğu daha yüksektir. Bu sayede herhangi iki bölgede rüzgar hızı aynı olsa dahi rüzgar santralinden elde edilecek enerjiyi bu haritada belirtilen rüzgar güç yoğunluğu belirlemektedir. RES kurulumu yapılacak olan bölgelerde yatırım öncesi dikkat edilmesi gereken diğer bir faktör ise kapasite faktörüdür. Örneğin Şekil 4.11’de 50 metre yükseklikte 1MW gücünde kurulu güce sahip bir emsal türbin için Türkiye kapasite faktörü dağılımı verilmiştir. Teorik olarak ve Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) verilerine göre kurulumu yapılacak olan Rüzgar Enerji Santrali (RES) için kapasite faktörünün ekonomik olarak %35 civarında

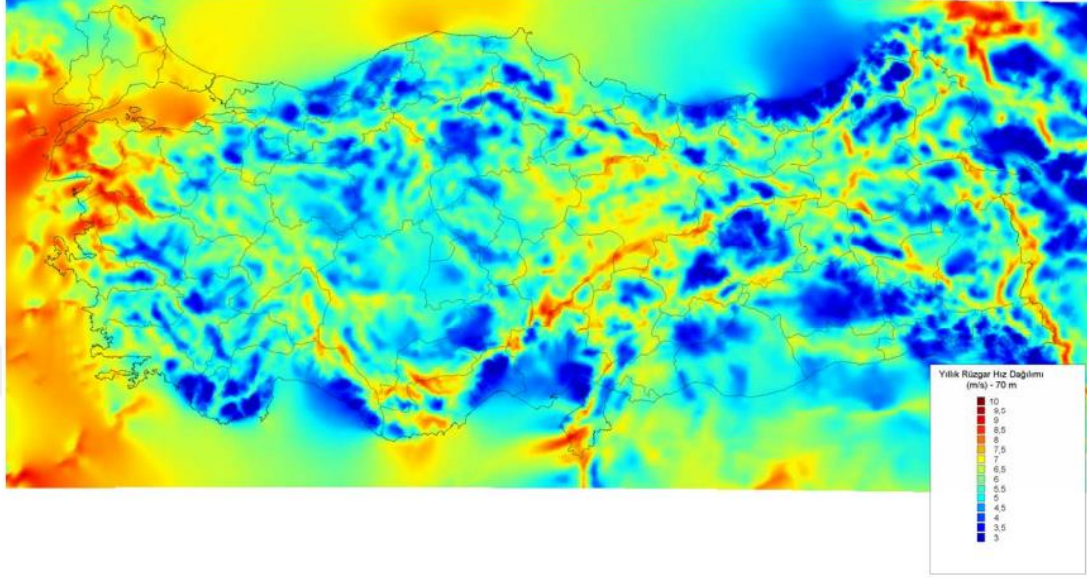
ve üzerinde olması beklenmektedir. Türkiye geneli rüzgar kapasite faktörü haritasına bakıldığında rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğu haritalarında olduğu gibi kapasite faktörünün en yüksek olduğu bölgeler Marmara ve Ege bölgeleri olarak gözlenmektedir [34].



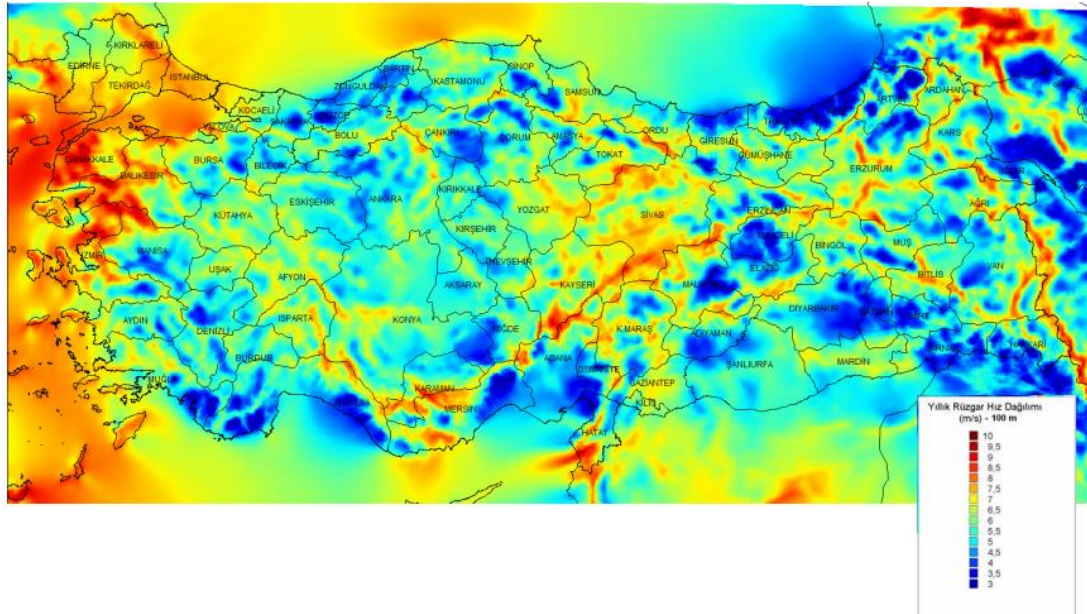
Şekil 4.10. Türkiye’de 30 m’de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri. [32]



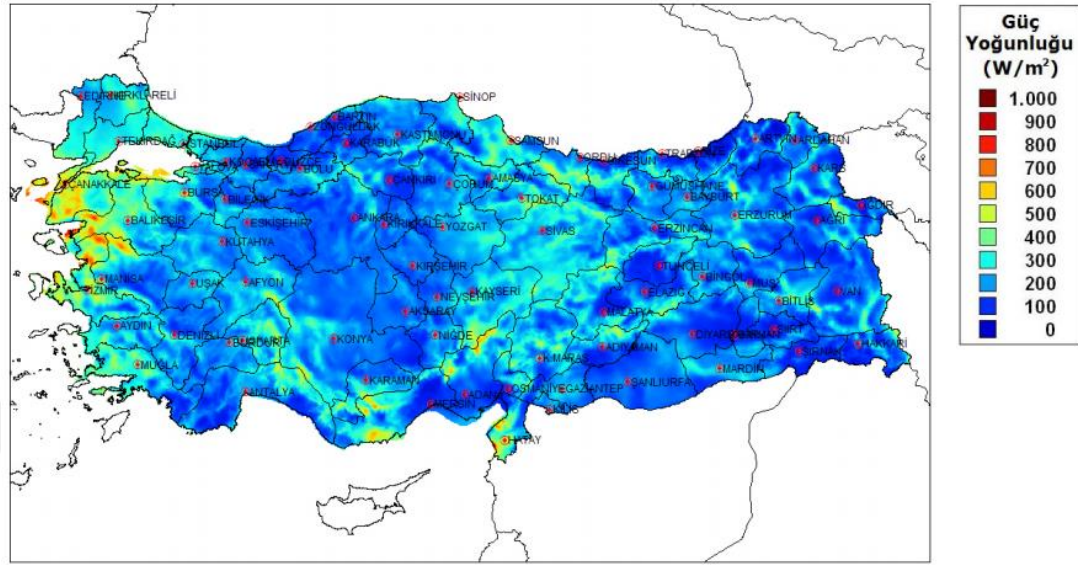
Şekil 4.11. Türkiye’de 50 m’de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri [32]



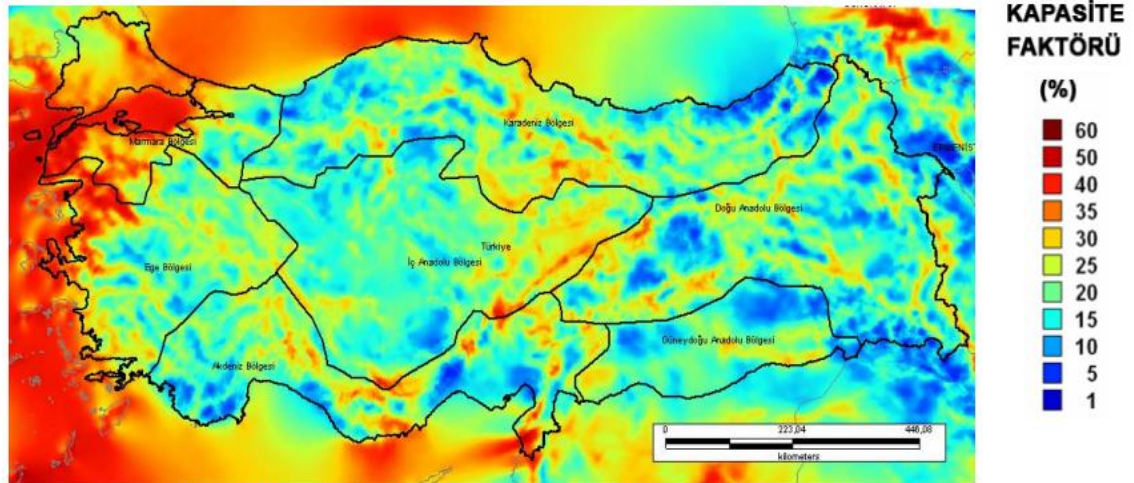
Şekil 4.12. Türkiye’de 70 m’de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri [32]



Şekil 4.13. Türkiye’de 100 m’de Yapılan Yıllık Rüzgar Ölçümleri [32]



**Şekil 4.14.** Türkiye Geneli 50 m Yükseklikteki Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu Dağılımı [32]



HESAPLAMALARDA 1 MW GÜCÜNDEKİ REFERANS RÜZGAR TÜRBİNİ BAZ ALINMIŞTIR.

**Şekil 4.15.** Türkiye Geneli 50 m Yükseklikteki Ortalama Kapasite Faktörü Dağılımı [32]

Türkiye rüzgar atlasına göre yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye'nin geniş anlamda rüzgar enerji potansiyelinin bulunduğu görülmektedir. 2007 yılında hazırlanan Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre ülkemizde yıllık rüzgar hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW büyüklüğünde rüzgar enerjisi potansiyeli bulunmaktadır.

Türkiye’de yer alan yedi coğrafi bölgenin ortalama rüzgar hızı (m/s) ve rüzgar yoğunluğu ( $W/m^2$ ) verileri incelendiğinde rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından Marmara Bölgesi en zengin bölge olarak görülmektedir. Ege ve Akdeniz bölgeleri de rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgeler arasında yer almaktadır. Rüzgar enerjisi potansiyelinin bölgeler bazında dağılımı Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2.** Bölge Bazında Rüzgar Hızı ve Güç Yoğunluğu (10m)

Bölge	Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Yıllık Ortalama Rüzgar Yoğunluğu ( W/m <sup>2</sup> )
Marmara Bölgesi	3,29	51,91
Ege Bölgesi	2,65	23,47
Akdeniz Bölgesi	2,45	21,36
İç Anadolu Bölgesi	2,46	20,14
Karadeniz Bölgesi	2,38	21,31
Doğu Anadolu Bölgesi	2,12	13,19
Güney Doğu Anadolu Bölgesi	2,69	29,33
<b>Ortalama</b>	<b>2,58</b>	<b>25,82</b>

Türkiye’deki bazı önemli istasyonların rüzgar enerjisi verileri de tablo 4.3’te görülmektedir.

**Tablo 4.3.** Türkiye Geneli Seçilmiş Rüzgar İstasyonlarına İlişkin Bilgiler

İSTASYON	10 m’de max Ort. hız m/s	10 m’de max hız m/s	10 m’de max W/m <sup>2</sup>	50 m’de W/m <sup>2</sup>	50 m’de enerji ort. kWh/m <sup>2</sup>
Afyon	2,7	36,0	36	76	666
Antalya	2,7	38,7	39	80	701
Samsun	2,7	34,5	40	81	710
Sarıyer	2,9	41,2	42	94	823
Akhisar	2,7	32,5	44	96	841
Malatya	2,7	33,4	51	108	946
Anamur	3,1	42,2	52	111	972
Bergama	3,5	38,8	61	134	1174
İnebolu	3,7	41,8	63	145	1270
Gökçeada	3,5	35,2	69	193	1700
Sinop	3,6	40,5	8	182	1594
Bodrum	3,7	41,7	85	183	1603
Antakya	4,0	28,4	85	202	2000
Çanakkale	3,9	35,4	92	205	1800
Çorlu	3,8	30,2	96	222	1900
Mardin	4,3	38,1	186	321	3000
Bandırma	5,8	39,9	300	474	4100
Bozcaada	6,2	43,3	317	675	5900

Rüzgar santrallerinin planlanmasında dikkate alınması gerekli hususlardan biri de, yıl boyunca ortalama rüzgar hızlarında yaşanan değişimlerdir. Tablo 4.4’de görüldüğü üzere, ölçüm yapılan yörelerde ortalama rüzgar hızı yıl içerisinde büyük oranda değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin Gökçeada’da Mayıs ayında 5,3 m/s saniye olan ortalama rüzgar hızı Aralık ayında ortalama 10,8 m/s’ye kadar çıkmaktadır.

**Tablo 4.4.** EİE İdaresi Tarafından Ölçülen Bazı Yörelerin Aylık Ortalama Rüzgar Hızları (m/s)

YÖRE	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Akhisar	5,2	6,2	2,7	2,7	4,3	5,4	8,7	9,0	5,0	7,1	5,6	8,3
Bababurun	6,0	6,0	5,9	6,0	3,0	5,3	6,2	6,4	4,5	5,7	5,9	8,2
Bandırma	-	-	8,1	6,6	6,5	6,8	8,2	9,6	6,1	8,4	8,1	12
Belen	4,8	4,9	5,4	6,0	5,0	9,3	11,5	10,3	8,2	5,3	5,6	5,8
Datça	4,6	5,1	4,7	4,5	6,5	5,6	8,0	9,9	6,2	5,5	5,3	5,4
Foça	5,6	5,5	5,6	5,3	4,8	5,5	5,8	6,3	4,7	5,8	6,0	7,4
Gelibolu	7,4	6,7	8,3	6,0	5,2	5,8	5,7	7,6	5,7	7,4	7,0	9,1
Gökçeada	7,7	6,9	8,1	6,7	5,3	5,9	6,2	7,8	5,7	7,5	7,6	10,8
Kocadağ	8,0	7,7	8,0	7,0	7,0	8,6	8,6	6,5	7,2	5,3	7,1	-
Sinop	3,9	4,2	4,9	4,7	4,5	4,8	4,4	4,1	-	-	5,3	5,2

#### 4.2.3. Türkiye’deki Kurulu Rüzgar Santralleri

2016 yılı itibarıyla Türkiye’de kurulu rüzgar santralleri, kurulu güçleri, ili ve işletmeye giriş tarihleri ile birlikte Ek/1’de gösterilmektedir [29]. Buna göre Türkiye’de 1998 ile 2016 yılları arasında kurulmuş ve halihazırda aktif olan 127 rüzgar santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin kurulu gücü 0,80 MW ile 264,10 MW arasında değişmekte olup, toplam kurulu güç 5146,35 MW’tır. Mevcut durum itibarıyla en düşük kapasiteli rüzgar santrali Paşalimanı/Balıkesir (0,80 MW)’de yer alırken, en yüksek kapasiteli rüzgar santrali Soma/Manisa (264,10)’dadır. Bu santraller dışında, Türkiye’de şu anda projesi devam eden, lisans alınmayı bekleyen santraller de bulunmaktadır. Bölgelere göre rüzgar hızı ve yoğunluğu dikkate alınarak en fazla rüzgar gücü yatırımı Ege ve Marmara bölgelerine yapıldığı görülmektedir.

Şekil 4.16’da ise 2015 Haziran ayında devreye alınan 4 rüzgar türbini ile tam kapasite üretime geçen Türkiye’nin en büyük rüzgar santrali Soma RES (240.1 MW) santrali gösterilmiştir.



**Şekil 4.16.** Soma RES (240,1 MW)

## **5. YAPAY SİNİR AĞLARI**

### **5.1. Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Tanımı**

Teknolojik gelişmelerin önemli boyutlara ulaştığı günümüzde, insanoğlunun kendisini tanımaya yönelik çalışmaları da önemli aşamalar kaydetmiştir. Yapay zeka kavramı ile birlikte insanın en önemli özellikleri olan düşünebilme ve öğrenebilme kabiliyetleri en önemli araştırma konuları durumuna gelmiştir. Özellikle günümüzde bilgisayar kullanımının hızla yaygınlaşması sonucunda yapay zeka çalışmaları da önemli bir hız kazanmıştır. İnsan gibi düşünen ve davranan sistemlerin geliştirilmesine yönelik olarak 1950'li yıllardan beri süren yapay zeka çalışmaları, bir noktada insanı taklit etmeye yönelik olduğundan mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi birçok alana da yayılmıştır. Yapay zeka çalışmaları sırasında ortaya çıkan ve bir noktada yapay zeka çalışmalarına destek sağlamakta olan farklı alanlardan bir tanesi de YSA teknolojisidir [33].

YSA; insan beyninden ilham alarak, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi uğraşı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu nedendir ki, bu konu üzerindeki çalışmalar önce beyni oluşturan biyolojik üniteler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış, sonraları bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak birçok alanda kullanılabilir hale gelmiştir.

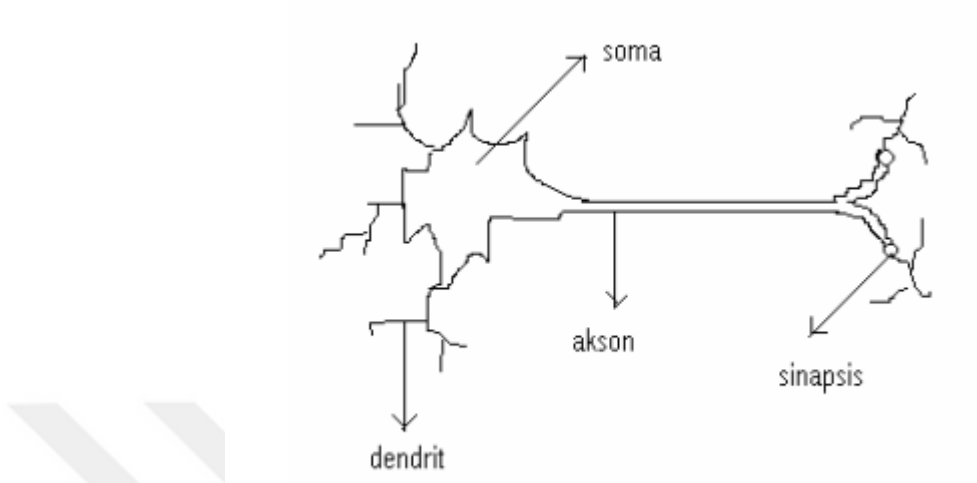
### **5.2. YSA'nın Yapısı ve Temel Bileşenleri**

YSA'nın insan beynindeki sınırlardan ve bunların davranışlarından ilham alarak ortaya çıkmasından dolayı, önce biyolojik sinir sistemi konusu bahsedilecektir.

#### **5.2.1. Biyolojik Sinir Hücresi**

Biyolojik sinir ağları, beynimizde yer alan birçok sinir hücresinin birleşiminden meydana gelmektedir. Bir sinir ağı milyarlarca sinir hücresinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Beynimizde 1010 adet sinir hücresi ve bunların  $6 \times 10^{13}$  ten fazla sayıda bağlantısının olduğu tahmin edilmektedir.





**Şekil 5.1.** Bir Biyolojik Sinir Hücresinin Yapısı

Biyolojik sinir ağları, insan beyninin çalışmasını sağlayan en temel öğelerden birisidir. İnsanın bütün davranışlarını ve çevresini anlamasına yardımcı olur. Biyolojik sinir ağları beş duyu organından gelen bilgiler ışığında geliştirdiği algılama ve anlama mekanizmalarını çalıştırarak olaylar arasındaki bağlantıları öğrenmektedir. Biyolojik sinir hücresi, beyin merkez olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar; çevreden gelen sinyalleri elektriksel sinyallere çeviren alıcı sinirler, beynin ürettiği sinyalleri uygun tepkilere dönüştüren tepki sinirleri ve tepki sinirleri arasında sürekli ileri geri besleme yaparak uygun sinyaller üreten merkezi sinir sisteminden oluşmaktadır [34].

Biyolojik sinir sistemi, bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun kararlar üreten bir merkezdir. Sinir sisteminin temel elemanları nöron adı verilen özel sinir hücreleridir. Biyolojik bir sinir hücresi dentritler, hücre gövdesi(soma) , aksonlar ve sinapsislerden oluşmaktadır. Biyolojik sinir hücresi Şekil 5.1’de gösterilmektedir.

