

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İÇ ANADOLU BÖLGESİ İÇİN MODERN KONTROL YÖNTEMLERİ
İLE RÜZGAR HIZI TAHMİNİ: KIRŞEHİR BÖLGESİ ÖRNEĞİ**

ESRA ZORLU

OCAK 2015

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Esra ZORLU tarafından hazırlanan İÇ ANADOLU BÖLGESİ İÇİN MODERN KONTROL YÖNTEMLERİ İLE RÜZGAR HIZI TAHMİNİ: KIRŞEHİR BÖLGESİ ÖRNEĞİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ediz POLAT

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Necaattin BARIŞCI _____

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY _____

Üye : Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

İÇ ANADOLU BÖLGESİ İÇİN MODERN KONTROL YÖNTEMLERİ İLE RÜZGAR HIZI TAHMİNİ: KIRŞEHİR BÖLGESİ ÖRNEĞİ

ZORLU, Esra

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY

OCAK 2015, 74 sayfa

Bu çalışmada Türkiye’de rüzgar enerjisi üretiminin yaygınlaşması ve mevcut üretimin verimliliğinin artırılabilmesine yönelik olarak kısa vadeli rüzgar hızı tahmini yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Kırşehir ili kapsamında 1975-2010 yılları arasındaki sıcaklık, nem ve basınç değerleri kullanılarak rüzgar hızı tahmini gerçekleştirilmiştir. Araştırmada analiz yöntemi olarak ileri beslemeli geri yayımlı Yapay Sinir Ağları ve buna ilişkin iki farklı algorithmadan elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Levenberg - Marquardt (LM) ve Resilient Back Propagation (RBP) algoritmalarının karşılaştırmasında Ortalama Hata Karekök (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Mutlak Hata Oranları Ortalaması (MAPE) değerleri esas alınmıştır. Buna göre her iki algoritmanın performansının birbirine çok yakın olduğu ve Resilient Back Propagation öğrenme algoritmasının nispeten daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar hızı, rüzgar enerjisi, yapay sinir ağı.

ABSTRACT

WIND SPEED WITH MODERN CONTROL METHOD FOR CENTRAL ANATOLIA REGION ESTIMATED: KIRSEHİR REGION STUDY

ZORLU, Esra

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics, M. Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Murat LÜY

DECEMBER 2014, 75 pages

In this study according to enhance the widening of wind energy production efficiency in Turkey, short term wind speed prediction is aimed. According to this scope temperature, humidity and pressure values in Kırşehir city between 1975-2010 years, has been used to do the prediction of wind speed. In the study, feed forward back - propagation neural networks analyze method has been used and data resulted from Levenberg-Marquardt (LM) and Resilient Back Propagation (RBO) algorithms. According to the comparison of those two different algorithms, Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) has taken account as constant. According to this, both two algorithm's performances are quite similar to each other and resilient back propagation learning algorithms provide much better results have been noted.

Keywords: Wind speed, wind energy, artificial neural network.

TEŐEKKÜR

Akademik yaşama ilk adım olarak kabul edilen Yüksek Lisans alışmamın sonuna gelmiş bulunuyorum. Bu süreç benim oldukça zor ve etin bir dönemin beraberinde sonuçlandı. Muhakkak ki kendi alanımla ilgili bilgi birikimimi ve bakış aımı geliştirmem gereken yeni bir sürece adım atıyorum.

Bu sürecin tümünde, çalışmalarımı yürütürken ilminden faydalandığım, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam Yrd.Doç. Dr. Murat LY'e; çalışmam süresince fikir ve eleştirileriyle yardımcı olan, desteğini ve vaktini esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Ertuğrul AM'a ve Doç. Dr. Necaattin BARIŞCI'ya teőekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teőekkürlerimi sunarım.

OCAK 2015

Esra ZORLU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Enerji.....	5
1.2. Enerji Kaynakları	6
1.3.Rüzgar	7
1.3.1. Rüzgar Çeşitleri	8
1.3.2.Rüzgar Enerjisi.....	10
1.3.2.1. Önemi.....	11
1.3.2.2. Tarihçesi	12
1.3.2.3. Rüzgar Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları	16
1.3.3. Rüzgâra Sebep Olan Etkenler	17
1.3.3.1. Gradyan Kuvveti	17
1.3.3.2. Coriolis Kuvveti.....	17
1.3.3.3. Merkezkaç Kuvveti	17
1.3.3.4. Sürtünme Kuvveti.....	18

1.3.4. Rüzgârın Hızı ve Yönü	18
1.3.5. Rüzgâr Enerji Sistemlerinde Yaygın Olarak Kullanılan Kavramlar	18
1.3.5.1. Hava Yoğunluğu.....	18
1.3.5.2. Rotorun Süpürdüğü Alan.....	19
1.3.5.3. Rüzgârdan Elde Edilebilecek Teorik Güç	20
1.3.5.4. Kanat Hız Oranı.....	20
1.3.5.5. Güç Performans Katsayısı.....	21
1.3.6. Rüzgârın Oluşumu ve İlişkili Değişkenler	23
1.3.7. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	24
2. YÖNTEM	26
2.1. Veri Setinin Elde Edilmesi	26
2.2 Yapay Sinir Ağları	27
2.2.1. Genel	27
2.2.2. YSA'ların Genel Özellikleri	29
2.2.3. YSA'ların Avantaj ve Dezavantajları.....	30
2.2.4. YSA'ların Kullanıldığı Alanlar	33
2.2.5. Yapay Sinir Ağı Hücresi.....	34
2.2.5.1. Aktivasyon Fonksiyonları.....	36
2.2.6. Yapay Sinir Ağları Modelleri	38
2.2.7. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi	40
2.2.8. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları.....	41
2.3. Kullanılan Algoritmalar	45
2.3.1. Levenberg – Marquardt (LM) Algoritması.....	46
2.3.2. ResilientBackpropagation (RBP) Algoritması	48
3. UYGULAMA.....	50
4. SONUÇ	56
KAYNAKLAR	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

<i>Çizelge 1. Rüzgar hızı tahmininde kullanılan analiz yöntemlerine ilişkin literatür taraması</i>	<i>3</i>
<i>Çizelge 2. Beaufort cetveli kara kriterleri</i>	<i>8</i>
<i>Çizelge 3. Beaufort cetveli deniz kriterleri</i>	<i>9</i>
<i>Çizelge 4. Dünya Toplam Rüzgâr gücü 2009 dan 2011 ilkyarı yılına kadar</i>	<i>15</i>
<i>Çizelge 5: Rüzgar enerjisinin avantaj ve dezavantajları</i>	<i>16</i>
<i>Çizelge 6: Ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli.....</i>	<i>25</i>
<i>Çizelge 7. Performans Ölçütlerine İlişkin Değerler (Value of PerformanceMetricsRelatedto).....</i>	<i>55</i>

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Dünya rüzgâr pazarı büyüme oranı (%).....	14
Şekil 1.2. Kanat hız oranına göre rotor verimliliği	21
Şekil 1.3. Değişik β açısı değerleri için C_p - λ eğrisi	22
Şekil 1.4. Rüzgârın Oluşumu [36].....	23
Şekil 2.1. Basit bir sinir hücresi	28
Şekil 2.2. Temel yapay sinir ağı hücresi	35
Şekil 2.3. Eşik aktivasyon fonksiyonu.....	36
Şekil 2.4. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	37
Şekil 2.5. Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	37
Şekil 2.6. İleri Beslemeli Yapı	39
Şekil 2.7. Geri beslemeli yapı	40
Şekil 2.8. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı	43
Şekil 3.1. Learning Rates parametresinin Levenberg-MarquardtBackpropagation algoritmasına ait MAPE ve RMSE değerleri üzerindeki etkisi (The Learning RatesParameter'sEffect on theLevenberg-MarquardtBackpropagationAlgorithm's MAPE and RMSE Values)	52
Şekil 3.2. Learning Rates parametresinin ResilientBackpropagation algoritmasına ait MAPE ve RMSE değerleri üzerindeki etkisi (The Learning RatesParameter'sEffect on theResilientBackpropagationAlgorithm's MAPE and RMSE Values).....	53
Şekil 3.3. Levenberg-Marquardtbackpropagation algoritması kullanılarak Kırşehir ili için elde edilen tahmin sonuçları (Levenberg-Marquardtbackpropagationalgorithmestimationresultsobtainedfor Kırşehir)	54
Şekil 3.4. Resilientbackpropagation algoritması kullanılarak Kırşehir ili için elde edilen tahmin sonuçları (Resilientbackpropagationalgorithmestimationresultsobtainedfor Kırşehir)	54
Şekil 3.5. Performans Ölçütlerine İlişkin Karşılaştırmalı Değerler (Comparative Value of PerformanceMetricsRelatedto).....	55

KISALTMALAR DİZİNİ

ARMA	Autoregressive Moving Averages
ARIMA	Autoregressive Integrated oving Average
EÜAŞ	Enerji Üretim Anonim Şirketi
LM	Levenberg - Marquardt
LVQ	Learning Vector Quantization
MLP	Çok Katmanlı Perseptronlar
RBP	Resilient Back Propagation
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Rüzgar günümüzde elektrik başta olmak üzere yenilebilir enerji üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarihsel süreç içerisinde ilk kez Çinliler ve Persler tarafından değirmenlerde tahıl öğütmek için kullanılmaya başlanmıştır [1]. 1960'lı yılların ardından elektrik üretimi için rüzgar kullanımı Avrupa'da yaygınlaşarak çevre dostu bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Özellikle diğer enerji hammadde kaynaklarındaki daralma ve olası zararlı etkilerine karşın rüzgar temelli enerji üretimleri önemini artırmıştır. Günümüzde dünya rüzgar enerjisi üretiminin yaklaşık %70'lik kısmı Avrupa coğrafyasında üretilmektedir [2].

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde sanayileşme ve sosyo-ekonomik gelişmelerle birlikte elektrik ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu yüzden ülkenin kendi içerisinde öz kaynakları ile yapacağı elektrik üretiminin enerji planlaması bakımından önem arz ettiği ileri sürülebilir [3]. Ayrıca rüzgar enerjisinin gelişimi kırsal bölgelerde ve şehirlerde ekonomiye olumlu etkisi olan ve istihdam yaratıcı bir özelliğe sahiptir.

Rüzgar hızı özellikle elektrik piyasaları açısından doğru tahmin, kısa vadeli öngörü ve enerji dönüşümündeki verimliliğin artırılması için kullanılmaktadır. Ancak rüzgar hızı öngörülemeyen doğası nedeniyle farklı bölgelerde rüzgar enerjisi üretimini büyük ölçüde belirlemektedir [4].

Rüzgar enerjisi yenilebilir bir enerji olarak geleneksel enerji kaynaklarına alternatif niteliğindedir. Rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin temel unsurları rüzgar tribünü, jeneratör, bağlantı aparatı ve kontrol sistemidir. Bu sebeple rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi karmaşıktır. Rüzgar enerjisi kanat-pervane olarak ifade edilen araçlar

sayesinde hareket enerjisine dönüştürülür ve bu hareket enerjisi ya direk olarak özel olarak üretilmiş jeneratör miline bağlanarak veya ara bir dişli sistemiyle aktararak jeneratör miline bağlanmaktadır. Bu sayede elektrik enerjisi üretimi için temel girdi olan hareket üretilmektedir. Rüzgardan üretilen elektrik enerjisi rüzgarın hızına bağlıdır [6]. Rüzgar hızı tahminleri, güç ünitelerinde değişebilen gerilim ve frekans dalgalanmalarında olumsuz varyasyonları azaltabilmektedir.

Rüzgar hızı tahminine yönelik çalışmaların rüzgar enerjisi kullanımında verimlilik ve etkinlik açısından önemli olduğu kabul edilebilir [7]. Rüzgar hızı tahmininde istatistiksel yöntemlerin yanı sıra, zaman serisi analizi modelleri, ARMA ve ARIMA metodu, yapay sinir ağları, radyal tabanlı fonksiyon ve bulanık mantık gibi yapay zeka yöntemlerinin sıklıkla kullanılmaya başlandığı görülmektedir [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Rüzgar enerjisi konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve bu potansiyelin nasıl kullanılacağına yönelik uygulamalı, istatistiksel ve fiziksel yapıya bağlı çalışmalar olduğu görülmektedir. Bu çalışmaların bir kısmı her ülkenin ilgili kurumlarınca ya da uluslararası bazı organizasyonlarca desteklenmektedir. Biz kısmı ise bilimsel niteliği ve veri analizi ağırlıklı tezlerden ve makalelerden oluşmaktadır. Özellikle Türkiye merkezli bilimsel çalışmaların farklı yörelerdeki rüzgar hızı tahminleriyle ilişkilendirildiği söylenebilir. Zira yöresel olarak rüzgar hızı, potansiyeli ve kullanımı farklılaşmaktadır. Söz konusu çalışmalar açısından en büyük sorun verilerin elde edilmesi ve farklı analiz yöntemlerinin uygulanmasıdır. Konuyla alakalı verilerin genellikle Türkiye Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edildiği anlaşılmaktadır.