### **5.2.2. Yapay Sinir Hücresi**

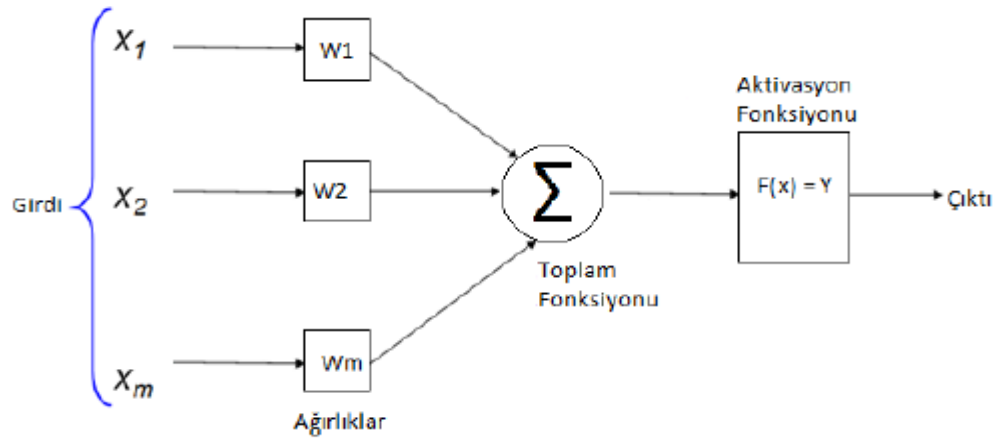
YSA’nın da biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi sinir hücreleri mevcuttur. YSA, biyolojik sinir ağlarının modellenmesidir. YSA, birbiriyle ilişkili çok sayıda yapay sinir hücresinden (nöron) meydana gelmektedir ki bu nöronlar bilgileri alıp, çeşitli işlevlerle

bir çıktı üretirler. YSA, insan beyninin çalışma şekline esinlenerek geliştirilmiş bir yöntemdir ve biyolojik sinir ağları ile aralarında bazı benzerlikler bulunmaktadır. Biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir hücresi arasındaki benzerlikler Tablo 5.1’de verilmiştir [35].

**Tablo 5.1.** Biyolojik Sinir Ağı ve Yapay Sinir Ağı'nın Karşılaştırılması

<b>Biyolojik Sinir Sistemi</b>	<b>Yapay Sinir Ağları</b>
Nöron	İşlemci eleman
Dentrit	Nöronlar arası bağlantılar
Hücre gövdesi	Aktivasyon fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Yapay nöronlar girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş temel elemanı vardır. Şekil 5.2’de bir yapay sinir hücresi gösterilmiştir.



**Şekil 5.2.** YSA'nın Temel Elemanları

### 5.2.2.1. Girdiler

Yapay bir sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgilerdir. Bu katman kendisine gelen bilgileri herhangi bir değişiklik yapmadan aktarır ve bundan başka bir görevi yoktur.

### 5.2.2.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir.

### 5.2.2.3. Toplama Fonksiyonu

Bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. En çok kullanılan toplama fonksiyonu, girdi katmanına gelen bilgileri ( $A_i$ ), her bir girdinin kendi ağırlık değeri ( $G_i$ ) ile çarpılıp toplanarak net girdi ( $S$ ) bulunur:

$$S = \sum A_i G_i \quad (5.1)$$

Toplama fonksiyonlarından bazıları tablo 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.2. Toplama Fonksiyonu Örnekleri

Net Giriş	Açıklama
Toplam $Net = \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve bulunan değerler birbirleriyle toplanarak Net girdi hesaplanır.
Çarpım $Net = \prod_{i=1}^N X_i * W_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak Net Girdi Hesaplanır.
Maksimum $Net = Max(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en büyüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Minimum $Net = Min(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden ağırlıklar girdilerle çarpıldıktan sonra içlerinden en küçüğü Net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk $Net = \sum_{i=1}^N Sgn(X_i * W_i)$	n adet girdi içinden girdilerle ağırlıklar çarpıldıktan sonra pozitif ile negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
Kümülatif Toplam $Net = Net(eski) + \sum_{i=1}^N X_i * W_i$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır. Daha önce hücreye gelen bilgilere yeni hesaplanan girdi değerleri eklenerek hücrenin net girdisi hesaplanır.

#### 5.2.2.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirleyen fonksiyondur. Fonksiyonunun gösterimi denklem (5.2)'deki gibidir:

$$F(NE T) = \frac{1}{1+e^{-net}} \quad (5.2)$$

Bu denklemde F(NE T), proses elemanına gelen net girdi değerini gösterir. Bu değer toplama fonksiyonu kullanılarak belirlenir [34].

Aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılacak olan diğer fonksiyonlara örnekler ise Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Aktivasyon Fonksiyonu Örnekleri

Aktivasyon Fonksiyonu	Açıklama
Lineer fonksiyon $F(NE T)=NE T$	Gelen girdiler olduğu gibi hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
Step fonksiyonu $F(NE T)=\begin{cases} 1 & \text{if } NE T > e\text{şik\_değer} \\ 0 & \text{if } NE T \leq e\text{şik\_değer} \end{cases}$	Gelen net girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerlerini alır.
Sinüs fonksiyonu $F(NE T) = \text{Sin}(NE T)$	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.
Eşik değer fonksiyonu $F(NE T)=\begin{cases} 0 & \text{if } NE T \leq 0 \\ NE T & \text{if } 0 < NE T < 1 \\ 1 & \text{if } NE T \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilgilerin 0 veya 1 den büyük veya küçük olmasına göre bir değer alır. 0 ve 1 arasında değerler alır bunların dışında değerler alamaz.
Hiperbolik tanjant fonksiyonu $F(NE T) = \frac{(e^{net} + e^{-net})}{(e^{net} - e^{-net})}$	Gelen net girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır.

### 5.2.2.5. Çıktılar

Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Bu değer dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir.

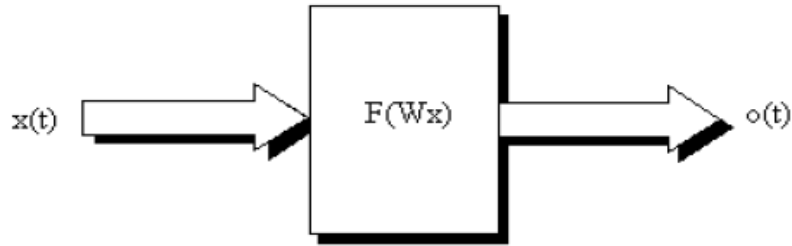
## 5.3. YSA'ların Sınıflandırılması

### 5.3.1. Bağlantı Yapılarına Göre Ağlar

YSA'larında sinirlerin birbirine bağlanma yapısına göre farklılık gösterebilmektedir. YSA'larını yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli sinir ağlar olarak sınıflandırmak mümkündür.

#### 5.3.1.1. İleri Beslemeli YSA

İleri beslemeli YSA'larında işaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilirken aynı katman içerisinde bağlantıları yoktur. Şekil 5.3'te ileri beslemeli YSA için blok diyagramı gösterilmiştir. İleri beslemeli örnek olarak çok katmanlı perseptron MLP (Multi Layer Perseptron) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir [36].

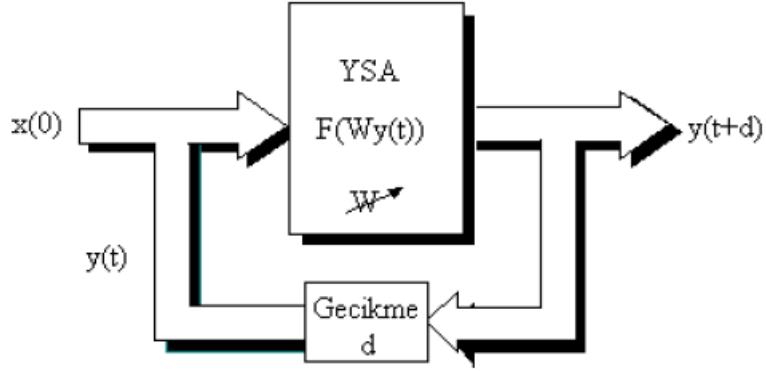


Şekil 5.3. İleri Beslemeli Ağ İçin Blok Diyagramı

#### 5.3.1.2. Geri Beslemeli YSA

Bir geri beslemeli sinir ağda, bazı nöronların çıkışları, aynı nörona veya önceki katmanlardaki nöronlara geri beslenir. Dolayısıyla, girişler hem geri, hem de ileri yol izlemiş olur. Bu sayede dinamik bir yapı kazanırlar. Şekil 5.4'te bir geri beslemeli ağ

görülmektedir. Geri Beslemeli YSA'larına örnek olarak örnek olarak Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan ağları verilebilir [36].



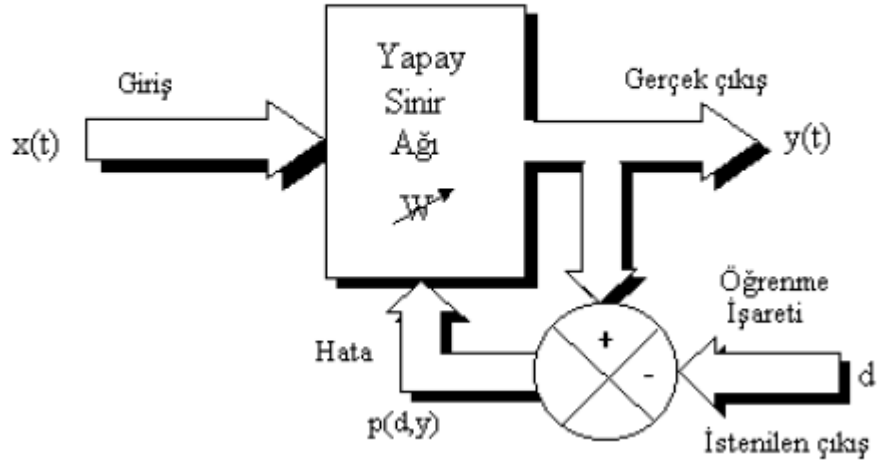
Şekil 5.4. Geri Beslemeli Ağ İçin Blok Diyagramı

### 5.3.2. Öğrenme Algoritmalarına Göre YSA

YSA'larının verilen girdilere göre çıktı üretebilmesinin yolu ağı öğrenmesidir. Bu öğrenme işleminin de birden fazla yöntemi vardır. YSA'larında öğrenme algoritmaları danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olarak üçe ayrılır.

#### 5.3.2.1. Danışmanlı Öğrenme

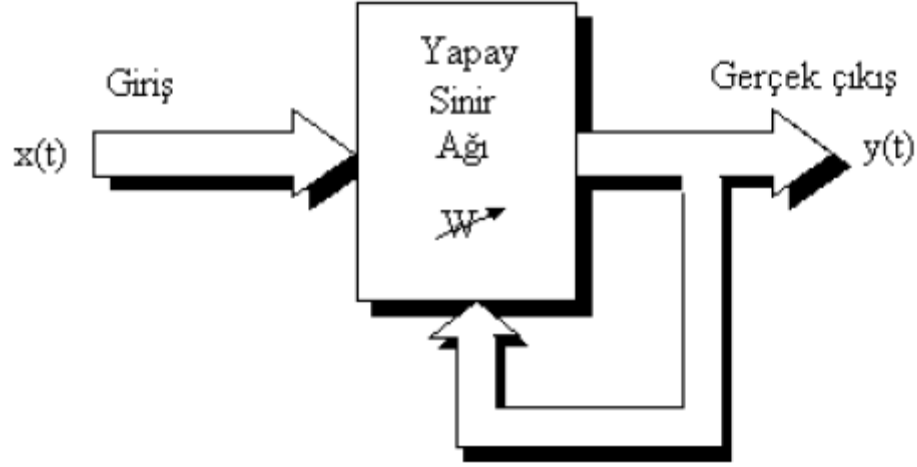
YSA'da en çok kullanılan öğrenme yöntemlerinden birisidir. Danışmanlı öğrenmede, YSA'ya örnek olarak bir doğru çıkış verilir. İstenilen ve gerçek çıktı arasındaki farka göre işlemci elemanları arası bağlantıların ağırlığını en uygun çıkışı elde etmek için sonradan düzenlenebilir. Bu sebeple danışmanlı öğrenme bir danışmana ihtiyacı duymaktadır. Şekil 5.5'te danışmanlı öğrenme yapısı gösterilmiştir. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri besleme (back propagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir [37].



Şekil 5.5. Danışmanlı Öğrenme Yapısı

### 5.3.2.2. Danışmasız Öğrenme

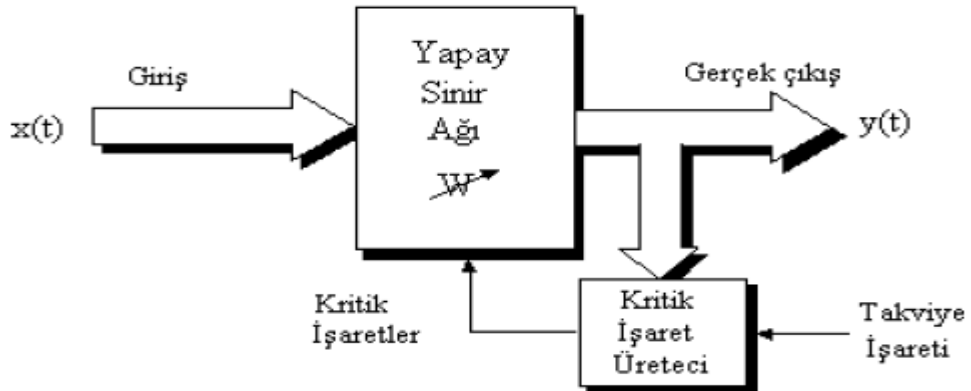
Sistemin öğrenmesine yardımcı olan herhangi bir danışman yoktur. Danışmasız öğrenme algoritmalarında, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur, öğrenme süresince sadece giriş bilgileri verilir. Yani, girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Şekil 5.6'da danışmansız öğrenme yapısı gösterilmiştir. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM öğrenme kuralı danışmansız öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir [37].



Şekil 5.6. Danışmansız Öğrenme Yapısı

### 5.3.2.3. Takviyeli Öğrenme

Bu öğrenme kuralı, danışmanlı öğrenmeye yakın bir yöntemdir. Takviyeli öğrenme, istenilen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Burada YSA'ya bir çıkış verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. Şekil 5.7'de takviyeli öğrenme yapısı gösterilmiştir. Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya Genetik Algoritmalar takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilir [37].



Şekil 5.7. Takviyeli Öğrenme Yapısı



### **5.3.3. Öğrenme Kurallarına Göre Ağlar**

YSA'larının eğitilmesinde öğrenme kuralları olarak kullanılan çok sayıda algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritmaların temelde Hebb öğrenme kuralına benzemektedir. Temel öğrenme kuralları Hebb, Hopfield, Delta ve Kohonen kurallarıdır.

#### **5.3.3.1. Hebb Öğrenme Kuralı**

Bilinen ilk ve en eski öğrenme kuralıdır. Aynı zamanda diğer öğrenme kurallarının da temelini oluşturmaktadır. Hebb öğrenme kuralına göre; aralarında doğrudan bağlantı bulunan iki nöronun birinde meydana gelen değişim diğer nöronda da değişime sebep olur yaklaşımdan hareket ederek, etkilenen nörondaki değişimi öğrenmenin temeli kabul etmiştir [38].

#### **5.3.3.2. Hopfield Öğrenme Kuralı**

Hopfield öğrenme kuralı kuralı Hebb kuralına benzer bir yapıya sahiptir fakat bazı farklılıklara sahiptir. Hebb kuralına ek olarak bağlantı ağırlıklarındaki değişimler belirtilir. Bağlantı ağırlıkları öğrenme oranı kadar artırılır veya azaltılır. Bu oran genellikle 0 ile 1 arasında kullanıcı tarafından belirlenen sabit bir pozitif değerdir. Öğrenme oranı sıfır ile bir arasında seçilir [39].

#### **5.3.3.3. Delta Öğrenme Kuralı**

Widrow ve Hoff tarafından geliştirilen bu kural, Hebb kuralını baz alarak geliştirilmiş bir öğrenme kuralıdır. Günümüzde en yaygın kullanılan öğrenme kullarından birisi olan Delta kuralı, yapay sinir hücresinin gerçek çıktısı ile beklenen çıktısı arasındaki farkı azaltmak için YSA'nın işlemci elemanları arasındaki bağlantı ağırlık değerlerinin sürekli değiştirilmesi ilkesine dayanır. Bu kuralla, gerçek çıktı ile beklenen çıktı arasındaki fark (delta) en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Kısacası, Delta kuralında amaç sinir ağının hata kareleri toplamının en aza indirilmesidir [40].

#### 5.3.3.4. Kohonen Öğrenme Kuralı

Teuvo Kohonen (1982) tarafından, biyolojik sistemlerdeki öğrenmeden esinlenilerek geliştirilmiş öğrenme kuralıdır. İstenilen çıktıya yakın değer üreten nöronların ağırlıkları artırılarak, diğer nöronların ağırlıkları azaltılarak en ideal nöron ağırlıklarını elde etmeyi amaçlayan öğrenme kuralıdır [39].

#### 5.3.4. Katman Sayılarına Göre YSA

YSA, yapay sinir hücresinin oluşturduğu bir yapıdır. Yapay sinir hücresinin oluşturduğu öbeğe katman denir. YSA, eğer tek bir katmandan oluşuyor ise tek katmanlı YSA, birden fazla katmandan oluşuyor ise çok katmanlı YSA olarak adlandırılmaktadır [40].

#### 5.4. YSA'ların Genel Özellikleri

YSA'larının ortak özellikleri aşağıdaki gibidir:

**Doğrusal Olmama:** YSA'ların en önemli özelliklerinden birisi olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan en önemli araç olmuştur.

**Öğrenme:** YSA eğitilme veya başlangıç tecrübesi sayesinde veriyi kullanarak öğrenme yeteneğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde geleneksel yöntemler ile çözülemeyen çok karmaşık problemlere çözümlenmesine imkan tanıyabilmektedir [34].

**Genelleme:** YSA, öğrenme yetenekleri sayesinde bilinen örnekler üzerinde öğrenerek, karşılaşılmamış durumlarla ilgili genelleme yapabilmektedir. Kullanılan yöntemlerin çoğu, eksik veya gürültülü bilgi ile çalışmamaktadır. Fakat YSA bu gibi durumlarda örnekleri değerlendirip arzu edilen tepkileri üretebilir [34].

**Uyarlanabilirlik:** YSA'da ağırlıkların yeniden yapılandırılabilir olması belirli bir problemi çözmek için eğitilen YSA'nın, problemdeki değişikliklere göre yeniden eğitilebilmesi ve farklı koşullara uyarlanabilmesini sağlamaktadır. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır [41].

## **5.5. YSA'larının Avantaj ve Dezavantajları**

YSA'larının kullanımından doğan çeşitli avantajlar ve dezavantajlar söz konusu olabilmektedir. YSA'nın söz konusu özelliklerinin farkında olunması, bu yöntemden elde edilecek faydayı artıracaktır.

### **5.5.1. Avantajları**

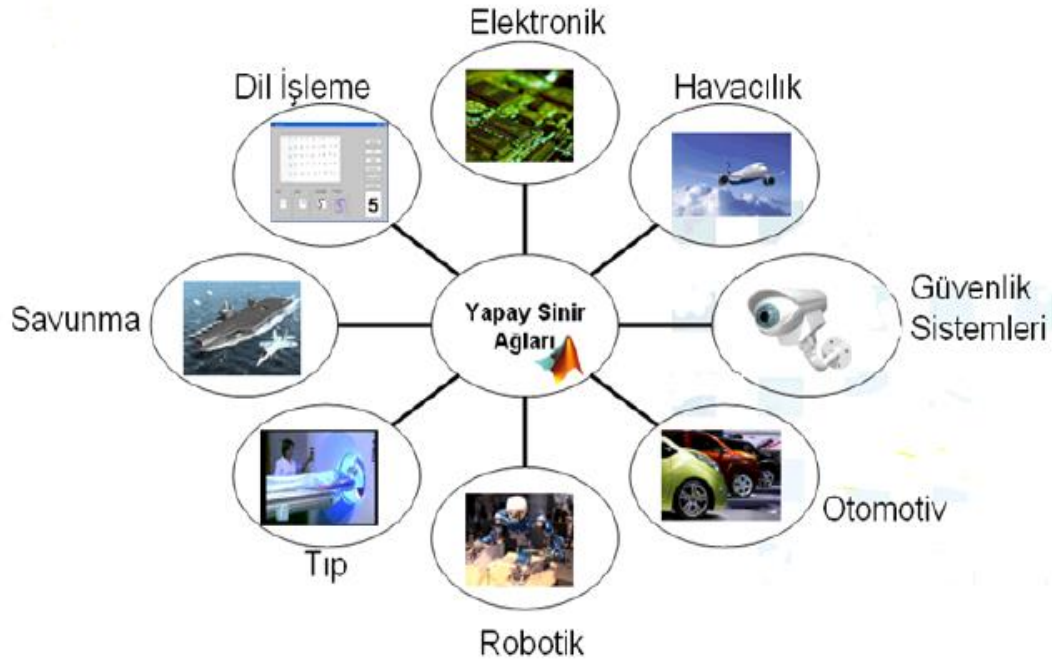
- Eğitilebilirler.
- Adaptiftirler.
- Kendi kendine organize olabilen yapılardır.
- Algılamaya yönelik uygulamalarda kullanılabilirler [42].
- -Elindeki verilere bağlı olarak öğrenirler.
- Örüntü sınıflandırması yapabilirler.
- Hata toleransına sahiptirler.
- Çağrışımli bellekleri sayesinde eksik bilgi ile de çalışabilirler [42].
- Örüntü tamamlama yapabilirler.

### **5.5.2. Dezavantajları**

- Probleme uygun ağ yapısı deneme – yanılma yöntemiyle belirlenir.
- YSA sayısal değerlerle çalıştığı için girişlerin sayısal verilere çevrilmesi gerekmektedir.
- Uygun dönüşüm yapılmadığı takdirde kabul edilebilir sonuçlar elde edilmesi mümkün olmayabilir [42].
- Eğitime işleminin ne zaman sonlandırılacağına dair belli bir kural yoktur.

## 5.6. YSA'larının Kullanım Alanları

YSA'larının geniş kullanım alanına sahiptir. YSA'nın ile ilgili yapılan araştırmalar ve çalışmalar sayesinde özellikle son yıllarda birçok alanda kullanılabilir hale gelmiş ve farklı YSA'larının uygulaması duyulmaktadır. Kullandığımız birçok alanda YSA'larının uygulamalarını görebiliriz. Bunlardan bazıları Şekil 5.8'de görülmektedir [37].



Şekil 5.8. YSA'larının Uygulama Alanları

YSA'larının kullanıldığı alanlar aşağıda listelenmiştir.

**Sınıflandırma:** Sinir ağından bir örnek geçirilir. Buna karşılık çıkış olarak bir örnek sınıfı belirtilir.

**Örnek Tamamlama:** Eksik bir örnek ağı girildiğinde örneğin eksik kalan kısımları ağı tarafından tamamlanır ve tam örnek çıktı olarak alınır.

**Optimizasyon:** Ağı bir optimizasyon problemi girilir ve ilk değerleri ifade eden örnek kümesinin girilmesinden sonra çözüme ilişkin değişkenler kümesi çıktı olarak alınır.

**Örnek Eşleştirme:** Ağa girilen örneğin tipine en uygun örnek tipi belirlenir.

**Yapay Zeka:** Ses ve görüntü tanımlama gibi alanlarda kullanılabilir.

**Gürültü Uzaklaştırma:** Gürültülü bir veri ağa girildiğinde gereksiz veriler elenir ve yeni bir veri kümesi elde edilir.

**Finansman ve Yatırım:** Kredi analizi, sigorta riskleri, opsiyon ve gelecek trend, stok yatırım analizleri gibi olayların modellenmesinde kullanılır.

**Üretim:** Kalite kontrol ve analizler ile model kurma ve geliştirme ve mevcut otomasyon sistemini geliştirme mümkündür.

**Kontrol:** Girdiye göre üretilen sonuçlar ile mevcut duruma ait sonuçlar arasında karşılaştırma yapılır.

**Tıp:** Hastalık nedenlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması, genetik ve kan örnekleme haritalarının oluşturulması gibi işlemlerde kullanılmaktadır.

**Bilim ve Mühendislik:** Karmaşık modellerin kurulması, doğrusal olmayan modeller, çok değişkenli eğri uyumları, iklim modellemesi gibi konularda uygulamalar yer almaktadır. Geleneksel istatistik ve regresyon testlerinin yetersiz kaldığı birçok konuda kullanılabilir.

## **6. YAPAY SİNİR AĞI KULLANARAK ELEKTRİK ÜRETİM TAHMİNİ**

Bu bölümde çalışmanın amacı, uygulamada kullanılacak veriler, uygulama aşamasında gerçekleşen temel adımlar (YSA'nın tasarlanması, eğitilmesi ve test edilmesi) ve YSA ile yapılan tahmin çalışmaları sonuçları incelenmiş olup kullanılan farklı tip rüzgar türbinlerinden elde edilen rüzgar enerjisi miktarları hesaplanmıştır.

### **6.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmanın amacı; rüzgar hızı verileri ile bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin YSA modeli geliştirilerek tahmin edilmesidir. Çalışmada uygulanacak model YSA'nın Matlab (R2014A Sürümü) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada belirtilen amaç çerçevesinde rüzgar hızı verilerinden yararlanacağımız bölge olarak Aydın ilinin Çine ilçesinin Turguttepe mevkiisi seçilmiş olup 90 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada YSA çıktı verileri olarak kullanılacak rüzgar türbinleri Gamesa G97, Suzlon S.88, Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82 ve Vestas V117 tipi rüzgar türbinleri seçilmiştir. YSA çıktı verileri olarak kullanılacak bu türbinler günümüzde en çok kullanılan ve verimlilik bakımından oldukça yüksek olan rüzgar türbinleridir.

### **6.2. Çalışmada Kullanılacak Veriler**

#### **6.2.1. Rüzgar Hızı Verileri**

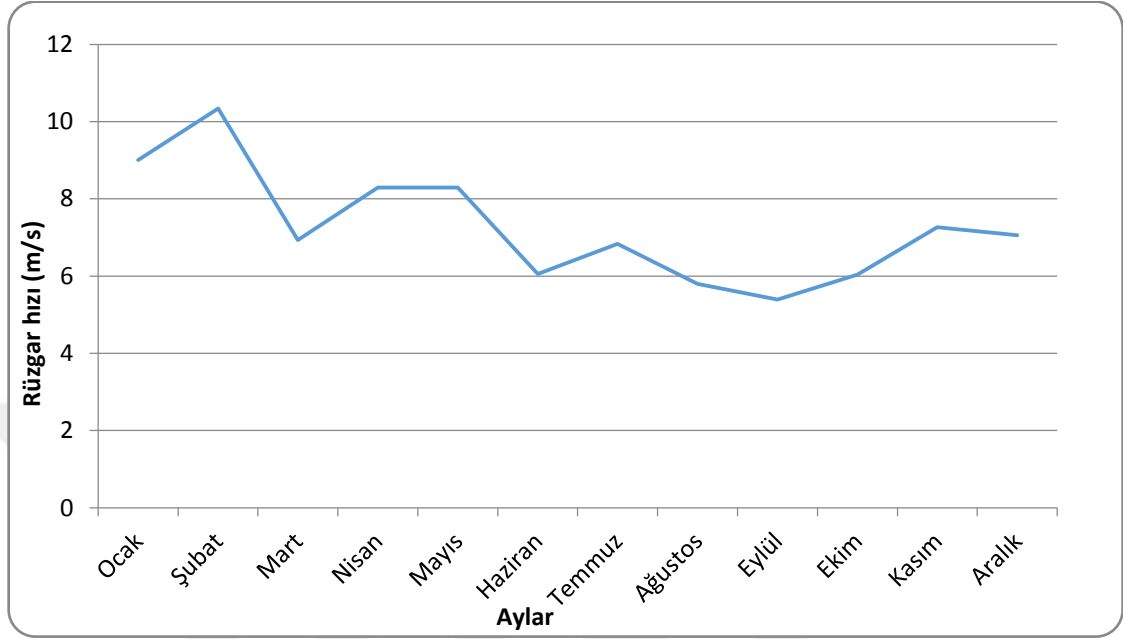
Bir bölgenin rüzgar potansiyeli, o bölgede kurulan rüzgar ölçüm istasyonunda kaydedilen verilerle belirlenmektedir. Rüzgar ölçüm istasyonundan alınan veriler bir yılın altına düşmemelidir. Rüzgar hızı verilerinin doğruluğu, seçilecek türbin gücünü ve üretilen enerji miktarını doğrudan etkilemektedir.

Çalışmada kullanılacak rüzgar hızı verileri kullanılacak bölge olarak Aydın ilinin Çine ilçesinin Turguttepe mevkiisi seçilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan rüzgar hızı verileri 2015 yılına ait olup DMİ ve bölgede kurulu olan rüzgar ölçüm direklerinden elde

edilen verilerle sağlanmıştır. 90 m yükseklikte ölçülen ve 12 ay süre ile 10 dakikalık ortalama hız aralıklarından alınarak günlük ortalama rüzgar hızı verileri oluşturulmuştur. Tablo 6.1’de Turguttepe mevkiine ait günlük rüzgar hızları verilmiştir.

**Tablo 6.1.** Aylara Göre Günlük Ortalama Rüzgar Hızı Verileri (m/s)

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



**Şekil 6.1.** 2015 Yılı Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızı Grafiği

Bölgede hakim rüzgar yönü Doğu, mevsimsel değişimlere bağlı olarak ikincil derece hakim rüzgar yönü batı-Kuzeybatıdır. Rüzgarın estiği yönünün bilinmesi türbinlerin yerleştirilmesinde önemli bir yer tutar. Böylece birden fazla türbine sahip olan rüzgar türbinleri birbirlerini rüzgar yönünden gölgelememiş olurlar. Rüzgarın çoğu zaman aynı yönden esmesi ise elde edilen enerjiyi artırır. Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi 90 m yükseklik için Ocak ve Şubat ayları rüzgarın en şiddetli estiği aylardır. Bu aylarda rüzgar ortalaması 9-10 m/s hızdadır. Buna karşılık, rüzgarın en yavaş estiği aylar ise Ağustos ve Eylül aylarıdır. Bu aylarda ise rüzgar ortalama 5 m/s hızla esmiştir.

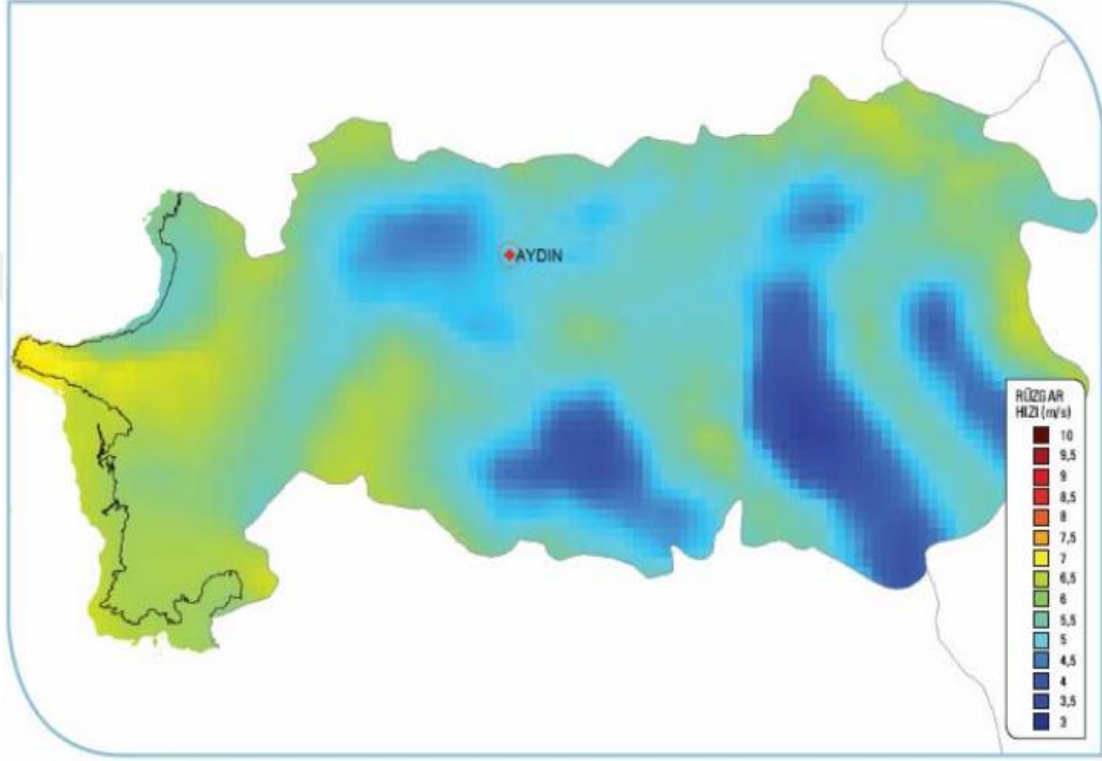
#### **6.2.2. Çalışma Bölgesine Ait Analizler (Rüzgar Enerjisi Potansiyel Haritaları)**

Tez çalışmasının 4.2.2. no’lu bölümünde bahsedildiği üzere Türkiye geneli bütün illerin REPA’sı çıkarılmış ve 50 metre yükseklikte ortalama rüzgar hızları, kapasite faktörleri, RES için kullanılamaz alanlar, trafo merkezlerine ve enerji nakil hatlarına yakınlık gibi hususlar haritalara aktarılmıştır.

Bu kısımda Aydın için EİE tarafından hazırlanan REPA’da RES’in ekonomik ve karlı bir yatırım olabilmesi için rüzgar hızının 7 m/sn. veya üzerinde bir hıza sahip olması

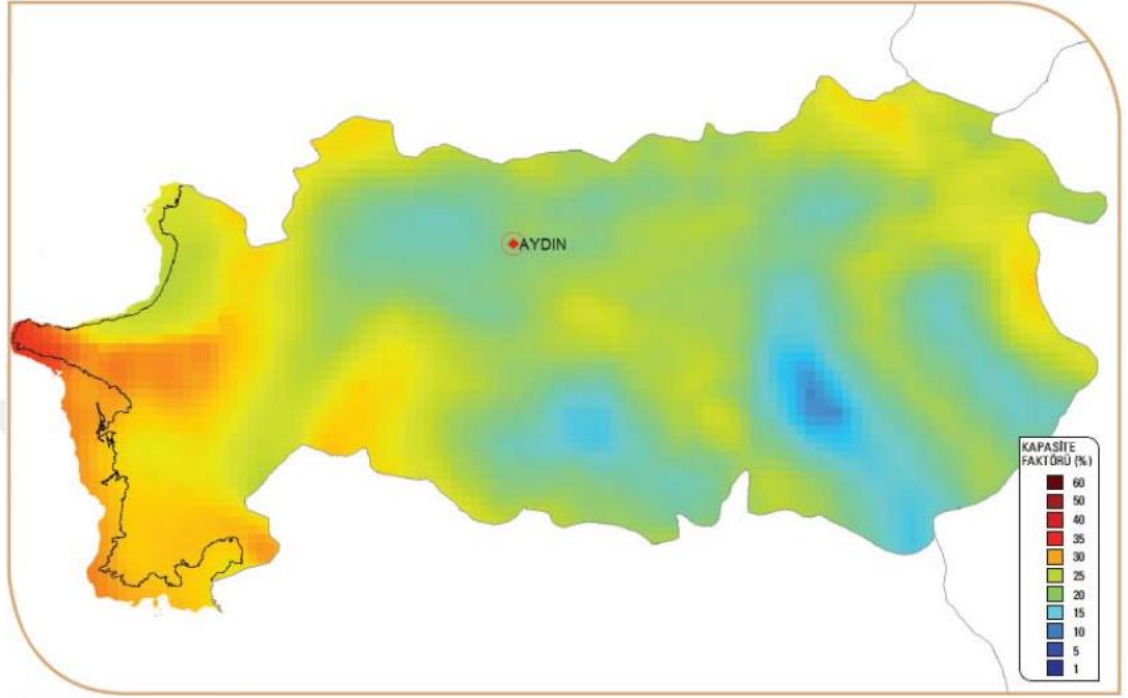


gerektiği belirtilmektedir. Şekil 6.2’de rüzgar hızı 7 m/sn.’nin üstünde olan bölgeler sarı-kırmızı renkleri ile gösterilmiştir.



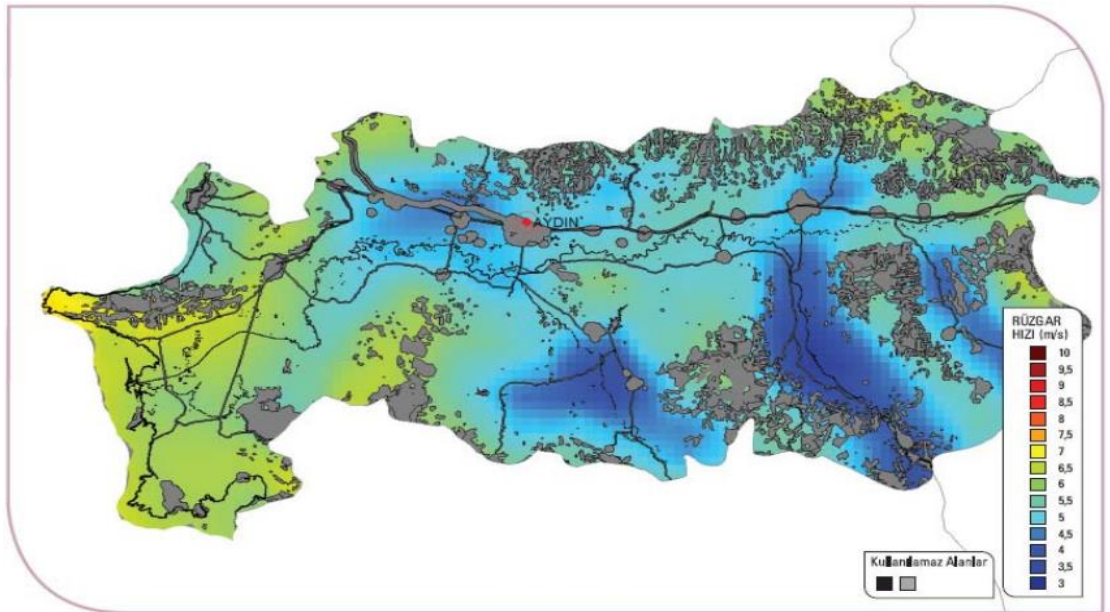
Şekil 6.2. Rüzgar Hız Dağılımı (50 metre) [43]

Bir rüzgar türbininin rüzgardaki enerjiyi elektriğe dönüştürebilme oranına **kapasite faktörü** denir. Yani yıllık üretilen enerji üretim miktarının türbin tarafından nominal güçte yılda üretilecek teorik enerji miktarına oranı olarak tanımlanmasıdır. Rüzgar santrallerinin ekonomik olarak anlamlı olabilmesi için kapasite faktörü o bölge için hesaplanan değerin %35 ve üzeri olması gerekmektedir. Aydın’a ait rüzgar kapasite faktörü dağılımı Şekil 6.3’te gösterilmiştir. Şekil 6.3 incelendiğinde rüzgar santrali yatırımı için uygun olan bölgelerin (turuncu ve kırmızı olarak belirtilen alanlar) Aydın ilinin batı kısımlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Doğu kısımların (yeşil ve mavi olarak belirtilen alanlar) ise RES yatırımı için nispeten daha az uygun olduğu anlaşılmaktadır.



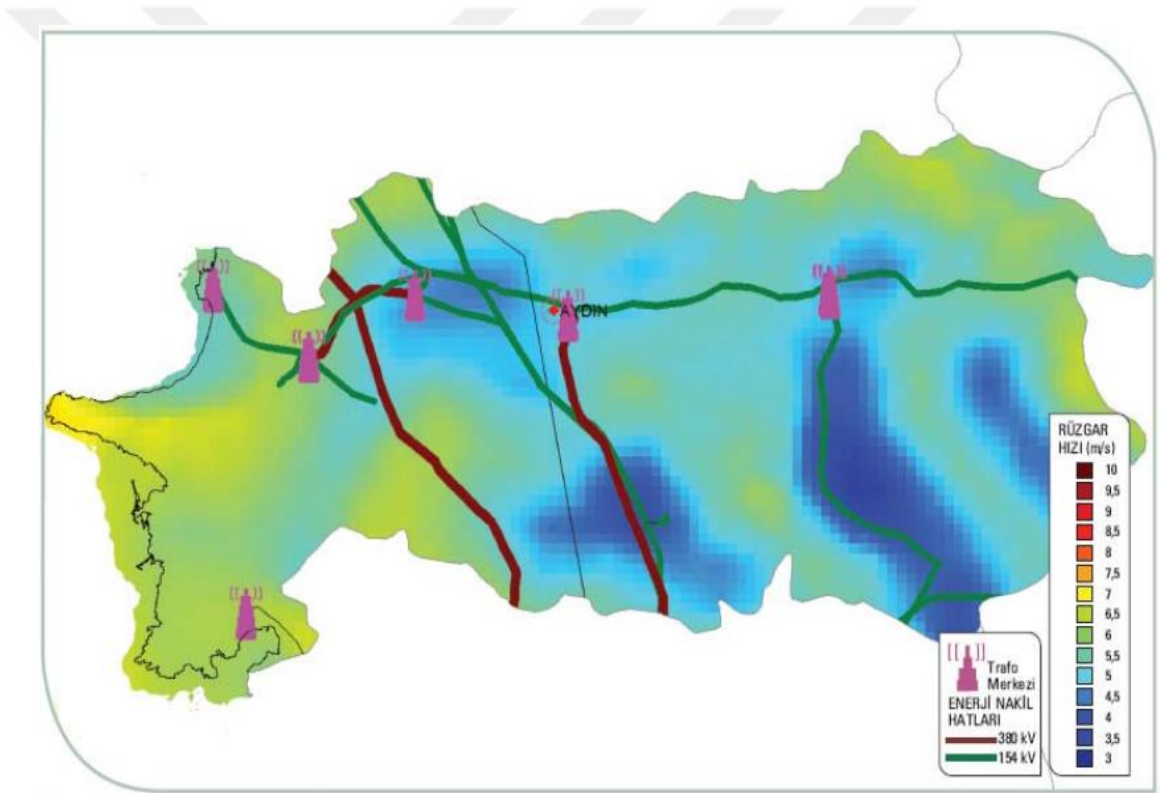
Şekil 6.3. Kapasite Faktörü Dağılımı (50 metre) [43]

Aydın'da RES yatırımları için ekonomik olmayan kısımlar (gri renkli) ise Şekil 6.4'te gösterilmektedir.