Rüzgar hızı tahmini ve uygulaması kapsamında gerçekleştirilen bazı çalışmalar Çizelge 1 de yer almaktadır.

Çizelge 1. Rüzgar hızı tahmininde kullanılan analiz yöntemlerine ilişkin literatür taraması

Yazar(lar)	Konu	Method	Örnekleme Yeri
Li and Shi, 2010	Rüzgar hızı tahmini	- Yapay Sinir Ağları	North Dakota
Philippopoulos and Deligiorgi, 2012	Rüzgar hızı yoğunluğu	İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	The island of Crete in Greece
Shi and Zhou, 2011	Kısa süreli rüzgar hızı tahminleri	-Yapay Sinir Ağları -Geri yayımlı Ağlar -Radial basis function network.	North Dakota, USA.
Guo, et al.,2012	Rüzgar hızı kullanımı için çok adımlı tahmin	Based feed-forward neural network	Zhangye of China
Barbounis and Theocharis, 2007	Rüzgar hızı tahmini	-Fuzzy neural network -There cursive prediction error	Gulfof Thessaloniki, Northern Greece
Kani and Ardehali, 2011	Rüzgar hızı tahmini	-Yapay Sinir Ağları -Markovchain -Çok Katmanlı Algılayıcı	İran
Cadenas and Rivera, 2009	Rüzgar hızı tahmini	İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağlar	La Venta, Oaxaca, Mexico
Fadare, 2010	Rüzgar hızı tahmini	İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağlar	Nigeria
Barbounis and Theocharis, 2007	Rüzgar hızı tahmini	-Dynamic fuzzy neural network -Prediction error algorithm	Thessaloniki, Northern Greece
Bouzgou and Benoudjit, 2011	Rüzgar hızı tahmini	-Destek sistemleri -Yapay Sinir Ağları -RadialBasisFunctions	Algeria
Monfared, Rastegar and	Rüzgar hızı tahmini	Bulanık Mantık-Yapay Sinir Ağları	Rostamabad in northern

Kojabadi, 2009			Iran
Cadenas and Rivera, 2007	Rüzgar hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları	La Venta, Oaxaca, Mexico
Mohandes Rehman and Rahman, 2011	Rüzgar hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları	Juaymahcity of Saudi Arabia.
Shi*, Guoand Zheng, 2012	Rüzgar hızı tahmini	-Yapay Sinir Ağları -Destek Sistemleri -Özbağlanımsal tümlesik hareketli ortalama	Colorado, North Dakota, USA
Guo, Wu, Lu and Wang, 2010	Rüzgar hızı tahmini	-Kolmogorov-Smirnov (K-S) test -Geri Yayılım Algoritması	Minqin, China
Bilgili and Şahin, 2010	Rüzgar hızı tahmini	-Doğrusal Regresyon -Doğrusal Olmayan Regresyon -Yapay Sinir Ağları	Antakya, Mersin, Turkey
Çam et al., 2005	Rüzgar hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları	6 geographic regions of Turkey
Bilgili, Şahin and Yaşar, 2007	Rüzgar hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları	Antakya, Turkey
Yurdusev, Ata and Çetin, 2006	Rüzgar hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları	Turkey
Ata and Koçyiğit, 2010	Rüzgar hızı tahmini	Bulanık Mantık Sistemi	Turkey
Sreelakshmi and Ramakanthkumar, 2008	Rüzgar hızı tahmini	Yapay Sinir Ağları- Geri Yayılım Algoritması	India
Lahoz and Miguel, 2006	Rüzgar yönü ve hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları	Zaragoza, Spain
Almalı, 2005	Karşılaştırmalı Rüzgar Hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağları	Van, Turkey
Bilgili, 2007	Rüzgar hızı tahmini	Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağları	Akdeniz bölgesi, Turkey
Kartal, 2010	Rüzgar hızı tahmini	Weibul	Eskişehir, Turkey

Rüzgar enerjisi üretimi rüzgar hızı ile doğru orantılıdır. Rüzgar hızı ise arazi yapısı ve yükseklik gibi topografik parametrelerin yanı sıra nem, basınç, sıcaklık ve yağış değişkenlerinin etkisi altındadır. Bu faktörlerdeki olası değişimler incelenen bölge ya da alanda rüzgar enerjisi üretimini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden farklı bölgelerde çeşitli verilerle yapılacak rüzgar hızı ölçümlerinin ve özellikle kısa vadeli rüzgar hızı tahmininde bulunulmasının enerjinin doğru kullanımına katkı sağlayacağı ifade edilebilir [10]. Maliyet düşüklüğü, çevre dostu olması ve adaptasyon yeteneği ile rüzgar enerjisinin önemi giderek artmaktadır. Rüzgar enerjisi rüzgar hızının üçüncü kuvveti ile doğru orantılıdır [15].

Bu araştırmada Türkiye’de rüzgar enerjisi üretiminin yaygınlaşması ve mevcut üretimin verimliliğinin artırılabilmesine yönelik olarak kısa vadeli rüzgar hızı tahmini yapılması amaçlanmaktadır. Araştırmada Kırşehir ili kapsamında 1975-2010 yılları arasındaki sıcaklık, nem ve basınç değerleri kullanılarak rüzgar hızı tahmini gerçekleştirilmektedir. Araştırmada analiz yöntemi olarak Levenberg-Marquardt (LM) ve Resilient Back Propagation (RBP) algoritmalarını kullanan ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları kullanılmakta ve buna ilişkin elde edilen bulgular karşılaştırılmaktadır.

1.1.Enerji

Enerjinin önemi insanlara sağladığı fayda ve çevreyle olan ilişkileri ile açıklanabilir. Bu çerçevede enerji ile ilgili oluşabilen çevresel sorunlar neredeyse tüm insanlar tarafından bilinmektedir. Dünya enerji kaynaklarının kullanımında fosil yakıtların ön plana çıkması ve hızla tüketilmesi ekonomiye ve özellikle sanayi sektöründe ağır bir yük getirmektedir. [16].

Diğer yandan dünya nüfusunun giderek artması ve bununla ilişkili olarak sanayi sektörünün büyümesi enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır. Yapılan pek çok araştırmada petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların hızla tükenmekte olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple farklı sektörlerde olabildiğince enerjinin tasarruf edilmesi, enerjinin geri dönüşümü ve yeni enerji kaynaklarının üzerine çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Doğal olarak yenilenebilir enerji ihtiyacının dünyamız ve insanoğlunun geleceği için çok önemli bir konuma gelmiştir [17].

Bu süreç ve algılama Türkiye’de de sön dönemde etkisini göstermeye başlamıştır. Türkiye’de petrol ve doğalgaz derinlikleri yaklaşık 2500 ve 3500 metre arasında değişen ihtiyatlardan çıkarılmaktadır. Üretim seviyesi korunduğu sürece, Türkiye’de toplam ham petrol ihtiyatının 17,3 yıllık bir ömrü olduğu öngörülmüştür [18]. Kaynaklar açısından bakıldığında, 2010 yılı itibariyle, toplam elektrik üretiminin %45,9’u doğalgazdan, %18,4’ü yerli kömürden, %24,5’i hidrolik kaynaklardan, %6,9’u ithal kömürden, %2,5’i sıvı yakıtlardan, %1,35’i rüzgârdan ve %0,47’si jeotermal ve biyogazdan sağlanmıştır. 2009 yılı ile oranlandığında özellikle hidrolik kaynaklardan ve rüzgârdan faydalanma oranı artarken, yerli kömür ve doğal gazın oranlarında azalma görülmüştür. EÜAŞ’ın bu üretimde 2008 yılında sahip olduğu pay %49,2’den 2009 sonunda %46,1’e, 2010 yılında da %45,4’e düşerken, geri kalan %54,6’lık üretim ise özel sektör tarafından karşılanmaktadır [19]

1.2. Enerji Kaynakları

Enerji, bir makinenin ya da bir sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. İnsanlar tarihleri süresince enerjiye gereksinim duymuşlardır. Besin kaynakları dışında çeşitli enerji kaynakları da keşfederek bu kaynakları

geliştirdikleri teknolojiler vasıtasıyla ısı, mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürmeyi öğrenmişlerdir. Birincil enerji kaynakları yazılacak olursa;

Birincil Enerji Kaynakları

- a) Kömür
- b) Petrol
- c) Doğalgaz
- d) Nükleer Güç
- e) Odun
- f) Su Gücü
- g) Güneş
- h) Rüzgâr

Dünyadaki dönüşüm ve beklentiler çerçevesinde son dönemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar artmaktadır. Özellikle rüzgâr enerjisi alanında büyük gelişmeler kaydedilmektedir [20].

1.3.Rüzgar

Günümüz enerjisinin kaynağı güneştir. Dünyaya ulaşan enerjinin hepsi tüketilmemektedir. Güneşten gelen enerjinin %2 civarında bir bölümü rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Oysa hızla artan nüfus, tüketicilerin istek ve beklentilerindeki değişimler yeni enerji üretilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlarından elde edilmektedir. İspatlanan petrol rezervlerinin 35–40 yıl, doğalgaz rezervlerinin 65 yıl ve kömür rezervlerinin 220 yıl

sonra tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu sebeple söz konusu enerji kaynaklarının rezervlerinin belli bir süre ve miktarla sınırlı olduğunu ifade etmek mümkündür [20] Bu temel üzerinde günümüz üretim ve tüketim alışkanlıkları dikkate alındığında geliştirilebilir bir enerji biçimi olan Rüzgar enerjisinin önemi giderek artmaktadır.

Rüzgar, Türk Dil Kurumu tarafından yayımlanmış Sözlük'e göre havanın yer değiştirmesinden oluşan yel olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar, güneş enerjisinin yaratmış olduğu dünya yüzeyine yakın ve atmosfer içerisinde havanın doğal hareketleridir. Rüzgar, alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır. Bu çerçevede iki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar büyük olursa hava akım hızı o kadar fazla olur. Rüzgarlar, temel olarak basınç kuvvetlerinin etkisi ile potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesinin bir sonucudur. Sahip olduğu hıza göre; rüzgarın tayfun, fırtına, hortum gibi isimler aldığı görülmektedir. Rüzgarın yönü, rüzgar gülü; hızı ise anemometre ile ölçülür. Anemometre, pervanenin dönüş hızından rüzgar hızını gösteren basit bir ölçü aletidir. Rüzgarlar dalga ve akımların yanı sıra karaların yer değiştirmesinde de etkili olmaktadır [21]

1.3.1. Rüzgar Çeşitleri

Rüzgar sınıflandırmasında farklı kriterler kullanılabilir. Oluşum bölgelerine göre rüzgar; küresel rüzgarlar, yüzey rüzgarları ve yerel rüzgarlar olarak incelenebilir. Ayrıca rüzgar hızının baz alındığı Beaufort Cetveli'ne göre kara ve deniz kriterleri dikkate alındığında Çizelge 2 ve Çizelge 3 sınıflandırması yapılabilir.

Çizelge 2. Beaufort cetveli kara kriterleri

Beaufort Sayısı	Rüzgar Hızı (m/s)	Tanımı	Gözlenebilir Etkiler
0	0-0,4	Durgun	Duman dikey olarak yükselir.
1	0,4-1,8	Hafif	Duman yatay acı yapacak şekilde yükselir.
2	1,8-3,6	Hafif	Rüzgar deride hissedilir, yapraklar hafif

			hareketlidir.
3	3,6-5,8	Hafif	Yapraklar hareketlidir, bayrak hafif dalgalanır.
4	5,8-8,5	Orta	Küçük dallar hareketlidir, toz kalkar, kitap sayfaları uçuşur.
5	8,5-11	Orta	Küçük ağaçlar hareketlidir, rüzgar hissedilir.
6	11-14	Güçlü	Büyük dallar hareketlidir, telefon telleri öter.
7	14-17	Güçlü	Bütün ağaçlar hareketlidir
8	17-21	Fırtına	Önce dallar kırılır, yürümek güçleşir.
9	21-25	Fırtına	Küçük çaplı hasar oluşur.
10	25-29	Güçlü Fırtına	Ağaçlar köklerinden sökülür, yapılarda orta dereceli hasar oluşur.
11	29-34	Güçlü fırtına	Geniş çaplı hasar oluşur.
12	34<	Kasırga	Sadece tropikal iklimlerde meydana gelir,felakettir.

Çizelge 3. Beaufort cetveli deniz kriterleri

Beaufort Sayısı	Rüzgar Hızı (m/s)	Tanımı	Gözlenebilir Etkiler
0	0-0,4	Durgun	Deniz ayna gibidir
1	0,4-1,8	Hafif	Dalga sırtı oluşmaksızın, kırışikların görülmesi ile şırıptılar oluşur.
2	1,8-3,6	Hafif	Küçük dalgacıklar, kısa fakat belirgin kırışiklar,dalga sırtları cam görünümü alır ve bozulmazlar.
3	3,6-5,8	Hafif	Büyük dalgalar, dalga sırtları bozulmaya baslar, cam görünümlü kopuk oluşur, dalga sırtları köpürerek saçılabilir.
4	5,8-8,5	Orta	Küçük dalgalar daha çok uzar, oldukça sık beyaz köpükler oluşur.
5	8,5-11	Orta	Daha belirgin uzun ve orta büyüklükteki dalgalar,birçok beyaz kopuk oluşur ve su saçılır.
6	11-14	Güçlü	Büyük dalgalar oluşmaya baslar, beyaz köpükleri ile dalga sırtları her yerde daha yoğun olarak görülür.
7	14-17	Güçlü	Su yukarı doğru sıçrar, rüzgarın yönü boyunca dalgaların kırılmasından oluşan beyaz köpükler,şeritler halinde patlak vermeye baslar.

8	17-21	Fırtına	Daha uzun boylu, oldukça yüksek dalgalar,dalgalar sırtlarının kenarları köpüklenecek şekilde kırılır, kopuk rüzgarın yönü boyunca belirgin bir şekilde sürüklenir.
9	21-25	Fırtına	Yüksek dalgalar, rüzgarın yönü boyunca, yoğun köpük şekilleri, dalga sırtları dönmeye baslar, suyun saçılması görüşü etkileyebilir.
10	25-29	Güçlü Fırtına	Çok yüksek dalgalar, görüş nerdeyse sıfırdır.
11	29<	Güçlü fırtına	Sadece tropikal iklimlerde meydana gelir,felakettir.

1.3.2.Rüzgar Enerjisi

Dünyada hızla yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi rüzgâr enerjisidir. Günümüzde alternatif bir enerji kaynağı olarak değerlendirilen rüzgâr enerjisi, aslında insanoğlunun M.Ö. 2800'lerden beri, farklı şekillerde kullandığı, en eski enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr tarihten bu güne yelkenlilerde, tahıl öğütmede, su pompalamada, rüzgâr türbinlerinde kullanılmıştır.

Rüzgâr enerjisinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi eşit ısıtamamasından dolayı değişen sıcaklık ve buna bağlı basınç farkları rüzgârı oluşturmaktadır. Rüzgâr, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akmasıyla oluşan havanın Dünya yüzeyine göre hareket etmesidir. Rüzgârın oluşumu basınç farklılıklarına dayanmaktadır.

Rüzgâr enerjisinde; rüzgârın hızı, yönü ve esme saat sayısı gibi nicelikleri değerlendirilir. Rüzgârın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı biçimde artar. Rüzgârın yönü, o anki hava durumuna ve iklimin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Meteorolojik açıdan rüzgârın olabileceği yerler şu şekilde sıralanabilir [20]:

- Basınç gradyanının yüksek olduğu yerler,
- Yağışların sürekli esen rüzgâra paralel olduğu vadiler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve platolar,
- Yüksek basınç gradyanlı düzlükler ve sürekli rüzgâr alan az eğimli vadiler,
- Güçlü jeostrofik rüzgâr alanlarının etkisinde kalan tepe ve zirveler,
- Jeostrofik rüzgâr ve termal gradyan alanına sahip kıyı şeritleri,

1.3.2.1. Önemi

Enerji, ekonomik ilerlemenin ve gelişmenin öncüsüdür. Bu sebeple enerjinin doğru biçimde ve yeterli düzeyde üretilmesi toplumsal refah açısından da önemlidir. Her ülkenin enerji ihtiyacının verimli, güvenilir, devamlı ve çevre dostu bir yaklaşımla irdelenmesi gerekmektedir [22] Enerjinin güvenli biçimde sunulması ve ani iklim değişiklikleri sebebiyle rüzgar enerjisi sektörü her geçen gün yaygınlaşmaya başlamıştır. 200 binden fazla insanın istihdam edildiği Sektör son 15 yılda %25 hızla büyüme göstermiştir [23].

Rüzgar enerjisi rüzgarı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Rüzgar enerjisi yoğunluğu bölgesellik arz eder. Rüzgar enerjisinden faydalanmak için başka bir enerji türüne dönüştürülmesi gerekir. Enerjinin hammaddesi rüzgardır. Rüzgar atmosferde bol ve serbest olarak bulunur. Güneş ve Dünya var olduğu sürece rüzgar enerjisinden yenilenebilir enerji kaynağı olarak faydalanmak mümkündür. Rüzgar enerjisinin dünya üzerindeki dağılımı her bölgede aynı değildir. Bu sebeple rüzgardan elde edilecek enerji sınırsız değildir. Onun da bir ölçüsü vardır. Bu ölçü

“Betz Sınırı” kadardır. Yani rüzgâr enerjisinden elde edilecek ideal verim %56.3 oranını aşamamaktadır. Bu durumda rüzgardan yararlanabilme ancak rüzgarın olabileceği yerlerde mümkündür. Rüzgar ihtiyaca cevap verecek kadar üretilmesi halinde diğer enerjilere nispeten alternatif bir enerji olmada büyük bir şans kazanır. Teknoloji daha da geliştirilir, estetik görünüme ve alan kapsamına bir çözüm bulunursa Rüzgar enerjisinin önümüzdeki yıllarda alternatif bir enerji olarak ortaya çıkmamasına herhangi bir engel bulunamamaktadır.

Rüzgâr enerjisi özellikle bu sektörde yüzbinlerce insanın dolaylı ve dolaysız olarak çalışmasını sağlamaktadır. 2005 yılı sonunda bu rakam 235 bin seviyesindeyken son 5 yıl içinde 3 katına çıkmıştır. Bu alanda istihdam artmaya devam etmektedir. Üstelik çok farklı dallarda çalışan personelleri de bir araya getirmektedir. Yöneticiler, mühendisler, tekniker ve teknisyenler, çevre uzmanları gibi birçok meslek grubuna istihdam alanı yaratmaktadır.

Bazı Ülkelerde rüzgâr enerjisinin payı ülke elektrik üretiminde önemli yerler almaya başlamıştır. Danimarka yine bu bakımdan da dünyada bir numara olmaktadır. Danimarka % 21, Portekiz % 18, İspanya % 16, Almanya % 9, toplam elektrik üretimlerindeki rüzgâr enerjisi paylarına ulaştırmışlardır. Çin’de bu katkı % 1,2 boyutundayken ABD de bu oran yaklaşık % 2 boyutuna ulaşmıştır.

1.3.2.2. Tarihçesi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi yüzyıllardır kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi Avrupa’nın bazı ülkelerin de ve birçok farklı bölgede yel değirmenleri vasıtasıyla un üretimi ve su kuyularında su çekmekte kullanılmıştır.

Günümüzde modern rüzgar türbinleri ile rüzgar enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek insan oğlunun kullanımına sunulmaktadır.

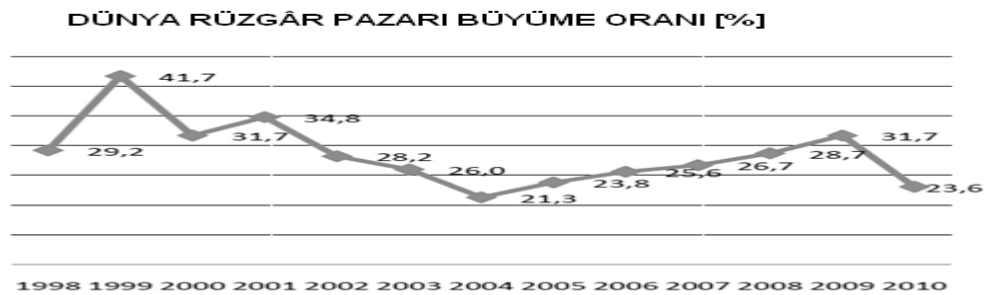
Rüzgarın gücünden yararlanmaya başlanması çok eski dönemlere dayanmaktadır. Rüzgar gücünden ilk yararlanma şekli olarak yelkenli gemilerin hareket ettirilmesi ve yel değirmenlerinin çalıştırılması gösterilebilir. İlk kez M.Ö. 2800 yıllarında Mısırlıların kürek mahkûmlarının gücüne ek olarak rüzgar enerjisini kullandıkları bilinmektedir. Mısırlılar metrelerce uzunluktaki yelkenleri şişirip tonlarca ağırlıktaki gemileri yüzdürmek için rüzgarın gücünden yararlanmışlardır. Buharlı gemilerin icadına kadar yelkenliler, kıtalararası ulaşım ve ticarete büyük rol oynamıştır. Kıtalar arası ulaşımın gelişmesinde en önemli katkıyı Fenikeliler yapmıştır. Yel değirmenlerinin M.Ö 2000 yıllarında eski Mısır, Çin ve Japonya’da icat edildikleri ve tahıl öğütme işleminde başarıyla kullanıldıkları kabul edilir. Yel değirmenlerinin merkezi olarak Hollanda kabul edilmektedir. Yel değirmenlerinin icadı Batıya, Haçlı Seferleri sırasında Türkler yoluyla geçmiştir. Zamanla Fransa, Almanya ve İngiltere’de inşa edilmeye başlanan değirmenler; 18. yüzyıl sonlarına doğru Avrupa’da giderek yaygınlaşmıştır.1973–1974 yıllarında ortaya çıkan petrol krizi, uzak bölgelerin beslenmesi amacıyla elektrik üretimi ve suyun pompalanması için bu teknolojiye gösterilen ilgiyi yeniden canlandırmıştır. Halen dünyada, otuz kadar ciddi rüzgar türbini yapımcısı mevcuttur. Bunların çoğu Avrupa Birliğine üye ülkelerde bulunmaktadır. Rüzgar enerjisinden en yoğun yararlanan ülke olan ABD’de ilk kez rüzgar enerjisinden yararlanma çalışmalarını 1944 yılında gerçekleştirmiştir. Elektrik enerjisi üreten ilk rüzgar santrali ise, ABD’de Vermont eyaletinin Montpelier kenti yakınlarında 1940 yılında General Elektrik firması tarafından inşa edilmiştir. ABD’de de başlayan bu rüzgar enerjisinden yararlanma durumunu zamanla

Danimarka, Hollanda, İsveç ve Almanya izlemiştir. Bu ülkelerden başka Arjantin, Mısır, İspanya, Hollanda, Danimarka, İsveç ve Avustralya’da bu konuda çalışmalar yapılmaktadır [24].

Rüzgâr enerjisi kullanımının desteklenmesi için ülkelerin Politik desteğinin de artması gerekmektedir. Rüzgâr enerjisinin teşviki amaçlı yasalar üretilmelidir. Özellikle ABD de düzenleyici yasalardaki belirsizlik ve yenilenebilir enerjiye odaklanma beklentinin altında olduğu görülmektedir.

Ayrıca gelişmekte olan ülkelerdeki politik boşluk ve mali yetersizliğin yanında rüzgâr yatırımları pazarına yabancı kalmanın verdiği dezavantajlar sebebi ile gelişmekte olan ülkeler rüzgâr enerjisi üzerine yeteri kadar önem verememektedir. Bunlara ek olarak yenilenebilir enerji için gerekli olan uluslararası iskelet yasalar henüz oluşturulamamıştır.