Şekil 6.4. RES İçin Uygun Olmayan Bölgeler [43]

RES yatırımlarında dikkate alınması gereken diğer husus da enerji nakil hatlarına ve trafolarla olan uzaklıktır. Santrallerin yapılması planlanan bölgelerde nakil hatlarının bulunmaması veya trafoların yetersiz olması halinde yatırım maliyetlerinde artış kaçınılmaz olacaktır. Bununla birlikte enerji iletimi sırasındaki kayıpları da dikkate aldığımızda rüzgar santralının enerji nakil hatlarına ve trafolarla yakın olması büyük önem taşımaktadır. Aydın’da bulunan trafo merkezleri ve enerji nakil hatları Şekil 6.5’te gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Enerji Nakil Hatları ve Trafo Merkezleri [43]

Söz konusu veriler değerlendirildiğinde Aydın ilinde kurulabilecek rüzgar enerji santrallerinin güç kapasitesini tahmini olarak 2.523 MW olduğu belirlenmiştir. Elektrik enerjisi üretiminin büyük bir kısmının 50 metre yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızının 6.8-7.5 m/s olduğu 458,46 km<sup>2</sup>’lik alanda yapılabileceği düşünülmektedir.

**Tablo 6.2.** Aydın'a Kurulabilecek RES Güç Kapasitesi [43]

50 m'de Rüzgar Gücü (W/m <sup>2</sup> )	50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 – 400	6.8 – 7.5	458,46	2.292,32
400 – 500	7.5 – 8.1	46,29	231,44
500 – 600	8.1 – 8.6	0,00	0,00
600 – 800	8.6 - 9.5	0,00	0,00
> 800	> 9.5	0,00	0,00
		<b>504,75</b>	<b>2.523,76</b>

### 6.2.3. Çalışmada Kullanılan Rüzgar Türbinleri

Bu çalışmada YSA ile rüzgar enerji üretim tahmini yapılırken Türkiye'de ve Dünyada en çok kullanılan altı farklı üreticiye ait rüzgar türbin modelleri seçilmiştir. Nominal güçleri farklı olan altı adet rüzgar türbinlerinin ortak yönü kule yüksekliklerinin 90 m olmasıdır. Bu sayede rüzgar türbinlerinden YSA ile enerji üretim tahmini yapılırken 90 m yükseklikte ölçülmüş olan rüzgar hızları kullanılmıştır.

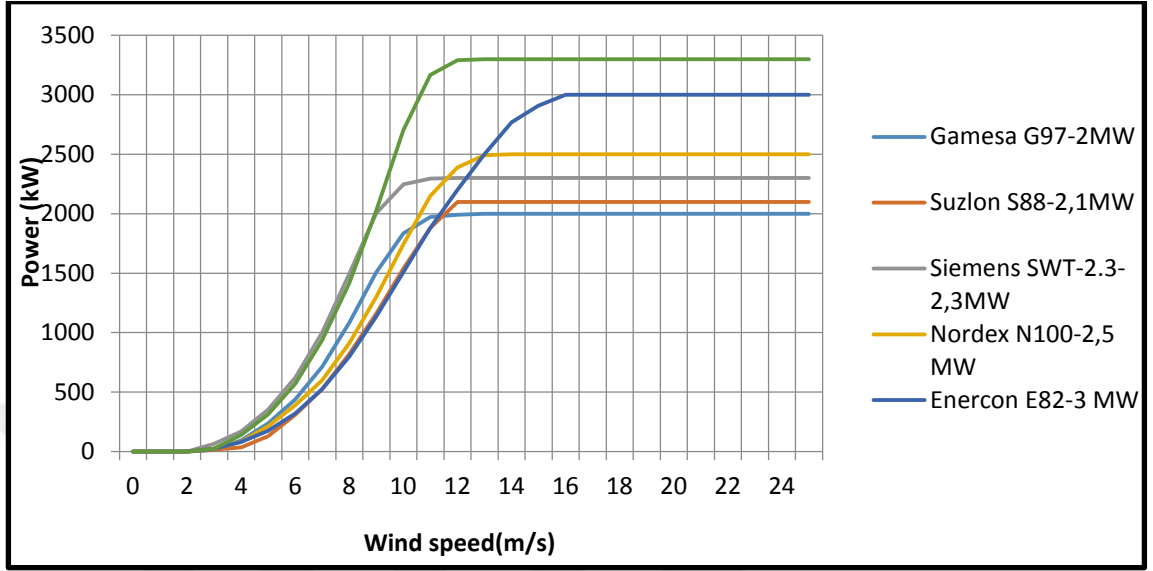
Çalışma YSA ile rüzgar enerji üretim tahmini yapılırken kullanılacak olan rüzgar türbinleri Gamesa G97, Suzlon S.88, Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Vestas V117'dir. Seçilen rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri Tablo 6.3'te gösterilmektedir. Altı adet rüzgar türbininin 0-25 m/s arası rüzgar hızına göre ürettiği enerji miktarı ve güç eğrileri Tablo 6.4 ve Şekil 6.6'da gösterilmiştir.

**Tablo 6.3.** Seçilen Rüzgar Türbinlerine Ait Teknik Bilgiler

RÜZGAR TÜRBİNLERİNE AİT TEKNİK BİLGİLER						
Özellikler/Türbinler	G-97	S-88	SWT-2.3	N-100	E-82	V-117
Model	Gamesa	Suzlon	Siemens	Nordex	Enercon	Vestas
Türbin gücü (kW)	2000	2100	2300	2500	3000	3300
Cut-in rüzgar hızı(m/s)	3	3	3	3	3	3
Cut-off rüzgar hızı(m/s)	25	25	25	25	25	25
Kanat sayısı	3	3	3	3	3	3
Rotor (kanat) çapı (m)	97	88	113	100	82	117
Rotor Süpürme Alanı(m <sup>2</sup> )	7390	6082	10000	7823	5281	10751
Şebeke Gerilimi (V)	690	690	690	660	690	690
Şebeke Frekansı (Hz)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60

**Tablo 6.4.** Rüzgar Türbinlerinin Rüzgar Hızına Göre Ürettiği Güç Miktarı (kW)

Rüzgar Hızı (m/s)	Gamesa G97	Suzlon S.88	Siemens SWT2.3	Nordex N100	Enercon E82	Vestas V117
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	14	15	66	24	25	24
4	94	35	171	84	82	139
5	236	130	352	212	174	312
6	438	310	623	391	321	570
7	714	525	1002	599	525	936
8	1084	820	1497	912	800	1419
9	1508	1160	2005	1299	1135	2027
10	1836	1540	2246	1744	1510	2705
11	1973	1880	2296	2149	1880	3168
12	1992	2100	2300	2389	2200	3292
13	1998	2100	2300	2492	2500	3300
14	2000	2100	2300	2500	2770	3300
15	2000	2100	2300	2500	2910	3300
16	2000	2100	2300	2500	3000	3300
17	2000	2100	2300	2500	3000	3300
18	2000	2100	2300	2500	3000	3300
19	2000	2100	2300	2500	3000	3300
20	2000	2100	2300	2500	3000	3300
21	2000	2100	2300	2500	3000	3300
22	2000	2100	2300	2500	3000	3300
23	2000	2100	2300	2500	3000	3300
24	2000	2100	2300	2500	3000	3300
25	2000	2100	2300	2500	3000	3300



Şekil 6.6. Seçilen Rüzgar Türbinleri İçin Güç Eğrileri

### 6.3. Verilerin Normalizasyonu

YSA modelinin ağ giriş ve çıkışlarına belirli ön işlem adımları uygulayarak YSA'ya sunulan verilerin eğitimi daha verimli hale getirilebilir. Normalizasyon da bu ön işlemlerden en önemlisidir. Normalizasyondaki amaç değerler arasındaki çok farklı durumları ortadan kaldırarak değerleri mümkün olduğu kadar sınırlı aralığa getirmektir. Böylece her işlem elemanı kendisine verilen yerel veriye göre kendisini ayarlayacak bütün YSA'nın enformasyon bölgesini öğrenmesi sağlanmış olacaktır. Normalize edilen veri seti ile bir ağı eğitmek hem ağın eğitim süresini kısaltacak hemde ağın verimini artıracaktır. Literatürde birçok veri normalizasyon çeşidi vardır. Bunlar; Min kuralı, Max kuralı, Medyan, Sigmoid ve Z-Score gibi kurallar olarak sıralanabilir [44].

Bu çalışmada Min–Max normalizasyon yöntemi kullanılmış ve veriler [0,1] arasında Eşitlik (6.1) yardımıyla ölçeklendirilmiştir. Tablo 6.5'te rüzgar hızı verilerinin normalizasyon edilmiş formatından bir kesit görülmektedir. Ek-2'de bulunan tabloda ise kullanılan tüm rüzgar hızı ve türbin çıkış gücü verilerinin normalize edilmiş hali bulunmaktadır.

$$X_n = \frac{(X_{\text{gerçek}} - X_{\text{min}})}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} \quad (6.1)$$

$X_n$  : Normalize edilen veriyi,

$x_{\text{min}}$  : Normalize edilecek verinin en küçük değerini,

$x_{\text{max}}$  : Normalize olacak verinin en büyük değerini,

ifade etmektedir.

**Tablo 6.5.** Rüzgar Hızı Normalizasyon Değerleri

Günler	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0,163158	0,115789	0,078947	0,242105	0,200000	0,278947
2	0,415789	0,126316	0,131579	0,094737	0,305263	0,300000
3	0,578947	0,121053	0,078947	0,026316	0,147368	0,668421
4	0,326316	0,147368	0,184211	0,126316	0,042105	0,563158
5	0,168421	0,084211	0,136842	0,047368	0,021053	0,152632
6	0,315789	0,221053	0,284211	0,142105	0,031579	0,263158
7	0,200000	0,084211	0,157895	0,257895	0,073684	0,236842
8	0,121053	0,036842	0,142105	0,068421	0,310526	0,089474
9	0,115789	0,047368	0,268421	0,126316	0,657895	0,084211
10	0,121053	0,057895	0,042105	0,168421	0,278947	0,036842
11	0,442105	0,057895	0,131579	0,321053	0,384211	0,047368
12	0,421053	0,136842	0,226316	0,421053	0,268421	0,226316
13	0,415789	0,163158	0,368421	0,142105	0,194737	0,500000
14	0,163158	0,078947	0,136842	0,142105	0,094737	0,268421
15	0,436842	0,173684	0,142105	0,063158	0,042105	0,073684
16	0,410526	0,047368	0,200000	0,068421	0,336842	0,089474
17	0,431579	0,100000	0,300000	0,031579	0,500000	0,231579
18	0,347368	0,168421	0,136842	0,210526	0,231579	0,005263
19	0,194737	0,152632	0,131579	0,131579	0,231579	0,078947
20	0,163158	0,110526	0,152632	0,231579	0,242105	0,131579
21	0,263158	0,210526	0,221053	0,257895	0,515789	0,236842
22	0,242105	0,178947	0,184211	0,315789	0,573684	0,257895
23	0,157895	0,363158	0,347368	0,415789	0,210526	0,505263
24	0,115789	0,415789	0,257895	0,389474	0,000000	0,305263
25	0,068421	0,431579	0,021053	0,247368	0,415789	0,052632
26	0,126316	0,294737	0,063158	0,352632	0,605263	0,442105
27	0,215789	0,178947	0,089474	0,478947	0,463158	0,036842
28	0,115789	0,352632	0,042105	0,531579	0,694737	0,015789
29	0,131579	0,521053	0,136842	0,147368	0,073684	0,152632
30	0,168421	0,573684	0,405263	0,052632	0,384211	0,778947
31	0,163158			0,178947		0,984211

#### 6.4. YSA ile Modelleme

Uygulamada rüzgar enerjisi üretim değerini en doğru şekilde tahmin edebilmek için öncelikle en uygun YSA modelinin ve mimarisinin nasıl olacağını belirlemek gerekir. Ayrıca oluşturulan YSA'nın katman sayısı, katmanlardaki nöron (hücre) sayısı, aktivasyon fonksiyonu, öğrenme kuralı da ağı tasarımı için önemli parametrelerdir.

Bu çalışmada YSA modeli tasarımı ve eğitimi için Matlab nntool arayüzü kullanılarak analizler yapılmaya çalışıldı. Rüzgar enerjisi üretim tahmini yapmak için, YSA'da en çok kullanılan yöntemlerinden birisi olan ileri beslemeli geri yayılım (feed-forward backprop) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın tercih edilmesinin sebebi, tahmin çalışmalarında en çok kullanılan model olması ve hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modellerdeki tahminlerde başarılı olmasıdır. Ayrıca kullanım kolaylığı ve yakınsama hızı da bu ağı modelinin seçilmesindeki etkenlerden birisidir. Çalışmada YSA giriş parametresi olarak 0'dan 25'e kadar rüzgar hızları, çıkış parametresi olarak ise altı adet rüzgar türbininin üretim güçleri (Gamesa G97-2MW, Suzlon S.88-2100, Siemens SWT-2.3-113, N100-2,5 MW, E82-3 MW, V117-3,3 MW) eğitim aşamasında kullanılmıştır. Turguttepe'ye ait 2015 yılı rüzgar hızı verileri ise test aşamasında kullanılmıştır.

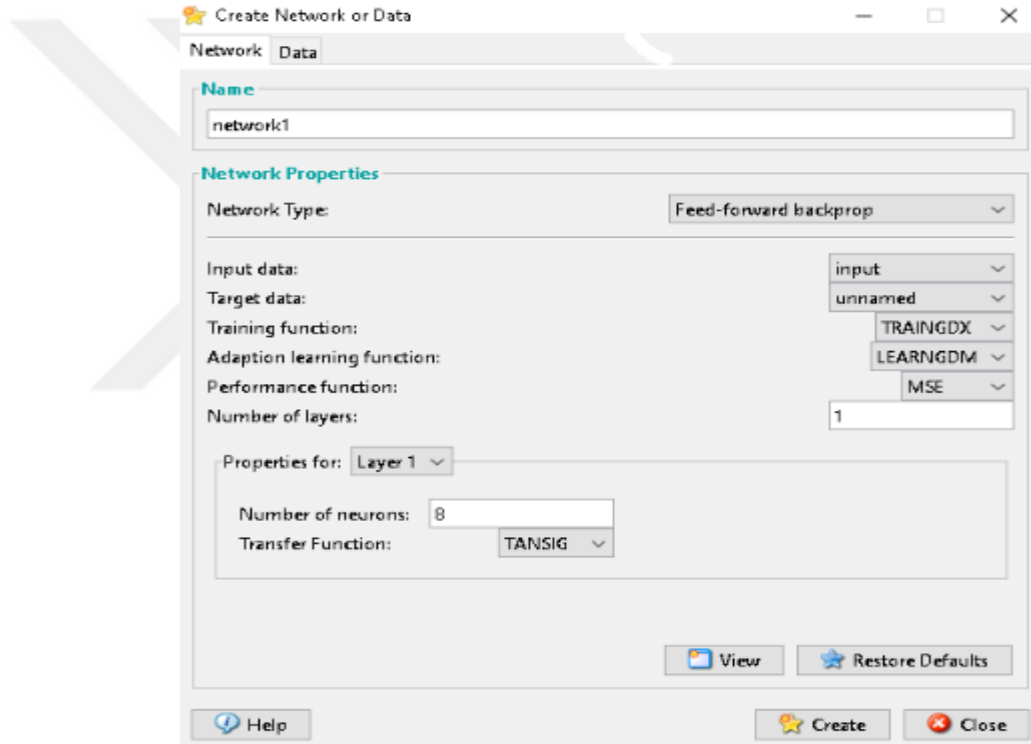
Oluşturulan veri setlerinin eğitilmesi amacıyla traingdx (Variable Learning Rate Backpropagation) eğitim algoritması, learngdm öğrenme fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) kullanılarak YSA modeli dizayn edilmiştir. Performans fonksiyonu olarakta ortalama karesel hata (mean square error) (MSE) kullanılmıştır.

Tahmin için geliştirilen ağı yapısı, öğrenme yöntemi, katman sayıları, katman nöron sayıları, kullanılan aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonu ve ağı topolojisi Tablo 6.6'da ve Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Tablo 6.6. YSA Özellikleri

Parametreler	Değerler
Ağ Tipi	Feed Forward Backprop
Eğitim Fonksiyonu:	Traingdx
Öğrenme Fonksiyonu	Learnngdm
Aktivasyon Fonksiyonu	Tansig
Performans Fonksiyonu	MSE
Momentum Katsayısı	0,9
Öğrenme Katsayısı	0,01

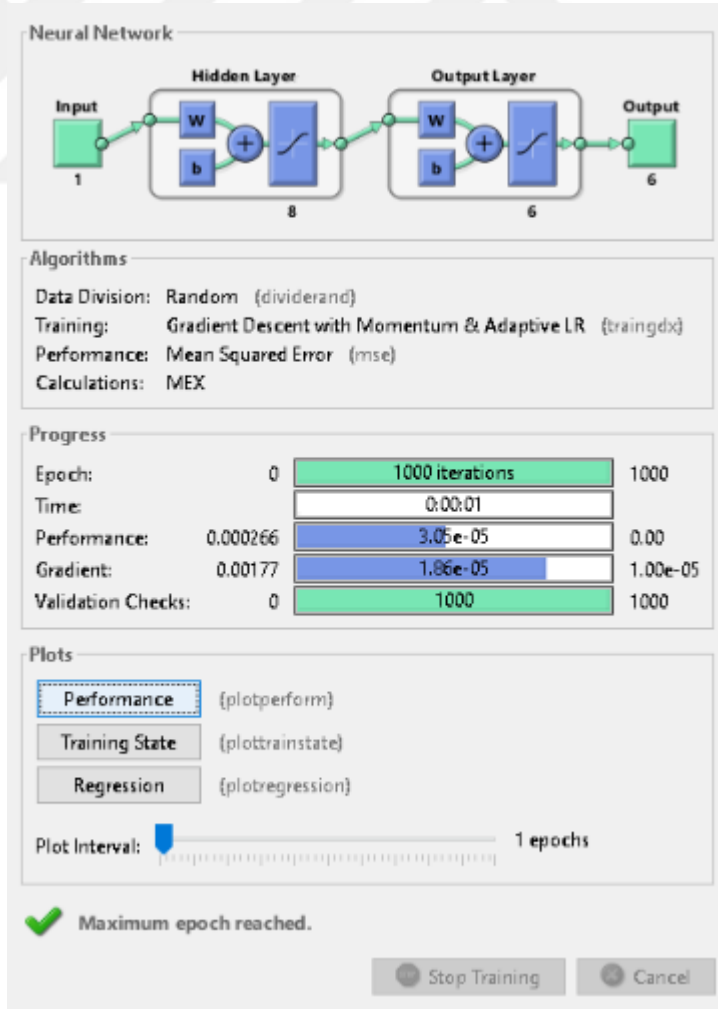


Şekil 6.7. MATLAB YSA Ait Parametreleri Ara Yüzü

Matlab programında veriler exceldeki gibi matris formatında satır ve sütunlardan oluşan yapıda saklanmaktadır. Excel programında hazır olan verileri Matlab programına aktarırken veri matrisinin transpoznesinin alınması gerekmektedir. Bu işlemi excel programında kopyalanan veriyi özel yapıdırma seçeneklerinden işlemi tersine çevir kutucuğu işaretlenerek verilerin satır ve sütunlarının yer değiştirmesi sağlanır. Bu işlemden sonra veriler her bir satırı bir girdi nöronuna karşılık gelmek üzere Matlab programına aktarılır. Girdi katmanı ve nöron sayısı Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

Oluşturulan modelde 1 adet giriş (input), 8 adet gizli katman (hidden layer) ve 6 çıkış katmanı (output layer) üzerinden 6 adet çıkış alınmaktadır.