2010 yılında dünya rüzgâr pazarında % 23,6 oranında büyüme görülmüştür. Geçen yıla oranla büyük bir düşüş görülmektedir. 2009 yılında dünya rüzgâr pazarı büyüme oranı % 31,7 olarak görülmektedir. Büyüme oranı Şekil 1.1’de verildiği üzere yeni kurulan rüzgâr enerjisi kapasitesi ve önceki yıl kurulu kapasite arasındaki ilişki olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.1. Dünya rüzgâr pazarı büyüme oranı (%)

Ayrıca dünyada ilk 10'a giren ülkeler ve Dünya Toplam Rüzgâr gücü 2009'dan 2011'e kadar Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Dünya Toplam Rüzgâr gücü 2009 dan 2011 ilkyarı yılına kadar

Sıra	Ülke	2011 ilk yarıyılı sonunda kapasite (MW)	2011 ilk yarısında eklenen kapasite (MW)	2010 yılı sonu toplam kapasite (MW)	2010 yılı ilkyarisında eklenen kapasite (MW)	2009 yılı sonunda toplam kapasite (MW)
1	Çin	52800	8000	44733	7800	25810
2	ABD	42432	2252	40180	1200	35159
3	Almanya	27981	766	27215	660	25777
4	İspanya	21150	480	20676	400	19149
5	Hindistan	14550	1480	13065	1200	11807
6	İtalya	6200	460	5797	450	4850
7	Fransa	6060	400	5660	500	4574
8	İngiltere	5707	504	5203	500	4092
9	Kanada	4611	603	4008	310	3319
10	Portekiz	3960	260	3702	230	3357
11	Diğer	29500	3200	26441	2750	21872
-	TOPLAM	215000	18405	196682	16000	159766

1.3.2.3. Rüzgar Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Rüzgar enerjisinin kurulacağı alan, üreteceği miktar ve çevreyle olan ilişkisi dikkate alındığında bazı avantaj ve dezavantajları beraberinde getirmektedir. Rüzgar enerjisi herhangi bir radyoaktif ışınım tahribatı yapmaz. Enerjinin hammadde bedeli ücretsiz olup, herhangi bir atık meydana getirmemektedir. Atmosfere ve yakınındaki göl ve nehirlerle herhangi bir ısı emisyonu bulunmamaktadır. Geleneksel metotlarla enerji üretirken oluşan su kayıpları ve CO₂, CO gazları zararları rüzgar enerji santrallerinde olmamaktadır [25].

Çizelge 5'te yer alan avantaj ve dezavantajlara bakıldığında rüzgar enerjisinin kurulacağı bölge ve ülke ekonomisi açısından katkı sağlayıcı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5: Rüzgar enerjisinin avantaj ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Temizdir ve çevreyi kirletmez	Rüzgarın azalması durumunda enerji kesintisi oluşabilir
Yakıt gideri yoktur	Sadece yeterli rüzgarın bulunduğu alanlarda üretilebilir
İletim masrafı yoktur direkt kullanılabilir	Enerji üretiminin yapılacağı arazi belli koşulları taşımalıdır
Sürekli bir enerji kaynağıdır	Ses şiddeti çevre için gürültü yaratabilir
Kullanımı oldukça kolaydır	Belli ekipmanlarının kopma ya da kırılma riski bulunmaktadır
Hava kirliliğine sebep olmazlar	Elektromanyetik dalgalar yayabilir
İstihdam yaratıcı bir yatırımdır ve yerli bir enerji kaynağıdır	İlk yatırım maliyeti nispeten yüksek olabilir

Enerjinin kaynağının taşınma riski yoktur	Yanlış kullanılması durumunda çevredeki kuşların ölümüne neden olabilir
---	---

1.3.3. Rüzgâra Sebep Olan Etkenler

Rüzgâra sebep olan ve rüzgârın hızını etkileyen atmosfer içindeki bazı kuvvetler vardır. Bunlar kısaca şunlardır:

1.3.3.1. Gradyan Kuvveti

Havayı yüksek basınçtan alçak basınca doğru hareket ettiren kuvvete gradyan kuvveti denir [26]. Gradyan kuvveti Eşitlik 1.1'deki gibi ifade edilir.

$$G = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{h} \quad (1.1)$$

Eşitlik 1.1'de, G basınç kuvveti (atm), ρ hava yoğunluğu (kg/m^3), ΔP izobarlar arası basınç farkı, h izobarlar arası uzunluk (m) olarak ifade edilmektedir.

1.3.3.2. Coriolis Kuvveti

Coriolis kuvveti yer dönmesinin saptırıcı kuvvetidir. İki grupta incelenebilir. Birinci yer dönmesi saptırıcı kuvveti enlem dereceleri boyunca meydana gelir ikinci yer dönmesi saptırıcı kuvveti ekvator dan kutuplara doğru veya ters yönde meydana gelir [26].

1.3.3.3. Merkezkaç Kuvveti

Rüzgârın girdap hareketi esnasında rüzgârın yönü ve hızı üzerinde merkez kaç kuvvetinin etkisi olur. Basınç alanında basınç eğrileri ne kadar yuvarlak ise havanın girdap hareketi o kadar hızlı merkez kaç etkisi de o oranda fazla olur. İzobar

eğrilerinin düzleşmesiyle bu etki azalır [27]. Merkezkaç kuvveti Eşitlik 1.2’de ifade edilmiştir.

$$a = \frac{V^2}{R} \quad (1.2)$$

Eşitlik 1.2’de, a merkezkaç kuvvetin birim kütleye etki eden ivmesi (m/sn^2), V rüzgârın hızı (m/sn), R rüzgârın döner yarıçapı (m) olarak ifade edilir.

1.3.3.4. Sürtünme Kuvveti

Rüzgârın yeryüzüne sürtünmesinden dolayı oluşur, bu sebeple rüzgâr hızı yavaşlar. Sürtünme kuvveti yere yaklaştıkça değeri yükselir. Sürtünmenin etkisinde olup olmamasına göre rüzgârlar iki gruba ayrılır: Bunlar yüksek seviye ve yeryüzü rüzgârlarıdır. Yüksek seviye rüzgârlarını sürtünme kuvveti etkilemez. Yeryüzü rüzgârları ise sürtünme kuvvetinin etkisi altındadır [26].

1.3.4. Rüzgârın Hızı ve Yönü

Rüzgâr enerji sistemlerinde kullanılmak üzere gerekli olan meteorolojik büyüklükleri ölçebilecek sensörler vardır. Bunlar; anemometre, yön sensörü, sıcaklık sensörü, basınç sensörü ve nem sensörüdür [28]. Rüzgârın hızı ve yönü ölçüm direkleri vasıtasıyla ölçülür. Ölçüm direklerinde rüzgârın hızını, rüzgârın yönünü, havanın sıcaklığını, nemini ve basıncını ölçebilecek sensörler bulunur. Rüzgârın hızını ölçmek için anemometre kullanılır. Gelişmiş anemometreler rüzgârın hızı yanında, rüzgârın yönünü de belirleyebilmektedirler [29].

1.3.5. Rüzgâr Enerji Sistemlerinde Yaygın Olarak Kullanılan Kavramlar

1.3.5.1. Hava Yoğunluğu

Rüzgâr gücü hava yoğunluğu ile doğrusal olarak değişir. 15 °C sıcaklıkta ve 1 atm basınçta hava yoğunluğu 1.225 kg/m^3 dür [30]. İdeal gaz kanunu Eşitlik 1.3’de gösterilmiştir.

$$P.V = n.R.T \quad (1.3)$$

Bu eşitlikde P mutlak basınç (atm), $R = 8,2056.10^{-5} m^3.atm/K.mol$ ideal gaz sabiti, V hacim (m^3), n kütle (mol), T kelvin cinsinden mutlak sıcaklık, n ifadesi yerine havanın moleküler ağırlığı $mw=28,98 (g/mol)$ yazılacak olursa, Eşitlik 1.4 şeklinde ifade edilebilir.

$$\rho(kg/m^3) = \frac{n(mol).mw(g/mol).10^{-3}(kg/g)}{V(m^3)} \quad (1.4)$$

Daha genel hâliyle hava yoğunluğu Eşitlik 1.5’de verilmiştir.

$$\rho = \frac{P.mw.10^{-3}}{R.T} \quad (1.5)$$

1.3.5.2. Rotorun Süpürdüğü Alan

Rüzgâr türbininin ürettiği mekanik güç rotor kanatlarının süpürdüğü alan ile doğru orantılıdır. Yatay eksenli türbin için, rotorun süpürdüğü alan Eşitlik 1.6’da gösterilmiştir. Burada R metre cinsinden kanat yarıçapıdır [31].

$$A = \pi R^2 \quad (1.6)$$

1.3.5.3. Rüzgârdan Elde Edilebilecek Teorik Güç

Rüzgâr türbininden elde edilecek mekanik güç ile rüzgâr hızı arasındaki bağıntıyı rüzgâr türbininin dinamik güç modelinden çıkarabiliriz. Üretilen mekanik gücün, rüzgâr hızının küpü, kanat çapı ve hava yoğunluğu ile doğru orantılı olduğunu görüyoruz [30]. Mekanik güç Eşitlik 1.7'de gösterilmiştir.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p V^3 \quad (1.7)$$

Sürtünme ve diğer kayıplar bu teorik gücü sınırlandırmaktadır. Betz kanunu rüzgârdan alınabilecek maksimum gücün; rüzgâr gücünün 0,593 kadarı olduğunu ifade eder [32]. Rüzgârdan elde edilebilecek tork Eşitlik 1.8'de ifade edilmiştir.

$$T_w = \frac{P_w}{\omega_w} \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik 2.8'de T_w rüzgârdan elde edilen mekanik tork, P_w rüzgârdan elde edilen mekanik güç, ω_w rüzgâr türbininin rotorunun açısal hızıdır.

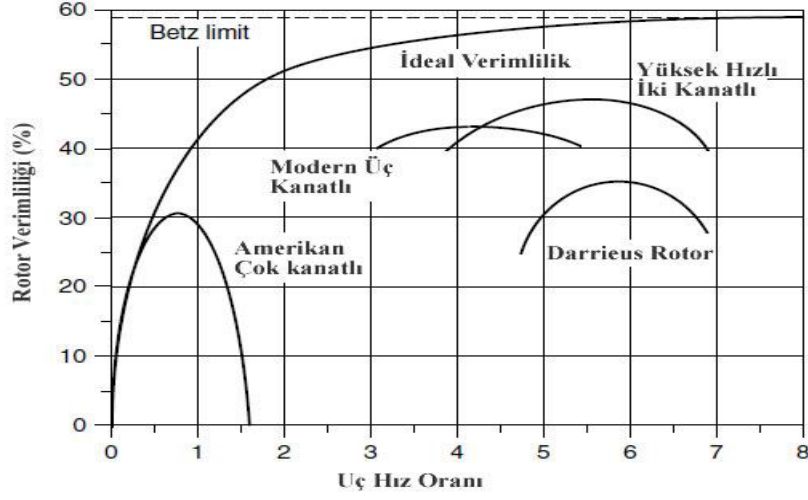
1.3.5.4. Kanat Hız Oranı

Kanat hız oranı λ (Eşitlik 1.9), rotor açısal hızının $\omega \cdot R$, rüzgâr hızına V oranıdır [32]. Bu büyüklük rüzgâr türbininin performansını belirlemede önemli bir kriterdir.

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \quad (1.9)$$

Açısal hız devir olarak ifade edilirse Eşitlik 1.10'daki gibi olur.

$$\omega = \frac{2\pi N_w}{60} \quad (1.10)$$



Şekil 1.2. Kanat hız oranına göre rotor verimliliği

Farklı rotor tiplerinin rotor verimliliği Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Şekil 2’ye göre modern üç kanatlı ve yüksek hızlı iki kanatlı rotor tiplerinin daha yüksek verimle çalıştığı görülmektedir. Amerikan çok kanatlı rotor tipi düşük kanat hız oranları için daha verimli olduğu Şekil 2’den anlaşılmaktadır.

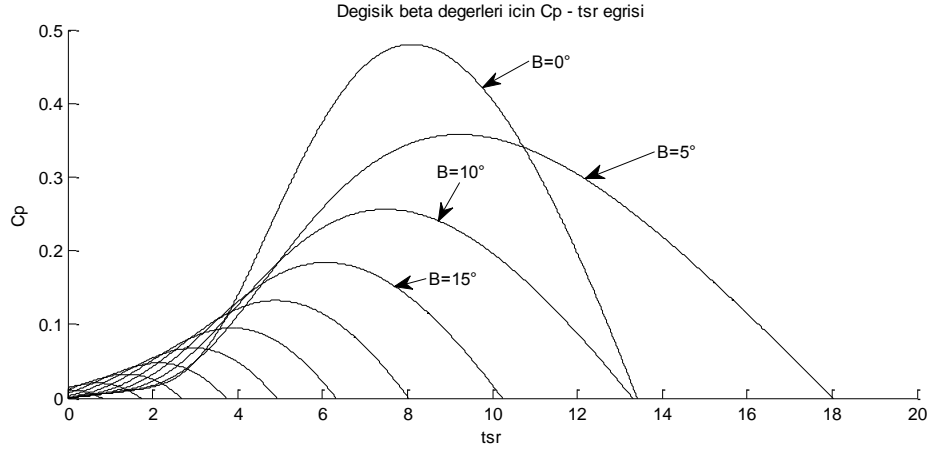
1.3.5.5. Güç Performans Katsayısı

C_p ile ifade edilen güç katsayısı kanat açısı β ve kanat uç hız oranı λ ‘nın doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Ve Eşitlik 1.11 ve 1.12’deki gibi ifade edilir.

$$C_p = 0.5176 \left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{\frac{-21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \quad (1.11)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta 3 + 1} \quad (1.12)$$

Şekil 1.3 değişik β açısı değerleri için güç katsayısı C_p 'nin λ ile nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 1.3. Değişik β açısı değerleri için C_p - λ eğrisi

Rotoru süren aerodinamik tork Eşitlik 1.13 ve 1.14'de ifade edilmiştir.

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (1.13)$$

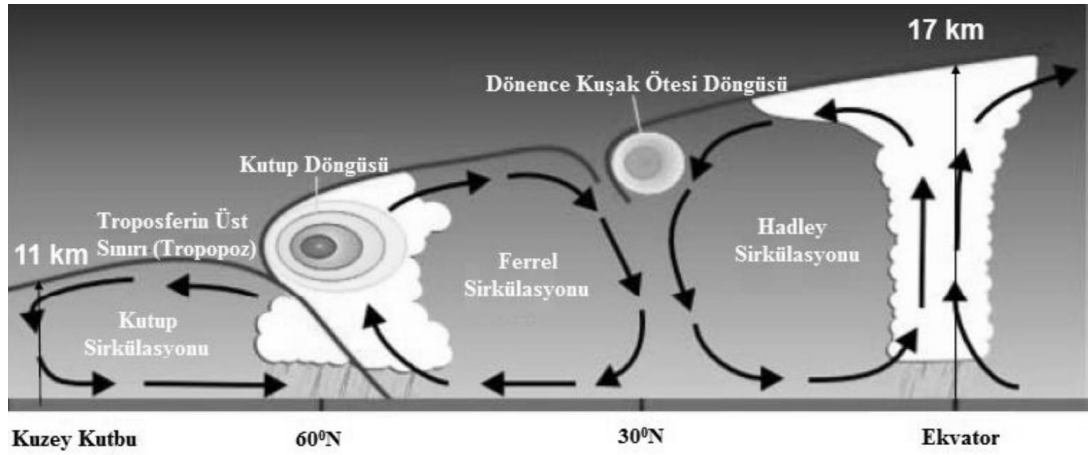
$$T = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 v^2 \frac{C_p(\beta, \lambda)}{\lambda} \quad (1.14)$$

$C_p(\beta, \lambda)$ ve λ arasındaki oran yeni bir birimsiz parametredir ve tork katsayısı olarak bilinir(Eşitlik 1.15) [33].

$$C_Q(\beta, \lambda) = \frac{C_p(\beta, \lambda)}{\lambda} [54] \quad (1.15)$$

1.3.6. Rüzgârın Oluşumu ve İlişkili Değişkenler

İhtiyacı olan enerjiyi güneşten alan Rüzgâr enerjisinin temelinde güneş yatmaktadır. Isı enerjisini kinetik enerjisine dönüştüren hava hareketi rüzgâr olarak adlandırılmıştır [34]. Başka bir anlatımla, sıcak hava yoğunluğunun soğuk havadan daha hafif olması sebebiyle yükselmesi ve buna dayanarak havanın yer değiştirmesiyle oluşan akımlardır [35]. Şekil 1.4.'de rüzgar oluşumu görülmektedir. Dünyanın güneş gören bölgesinde hava, kara ve deniz ısısı artarken, güneş görmeyen bölgesinde soğuma meydana gelir. Gece ve gündüzü oluşturan kendi eksenini etrafındaki hareketiyle bu ısınma ve soğuma düzenli bir şekilde devam eder.



Şekil 1.4. Rüzgârın Oluşumu [36]

Rüzgâr santrallerinde enerji üretiminde üretim planlamasından, enerji üretimine kadar ki yaşanan genel sorun, rüzgâr potansiyeli yoğunluğunun ve zamana bağlı doğrusal olmayan değişiminin verimli bir şekilde modellenmesidir. Rüzgârı karmaşık meteoroloji modelleri ile modellemek yeterince etkim bir çözüm değildir [37]. Rüzgâr hızı ve onu etkileyen faktörler basınç, sıcaklık ve nemde doğrusal olmayan bir

şekilde değişmektedir. Rüzgârın kinetik enerjisini etkin bir biçimde elde etmek için aşağıdaki meteorolojik değişkenlerin ölçülmesi gerekmektedir.

-Rüzgâr hızı,

-Rüzgâr yönü,

-Basınç,

-Sıcaklık,

-Nem.

Ölçüm yapılacak bölgenin yeryüzü koşullara göre ölçüm yüksekliği belirlenmelidir [38]. Rüzgâr ölçüm yüksekliği genellikle, özel amaçlı ölçüm istasyonları dışında dünya meteoroloji örgütü standartlarına göre yer yüzeyden 10 m yukarıda alınır. Ölçüm alınacak bölgenin etrafında bol ağaç ve tepeler ya da yapı alanları olmamasına dikkat edilir. Rüzgâr hızının ve yönünün belirleneceği yerde ölçüm yapan istasyonla civarındaki engel teşkil edebilecek nesne arasındaki mesafenin nesnenin boyunun on katı veya daha fazla olması gerekmektedir. Ayrıca ölçüm yapan istasyonun 150 m çapındaki bölgede rüzgârı engelleyebilecek bir etki bulunmamalıdır [39]. Kurulacak bir rüzgâr türbini için ölçüm yüksekliği türbin yüksekliğinin üçte ikisi kadar mesafede olması gerekli görülür [40].

1.3.7. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye’de enerji sektörü ve konuyla ilişkili süreç irdelendiğinde istenilen düzeyde olmadığı ifade edilebilir. Buna rağmen Türkiye dünya çapında rüzgâr enerjisi üretiminde 2010 yılı sonu itibariyle 17. Sırada bulunmaktadır. 2009 yılı sonunda büyük bir büyüme oranı göstererek Avrupa rüzgâr pazarında kendini belli etmiştir.

2009 yılı büyüme oranı %138,9 olarak kaydedilmiştir. 2010 yılında da yine büyüme sürmüştü fakat 2009 yılına göre daha düşük bir büyüme oranı görülmüştür. Buna rağmen Türkiye büyüme oranı açısından dünyada ilk 10 a girerek 5. Sırada yerini almıştır. 2010 yılı sonunda % 59,9'luk bir büyüme gerçekleşmiştir

Öncelikle Türkiye’de enerji talebindeki artış bugüne kadar isabetli olarak öngörülemedi ve gerçekçi bir planlama yapılamamıştır. Bu sebeple enerji yatırımlarında yaşanan istikrarsızlık nedeniyle bazı dönemlerde artış kapasite bazı dönemlerde ise ciddi enerji açıkları ile karşı karşıya kalınmaktadır. Her geçen gün artan enerji ihtiyacını karşılamak için dışarıdan ithal edilen kaynaklar arasında büyük payı petrol ve doğal gaz almaktadır. Bu süreçte Türkiye’nin enerji üretiminde yüksek fiyatlı doğal gaz alım anlaşmaları ile artmıştır. Doğal gaz çevrim santrallerinde yüksek maliyetle enerji üretilmekte ve bu enerji tüketicilerin tarafında yüksek fiyatta satın alınmaktadır [41]

Türkiye’de rüzgar enerjisi ölçümleri iklim amaçlı olarak Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne yapılmaktadır, ancak ölçüm istasyonlarının genellikle yerleşim bölgelerinin içinde bulunması nedeniyle gerçek değerler elde edilememektedir. Dünyada rüzgardan enerji üretimi teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla bir çalışma başlatılmış ve 13 değişik gözlem istasyonu kurularak sonuçlar alınmaya başlanmıştır. Bu istasyonlardan alınan sonuçlara ilişkin bilgiler Çizelge 6’da yer almaktadır:

Çizelge 6: Ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli

İstasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nurdağı	3,8	4,7	4,5	6	...	11,4	13,7	13,7	10,7	4,8	3,3	3,2

Belen	5,4	4,6	4,7	5,1	6,2							
Akhisar	5,8	6,5	7,9	5,3	5,7							
Didim	5,4	5,2	5,7	4,7	3,7							
Kocadağ	9,5	9,4	10,0	7,1	7,4							
Datça	5,4	5,8	5,6	5,5	5,2							
Bandırma	5,5	5,6	6,9	----	---							
Karabıga	7,6	6,9	7,2	5,3	5,3							
Göçeada	8,4	7,9	7,8	5,4	6,2							
Söke	4,2	4,4	4,5	3,4								
Sinop	5,7	4,8	4,6	5,5								
Yalıkavak	6,0	7,7	6,8	7,8								

2. YÖNTEM

2.1. Veri Setinin Elde Edilmesi

Araştırmada kullanılan veriler resmi yazışma yoluyla Türkiye Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. 2011 yılı için rüzgar hızı tahmininde kullanılan veriler Kırşehir ili 1975 yılı ile 2010 yılı arasındaki rüzgar hızı değerleri ile aynı döneme ait basınç, nem ve sıcaklık değerlerinden oluşmaktadır.

2.2 Yapay Sinir Ağları

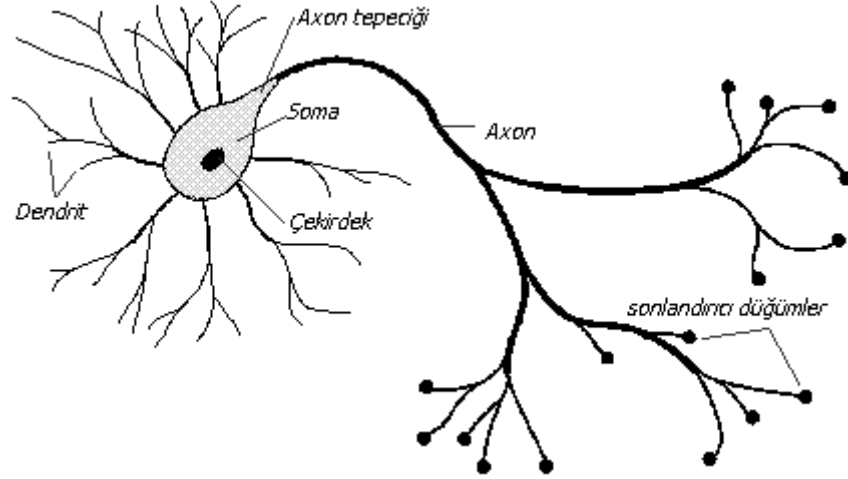
2.2.1. Genel

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin fonksiyonlarında olduğu şekilde öğrenerek, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, sistem dışından yardım almadan yapabilen bilgisayar yazılım sistemleridir [42].

Yapay sinir ağları; insan beynini model alarak, öğrenme adımlarının matematiksel olarak modellenmesi sayesinde ortaya çıkmıştır. İnsan beyninin çalışma ilkelerini imitasyon yaparak çalışan bu sistemler, bilgisayar ve nano teknoloji hızla gelişmiş olsa da insan beyni ile kıyaslandığında halen çok ilkel kalmaktadır. Nano saniyeler seviyesine ulaşmış işlem hızları ile YSA'lar, mili saniyeler seviyesindeki işlem hızları ile işlem yapabilen insan beyninin işlevselliğinin oldukça gerisindedir.

YSA, bilgiyi biriktirmek için doğal meyili olan basit birimlerden oluşan paralel dağıtılmış bir işlemci olarak tanımlanmıştır. Bilgi, öğrenme metodu ile ağ tarafından elde edilir. Sinaptik ağırlıklar olarak bilinen nöronlar arası bağlantı kuvvetleri, bilgiyi biriktirmek için kullanır [43].