Yapılan eğitimde durma kriteri olarak “1000” iterasyon, “0” hata  $1e-5$  gradient değeri ve “1000” doğrulama (validation) hata sayısı kullanılmıştır. Eğitimi 1 s sürede 1000 iterasyona ulaşılarak durmuştur. Dividerand fonksiyonu ise eğitim verilerini randomize şekilde %70, %15 ve %15 olarak kendi içinde eğitim, doğrulama ve test olarak ayırmıştır. Kullanılan Matlab YSA arayüzü ve eğitim verileri toplu olarak Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

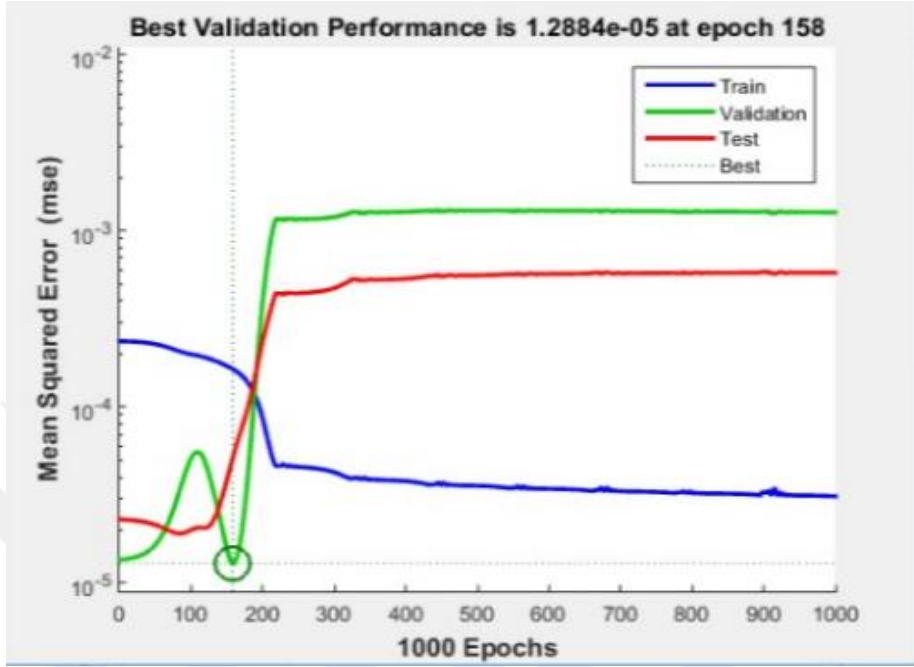


Şekil 6.8. Kullanılan Matlab YSA Arayüzü ve Eğitim Parametreleri

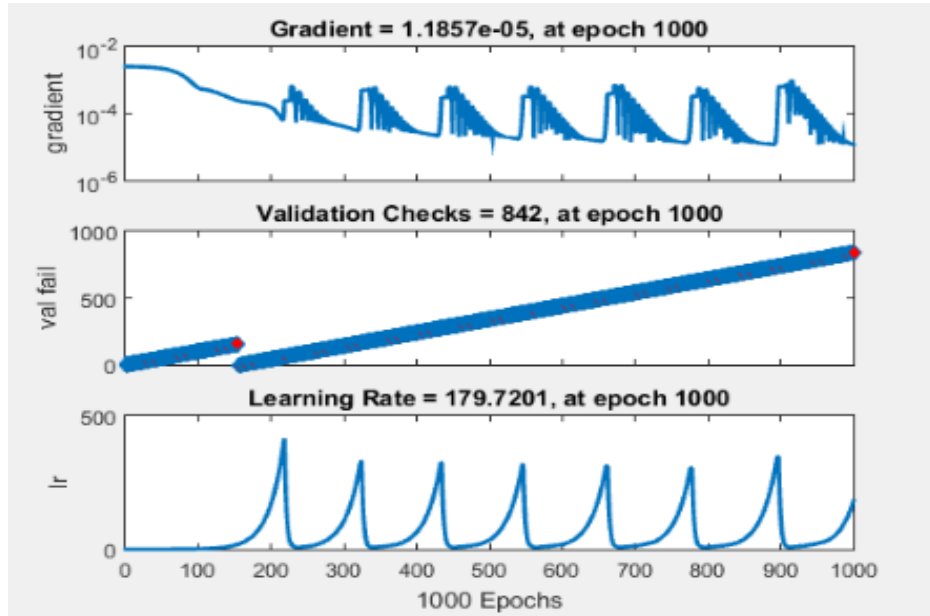
## 6.5. Modelin Eğitimi ve Testi

Rüzgar enerjisi potansiyeli tahmini için yapmak için YSA modelini oluşturduktan sonra modelin eğitimi ve testi sürecine geçilmiştir. YSA modelinde tahmin modeli için performans fonksiyonu olarak hata kareleri ortalaması (MSE) kullanılmıştır. Bu aşamada eğitim seti ağa sunulmakta ve buradaki amaç en küçük hata düzeyine ulaşmaya çalışılmaktadır. Ağın eğitimi için öğrenim oranı 0,01 ve momentum değerleri 0,9 olarak alınmıştır. Bu değerlerin seçimi için farklı başlangıç değerleri ile denemeler yapılmış ve sonunda bu değerlerde karar kılınmıştır. En iyi performansı veren ağırlık değerlerinin seçiminde eğitim sonunda elde edilen doğrulama setinin hata değerleri kullanılmıştır. Test aşamasında ise önce eğitim aşamasında verilen değerlerin tamamı tekrar ağa sunulur. Böylelikle sinaptik ağırlıklar matrisi ve girdi değerleri ağa sunulur ve programın en az hata payı ile tahmin yapması amaçlanmıştır. Test aşamasında algoritmanın gerçek sonuçlara yaklaşıp yaklaşmadığı denetlenir.

Oluşturulan YSA modeli 1000 iterasyon yapılarak program tarafından eğitilmiş ve bu eğitime ilişkin sonuçlar Şekil 6.9'da, gradyent değeri, doğrulama hatası ve öğrenme oranı değişimleri ise Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Oluşturulan YSA modelinin iterasyona bağlı hata değişim grafiği incelendiğinde en düşük hata değerinin 158. iterasyonda olduğu gözlemlenmiştir.

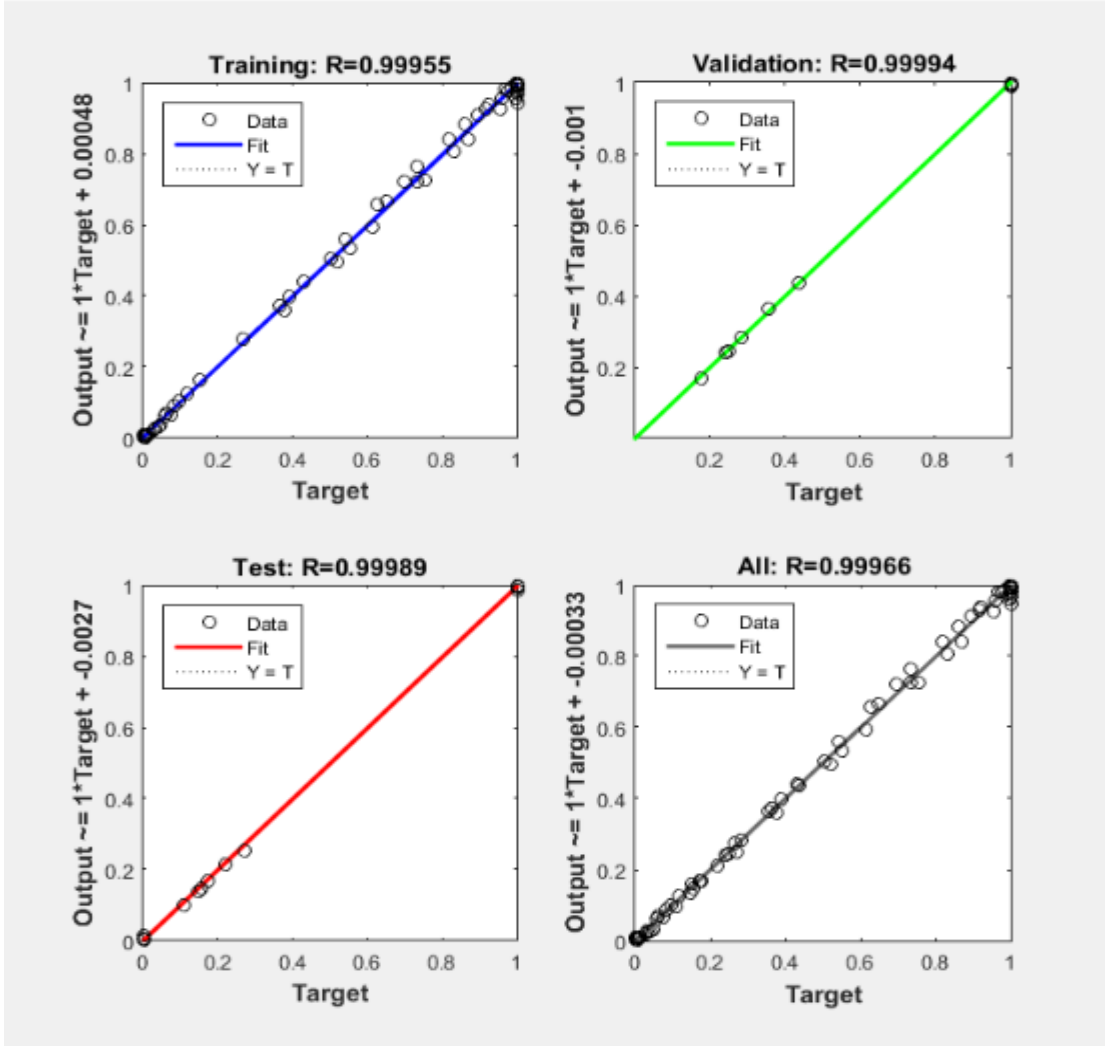


Şekil 6.9. Eğitim, Doğrulama ve Test Verilerine Ait Eğitim Aşamasındaki Performans Fonksiyonunun Değişimleri



Şekil 6.10. Gradyent Değeri, Doğrulama Hatası ve Öğrenme Oranı Değişimleri

Modelleme performansının gösterilmesi için gerçekte olması gereken çıkış ile YSA'nın çıkışının karşılaştırması ise eğitim, doğrulama ve test verilerinin ve tüm datanın sonuçlarına ait regresyon eğrileri ise Şekil 6.11'de verilmiştir. Burada korelasyon katsayısı 0 ile 1 arasında değişmekte ve bu değerın 1'e yaklaşması ağıın başarısını göstermektedir. Şekil 6.11 incelendiğinde eğitim, doğrulama ve test verileri için regresyon değerleri sırasıyla 0.99955, 0.99994, 0.99989 ve 0.99966 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre tüm veriler için regresyon 1'e yakın çıkmış yani YSA model çıkışı gerçekte verilere çok yakın değerler almıştır.



Şekil 6.11. Eğitim, Doğrulama ve Test Verilerinin Ve Tüm Datanın Sonuçlarına Ait Regresyon Eğrileri

## **6.6. Tasarlanan YSA Modeli Sonucu Elde Edilen Tahmini Sonuçlar**

Elektrik enerjisi depolanamayan ve tüketeleceği anda üretilmesi gereken bir enerji kaynağı olduğu için talep miktarının bilinmesi enerji sektöründe bir çok noktada oluşan sorunları ortadan kaldıracaktır. Bu sorunların başında “ne kadar elektrik üretileneceği” sorusunun cevabı gelmektedir. Bunun dışında piyasa fiyatlarını belirlenmesi hangi tip santrallerin ne kadar elektrik üreteceği ve ne kadar santralin emre amade durumda bekletileceğinin bilinmesidir.

Uygulamanın bu kısmında tasarlanan YSA modelinin eğitim ve test aşamasından sonra oluşturulan modelde ele alınan değişkenlerin Aydın’ın ine ilçesine bağlı Turgutepe mevkiine ait 2015 yılı günlük rüzgar hızı verileri baz alınarak Gamesa G97, Suzlon S.88, Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Vestas V117 tipi rüzgar türbinleri kullanıldığında üretilenecek enerji miktarları tahmin edilmiş ve farklı türbinler ile üretebileceği enerji kapasitesi karşılaştırılmıştır.

Tasarlanan YSA modelinde eğitim ve test aşamalarından olumlu sonuçlar alındıktan sonra eğitimi tamamlanan modelden güç tahminleri elde edilmiştir. Turgutepe mevkiine ait rüzgar verileri giriş değerleri olarak kullanılarak 6 adet türbin için karşılık gelen çıkış gücü değerleri elde edilmiş olup bu güç tahmin değerleri Tablo 6.7-18’de görülmektedir. Tahmin sonuçlarına göre seçilen bölgenin rüzgar potansiyelinin oldukça iyi olduğu ve kaliteli türbinlerle yüksek kapasiteli enerji üretiminin sağlanabileceği görülmüştür. YSA ile modeli tahmin edilen ve gerçekleşen üretim değerlerinin birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Aşağıdaki tablolarda tahmini güç değerleri incelendiğinde türbin tipi verimi en iyi Vestas V117 türbininin olduğu ve bu türbini sırasıyla sırasıyla Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Gamesa G97, Suzlon S88 türbinlerinin takip ettiği görülmektedir.

**Tablo 6.7.** Ocak Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	1038,822	763,358	1429,305	862,409	758,051	1341,585
2	434,180	292,681	589,795	370,926	296,447	565,369
3	362,113	236,671	496,765	314,325	250,453	476,924
4	384,576	254,526	524,635	332,111	264,559	504,555
5	1816,280	1536,567	2231,794	1719,835	1439,802	2673,507
6	1999,859	2095,652	2299,937	2494,846	2941,157	3286,779
7	1999,880	2096,166	2299,944	2495,499	2947,239	3287,613
8	1999,969	2099,555	2299,492	2499,806	2999,732	3298,110
9	1999,963	2099,867	2299,876	2496,331	2985,445	3290,740
10	195,073	102,670	312,051	177,693	149,025	268,362
11	884,120	635,040	1223,282	728,868	626,608	1132,006
12	1999,946	2098,751	2299,955	2497,274	2971,738	3290,474
13	1486,171	1147,893	1967,867	1273,726	1105,625	2014,531
14	5,760	0,891	29,329	8,135	11,191	10,992
15	5,760	0,891	29,329	8,135	11,191	10,992
16	1432,660	1099,465	1911,303	1220,480	1067,144	1926,148
17	5,009	0,771	27,199	7,591	10,754	9,750
18	8,116	1,351	36,329	10,436	13,545	14,894
19	1038,822	763,358	1429,305	862,409	758,051	1341,585
20	384,576	254,526	524,635	332,111	264,559	504,555
21	318,334	200,916	445,688	279,199	223,522	422,824
22	6,198	0,968	30,617	8,516	11,555	11,718
23	1128,329	839,667	1544,538	942,213	835,629	1467,528
24	1996,303	2050,996	2299,393	2425,239	2545,265	3251,680
25	1816,280	1536,567	2231,794	1719,835	1439,802	2673,507
26	462,803	314,123	629,044	393,136	315,274	600,409
27	772,720	546,598	1069,313	636,769	537,543	986,851
28	195,073	102,670	312,051	177,693	149,025	268,362
29	1432,660	1099,465	1911,303	1220,480	1067,144	1926,148
30	1995,440	2042,929	2299,295	2411,595	2488,743	3247,426
31	1999,982	2099,390	2299,748	2499,743	2999,507	3299,146

**Tablo 6.8. Şubat Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)**

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	1999,984	2099,749	2299,883	2498,633	2995,659	3298,345
2	1999,967	2099,892	2299,861	2496,477	2987,682	3291,905
3	1957,092	1851,383	2291,689	2119,906	1845,882	3090,456
4	1210,490	909,756	1648,216	1016,107	904,109	1586,175
5	340,248	218,940	470,747	296,858	236,918	449,949
6	1984,320	1965,450	2297,920	2282,042	2101,837	3203,047
7	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
8	717,929	504,298	992,112	592,596	495,633	916,954
9	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
10	1999,896	2096,557	2299,949	2495,984	2951,903	3288,274
11	1999,990	2099,467	2299,904	2499,293	2997,718	3299,424
12	1992,665	2019,664	2299,004	2371,574	2342,203	3236,051
13	1912,855	1725,460	2277,132	1953,835	1654,555	2939,625
14	3,172	0,531	22,242	6,842	10,892	6,693
15	5,009	0,771	27,199	7,591	10,754	9,750
16	717,929	504,298	992,112	592,596	495,633	916,954
17	1988,421	1989,565	2298,536	2320,151	2188,812	3220,479
18	1999,961	2099,828	2299,891	2496,390	2983,787	3290,350
19	1999,964	2099,879	2299,870	2496,346	2986,206	3291,045
20	1999,988	2099,594	2299,897	2499,105	2997,128	3299,160
21	1997,760	2066,026	2299,573	2450,102	2659,936	3260,434
22	938,200	679,206	1296,360	774,801	671,675	1204,140
23	1999,094	2082,573	2299,773	2476,174	2804,483	3272,377
24	408,350	273,010	555,316	350,781	279,719	533,728
25	1432,660	1099,465	1911,303	1220,480	1067,144	1926,148
26	884,120	635,040	1223,282	728,868	626,608	1132,006
27	1210,490	909,756	1648,216	1016,107	904,109	1586,175
28	1038,822	763,358	1429,305	862,409	758,051	1341,585



**Tablo 6.9.** Mart Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	5,760	0,891	29,329	8,135	11,191	10,992
2	6,711	1,064	32,148	9,001	12,045	12,570
3	195,073	102,670	312,051	177,693	149,025	268,362
4	1769,708	1465,581	2204,273	1635,367	1371,573	2562,873
5	408,350	273,010	555,316	350,781	279,719	533,728
6	1128,329	839,667	1544,538	942,213	835,629	1467,528
7	1382,721	1055,824	1855,643	1172,868	1031,937	1846,422
8	195,073	102,670	312,051	177,693	149,025	268,362
9	74,966	27,210	163,133	74,490	70,611	111,780
10	6,198	0,968	30,617	8,516	11,555	11,718
11	3,172	0,531	22,242	6,842	10,892	6,693
12	58,692	19,437	138,294	59,756	58,559	89,456
13	494,897	337,904	673,937	417,971	336,727	639,723
14	295,826	182,306	420,791	260,917	209,892	394,868
15	665,481	464,469	917,524	550,900	456,638	850,835
16	1999,961	2099,828	2299,891	2496,390	2983,787	3290,350
17	1997,084	2058,789	2299,486	2438,234	2603,064	3256,054
18	9,118	1,572	39,239	11,494	14,657	16,539
19	494,897	337,904	673,937	417,971	336,727	639,723
20	141,811	65,805	250,935	132,731	115,720	200,136
21	1990,898	2006,416	2298,821	2348,670	2269,093	3229,649
22	531,018	364,534	725,148	445,916	361,285	684,059
23	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
24	5,009	0,771	27,199	7,591	10,754	9,750
25	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
26	318,334	200,916	445,688	279,199	223,522	422,824
27	1978,371	1935,566	2296,807	2237,825	2020,244	3176,627
28	1432,660	1099,465	1911,303	1220,480	1067,144	1926,148
29	462,803	314,123	629,044	393,136	315,274	600,409
30	434,180	292,681	589,795	370,926	296,447	565,369
31	1210,490	909,756	1648,216	1016,107	904,109	1586,175

**Tablo 6.10.** Nisan Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	828,564	590,509	1147,044	682,529	581,539	1059,069
2	141,811	65,805	250,935	132,731	115,720	200,136
3	21,935	5,088	71,016	24,771	27,836	36,599
4	884,120	635,040	1223,282	728,868	626,608	1132,006
5	35,443	9,757	98,326	38,009	39,935	56,566
6	1980,856	1947,519	2297,295	2255,273	2050,815	3187,587
7	1336,226	1016,076	1801,654	1129,812	999,011	1774,207
8	318,334	200,916	445,688	279,199	223,522	422,824
9	1999,726	2092,844	2299,901	2491,102	2909,131	3282,811
10	1999,977	2099,479	2299,642	2499,777	2999,637	3298,730
11	1999,992	2099,056	2299,912	2499,594	2998,711	3299,729
12	1989,243	1994,944	2298,637	2329,120	2212,672	3223,625
13	1988,421	1989,565	2298,536	2320,151	2188,812	3220,479
14	141,811	65,805	250,935	132,731	115,720	200,136
15	116,977	50,346	220,268	111,408	99,554	167,779
16	58,692	19,437	138,294	59,756	58,559	89,456
17	665,481	464,469	917,524	550,900	456,638	850,835
18	1975,112	1920,797	2296,126	2216,575	1985,133	3162,556
19	1382,721	1055,824	1855,643	1172,868	1031,937	1846,422
20	3,172	0,531	22,242	6,842	10,892	6,693
21	1128,329	839,667	1544,538	942,213	835,629	1467,528
22	1995,440	2042,929	2299,295	2411,595	2488,743	3247,426
23	1986,632	1978,545	2298,289	2302,328	2145,424	3213,161
24	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
25	116,977	50,346	220,268	111,408	99,554	167,779
26	7,335	1,188	34,014	9,626	12,694	13,604
27	4,304	0,674	25,305	7,228	10,617	8,590
28	1970,780	1902,445	2295,158	2190,553	1944,716	3144,387
29	494,897	337,904	673,937	417,971	336,727	639,723
30	45,619	13,767	116,643	47,654	48,345	71,141

**Tablo 6.11.** Mayıs Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	10,429	1,876	42,929	12,887	16,108	18,669
2	272,324	162,986	395,381	241,693	195,742	365,569
3	12,169	2,303	47,632	14,728	18,001	21,462
4	1887,723	1668,506	2266,977	1881,656	1583,197	2864,059
5	494,897	337,904	673,937	417,971	336,727	639,723
6	884,120	635,040	1223,282	728,868	626,608	1132,006
7	14,504	2,913	53,639	17,176	20,469	25,157
8	116,977	50,346	220,268	111,408	99,554	167,779
9	462,803	314,123	629,044	393,136	315,274	600,409
10	384,576	254,526	524,635	332,111	264,559	504,555
11	531,018	364,534	725,148	445,916	361,285	684,059
12	168,148	83,449	281,789	155,073	132,372	234,038
13	531,018	364,534	725,148	445,916	361,285	684,059
14	195,073	102,670	312,051	177,693	149,025	268,362
15	318,334	200,916	445,688	279,199	223,522	422,824
16	35,443	9,757	98,326	38,009	39,935	56,566
17	6,198	0,968	30,617	8,516	11,555	11,718
18	45,619	13,767	116,643	47,654	48,345	71,141
19	434,180	292,681	589,795	370,926	296,447	565,369
20	665,481	464,469	917,524	550,900	456,638	850,835
21	6,711	1,064	32,148	9,001	12,045	12,570
22	58,692	19,437	138,294	59,756	58,559	89,456
23	116,977	50,346	220,268	111,408	99,554	167,779
24	828,564	590,509	1147,044	682,529	581,539	1059,069
25	989,924	722,172	1365,184	819,502	715,752	1274,254
26	195,073	102,670	312,051	177,693	149,025	268,362
27	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
28	3,941	0,627	24,344	7,086	10,645	7,988
29	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
30	1210,490	909,756	1648,216	1016,107	904,109	1586,175
31	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068

**Tablo 6.12.** Haziran Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

<b>Günler</b>	<b>Gamesa G97-2MW</b>	<b>Suzlon S88-2,1 MW</b>	<b>Siemens SWT2.3-2,3 MW</b>	<b>Nordex N100-2,5 MW</b>	<b>Enercon E82-3 MW</b>	<b>Vestas V117-3,3 MW</b>
1	58,692	19,437	138,294	59,756	58,559	89,456
2	116,977	50,346	220,268	111,408	99,554	167,779
3	35,443	9,757	98,326	38,009	39,935	56,566
4	35,443	9,757	98,326	38,009	39,935	56,566
5	1084,845	802,502	1488,876	903,282	798,071	1405,908
6	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
7	5,371	0,826	28,210	7,834	10,930	10,348
8	7,335	1,188	34,014	9,626	12,694	13,604
9	7,335	1,188	34,014	9,626	12,694	13,604
10	9,118	1,572	39,239	11,494	14,657	16,539
11	340,248	218,940	470,747	296,858	236,918	449,949
12	1084,845	802,502	1488,876	903,282	798,071	1405,908
13	571,514	394,406	783,010	477,322	389,338	733,952
14	1717,077	1394,547	2169,107	1552,369	1307,676	2447,112
15	1975,112	1920,797	2296,126	2216,575	1985,133	3162,556
16	221,765	122,756	341,185	199,945	165,284	302,132
17	168,148	83,449	281,789	155,073	132,372	234,038
18	340,248	218,940	470,747	296,858	236,918	449,949
19	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
20	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
21	12,169	2,303	47,632	14,728	18,001	21,462
22	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
23	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
24	989,924	722,172	1365,184	819,502	715,752	1274,254
25	1660,228	1325,806	2126,476	1473,332	1249,009	2330,783
26	571,514	394,406	783,010	477,322	389,338	733,952
27	195,073	102,670	312,051	177,693	149,025	268,362
28	1912,855	1725,460	2277,132	1953,835	1654,555	2939,625
29	141,811	65,805	250,935	132,731	115,720	200,136
30	9,118	1,572	39,239	11,494	14,657	16,539

**Tablo 6.13.** Temmuz Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	74,966	27,210	163,133	74,490	70,611	111,780
2	1932,048	1774,924	2284,009	2017,894	1723,106	3001,669
3	1999,726	2092,844	2299,901	2491,102	2909,131	3282,811
4	1169,921	875,214	1597,266	979,601	870,845	1527,225
5	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
6	1084,845	802,502	1488,876	903,282	798,071	1405,908
7	247,623	143,035	368,946	221,360	180,890	334,652
8	12,169	2,303	47,632	14,728	18,001	21,462
9	10,429	1,876	42,929	12,887	16,108	18,669
10	12,169	2,303	47,632	14,728	18,001	21,462
11	1975,112	1920,797	2296,126	2216,575	1985,133	3162,556
12	1946,431	1816,750	2288,614	2073,202	1787,255	3051,361
13	1932,048	1774,924	2284,009	2017,894	1723,106	3001,669
14	74,966	27,210	163,133	74,490	70,611	111,780
15	1970,780	1902,445	2295,158	2190,553	1944,716	3144,387
16	1912,855	1725,460	2277,132	1953,835	1654,555	2939,625
17	1964,961	1879,628	2293,754	2158,693	1898,400	3120,867
18	1336,226	1016,076	1801,654	1129,812	999,011	1774,207
19	221,765	122,756	341,185	199,945	165,284	302,132
20	74,966	27,210	163,133	74,490	70,611	111,780
21	571,514	394,406	783,010	477,322	389,338	733,952
22	434,180	292,681	589,795	370,926	296,447	565,369
23	58,692	19,437	138,294	59,756	58,559	89,456
24	10,429	1,876	42,929	12,887	16,108	18,669
25	4,657	0,721	26,245	7,393	10,652	9,171
26	14,504	2,913	53,639	17,176	20,469	25,157
27	318,334	200,916	445,688	279,199	223,522	422,824
28	10,429	1,876	42,929	12,887	16,108	18,669
29	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
30	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
31	74,966	27,210	163,133	74,490	70,611	111,780

**Tablo 6.14.** Ağustos Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	10,429	1,876	42,929	12,887	16,108	18,669
2	14,504	2,913	53,639	17,176	20,469	25,157
3	12,169	2,303	47,632	14,728	18,001	21,462
4	35,443	9,757	98,326	38,009	39,935	56,566
5	5,760	0,891	29,329	8,135	11,191	10,992
6	340,248	218,940	470,747	296,858	236,918	449,949
7	5,760	0,891	29,329	8,135	11,191	10,992
8	2,369	0,430	19,800	6,620	11,416	5,284
9	3,172	0,531	22,242	6,842	10,892	6,693
10	3,941	0,627	24,344	7,086	10,645	7,988
11	3,941	0,627	24,344	7,086	10,645	7,988
12	21,935	5,088	71,016	24,771	27,836	36,599
13	74,966	27,210	163,133	74,490	70,611	111,780
14	5,371	0,826	28,210	7,834	10,930	10,348
15	116,977	50,346	220,268	111,408	99,554	167,779
16	3,172	0,531	22,242	6,842	10,892	6,693
17	7,335	1,188	34,014	9,626	12,694	13,604
18	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
19	45,619	13,767	116,643	47,654	48,345	71,141
20	9,118	1,572	39,239	11,494	14,657	16,539
21	295,826	182,306	420,791	260,917	209,892	394,868
22	141,811	65,805	250,935	132,731	115,720	200,136
23	1486,171	1147,893	1967,867	1273,726	1105,625	2014,531
24	1932,048	1774,924	2284,009	2017,894	1723,106	3001,669
25	1964,961	1879,628	2293,754	2158,693	1898,400	3120,867
26	884,120	635,040	1223,282	728,868	626,608	1132,006
27	141,811	65,805	250,935	132,731	115,720	200,136
28	1382,721	1055,824	1855,643	1172,868	1031,937	1846,422
29	1994,526	2034,868	2299,197	2397,816	2435,325	3243,377
30	1999,640	2091,216	2299,880	2488,841	2891,404	3280,835
31	772,720	546,598	1069,313	636,769	537,543	986,851

**Tablo 6.15.** Eylül Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	5,371	0,826	28,210	7,834	10,930	10,348
2	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
3	5,371	0,826	28,210	7,834	10,930	10,348
4	168,148	83,449	281,789	155,073	132,372	234,038
5	21,935	5,088	71,016	24,771	27,836	36,599
6	772,720	546,598	1069,313	636,769	537,543	986,851
7	58,692	19,437	138,294	59,756	58,559	89,456
8	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
9	616,440	427,729	847,379	512,348	421,118	789,611
10	2,771	0,481	21,067	6,730	11,116	5,998
11	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
12	362,113	236,671	496,765	314,325	250,453	476,924
13	1542,794	1201,728	2023,903	1333,439	1148,297	2112,018
14	21,935	5,088	71,016	24,771	27,836	36,599
15	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
16	247,623	143,035	368,946	221,360	180,890	334,652
17	938,200	679,206	1296,360	774,801	671,675	1204,140
18	21,935	5,088	71,016	24,771	27,836	36,599
19	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
20	45,619	13,767	116,643	47,654	48,345	71,141
21	340,248	218,940	470,747	296,858	236,918	449,949
22	168,148	83,449	281,789	155,073	132,372	234,038
23	1336,226	1016,076	1801,654	1129,812	999,011	1774,207
24	531,018	364,534	725,148	445,916	361,285	684,059
25	1,285	0,280	15,600	6,271	12,827	3,226
26	4,304	0,674	25,305	7,228	10,617	8,590
27	6,198	0,968	30,617	8,516	11,555	11,718
28	2,771	0,481	21,067	6,730	11,116	5,998
29	21,935	5,088	71,016	24,771	27,836	36,599
30	1887,723	1668,506	2266,977	1881,656	1583,197	2864,059

**Tablo 6.16.** Ekim Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	434,180	292,681	589,795	370,926	296,447	565,369
2	6,711	1,064	32,148	9,001	12,045	12,570
3	1,613	0,328	17,040	6,391	12,266	3,876
4	14,504	2,913	53,639	17,176	20,469	25,157
5	3,172	0,531	22,242	6,842	10,892	6,693
6	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
7	531,018	364,534	725,148	445,916	361,285	684,059
8	4,657	0,721	26,245	7,393	10,652	9,171
9	14,504	2,913	53,639	17,176	20,469	25,157
10	94,490	37,452	190,701	91,811	84,374	138,046
11	1128,329	839,667	1544,538	942,213	835,629	1467,528
12	1946,431	1816,750	2288,614	2073,202	1787,255	3051,361
13	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
14	27,712	6,983	83,222	30,507	33,173	45,243
15	4,304	0,674	25,305	7,228	10,617	8,590
16	4,657	0,721	26,245	7,393	10,652	9,171
17	1,979	0,379	18,451	6,507	11,797	4,570
18	295,826	182,306	420,791	260,917	209,892	394,868
19	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
20	384,576	254,526	524,635	332,111	264,559	504,555
21	531,018	364,534	725,148	445,916	361,285	684,059
22	1084,845	802,502	1488,876	903,282	798,071	1405,908
23	1932,048	1774,924	2284,009	2017,894	1723,106	3001,669
24	1769,708	1465,581	2204,273	1635,367	1371,573	2562,873
25	462,803	314,123	629,044	393,136	315,274	600,409
26	1382,721	1055,824	1855,643	1172,868	1031,937	1846,422
27	1987,564	1984,175	2298,422	2311,338	2166,694	3217,052
28	1996,303	2050,996	2299,393	2425,239	2545,265	3251,680
29	35,443	9,757	98,326	38,009	39,935	56,566
30	3,564	0,580	23,330	6,959	10,736	7,357
31	141,811	65,805	250,935	132,731	115,720	200,136



**Tablo 6.17.** Kasım Ayı Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	247,623	143,035	368,946	221,360	180,890	334,652
2	989,924	722,172	1365,184	819,502	715,752	1274,254
3	35,443	9,757	98,326	38,009	39,935	56,566
4	2,771	0,481	21,067	6,730	11,116	5,998
5	1,285	0,280	15,600	6,271	12,827	3,226
6	1,979	0,379	18,451	6,507	11,797	4,570
7	5,009	0,771	27,199	7,591	10,754	9,750
8	1038,822	763,358	1429,305	862,409	758,051	1341,585
9	1999,941	2098,094	2299,962	2497,352	2967,917	3290,463
10	717,929	504,298	992,112	592,596	495,633	916,954
11	1717,077	1394,547	2169,107	1552,369	1307,676	2447,112
12	616,440	427,729	847,379	512,348	421,118	789,611
13	221,765	122,756	341,185	199,945	165,284	302,132
14	6,711	1,064	32,148	9,001	12,045	12,570
15	2,771	0,481	21,067	6,730	11,116	5,998
16	1251,037	944,098	1698,579	1052,604	936,025	1645,852
17	1990,898	2006,416	2298,821	2348,670	2269,093	3229,649
18	384,576	254,526	524,635	332,111	264,559	504,555
19	384,576	254,526	524,635	332,111	264,559	504,555
20	434,180	292,681	589,795	370,926	296,447	565,369
21	1993,592	2027,056	2299,099	2384,361	2386,264	3239,582
22	1999,640	2091,216	2299,880	2488,841	2891,404	3280,835
23	295,826	182,306	420,791	260,917	209,892	394,868
24	0,440	0,133	10,318	5,775	15,950	1,362
25	1932,048	1774,924	2284,009	2017,894	1723,106	3001,669
26	1999,896	2096,557	2299,949	2495,984	2951,903	3288,274
27	1984,320	1965,450	2297,920	2282,042	2101,837	3203,047
28	1999,948	2099,053	2299,950	2497,166	2973,745	3290,402
29	5,009	0,771	27,199	7,591	10,754	9,750
30	1717,077	1394,547	2169,107	1552,369	1307,676	2447,112

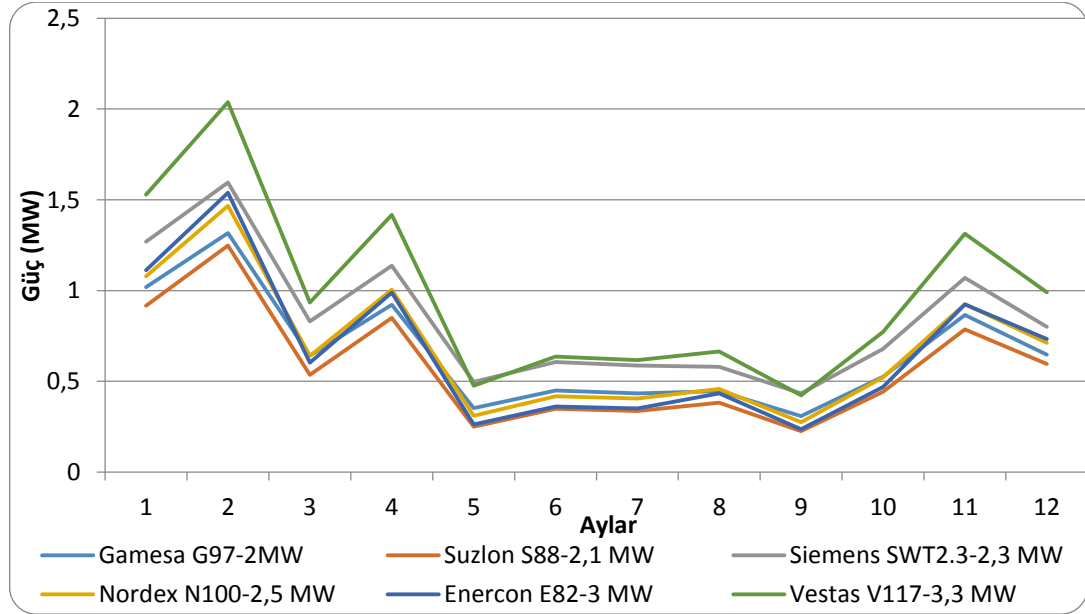
**Tablo 6.18.** Aralık Ayi Günlük Üretilen Tahmini Güç Değerleri (kW)

Günler	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	717,929	504,298	992,112	592,596	495,633	916,954
2	938,200	679,206	1296,360	774,801	671,675	1204,140
3	1999,943	2098,329	2299,960	2497,353	2969,307	3290,506
4	1999,340	2086,218	2299,817	2481,629	2839,881	3275,636
5	45,619	13,767	116,643	47,654	48,345	71,141
6	571,514	394,406	783,010	477,322	389,338	733,952
7	408,350	273,010	555,316	350,781	279,719	533,728
8	6,198	0,968	30,617	8,516	11,555	11,718
9	5,760	0,891	29,329	8,135	11,191	10,992
10	2,369	0,430	19,800	6,620	11,416	5,284
11	3,172	0,531	22,242	6,842	10,892	6,693
12	362,113	236,671	496,765	314,325	250,453	476,924
13	1990,898	2006,416	2298,821	2348,670	2269,093	3229,649
14	616,440	427,729	847,379	512,348	421,118	789,611
15	5,009	0,771	27,199	7,591	10,754	9,750
16	6,198	0,968	30,617	8,516	11,555	11,718
17	384,576	254,526	524,635	332,111	264,559	504,555
18	0,582	0,162	11,494	5,898	15,057	1,707
19	5,371	0,826	28,210	7,834	10,930	10,348
20	17,660	3,796	61,299	20,435	23,679	30,068
21	408,350	273,010	555,316	350,781	279,719	533,728
22	531,018	364,534	725,148	445,916	361,285	684,059
23	1991,765	2012,781	2298,912	2359,658	2303,248	3232,758
24	989,924	722,172	1365,184	819,502	715,752	1274,254
25	3,564	0,580	23,330	6,959	10,736	7,357
26	1975,112	1920,797	2296,126	2216,575	1985,133	3162,556
27	2,369	0,430	19,800	6,620	11,416	5,284
28	1,002	0,235	14,168	6,148	13,483	2,640
29	45,619	13,767	116,643	47,654	48,345	71,141
30	1999,969	2099,893	2299,858	2496,754	2989,209	3293,104
31	1999,980	2099,435	2299,701	2499,760	2999,576	3298,962

Tablo 6.19’da ise oluşturduğumuz YSA modelinde tahmin edilen güç miktarının aylara göre ortalama tahmini değerleri yer almaktadır. Şekil 6.12’de ise elde edilen değerler grafik halinde gösterilmiştir.

**Tablo 6.19.** Aylara Tahmini Güç Değerleri (kW)

Aylar	Gamesa G97-2MW	Suzlon S88-2,1 MW	Siemens SWT2.3-2,3 MW	Nordex N100-2,5 MW	Enercon E82-3 MW	Vestas V117-3,3 MW
1	1019,54	916,61	1268,87	1078,30	1112,43	1529,20
2	1316,48	1247,78	1594,76	1465,87	1538,45	2038,38
3	641,50	536,68	829,96	640,43	602,76	934,06
4	921,22	849,84	1136,72	1004,10	989,28	1417,39
5	353,05	249,66	497,22	310,51	263,50	476,11
6	448,92	348,51	606,15	418,39	361,75	636,83
7	434,44	337,27	586,60	404,89	350,08	616,29
8	445,58	382,51	579,48	458,43	434,47	665,03
9	308,00	225,11	433,01	274,58	236,33	422,95
10	525,79	442,31	678,31	522,48	469,74	771,31
11	865,95	785,78	1069,72	925,60	924,17	1313,41
12	646,32	596,50	799,54	711,82	733,36	990,03



**Şekil 6.12.** Rüzgar Türbinlerinin Aylara Göre Ortalama Elektrik Üretim Tahmin Değerleri Grafiği

## **6.7. Gerçekleşen ve YSA Modeli Sonucu Elde Edilen Tahmini Sonuçların Karşılaştırılması**

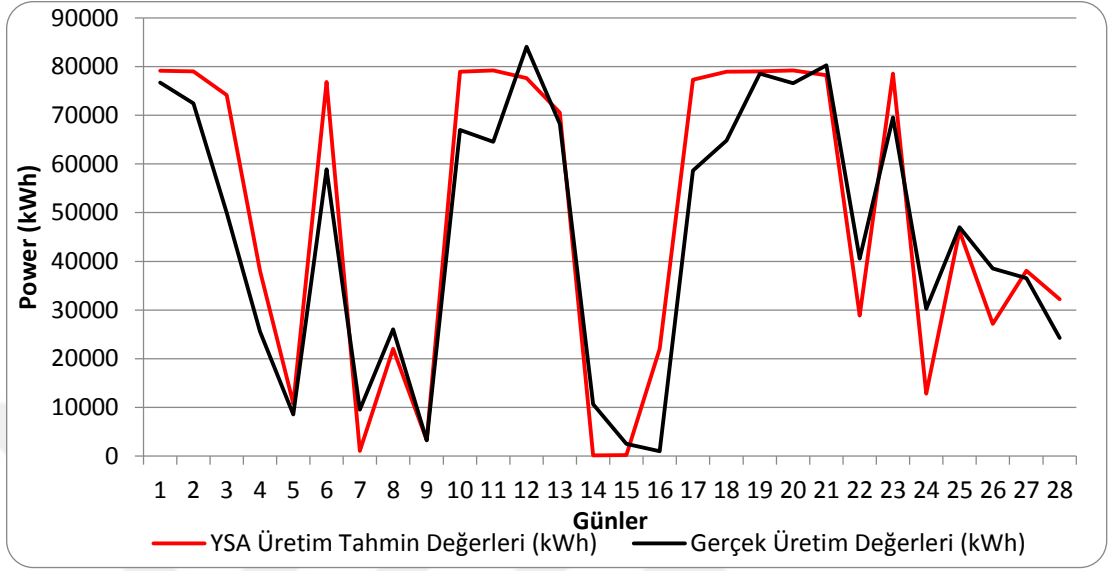
Uygulamada YSA modeli ile Aydın'ın Çine ilçesine bağlı Turgutepe mevkiine ait 2015 yılı günlük rüzgar hızı verileri baz alınarak Gamesa G97, Suzlon S.88, Siemens SWT2.3, Nordex N100, Enercon E82, Vestas V117 tipi rüzgar türbinleri kullanıldığında üretilebilecek enerji miktarları tahmin edilmişti. Bu kısımda ise YSA yöntemi kullanarak elde ettiğimiz değerlerin işletmede olan rüzgar santrallerinde üretilen gerçek güç değerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu doğrultuda Aydın ili sınırları içerisinde bulunan Söke RES, Akbük RES ve Bağarası RES santrallerinin Vestas V117 ve Siemens SWT2.3 rüzgar türbinlerinin ürettiği güç değerleri kullanılmıştır.