Biyolojik sinir ağının yapı taşını oluşturan basit sinir hücresine nöron adı verilir [44]. Şekil 4.1'de şematik diyagramı verilen tipik sinir hücresi, soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritler olmak üzere üç ana kısımdan meydana gelmiştir. Dendritler üzerinden girişler alınır, elde edilen bu girişler soma tarafından işlenir. Nörondaki verileri taşıyan sinirsel bağlantı halindeki akson ise, işlenen girişleri çıkışa bildirir. Akson dendrit bağlantısına synapse adı verilir. nöronlar arasında elektrokimyasal bağlantı Synapse tarafından sağlanır.



Şekil 2.1. Basit bir sinir hücresi

Bir insanın beyin korteksinde 10 milyar nöron ve 60 trilyon synapse veya bağlantının bulunduğu öngörülmektedir. Sonuçta beyin son derece verimli bir yapıdır. Özellikle beynin enerjik verimliliği, her saniyede her bir işlem için yaklaşık 10^{-16} joule'dur, bu değer bugünün en iyi bilgisayarlarında yaklaşık 10^{-6} joule'dur. Bugünün en hızlı bilgisayarları bile Beynin nöronları organize etme yeteneğinden daha yavaş kalmaktadır [42]. Bununla birlikte, duygusal bilgileri son derece hızlı değerlendiren beyinin, sinir hücresindeki tepki hızı şaşırtıcı şekilde yavaştır. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği ile son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tarif edilebilir.

Bir varsayıma göre nöronlar elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Nöronlar çok yoğun beyinsel faaliyetleri kimyasal bir ortamda yerine getirebilmektedirler. Böylece beyni, biyokimyasal işlemlerin meydana geldiği oldukça yoğun bir elektriksel ağ gibi muhakeme edebilir. Ağa giriş, duyarlı algılayıcılar (reseptörler) ile sağlanır. Reseptörler uyarıyı gövdeye iletirler. Uyarı

elektriksel sinyaller formatındadır. Efektörler, nöron ağına bilgi aktarılması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu kontrol edilir.

2.2.2. YSA'ların Genel Özellikleri

YSA'lar, genel olarak karakteristik özelliklerle göstermelerine rağmen temel birkaç ortak özelliğe sahiptirler. Birinci özellik; YSA'larda sistemin paralelliği ve toplamsal işlevin konstrüktif olarak paylaştırılmışlığıdır [45]. YSA birçok nörondan oluşur ve bu nöronlar senkronize olarak karmaşık işlevleri yerine getirir. Süreç içerisinde bu nöronlardan her hangi biri görevini yerine getiremese dahi sistem güvenli bir şekilde çalışmasına devam edebilir.

İkinci özellik ise ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen kaba özellikleri algılaması ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de, anlamlı yanıtlar üretebilmesidir. Kısaca genelleme yeteneğidir [46].

Üçüncü olarak; ağ fonksiyonları doğrusal olmayabilmektedirler. Yapı üzerinde dağılmış belli tipteki lineer olmayan alt birimler, özellikle istenen eşleştirmenin kontrol ya da tarif etme işlemlerinde olduğu gibi lineer olmaması durumunda görevin düzgün bir biçimde yerine getirilebilmesini matematiksel olarak mümkün kılarlar.

Dördüncü özellik ise; sayısal ortamda tasarlanan YSA'ların, gerçekleştirilebilir olmasıdır. Bu özellik YSA'ların günlük yaşamda kullanılabilir hale geleceğini göstermektedir.

2.2.3. YSA'ların Avantaj ve Dezavantajları

Yapay sinir ağlarının klasik sistemlere göre sağladıkları avantajlar; doğrusal olmama, öğrenme, genelleme yapma, ilişkilendirme, sınıflandırma, veri işleme, özellik belirleme olarak belirtilebilir [47].

YSA'lar makine öğrenmesi gerçekleştirebilirler. Yapay sinir ağlarının temel görevi bilgisayarın öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer durumlar karşısında bilgiler olmaksızın mantıklı kararlar verebilirler.

Bilgi işleme teknikleri geleneksel programlamadan farklıdır. Bu sebeple geleneksel programlamada oluşan birçok olumsuzluk ortadan kaldırılabilir

Bilgiler ağın tamamında saklanır. Geleneksel programlamada olduğu gibi bilgiler veri tabanları yâda programın içinde belli bir düzende tutulmaz, ağın tamamına yayılarak ağın bağlantılarının değerleri ile ölçülmekte ve ağ bağlantılarında saklanmaktadır. Nöronlardan bazılarının fonksiyonunu yitirmesi, anlamlı bilginin kaybolmasına neden olmaz.

Örnekleri kullanarak öğrenirler. YSA'nın öğrenebilmesi için örneklerin yani gerçekleşmiş olayların belirlenmesi ve bu örneklerin ağa gösterilerek istenen çıktılara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir. Ağın başarısı, seçilen örnekler ile doğru orantılıdır, ağa olay bütün yönleri ile gösterilemezse ağ yanlış çıktılar üretebilir. Bu nedenle örneklerin toplanması ve ağa tanıtılması YSA da büyük önem taşımaktadır.

Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. YSA'lar daha önce öğrendikleri benzer olaylardan genellemeler çıkarırlar ve bu genellemeler ile yeni örnekler hakkında bilgi üretebilirler.

Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. YSA'ların en iyi oldukları alanlardan birisi algılamaya yönelik uygulama alanlarıdır. Bu alanlarda başarılı oldukları yapılan uygulamalarla kanıtlanmıştır. YSA'larla uzman sistemler birleştirilerek bilgiye yönelik çalışmalarda kullanılmakta ve daha başarılı sistemler oluşturabilmektedirler.

Örüntü ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. YSA'lar kendilerine örnekler halinde verilen şekilleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilir. Ayrıca kendisine verilen örneklerin sınıflandırılması ve bir sonraki verinin nasıl sınıflandırılacağına karar verilmesi konusunda kullanılabilirler.

Örüntü tamamlama yapabilirler. Ağa eksik bilgileri içeren bir şekil verildiğinde eksik bilgilerin tamamlanması konusunda başarı elde edebilirler. Örneğin yırtık bir resmi görüp tamamlayabilirler.

Kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır. YSA'lar çevrimiçi olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler. Daha önce gördükleri örnekleri kullanarak yeni duruma adapte olabilirler.

Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine YSA'lar eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse dahi, sonuca gidebilirler. Bu durum performanslarını etkilemez, performansın etkilenmesi eksik bilginin önemine bağlıdır. Burada bilgilerin önem dereceleri eğitim sırasında öğrenilir. Performans düşük ise eksik bilginin önem derecesi yüksektir diyebiliriz.

Hata toleransına sahiptirler. YSA'ların eksik bilgilerle ve bazı hücreleri bozulsa dahi çalışabilmeleri, onları hatalara karşı toleranslı hale getirir. Yine

performans bozulan hücrelerin ve eksik bilgilerin önem derecesine göre değişebilir.

Dereceli bozulma gösterirler. Bir ağ, zaman içerisinde yavaş ve dereceli bir bozulmaya uğrar. Ağlar problemin ortaya çıktığı anda değil hatalara gösterdiği tolerans sebebi ile zaman içinde bozulma gösterirler.

Dağıtık belleğe sahiptirler. YSA'larda bilgi ağa dağılmış bir şekildedir. Hücrelerin birbirleri ile olan bağlantı ve ağırlık değerleri ağın bilgisini gösterir. Bu nedenle tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur. Bilgiler ağın tamamına dağıtılmış olduğu için dağıtık bir bellek oluşmuştur.

Burada bazı temel avantajlardan bahsedilmekle beraber, YSA'ların bunlar dışında pek çok avantajı vardır. YSA'ların, avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Belli başlı dezavantajları;

Donanım bağımlıdır. YSA'ların en önemli sorunu donanım bağımlı olmalarıdır. YSA'ların en önemli özellikleri ve var oluş sebeplerinden birisi olan paralel işlem yapabilme yeteneği, paralel çalışan işlemciler ile performans gösterir bu nedenle bazı sorunları çözmek için gerekli olan paralel işlemcilerin hepsini birleştirmek mümkün olmaya bilir.

Uygun ağ yapısının belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA'larda probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için oluşturulmuş bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı deneyim ve deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir. Bu nedenle problemlerin çözümüne ulaşamaz ve düşük performans değerleri meydana gelir.

Ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA'larda öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin

saptanmasında belirli bir kural yoktur. Bu değerlerin saptanması için belirli bir standart olmamakla beraber her problem için farklı bir çözüm yolu söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle doğru çözüme gitme yolunda dezavantaj oluşturur.

Öğrenilecek problemin ağa gösterimi önemli bir problemdir. YSA'lar nümerik bilgiler ile çalışabildikleri için problemler YSA'lara tanıtılmadan önce nümerik değerlere çevrilmek zorundadırlar. Burada belirlenecek gösterim mekanizması ağın performansını ve çözüm yollarını doğrudan etkileyecektir. Nümerik gösterimi sağlamak ve ağa gösteriliş şeklini belirlemek kişinin becerisine bağlıdır.

Ağın eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiğine ilişkin belli bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değer altına indirilmesi eğitimin tamamlandığı anlamına gelmektedir. Burada uygun değerde neticeler veren bir mekanizma henüz geliştirilemediği için YSA ile ilgili araştırmaların önemli bir kolunu oluşturmaktadır.

2.2.4. YSA'ların Kullanıldığı Alanlar

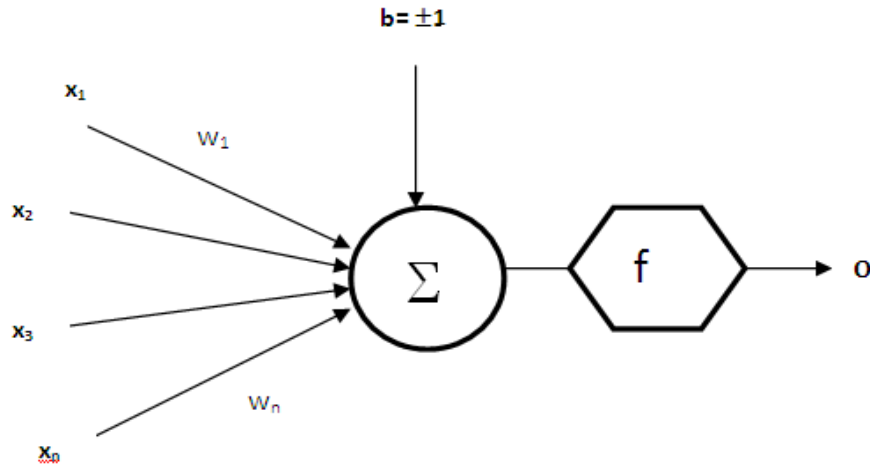
Yapay sinir ağları; Sınıflandırma, Modelleme, Tahmin ve Kontrol uygulamaları olmak üzere, birçok alanda kullanılmaktadır. Başarılı uygulamalara bakıldığında, YSA'ların çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek sensör verilerinin olması ve problemi çözmek için matematiksel modelin ve algoritmaların bulunmadığı durumlarda, sadece örneklerin var olduğu durumlarda yaygın olarak kullanıldıkları görülmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş ağlar genellikle şu fonksiyonları meydana getirmektedirler [42];

- Muhtemel fonksiyon kestirimleri
- Sınıflandırma
- Kümeleme
- Vektör Sayısallaştırılması
- Desen uygunluğu
- Fonksiyon yaklaşımı
- Tahmin yapmak
- Kontrol sorunları
- Optimizasyon
- İlişkilendirme veya örüntü eşleştirme
- Zaman serileri analizleri
- Sinyal filtreleme
- Veri sıkıştırma
- Örüntü tanıma
- Doğrusal olmayan sinyal işleme
- Doğrusal olmayan sistem modelleme [48].

2.2.5. Yapay Sinir Ağı Hücresi

Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre gayet basit bir yapıdadır. En temel nöron modeli aşağıdaki şekilde görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan veya diğer nöronlardan alınan girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar yer almaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar vasıtası ile nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle

bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Şeki 2.2'de görülen **b** bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir.



Şekil 2.2. Temel yapay sinir ağı hücresi

Çıkış,

$$o = f(W.X + b) \quad (2.1)$$

Şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \quad (2.2)$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (2.3)$$

Şeklinde yazılabilir. Formülleştirecek olursak;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(net) \quad (2.4)$$

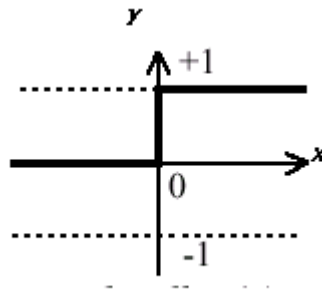
$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (2.5)$$

Şeklinde de yazılabilir.

Yukarıdaki formülde görülen **f** aktivasyon fonksiyonudur. Genelde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır.

2.2.5.1. Aktivasyon Fonksiyonları

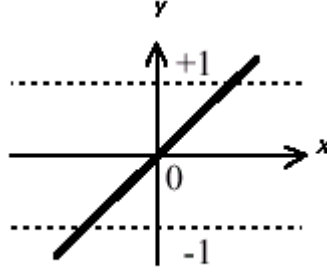
Aşağıdaki Şekil 4.3.'de eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfır değerinden küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir. Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1 ile +1 arasında değişeni ise signum aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Signum aktivasyon fonksiyonu, net giriş değeri sıfırdan büyükse +1, sıfırdan küçükse -1, sıfıra eşitse sıfır değerini oluşturur [47].



Şekil 2.3. Eşik aktivasyon fonksiyonu

Aşağıdaki Şekil 2.4.'de doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman

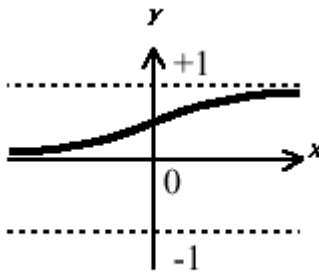
çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiği göz önüne alınmalıdır.



Şekil 2.4. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu

$f(x) = x$ şeklinde ifade edilir.

Aşağıdaki Şekil 2.5.'de logaritma sigmoid transfer fonksiyonu görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak isimlendirilebilmektedir. Bu fonksiyonunun lineer olmaması sebebiyle türevi alınabilmektedir. Böylece daha sonraki bölümlerde anlatılacak olan geri yayınlımlı ağlarda kullanılabilir olabilmektedir.



Şekil 2.5. Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

Lojistik fonksiyonu,

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (2.6)$$

Şeklinde ifade edilir. Buradaki β eğim sabiti olup genelde bir olarak seçilmektedir. Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da lineer olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir.

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.7)$$

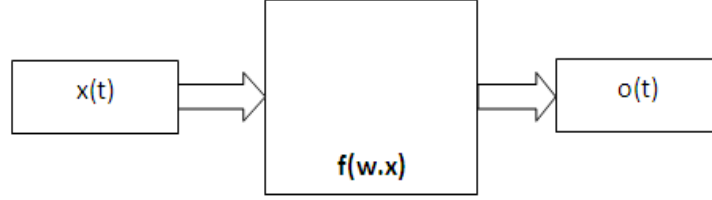
Bu aktivasyon fonksiyonlarından farklı birçok fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun seçileceği probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır [42].

2.2.6. Yapay Sinir Ağları Modelleri

İleri beslemeli bir ağda süreç elemanlar genel olarak katmanlara ayrılmışlardır. Şekil 2.6.'da görüldüğü üzere işaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. süreç elemanlar bir katmandan diğer bir katmana iletişime geçerken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. ileri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptronlar (MLP) ve LVQ (Learning VectorQuantization) ağları verilebilir. Bu ağlar statik ağlar olarak da bilinirler [47].

Temel olarak en basit genel yapay sinir ağları tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. Yapay sinir ağı modelleri temel olarak iki grupta toplanmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara gidecek şekilde ilerler. Çıkış

değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağ ağırlıkları güncellenir.



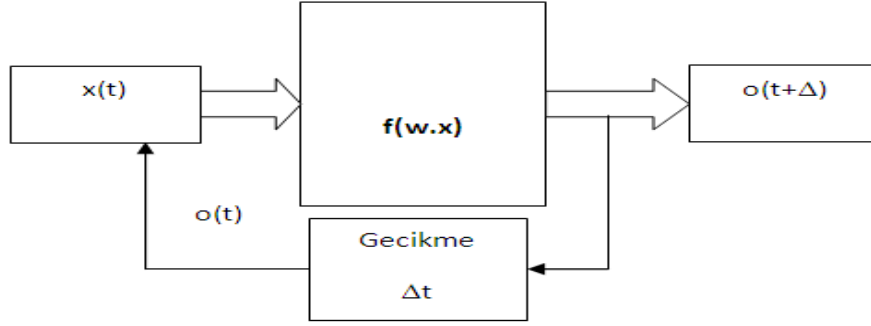
Şekil 2.6. İleri Beslemeli Yapı

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katman çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ tipidir. Böylece, girişler hem ileri yönde hem de geri yönde iletilmiş olur. Bu çeşit sinir ağlarının hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bu sebeple, özellikle tahmin uygulamaları için uygundur. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman-serilerinin tahmininde oldukça başarılı olmuşlardır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları gösterilebilir [47].

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler meydana gelebilmektedir. Geri beslemeli ağ, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan oluşmuştur. Ağın t anındaki çıkışı $o(t)$ ise, $t + \Delta t$ anındaki çıkışı ise $o(t + \Delta t)$ 'dir. Buradaki Δt sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli yapay sinir ağları kullanılarak $o(t + \Delta t)$ şöyle yazılabilir.

$$o(t + \Delta t) = f[W.o(t)] \quad (2.8)$$

Bu formül şekil 2.7.'de ifade edilmiştir. Dikkat edilmesi gereken nokta başlangıç anında $x(t)$ 'ye ihtiyaç duyulmasıdır. Başlangıç anında $o(0) = x(0)$ 'dir.



Şekil 2.7. Geri beslemeli yapı

2.2.7. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

İnsan beyni doğduğundan itibaren büyüme evresinde çevresindeki olayları anlamaya çalışarak, öğrendikleri bilgileri kendi davranışlarına yansıtır. Yaşadıkça insan beyni daha çok bilgi öğrenerek, gelişir ve tecrübe edinir. Gerekli tecrübeye ulaştığında olaylar karşısında nasıl bir davranış yada tepki göstermesi gerektiğini öğrenir ve uygular. Fakat hiç yaşamadığı bir olay karşısında yine tepkisiz kalabilir çünkü tecrübelerinde bu olay yoktur. Yapay sinir ağlarının öğrenme kavramında da, tıpkı insandaki gibi dış ortamdaki gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdaki girişler alınarak, bu girişlerin beyne iletilmesi sağlanır. Bu aşamada gelen girdilerin değerlendirilip tepki verilmesinde olduğu gibi yapay sinir ağına da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı oluşturulur. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla kıyaslanarak hata elde edilebilir. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla mümkün olduğunca sifıra yakın hata düzeyine inilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma süresince hesaplanan asıl bölüm yapay sinir ağına ağırlıklarındadır. Ağırlıklar her bir çevrimde yeniden hesaplanarak sifir hataya ya da konulan amaca ulaşmaya çalışır. Amaç yada hedef yine dışarıdan verilen bir değerdir. Yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşabilmiş ise ağırlık değerleri kaydedilir.

Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılan kadar çevrimler yapması iterasyonlar ile gerçekleşir. İterasyonlar sırasında geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı gerekli eğitimi tamamlayıp öğrendikten sonra daha önce verilmeyen test verileri verilerek, sinir ağı çıkışıyla olması gereken çıkışın arasındaki hata değerleri hesaplanır. Eğer çıkış istenilen düzeye ulaşmış ise ağ başarılı demektir. Genelde eldeki örneklerin yüzde sekseni ağa verilip ağ eğitilir, daha sonra geri kalan yüzde yirmilik kısımdan yüzde onluk bölüm izleme verisi ve son yüzde on ise test verisi şeklinde düzenlenir.

2.2.8. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

1990'lı yıllardan bugünlere kadar birçok öğrenme algoritması üzerine çalışılmış ve geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları genel olarak üç grupta değerlendirilmektedir. Eğitici öğrenme, eğitici öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları.

Eğitici (supervised) öğrenmede, sistemin olayı öğrenmesi için bir eğiticiye ihtiyacı vardır. Eğitici sisteme girdi ve çıktılar set olarak verir. Her girdi için bir çıktı ağa gösterilerek sistemin bunlar arasında matematiksel bir bağ kurması hedeflenir. Çok katmanlı algılayıcı ağı bu sistem için örnek gösterilebilir. Bu çalışmada da kullanılan öğrenme türü eğitici öğrenmedir.

Eğitici öğrenmede, sisteme sadece girdi verileri verilmektedir. Sistemde eğitici yoktur. Sistemin girdi ve çıktı arasındaki matematiksel bağı kendi öğrenmesi beklenir. Fakat sistemin öğrenmesinden sonra çıktılarının ne anlama geldiğini gösteren işaretlemenin yine kullanıcı tarafından yapılması gerekmektedir. Adaptif Rezonans Teori (ART) ağları buna örnek verilebilir.

Takviyeli öğrenmede, sisteme bir eğitici yardımcı olmaktadır. Eğitici girdi setinin karşına bir çıktı seti vermek yerine sistemin çıktılarının doğru yada yanlış olduğuna dair bir sinyal vermektedir. Sistem bu sinyale göre eğitimi sürdürür. Örnek olarak Doğrusal vektör parçalama modeli (LVQ) verilebilir.

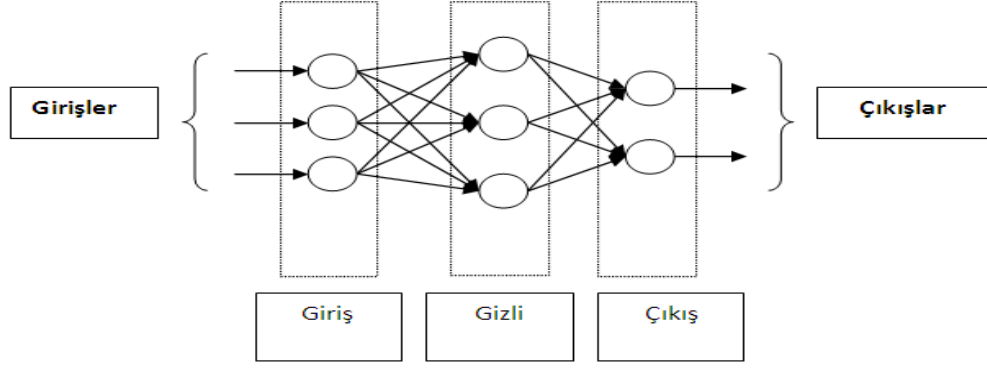
Birçok öğrenme algoritmasının bulunmasından dolayı bu kısımda sadece bu çalışmada kullanılan öğrenme algoritmaları LM ve RBP öğrenme algoritmaları anlatılacaktır [47].

Geri yayılım algoritması (Şekil 5) eğitici öğrenmede kullanılan en popüler algoritmadır. Basit olması ve anlaşılır olması, iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması gibi nedenlerle birçok alana uygulanmasını sağlamıştır.

Geri yayılım algoritması, sinir ağının eğitici öğrenme kısmına giren genel bir algoritmadır. Temel olarak girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle tekrar hesaplanmaktadır. Hata yani $e(k)$, arzu edilen çıkış (gerçek çıkış - $y(k)$) ile sinir ağının çıkışı ($o(k)$) arasındaki farktır.

$$e(k) = y(k) - o(k) \quad (2.9)$$

Şekil 2.7.de birçok sinir hücresinin bir birine bağlandığı ileri yönlü çok katmanlı bir yapay sinir ağı görülmektedir. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katman veya katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Sinir ağlarında kaç tane gizli katman kullanılacağı ve her bir gizli katmanda kaç nöron olacağı problemin durumuna göre ve kullanıcının seçimine göre değişmektedir. En uygun nöron sayısı genel olarak kullanıcının problem üzerinde çeşitli uygulamalarından sonra edindiği tecrübeye göre seçilmesidir.