Tablo 6.20'de YSA modelini uygulayarak elde ettiğimiz tahmini güç değerleri ile işletmede olup aktif olarak çalışan Vestas V117 rüzgar türbininin şubat ayında ürettiği rüzgar gücü değerleri verilmiştir. Gerçekleşen üretim değerleri ile YSA tahmin değerlerinin performansları karşılaştırıldığında üretim gücü değerler arasındaki farkın değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Üretim değerleri arasındaki hata payının küçük olması oluşturulan YSA modelinin başarılı olduğunu göstermektedir. Fakat bazı günlerde tahmini değerler ile gerçekleşen değerler arasında büyük bir fark olduğu görülmektedir. Bu farkın oluşmasında santraldeki işletme koşulları (arıza, bakım), üretim ihtiyacı gibi sebepler önemli rol oynamaktadır.

Gerçekleşen ve tahmini rüzgar gücü değerleri incelendiğinde belli günlerde üretim değerleri arasındaki fark fazla olsa da aylık ortalama üretim değerine bakıldığında ortalama hata payının %7,48 olduğu görülmektedir. Rüzgar hızının değişken ve tam olarak tahmin edilemeyen bir üretim karakteristiğine sahip olan rüzgar enerjisi santrali için bu değer başarılı olduğu değerlendirilmektedir. Şekil 6.13'te Şubat ayında rüzgar hızının da uygun olmasından dolayı tahmini ve gerçekleşen rüzgar gücü üretimi değerleri yüksek olmuş ve genelde 10 kWh altına fazla düşmediği görülmektedir.

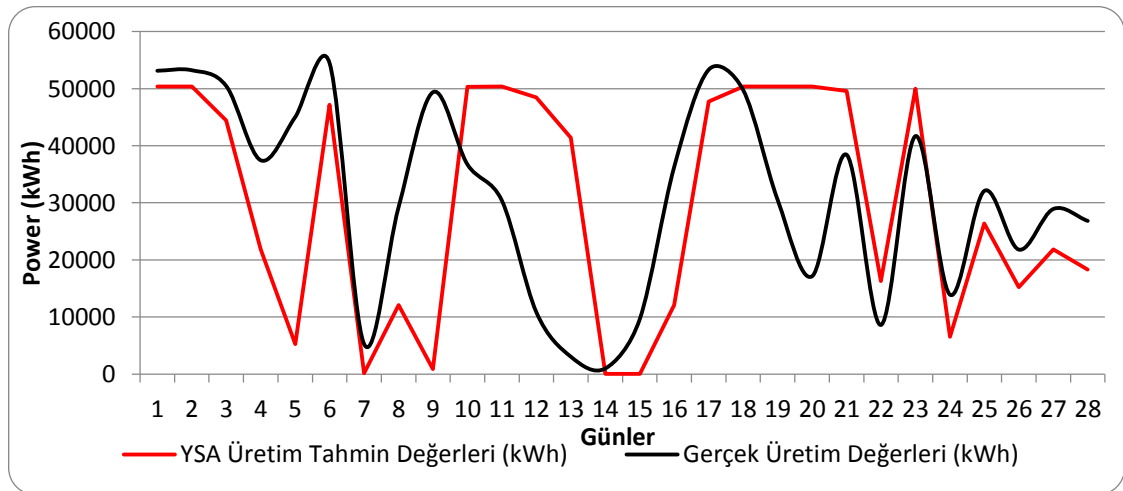
**Tablo 6.20.** Gerçekleşen ve Tahmini Değerlerinin Performansı (V117)

Günler	V117 Rüzgar Türbini YSA Üretim Tahmin Değerleri (kWh)	V117 Rüzgar Türbini Gerçek Üretim Değerleri (kWh)	Hata (%)
1	79160	76698	3,21
2	79006	72410	9,11
3	74171	49956	48,47
4	38068	25564	48,91
5	10799	8566	26,07
6	76873	58892	30,53
7	1086	9522	88,59
8	22007	26024	15,44
9	3313	3214	3,08
10	78919	66984	17,82
11	79186	64582	22,61
12	77665	84056	7,60
13	70551	68258	3,36
14	161	10658	98,49
15	234	2486	90,59
16	22007	984	2136,48
17	77291	58624	31,84
18	78968	64822	21,82
19	78985	78524	0,59
20	79180	76588	3,38
21	78250	80258	2,50
22	28899	40564	28,76
23	78537	69582	12,87
24	12809	30254	57,66
25	46228	46984	1,61
26	27168	38550	29,53
27	38068	36586	4,05
28	32198	24238	32,84
<b>Ortalama Üretim</b>	<b>48921</b>	<b>45515</b>	<b>7,48</b>



Şekil 6.13. Gerçekleşen ve Tahmini Rüzgar Gücü Değerleri Grafiği (V117)

Tablo 6.21’de ise YSA modelini uygulayarak elde ettiğimiz tahmini güç değerleri ile işletmede olup aktif olarak çalışan Siemens SWT2.3 rüzgar türbininin şubat ayında ürettiği rüzgar gücü değerleri verilmiştir. Gerçekleşen üretim değerleri ile YSA tahmin değerlerinin performansları karşılaştırıldığında üretim gücü değerler arasındaki farkın değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Fakat Siemens SWT2.3 rüzgar türbininin tahmini ve gerçekleşen performans değerleri incelendiğinde aylık ortalama hata payının %3,46 gibi çok düşük bir oran olduğu görülmektedir. Bu oran da oluşturulan sistemin başarısını göstermektedir.



Şekil 6.144. Gerçekleşen ve Tahmini Rüzgar Gücü Değerleri Grafiği (SWT2.3)

**Tablo 6.21.** Gerçekleşen ve Tahmini Değerlerinin Performansı (SWT2.3)

Günler	Siemens SWT2.3 Rüzgar Türbini YSA Üretim Tahmin Değerleri (kWh)	Siemens SWT2.3 Rüzgar Türbini Gerçek Üretim Değerleri (kWh)	Hata (%)
1	50394	53136	5,16
2	50397	53228	5,32
3	44433	50458	11,94
4	21834	37456	41,71
5	5255	45008	88,32
6	47171	54452	13,37
7	168	5254	96,80
8	12103	29220	58,58
9	899	49388	98,18
10	50317	36716	37,04
11	50387	30374	65,89
12	48472	10818	348,07
13	41411	3040	1262,20
14	13	984	98,68
15	19	9632	99,80
16	12103	36316	66,67
17	47750	53318	10,44
18	50396	49774	1,25
19	50397	30532	65,06
20	50390	17132	194,13
21	49585	38436	29,01
22	16301	8604	89,46
23	49982	41692	19,88
24	6552	13916	52,92
25	26387	32096	17,79
26	15241	21808	30,11
27	21834	28920	24,50
28	18321	26834	31,72
<b>Ortalama Üretim</b>	<b>29947</b>	<b>31019</b>	<b>3,46</b>

## 7. SONUÇ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, sanayileşme ve teknolojinin günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olması enerji tüketiminin çok hızlı artmasına neden olmaktadır. Bunların yanında özellikle son zamanlarda yaşanan enerji krizleri, fosil yakıtların devamlı azalması, artan çevre bilincinin oluşturduğu baskılarla tüm dünyanın temiz ve tükenmeyen (yenilenebilir) enerji kaynaklarına olan ilgisi gün geçtikçe artmaktadır. Fosil yakıtların tükenebileceği gerçeği, fiyatların sürekli yükselişi ve yanmaları sonucu çevrede ve insan sağlığında oluşturduğu olumsuz etkiler yenilenebilir enerjinin önemini ve değerini artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesinde etkili olan başlıca etkenler karbondioksit gazı salınımını azaltarak başta küresel ısınma olmak üzere birçok çevre sorunun önüne geçmesi, üretimde yerli kaynakların kullanılması nedeniyle ülkelerin enerjide dışa bağımlılık oranlarını azaltması, yeni istihdam alanları oluşturması ve kamuoyundan yüksek destek almalarıdır. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının doğada bol miktarda bulunmaları, bedava ve çevre dostu olmaları onları daha da cazip hale getirmiştir. Güneş, rüzgar, su, jeotermal gibi enerji kaynakları ile birlikte yeni kaynakların ve tekniklerin yaygınlaştırılması bilinçli toplumların hedefi olmuştur.

Yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı denildiğinde ilk akla gelen rüzgar enerjisi sonsuz potansiyeli ile göz ardı edilmemesi gereken bir kaynaktır. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin fosil ve diğer enerji kaynaklarına oranla birçok avantajı bulunmaktadır. Öncelikle rüzgar enerjisi yenilenebilir, temiz ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Enerji sağlamada dışa bağımlılığı azaltması, rüzgar türbinlerinin kurulmasının diğer enerji santrallerine göre daha hızlı olması, kuruldukları alanın yaklaşık % 1-1.5'lük bölümünü kullanması başlıca avantajlarıdır. Dünya ve güneş döndüğü sürece bu kaynağın tükenme ihtimali hiç bulunmamaktadır. Ülkemizde rüzgar santrali kurulumu için gerekli malzemelerin büyük bölümünün yurt dışından ithal edilmesi rüzgar enerjisinin en büyük dezavantajı olarak görülmektedir.



Ülkemiz rüzgar enerjisi potansiyeli açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ülkemiz 784.347 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü ve sahip olduğu iklim özellikleri sayesinde önemli bir rüzgar potansiyeline sahiptir. Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyeli; rüzgar hızına ve rüzgarın sürekliliğine bağlı olarak bölgelere göre farklılık göstermektedir. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası incelendiğinde Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinin yüksek rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Yine REPA'ya göre ülkemizde yıllık rüzgar hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW büyüklüğünde rüzgar enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Türkiye'de şebekeye bağlı rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve 2005 yılında 5346 sayılı Yenilenebilir Elektrik Kanununun çıkmasından sonra kurulu güç ve enerji üretiminde her sene yüzde yüzün üzerinde artış göstererek işletmede olan 127 adet rüzgar santrali 2016 yılı Temmuz ayı itibariyle 5146 MW'a ulaşmıştır. Ayrıca halihazırda inşa aşamasında bulunan çok sayıda rüzgar santrali projesi bulunmaktadır.

Çalışmada, tahmin modellemesi için YSA modeli seçilmiş ve bu amaç doğrultusunda YSA teorisi ana hatlarıyla incelenmiştir. YSA yöntemi, hemen hemen tüm alanlarda kullanılmakta olup tahmin modellemesi için geliştirilen en yeni yöntemlerden biridir. YSA, ortaya çıktığı 1940'lı yıllarda sadece doğrusal problemlerin çözümünde kullanılmakta iken ilerleyen zamanlarda doğrusal olmayan problemlerin çözümünde de etkin bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Canlı bir sinir sisteminin biyolojik yapısı temel alınarak geliştirilen YSA canlı hafıza yapısını örnek olarak ve modelleyerek öğrenme yöntemlerini geliştirmiştir. Bilim adamlarının farklı yaklaşımları, yapılarda ağların ortaya çıkmasını sağlamış ve problemlere özgü ağ yapıları geliştirilmiştir. Bu gelişmelerin paralelinde YSA, tahmin çalışmalarında oldukça olumlu sonuçlar vermekte ve doğrusal olmayan problemleri modelleyebilmesi nedeniyle diğer tahmin yöntemlerinin önüne geçmektedir.

Çalışmanın uygulama kısmında uygun olan bir YSA modeli kullanılarak, rüzgar enerjisi potansiyelinin tahmini için bir model geliştirilmiştir. Bu çalışmadaki temel amaç YSA kullanarak en küçük hata ile seçilen bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemektir.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi, seçilecek bölgenin meteorolojik özelliklerine ve en önemlisi de kullanılacak rüzgar türbinine bağlıdır. Rüzgar santrallerinin kurulması tasarlanan bölgede türbin tarafından üretilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanabilmesi için meteorolojik ve bölge verilerinin çok iyi analiz edilmesi gerekir. Bu bağlamda rüzgar enerji potansiyelini tahmin etmek için enerji üretimini etkileyebilecek önemli değişkenler dikkate alınarak YSA modeli kurulmuştur.

Uygulamada oluşturulan YSA modelinde 0'dan 25 m/s'ye kadar rüzgar hızları, çıkış parametresi olarak ise altı adet rüzgar türbininin üretim güçleri (Gamesa G97-2MW, Suzlon S.88-2100, Siemens SWT-2.3-113, N100-2,5 MW, E82-3 MW, V117-3,3 MW) eğitim aşamasında kullanılmıştır. Çalışmada belirtilen amaç çerçevesinde rüzgar hızı verileri kullanılacak bölge olarak Aydın'ın Çine ilçesi Turguttepe mevkiisi seçilmiş olup 90 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı verileri ise test aşamasında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan günlük rüzgar hızı verileri 2015 yılına ait olup DMİ ve bölgede kurulu olan rüzgar ölçüm direklerinden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Turguttepe mevkiine ait rüzgar hızı verileri incelendiğinde bölgede rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir.

Bu modelde tahmin çalışmalarında en çok kullanılan, doğrusal olmayan problem durumlarında başarılı sonuçlar üretebilen, yakınsama hızı yüksek olan ileri beslemeli geri yayılım ağı kullanılmıştır. Kurulan modelin kendi içinde değerlendirilmesi ve performans testleri yapılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre modelin yaptığı tahminlerin güvenilir ve tutarlı olduğu görülmüştür. Modelin performansının anlaşılması için gerçekte olması gereken çıkış ile YSA'nın çıkışının karşılaştırılmasına ait eğitim, doğrulama ve test verilerinin ve tüm datanın sonuçlarına ait regresyon değerleri 1'e yakın çıkmış yani bu değerlerin 1'e yaklaşması ağı başarılı olduğunu göstermektedir. Bu modelin cevabına göre Turguttepe mevkiinin rüzgar potansiyelinin rüzgar enerjisi üretimine elverişli olduğu görülmektedir. REPA'dan alınan bilgiye göre de bu verimliliğin uygun değerlerde olduğu görülmüştür.

Ayrıca YSA yöntemi kullanarak elde ettiğimiz değerleri işletmede olan rüzgar santrallerinden üretilen gerçek güç değerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. İşletmede olup aktif olarak çalışan Vestas V117 ve Siemens SWT2.3 rüzgar türbinlerinin ürettiği güç değerleri ile elde ettiğimiz tahmini değerlerin karşılaştırılması yapılmış ve aylık hata paylarının düşük olduğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada, Turguttepe mevkiinde farklı tipteki rüzgar türbinleriyle rüzgar enerjisi üretim miktarlarının YSA metoduyla tahminlemesi yapılarak farklı bölgelerde de üreticilerin önceden üretim planlamalarını yapabilmeleri ve yapılacak benzer çalışmalara yol gösterici bir nitelik taşıdığına inanılmaktadır. Ayrıca çalışmada kullanılan altı adet türbinin her birinin avantaj ve dezavantajları vardır. Bu çalışmadan yola çıkarak kullanılan altı adet rüzgar türbininin maliyet analizleri ve fizibilite çalışmaları yapılabilir.

Gelişen ve gelişmekte olan bir ülke için enerji üretimini sürdürülebilir şekilde karşılayabilmesi oldukça önemlidir. Bu sebeple rüzgar enerjisinin temiz ve tükenmeyen enerji kaynaklarından olması sebebiyle üretilecek enerji miktarı tahminlerine ihtiyaç duyulacaktır. Tahmin çalışmaları gelecek yatırımların yönlendirilmesinde, enerji politikalarının belirlenmesinde, sanayi sektörünün çalışabilirliğinde oldukça önemli olduğundan üreticilerin farklı tahmin çalışmalarını göz önünde bulundurarak karar vermeleri gerekmektedir. Elde edilen tahmin değerleri uzun dönemli ve kararlı enerji politikalarının belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Uslu, K., Avrupa Birliği'nde Enerji ve Politikaları, Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 19(1), 155-172, 2004.
2. Aydın F. F., Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 35, 314-340, 2010.
3. IEA, Key World Energy Statistics, 6, 2016.
4. Çukurçayır M. A., Sağır H., Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20, 257-279, 2008.
5. İlkılıç C., Wind Energy and Assessment of Wind Energy Potential in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(2), 11-66, 2012.
6. Fıçıcı F., Rüzgar Enerji Sistemlerinin Çevresel Yönden İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(3), 49, 2008.
7. Yenilenebilir Enerji, Vikipedi, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Yenilenebilir\\_enerji](https://tr.wikipedia.org/wiki/Yenilenebilir_enerji), 08.07.2016.
8. Renewables 2015 Global Status Report, [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015\\_Onlinebook\\_low1.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf).
9. Renewables 2016 Global Status Report, [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21\\_GSR2016\\_FullReport\\_en\\_11.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf).
10. IEA; Key World Energy Statistics, 34, 2016.
11. Türkiye Çevre Vakfı, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, 35-68, Ankara, 2006.
12. Gençoğlu M. T., Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(2), 61, Aralık 2002.
13. Rüzgar gücü, Vikipedi, [https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r\\_g%C3%BCc%C3%BC](https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_g%C3%BCc%C3%BC), 08.08.2016.
14. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/>, 10.09.2016.
15. Bektaş A., Binalarda Rüzgar Enerjisi Kullanımının Farklı Bölgeler Açısından Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma : Toki Tarımköy Projesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
16. Altınsoy A., Aksaray Bölgesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 2013.
17. Yalçın Y., 2010, İstanbul Terkos Bölgesinde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2010.
18. Bayraç, N., 2011, Küresel Rüzgar Enerjisi Politikaları ve Uygulamaları, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 30(1), 40-41, 2001.

19. Özcan, İ., 2011, Isparta İlinde Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bir Rüzgar Santrali Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
20. Burton, T., et al., Wind Energy Handbook, ISBN 0471489972, 65-72, 2001.
21. Danish Wind Energy Association, [http://www.motiva.fi/myllarin\\_tuulivoima/windpower%20web/en/pictures/lacour.htm](http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/en/pictures/lacour.htm), 12.05.2013.
22. Elibüyük U., Üçgül İ., Rüzgar Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri, Yekarum e-Dergi,2(3), Isparta, 2014.
23. Nurbay, N., Çınar, A., Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, [http://www.emo.org.tr/ekler/4986d86a17424ee\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/4986d86a17424ee_ek.pdf)
24. TUSIAD, 21. yy. Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TUSIAD-T/98-12/239, 1998.
25. Consult, A., J., Wind Turbine Technology Offshore” Dukes Avenue, London, W4 2AF, 2001.
26. TUREB, Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Gelişimi, Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, Ocak 2016.
27. Global Wind Energy Outlook 2016. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2006/10/globalwindenergyoutlook.pdf>, 2016.
28. Neden rüzgar enerjisi, <http://www.tureb.com.tr/turebsayfa/neden-ruzgar-enerjisi>.
29. <http://www.teias.gov.tr/TurkiyeElektrikIstatistikleri.aspx>, 08.10.2016.
30. [http://www.tureb.com.tr/files/bilgi\\_bankasi/turkiye\\_res\\_durumu/temmuz\\_rapor\\_2016.pdf](http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/temmuz_rapor_2016.pdf), Temmuz 2016.
31. Rüzgar enerjisi, [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar\\_enerjisi.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx).
32. Çalışkan M., Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, [http://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2\\_Mustafa\\_CALISKAN\\_RITM.pdf](http://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf).
33. Kibar, F.T., “Arasındaki İlişkinin İstatistiksel ve Yapay Sınır Ağları Yöntemleri İle Modellenmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2015.
34. Sarı, M., “Yapay Sınır Ağları Ve Bir Otomotiv Firmasında Satış Talep Tahmini Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2016.
35. Masaebi, P., “Yapay Sınır Ağları İle İran Elektrik Tüketim Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016.

36. Nalçacıgil, Ş., “Hava Fotoğraflarının Yapay Sinir Ağları İle Sınıflandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Mevlana Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2016.
37. Şavk, Y., “Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı İle Sürtünme Malzemelerinin Performans Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2015.
38. Hebb Donald O.; (1949), “The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory”, Neurocomputing , London: Lawrence Erlbaum Associates.
39. Duman, O., “Batı Anadolu Bölgesindeki Depremlerin Yapay Sinir Ağı Yöntemiyle Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gümüşhane, 2015.
40. Uygun, İ., “Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Enerji Sektöründe Talep Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2015.
41. Tosun, S., “Sınıflandırmada Yapay Sinir Ağları ve Karar Ağaçları Karşılaştırması: Öğrenci Başarıları Üzerine Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
42. Kılıç, H.K., “DGS Hatlarının Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015
43. <http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/AYDIN-REPA.pdf>.
44. Jayalakshmi, T. and A. Santhakumaran; (2011), “Statistical Normalization and Back Propagation for Classification”, International Journal of Computer Theory and Engineering 3(1), pp. 1793-8201.

## EKLER

### EK.1. Türkiye’de Kurulu Rüzgar Enerjisi Santralleri

	FİRMA ADI	PROJE ADI	KURULU GÜÇ (MW)	İL	İŞLETMEYE GİRİŞ TARİHİ
1	Esit Enerji A.Ş.	Ada 2 RES	4,60	Balıkesir	2015
2	YGT Elektrik Üretim A.Ş.	AdaRES	10,00	İzmir	2015
3	Ayen En. A.Ş.	Akbük II RES	21,00	Muğla	2016
4	Suay Enerji San. Tic. A.Ş.	Akbük RES	9,60	Aydın	2015
5	Ayen En. A.Ş.	Akbük RES	31,50	Aydın	2009
6	Akhisar Rüz. En. El. Ür. San.Ltd. Şti.	AKRES	45,00	Manisa	2000
7	Aksu Temiz En. El. Ür. San. Tic. A.Ş.	Aksu RES	72,00	Kayseri	2012
8	Egenda Ege Enerji Ür. A.Ş.	Alaçatı RES	16,00	İzmir	2016
9	Tan Elektrik Ür. A.Ş.	Aliağa RES	9,60	İzmir	2014
10	Baktepe En. A.Ş.	Amasya RES	40,00	Amasya	2008
11	Şehzade Enerji Ür. Tic. San.Ltd. Şti.	Amasya RES	42,90	Amasya	2016
12	Ares Alaçatı Rüz. En. San. Tic. A.Ş.	ARES	7,20	İzmir	1998
13	Aksa Enerji Ür. A.Ş.	Atik Belen RES	18,00	Hatay	2014
14	Ayres Ayvacık El. Ür. San. Ltd. Şti.	AyRES	5,40	Çanakkale	2011
15	AKEn. El. Ür. A.Ş.	Ayyıldız RES	15,00	Balıkesir	2009
16	Kütle Enerji Yat. Ür. Tic. A.Ş.	Bağarası RES	48,00	İzmir	2015
17	Borusan EnBW Enerji	Balabanlı RES	50,60	Tekirdağ	2014
18	Bares El. Ür. A.Ş.	Balıkesir RES	143,00	Balıkesir	2012
19	Yapasan El. Ür. A.Ş.	Bandırma RES	30,00	Balıkesir	2006
20	Borasco En. Kim. San. Tic. A.Ş.	Bandırma RES	89,70	Balıkesir	2009
21	Yapasan El. Ür. A.Ş.	Bandırma RES	21,50	Balıkesir	2012
22	As Makinsan En. El. Ür. San.Tic. A.Ş.	Bandırma-3 RES	25,00	Balıkesir	2008
23	Belen El. Ür. A.Ş.	Belen RES	48,00	Hatay	2009
24	Bergama RES En. Ür. A.Ş.	Bergama RES	120,00	İzmir	2007

25	ICDAS Celik En. Ter. Ul. San. A.Ş.	Biga RES	60,80	Çanakkale	2015
26	Bores Bozcaada Rüz. En. San.Tic. A.Ş.	Bozcaada RES	10,20	Çanakkale	2000
27	Kardemir Haddecilik San. Tic. Ltd.Şti.	Bozyaka RES	17,30	İzmir	2012
28	Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Burgaz RES	14,90	Çanakkale	2007
29	Alize En. El. Ür. A.Ş.	Çamseki RES	20,80	Çanakkale	2009
30	Boydak Enerji Ür. Tic. A.Ş.	Çanta RES	47,50	İstanbul	2013
31	Sanko Rüz. En. San. Tic. A.Ş.	Çatalca RES	60,00	İstanbul	2008
32	Alize En. El. Ür. A.Ş.	Çataltepe RES	16,00	Balıkesir	2010
33	Süper Elektrik Ür. A.Ş.	Çataltepe RES	12,00	İstanbul	2016
34	ZT Enerji A.Ş.	Çerçikaya RES	57,00	Hatay	2015
35	Alize En. El. Ür. A.Ş.	Çeşme RES	1,50	İzmir	1998
36	ABK Çeşme Enerji	Çeşme RES	18,00	İzmir	2015
37	Enerjisa En. Ür. A.Ş.	Dağpazarı RES	39,00	Mersin	2011
38	Dares Datca Rüz. En. Sant. San. Tic. A.Ş.	Dares Datça RES	29,60	Muğla	2008
39	Kale Enerji Üretim Tic. ve San. A.Ş.	Dilek RES	24,00	Kahramanmaraş	2015
40	Olgu En. Ür. Tic. A.Ş.	Dinar RES	115,00	Afyon	2013
41	Ütopya En. Ür. San. Tic. A.Ş.	Düzova RES	51,50	İzmir	2009
42	Edincik Enerji El. Ür. A.Ş.	Edincik RES	56,40	Balıkesir	2013
43	Meltem En. El. Ür. A.Ş.	Ege RES	9,20	İzmir	2015
44	Boreas En. Ür. San. ve Tic. Ltd. Şti.	Enez RES	21,60	Edirne	2008
45	FuatRES Elektrik Üretim A.Ş.	Fuat RES	19,80	İzmir	2015
46	Geres Enerji Ür. Tic. A.Ş.	GERES	30,00	Manisa	2014



47	Egenda Ege Enerji Üretim A.Ş.	Germiyan RES	12,00	İzmir	2016
48	Al-Yel El. Ür. A.Ş.	Geycek RES	168,00	Kurşehir	2013
49	Rotor El. Ür. A.Ş.	Gökçedağ RES	135,00	Osmaniye	2009
50	Garet En. Ür. ve Tic. A.Ş.	GökRES	35,75	Manisa	2014
51	Manres El. Ür. A.S.	Günaydın RES	20,75	Balıkesir	2012
52	Eskoda Enerji Ür. Paz. İth. İhr. A.Ş.	Harmanlık RES	52,80	Bursa	2015
53	Eksim Enerji Ür. A.Ş.	Hasanbeyli RES	50,00	Osmaniye	2014
54	Hilalres Elektrik Üretim San. Tic. A.Ş.	Hilal-2 RES	9,90	Mersin	2015
55	Tamyeli Enerji Üretim A.Ş.	İncesu RES	13,20	Afyon	2014
56	Anemon En. El. Ür. A.Ş.	İntepe RES	55,70	Çanakkale	2007
57	Kangal Elektrik Üretim A.Ş.	Kangal RES	78,00	Sivas	2014
58	Derne En. Ür. Tic. A.Ş.	Kaniye RES	64,00	Edirne	2016
59	Kapıdağ Rüz. En. Sant. El. Ür. San. Tic. A.Ş.	Kapıdağ RES	28,00	Balıkesir	2013
60	Lodos El. Ür. A.Ş.	Karaburun RES	120,00	İzmir	2013
61	Garet En. Ür. Tic. A.Ş.	Karadağ RES	10,00	İzmir	2012
62	Aysu En. San. Tic. A.S.	Karadere RES	16,00	Kırklareli	2014
63	Deniz El. Ür. Ltd. Şti.	Karakurt RES	12,00	Manisa	2007
64	Briza El. Ür. A.Ş.	Kavaklı RES	52,80	Balıkesir	2014
65	Alize En. El. Ür. A.Ş.	Keltepe RES	23,00	Balıkesir	2009
66	Lodos El. Ür. A.Ş.	Kemerburgaz RES	24,00	İstanbul	2008
67	Alenka Enerji Ür. Yat. Ltd. Şti.	Kıyıköy RES	28,00	Kırklareli	2014
68	Beşiktepe Enerji Ür. Tic. A.Ş.	Kıyıköy RES	45,00	Tekirdağ	2015
69	Kores Kocadağ Rüz. En. Sant. Ür. A.Ş.	KORES	25,00	İzmir	2012

70	Ayen En. A.Ş.	Korkmaz RES	25,20	İzmir	2014
71	Eskoda Enerji Ür. Paz. İth. İhr. A.Ş.	Koru RES	52,80	Çanakkale	2015
72	Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Kozbeyli RES	32,20	İzmir	2012
73	Are Elektrik Üretim Tic. San. A.Ş.	Kurtkayası RES	45,60	Kayseri	2016
74	Alize En. El. Ür. A.Ş.	Kuyucak RES	40,90	Manisa	2010
75	Kıroba El. Ür. A.Ş.	Madranbaba RES	20,00	Aydın	2013
76	Enerjisa En. Ür. A.Ş.	Mahmudiye RES	29,90	Çanakkale	2010
77	Mare Manastır Rüz. En. San. Tic. A.Ş.	Mare Manastır RES	42,40	İzmir	2006
78	Mazı-3 Rüz. En. Sant. El. Ür. A.Ş.	Mazı-3 RES	30,00	İzmir	2011
79	Akdeniz El. Ür. A.Ş.	Mersin Mut RES	42,00	Mersin	2010
80	Can Enerji Ent. El. Ür. A.Ş.	Metristepe RES	40,00	Bilecik	2011
81	Egenda Ege Enerji Ür. A.Ş.	Mordoğan RES	15,00	İzmir	2016
82	Ayen En. A.Ş.	Mordoğan RES	31,50	İzmir	2014
83	Güney Rüzgarı El. Ür. Tic. A.Ş.	Mut RES	52,80	Mersin	2015
84	Serin En. El. Ür. A.Ş.	Ortamandıra RES	11,20	Balıkesir	2015
85	Tayf Enerji Yat. Ür. Tic. A.Ş.	Ödemiş RES	21,00	Aydın	2015
86	R.K. RES El. Ür. San. Tic. Ltd. Şti.	Paşalimanı RES	0,80	Balıkesir	2013
87	Pitane Elektrik Ür. Ltd. Şti.	Pitane RES	4,80	İzmir	2014
88	Poyraz En. El. Ür. A.Ş.	Poyraz RES	77,10	Balıkesir	2012
89	NM Enerji Ür. Tic. A.Ş.	Poyraz RES	32,00	Balıkesir	2016
90	Ufuk En. El. Ür. A.Ş.	Poyrazgölü RES	34,50	Balıkesir	2015
91	Öres El. Ür. A.Ş.	Salman RES	27,50	İzmir	2014
92	Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Samurlu RES	34,50	İzmir	2012
93	Saray Dök. Mad. Ak. San. Tur. A.Ş.	Saray RES	4,60	Tekirdağ	2012

94	Garet En. Ür. ve Tic. A.Ş.	SaRES	27,50	Çanakkale	2010
95	Alize En. El. Ür. A.Ş.	Sarıkaya RES	30,00	Tekirdağ	2009
96	Doğal En. El. Ür. A.Ş.	Sayalar RES	57,20	Manisa	2008
97	Deniz El. Ür. Ltd. Şti.	Sebenoba RES	63,70	Hatay	2008
98	Üçgen Seferihisar Rüz. En. El. Ür. A.Ş.	Seferihisar RES	21,00	İzmir	2016
99	Eolos Rüz. En. Ür. A.Ş.	Senkoy RES	36,00	Hatay	2012
100	Doruk En. Ür. San. Tic. A.Ş.	Seyitali RES	36,80	İzmir	2011
101	Silivri Enerji Ür. A.Ş.	Silivri RES	45,00	İstanbul	2014
102	Sincik Rüz. El. Ür. A.Ş.	Sincik RES	27,50	Adıyaman	2013
103	Soma En. El. Ür. A.Ş.	Soma RES	264,10	Manisa	2011
104	Bilgin Rüz. Sant. En. Ür. A.Ş.	Soma RES	90,00	Manisa	2007
105	ABK En. Ür. San. Tic. A.Ş.	Söke RES	30,00	Aydın	2010
106	Bereket Enerji	Söke RES	49,50	Aydın	2015
107	Sunjüt Suni Jüt San. Tic. A.Ş.	Sunjüt RES	1,20	İstanbul	2006
108	Alentek En. A.Ş.	Susurluk RES	60,00	Balıkesir	2012
109	STEAG Rüzgar Süloğlu En. Ür. Tic. A.S.	Süloğlu RES	66,00	Kurkclareli	2015
110	Çanres El. Ür. A.S.	Şadıllı RES	38,50	Çanakkale	2014
111	Galata Wind En. Ltd. Şti.	ŞahRES	105,00	Balıkesir	2011
112	Baki El. Ür. Ltd. Şti.	Şamlı RES	113,40	Balıkesir	2008
113	Yeni Belen Enerji El. Ür.	Şenbük RES	27,70	Hatay	2013
114	Bakras Enerji El. Ür. Tic. A.Ş.	Şenbük RES	38,10	Hatay	2010
115	Teperes El. Ür. A.Ş.	TepeRES	0,85	İstanbul	2006
116	Pem En. A.Ş.	Tokat RES	40,00	Tokat	2010
117	Sabaş El. Ür. A.Ş.	Turguttepe RES	24,00	Aydın	2010
118	Elfa Elektrik Ür. A.Ş.	Umurlar RES	10,00	Balıkesir	2014
119	Egenda Ege En. Ür. A.Ş.	Urla RES	15,00	İzmir	2016

120	Arnaz RES Rüzgar En. El. Ür.	Uşak RES	54,00	Uşak	2013
121	SE Santral El. Ür. San. Tic. A.Ş.	Yahyalı RES	52,80	Kayseri	2015
122	Yaylaköy Res El. Ür. A.Ş.	Yaylaköy RES	15,00	İzmir	2016
123	Innores El. Ür. A.Ş.	Yuntdağ RES	60,00	İzmir	2011
124	Derne En. Ür. Tic. A.Ş.	Zeliha RES	25,60	Kırklareli	2016
125	Zeytineli RES El. Ür. A.Ş.	Zeytineli RES	50,00	İzmir	2013
126	Rea Elektrik Üretim Tic. San. Ltd.Şti.	Zincirli RES	12,00	Kayseri	2016
127	Ziyaret RES El. Ür. San.Tic. A.Ş	Ziyaret RES	76,00	Hatay	2010
		<b>Toplam</b>	<b>5146,35</b>		

**EK.2. Rüzgar Hızı Normalizasyon Değerleri**

<b>Günler</b>	<b>Ocak</b>	<b>Şubat</b>	<b>Mart</b>	<b>Nisan</b>	<b>Mayıs</b>	<b>Haziran</b>
1	0,310526316	0,821052632	0,084210526	0,289473684	0,115789474	0,157895
2	0,242105263	0,768421053	0,094736842	0,178947368	0,205263158	0,173684
3	0,226315789	0,426315789	0,189473684	0,136842105	0,121052632	0,147368
4	0,231578947	0,331578947	0,389473684	0,294736842	0,405263158	0,147368
5	0,394736842	0,221052632	0,236842105	0,147368421	0,252631579	0,315789
6	0,594736842	0,463157895	0,321052632	0,452631579	0,294736842	0,168421
7	0,6	0,142105263	0,352631579	0,347368421	0,126315789	0,078947
8	1	0,278947368	0,189473684	0,215789474	0,173684211	0,1
9	0,752631579	0,168421053	0,163157895	0,578947368	0,247368421	0,1
10	0,189473684	0,605263158	0,089473684	0,989473684	0,231578947	0,110526
11	0,294736842	0,847368421	0,047368421	0,910526316	0,257894737	0,221053
12	0,684210526	0,510526316	0,157894737	0,489473684	0,184210526	0,315789
13	0,363157895	0,410526316	0,252631579	0,484210526	0,257894737	0,263158
14	0,084210526	0,047368421	0,210526316	0,178947368	0,189473684	0,384211
15	0,084210526	0,073684211	0,273684211	0,173684211	0,215789474	0,442105
16	0,357894737	0,278947368	0,742105263	0,157894737	0,147368421	0,194737
17	0,073684211	0,484210526	0,536842105	0,273684211	0,089473684	0,184211
18	0,105263158	0,742105263	0,110526316	0,442105263	0,152631579	0,221053
19	0,310526316	0,757894737	0,252631579	0,352631579	0,242105263	0,142105
20	0,231578947	0,836842105	0,178947368	0,047368421	0,273684211	0,142105
21	0,215789474	0,542105263	0,5	0,321052632	0,094736842	0,121053
22	0,089473684	0,3	0,257894737	0,526315789	0,157894737	0,142105
23	0,321052632	0,557894737	0,168421053	0,473684211	0,173684211	0,131579
24	0,531578947	0,236842105	0,073684211	0,131578947	0,289473684	0,305263
25	0,394736842	0,357894737	0,168421053	0,173684211	0,305263158	0,378947
26	0,247368421	0,294736842	0,215789474	0,1	0,189473684	0,263158
27	0,284210526	0,331578947	0,447368421	0,063157895	0,131578947	0,189474
28	0,189473684	0,310526316	0,357894737	0,436842105	0,057894737	0,410526
29	0,357894737		0,247368421	0,252631579	0,142105263	0,178947
30	0,526315789		0,242105263	0,152631579	0,331578947	0,110526
31	0,978947368		0,331578947		0,131578947	

EK.2. Rüzgar Hızı Normalizasyon Değerleri

Günler	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0,163157895	0,115789474	0,078947368	0,242105263	0,2	0,278947
2	0,415789474	0,126315789	0,131578947	0,094736842	0,305263158	0,3
3	0,578947368	0,121052632	0,078947368	0,026315789	0,147368421	0,668421
4	0,326315789	0,147368421	0,184210526	0,126315789	0,042105263	0,563158
5	0,168421053	0,084210526	0,136842105	0,047368421	0,021052632	0,152632
6	0,315789474	0,221052632	0,284210526	0,142105263	0,031578947	0,263158
7	0,2	0,084210526	0,157894737	0,257894737	0,073684211	0,236842
8	0,121052632	0,036842105	0,142105263	0,068421053	0,310526316	0,089474
9	0,115789474	0,047368421	0,268421053	0,126315789	0,657894737	0,084211
10	0,121052632	0,057894737	0,042105263	0,168421053	0,278947368	0,036842
11	0,442105263	0,057894737	0,131578947	0,321052632	0,384210526	0,047368
12	0,421052632	0,136842105	0,226315789	0,421052632	0,268421053	0,226316
13	0,415789474	0,163157895	0,368421053	0,142105263	0,194736842	0,5
14	0,163157895	0,078947368	0,136842105	0,142105263	0,094736842	0,268421
15	0,436842105	0,173684211	0,142105263	0,063157895	0,042105263	0,073684
16	0,410526316	0,047368421	0,2	0,068421053	0,336842105	0,089474
17	0,431578947	0,1	0,3	0,031578947	0,5	0,231579
18	0,347368421	0,168421053	0,136842105	0,210526316	0,231578947	0,005263
19	0,194736842	0,152631579	0,131578947	0,131578947	0,231578947	0,078947
20	0,163157895	0,110526316	0,152631579	0,231578947	0,242105263	0,131579
21	0,263157895	0,210526316	0,221052632	0,257894737	0,515789474	0,236842
22	0,242105263	0,178947368	0,184210526	0,315789474	0,573684211	0,257895
23	0,157894737	0,363157895	0,347368421	0,415789474	0,210526316	0,505263
24	0,115789474	0,415789474	0,257894737	0,389473684	0	0,305263
25	0,068421053	0,431578947	0,021052632	0,247368421	0,415789474	0,052632
26	0,126315789	0,294736842	0,063157895	0,352631579	0,605263158	0,442105
27	0,215789474	0,178947368	0,089473684	0,478947368	0,463157895	0,036842
28	0,115789474	0,352631579	0,042105263	0,531578947	0,694736842	0,015789
29	0,131578947	0,521052632	0,136842105	0,147368421	0,073684211	0,152632
30	0,168421053	0,573684211	0,405263158	0,052631579	0,384210526	0,778947
31	0,163157895			0,178947368		0,984211

**EK.2. Rüzgar türbinleri Çıkış Gücü Normalizasyon Değerleri**

Rüzgar Hızı	Gamesa G97-2MW	Suzlon S.88-2100	Siemens SWT-2.3-113	N100-2,5 MW	E82-3 MW	V117-3,3 MW
0	0	0	0	0	0	0
0,04	0	0	0	0	0	0
0,04	0	0	0	0	0	0
0,04	0,007	0,007142857	0,028695652	0,0096	0,008333333	0,007273
0,04	0,047	0,016666667	0,074347826	0,0336	0,027333333	0,042121
0,04	0,118	0,061904762	0,153043478	0,0848	0,058	0,094545
0,04	0,219	0,147619048	0,270869565	0,1564	0,107	0,172727
0,04	0,357	0,25	0,435652174	0,2396	0,175	0,283636
0,04	0,542	0,39047619	0,650869565	0,3648	0,266666667	0,43
0,04	0,754	0,552380952	0,87173913	0,5196	0,378333333	0,614242
0,04	0,918	0,733333333	0,976521739	0,6976	0,503333333	0,819697
0,04	0,9865	0,895238095	0,99826087	0,8596	0,626666667	0,96
0,04	0,996	1	1	0,9556	0,733333333	0,997576
0,04	0,999	1	1	0,9968	0,833333333	1
0,04	1	1	1	1	0,923333333	1
0,04	1	1	1	1	0,97	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	1	1	1

## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Yozgat'ın Boğazlıyan ilçesinde doğan Ümit ŞENOL, ilk ve orta öğrenimini Sarıkaya Namık İlköğretim okulunda, lise öğrenimini Yozgat Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2007 yılında Dumlupınar Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazanarak üniversite eğitimine başlamış ve 2012 yılında mezun olup Elektrik-Elektronik Mühendisi ünvanını alarak Nevşehir'de Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. Kasım 2014'ten itibaren de Türkiye Elektrik İletim A.Ş. kurumunda çalışma hayatına devam etmektedir.

### **İletişim Bilgileri:**

**Adres:** Pınarbaşı Mah. Beşiktaş Sok. 29/2 Keçiören, Ankara

**Telefon:** 05454736619

**E-posta:** umitsenol66@gmail.com