Şekil 2.8. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı

Şekil 2.8 deki çok katmanlı ağı düşünersek;

$k+1$. katmanda i . birime net giriş;

$$n^{k+1}(i) = \sum_{j=1}^{S_k} w^{k+1}(i, j) o^k(j) + b^{k+1}(i) \quad (2.10)$$

Birim i 'nin çıkışı şöyle olacaktır.

$$o^{k+1}(i) = f^{k+1}(n^{k+1}(i)) \quad (2.11)$$

M katmanlı bir ağ matris biçiminde ifade edilirse;

$$\underline{o}^0 = \underline{x} \quad (2.12)$$

$$\underline{o}^{k+1} = \underline{f}^{k+1}(\underline{W}^{k+1} \underline{o}^k + \underline{b}^{k+1})$$

$$k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (2.13)$$

Ağın temel görevi giriş-çıkış çiftleri arasındaki ilişkiyi öğrenmektir.

$$\{(\underline{x}_1, \underline{y}_1), (\underline{x}_2, \underline{y}_2), \dots, (\underline{x}_Q, \underline{y}_Q)\}$$

Ağın performansı şöyledir;

$$E = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (y_q - o_q^M)^T (y_q - o_q^M) = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q e_q^T e_q \quad (2.14)$$

Buradaki o_q^M , q. giriş (x_q) olduğunda ağırlık çıkışıdır, $e_q = y_q - o_q^M$ ise q.girişin hatasıdır. Standart geri yayılım algoritması için yaklaşık adım düşümü algoritmasını kullanır. Performans indeksiyle şöyle yaklaşılır;

$$E = \frac{1}{2} e_q^T e_q \quad (2.15)$$

Burada toplam karelerin toplamı tek giriş-çıkış çifti için karesel hatayla yer değiştirilir. Yaklaşık adım (eğim) düşümü algoritması bundan sonra şöyle olur;

$$\Delta w^k(i, j) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} \quad (2.16)$$

$$\Delta b^k(i) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b^k(i)} \quad (2.17)$$

burada α öğrenme oranıdır, şöyle tanımlanır;

$$\delta^k(i) \equiv \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \quad (2.18)$$

Performans indeksinin duyarlılığı k.katmanda i. birimin net girişinde değiştirilir. Şimdi (2.10),(2.15) ve (2.18) kullanılarak,

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial w^k(i, j)} = \delta^k(i) o^{k-1}(j) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b^k(i)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial b^k(i)} = \delta^k(i) \quad (2.20)$$

Hassaslık yeterliği aşağıdaki tekrar edilen ilişkiyle de gösterilebilir.

$$\underline{\delta}^k = \underline{F}^k(\underline{n}^k)W^{k+1}\underline{\delta}^{k+1} \quad (2.21)$$

burada;

$$\underline{F}^k(\underline{n}^k) = \begin{bmatrix} \dot{f}^k(n^k(1)) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dot{f}^k(n^k(2)) & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & \dot{f}^k(n^k(Sk)) \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

ve

$$f^k(n) = \frac{df^k(n)}{dn} \quad (2.23)$$

$$\underline{\delta}^M = -\underline{F}^M(\underline{n}^M)(\underline{y}_q - \underline{o}_q) \quad (2.24)$$

Tüm öğrenme algoritmalarında genel olarak şu adımlar izlenir. İlk önce (2.12)-(2.15) kullanılarak giriş ileri yönde yayılır, sonra (2.24) ve (2.21) kullanılarak geri yayılır ve son olarak ağırlıklar ve denge (2.16), (2.17), (2.18) ve (2.19) kullanılarak tekrar hesaplanır [47].

2.3. Kullanılan Algoritmalar

Yapay Sinir Ağlarında uygun ağ yapısını belirlemek için bazı prosedürler vardır [42, 49]. Araştırmada Yapay Sinir Ağları kapsamında Levenberg - Marquardt (LM) ve Resilient Back propagation (RBP) algoritmaları kullanılarak elde edilen bulgular karşılaştırılmaktadır.

2.3.1. Levenberg – Marquardt (LM) Algoritması

Levenberg – Marquardt algoritması ileri beslemeli geri yayımlı ağların sık kullanılan bir türü olup Newton metodunun hızıyla, adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir. Genellikle aşağıda yer aldığı gibi doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemine dayanan ağırlık güncellemede kullanılmaktadır [50]. LM algoritması şu şekilde hesaplanarak formüleleştirilebilir. Her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik yaklaşımla yaklaşılır ve parabolün minimumu o adım için çözümü oluşturur. $E(x)$ fonksiyonuna sahip olduğumuzu ve x parametresine göre minimize etmek istediğimizi düşünelim. Newton metoduna göre denklem Eşitlik 2.25'te görüldüğü gibi olacaktır:

$$\Delta x = -[\nabla^2 E(x)]^{-1} \nabla E(x) \quad (2.25)$$

Burada $\nabla^2 E(x)$ ifadesi Hessian matrisidir ve $\nabla E(x)$ ise eğimdir. $E(x)$ 'in karelerin toplamı fonksiyonu şeklinde Eşitlik 2.26 teki gibi ifade edilirse,

$$E(x) = \sum_{i=1}^N e_i^2(x) \quad (2.26)$$

Eğim ve Hessian matrisi eşitlik 2.27 ve 2.28 deki gibi gösterilebilir.

$$\nabla E(x) = J^T(x)e(x) \quad (2.27)$$

$$\nabla^2 E(x) = J^T(x)J(x) + S(x) \quad (2.28)$$

Burada $J(x)$ Jacobian matristir,

$$J(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_1(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_2(x)}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_N(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial e_N(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_N(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$$\text{ve } S(x) = \sum_{i=1}^N e_i(x) \nabla^2 e_i(x) \quad (2.30)$$

Gauss-Newton metodu için $S(x) \approx 0$ kabuledilir ve güncellenerek eşitlik

$$\Delta x = [J^T(x)J(x)]^{-1} J^T(x)e(x) \quad (2.31)$$

halini alır. Levenberg-Marquardt modifikasyonu ile Gauss-Newton metodu,

$$\Delta x = [J^T(x)J(x) + \mu I]^{-1} J^T(x)e(x) \quad (2.32)$$

halini alır. μ -parametresi bir adımda $E(x)$ artımı sonucunda bir faktörle (β) ile çarpılır, bir adım $E(x)$ azalışında, μ -parametresi β 'ya bölünür. μ büyükse algoritma adım düşümü ($1/\mu$ -adımı ile) olur, küçük μ -parametresi için algoritma Gauss-Newton olur. Bu algoritmadaki anahtar adım Jacobian matrisinin hesaplanmasıdır. Yapay sinir ağı tasarım probleminde Jacobian matristeki terimler geri yayılım algoritmasının basitçe değiştirilmesiyle hesaplanabilir. Eşitlik 2.26'daki eşitlikte $x = [w^1(1,1)w^1(1,2)\dots w^1(S_1, R)b^1(S_1)w^2(1,1)\dots b^M(SM)]^T$ ve $N=Qx(SM)$ 'dir. Bu eşitlikten faydalanarak standart geri yayılım algoritması terimleri Eşitlik 2.33'deki gibi hesaplanır;

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial \sum_{m=1}^{SM} e_q^2(m)}{\partial w^k(i, j)} \quad (2.33)$$

Levenberg-Marquardt algoritması için Jacobian matrisin elemanları Eşitlik 2.34'teki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{\partial e_q(m)}{\partial w^k(i, j)} \quad (2.34)$$

bu terimler standart geri yayılım algoritması kullanılarak son katmanda bir değişiklik ile hesaplanabilir.

$$\Delta^M = -F^M(n^M) \quad (2.35)$$

2.3.2. Resilient Backpropagation (RBP) Algoritması

RBP algoritmasının temel prensibi ağırlık adımlarındaki kısmi türevin boyutunun zararlı etkisini gidermektir. Sonuç olarak türev işaretleri ağırlık güncellemelerinin gideceği yönü gösterir. Bireysel ağırlık güncellemelerini $\Delta_{ij}(t)$ 'nin determinant işaretinin belirlediği gösterilmiştir. Kullanılan determinant sonuçlarının $\Delta_{ij}(t)$ formülü ile ikinci öğrenmenin kuralı anlatılır. İki ardışık ağırlık adımı boyunca kısmi türevle sağlanan sonuçlar tahminde temeli sağlamıştır.

$$\Delta w_{ij}(t) = \begin{cases} \eta^+ \cdot \Delta_{ij}(t-1), & \text{if } \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) > 0 \\ \eta^- \cdot \Delta_{ij}(t-1), & \text{if } \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) < 0 \\ \Delta_{ij}(t-1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.36)$$

$$0 < \eta^- < 1 < \eta^+$$

$\Delta_{ij}(t)$ 'nin η^- faktörü tarafından azaltılmasıyla son güncellemenin değerleri büyüdü ve algoritma minimum olarak artış gösterdi. Eğer $\Delta_{ij}(t)$ işaretleriyle türev korunursa yüzeysel bölgelerde hızlı yakınsamalar düzenli olursa güncelleme değeri hafifçe artar. Birinci ağırlık değeri her bir güncelleme için adapte olmuştur. Ağırlık güncellemeleri basit adımlarla artarda takip etmektedir. Eğer türev pozitifse güncelleme değerleri ile ağırlık azalır. Negatif ise artar.

$$\Delta w_{ij}(t) = \begin{cases} -\Delta_{ij}(t), & \text{if } \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) > 0 \\ \Delta_{ij}(t), & \text{if } \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) < 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2.37)$$

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij}(t)$$

Buna rağmen bir istisna vardır. Eğer kısmi türev önceki adımın işaretini değiştirirse işlem sırası kaybolur ve Eşitlik 2.38 gerçekleşir.

$$\Delta w_{ij}(t) = -\Delta w_{ij}(t-1) \text{ if } \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) < 0 \quad (2.38)$$

Ağırlıkların geri dönüşümü sırasını takip eden adımlar içinde tekrar $\Delta w_{ij}(t)$ işaretleri türevde sözde bir değişim yaşatır. Güncelleme değeri başarılı adımda adaptasyon sağlamamalı, pratikte Δ_{ij} 'nin güncelleme adımı üstünde ayarlama yapılması gerekir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) = 0 \quad (2.39)$$

Kısmi türev toplam hatayı verir. Buna rağmen toplam hataların kısmi türevi tüm öğrenme modelleri için toplam hataya eşit olmalıdır.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^p \frac{\partial E_p}{\partial w_{ij}}(t) \quad (2.40)$$

3. UYGULAMA

Araştırma kapsamında Kırşehir ilinin 2011 yılına ait Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran ayları günlük ortalama rüzgar hızı tahmini yapılmaktadır. Kırşehir ili, Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde yer alan ve nüfus yoğunluğunu düşük illerinden biridir. Yüzölçümü 6665 km²'dir. Denizden yüksekliği 985 m'dir. Kırşehir il topraklarının % 18,3'ünü ovalar teşkil eder. İl sınırlarında rüzgar santrali olabilecek uygun alanlar bulunmaktadır. Örneğin bir dış yatırım olarak Mucur ilçesi Geycek köyünde toplam 148.28 megawattlık ve 44 türbinlik rüzgar enerji santrali kurulması planlanmaktadır [51]. 1 MW'lık rüzgar enerji santralinin kurulum maliyetinin 1200000 Euro olduğu göz önüne alındığında, bu ve benzeri çalışmaların önemi daha iyi anlaşılacaktır [52].

Yapay Sinir Ağı ile gerçekleştirilen analizde günlük sıcaklık, basınç ve nem değişimleri giriş olarak, rüzgar hızı değerleri çıkış verisi olarak kullanılmıştır. 1975 ile 2010 yılları arasındaki veriler eğitim için, 2011 yılı verileri test için kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağı modeli belirlenirken önce 1 gizli katmanlı farklı nöron sayılı modeller denenmiş ve ortalama 0,8409 doğruluğunda tahminler elde edilmiştir. Daha sonra 2 gizli katman için 10,20 ve 30'un tüm kombinasyonlarında nöron sayıları denenmiş ve optimal doğruluk değerine 30-20 nöron sayısında ulaşılmıştır. Son olarak 3 gizli katman denenmiş fakat daha iyi değerlere ulaşamadığı için tercih edilmemiştir. Bu sebeple Resilient Back Propagation ve Levenberg-Marquardt Back Propagation algoritmaları için 2 gizli katman kullanılmıştır.

Kırşehir ili rüzgar hızı tahmini için 1975 – 2010 yılı günlük ortalama basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı verileri alınmış, elde edilen 12775 veri ile eğitim yaptırılarak 2011 yılına ait altı aylık ortalama rüzgar hızı tahmini yapılmıştır. Bu tahmin verileri gerçek verilerle kıyaslanarak yapılan tahminin doğruluk yüzdesi hesaplanmıştır. Bu kapsamda elde edilen tahmin değerlerinin doğruluğunu test etmek ve iki algoritmanın performanslarını karşılaştırmak için aşağıdaki hata ölçütleri dikkate alınmıştır [3-53].

RMSE: Ortalama karekök hatası

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (Y_n - F_n)^2}{n}} \quad (3.1)$$

MAE: Ortalama Mutlak Hata

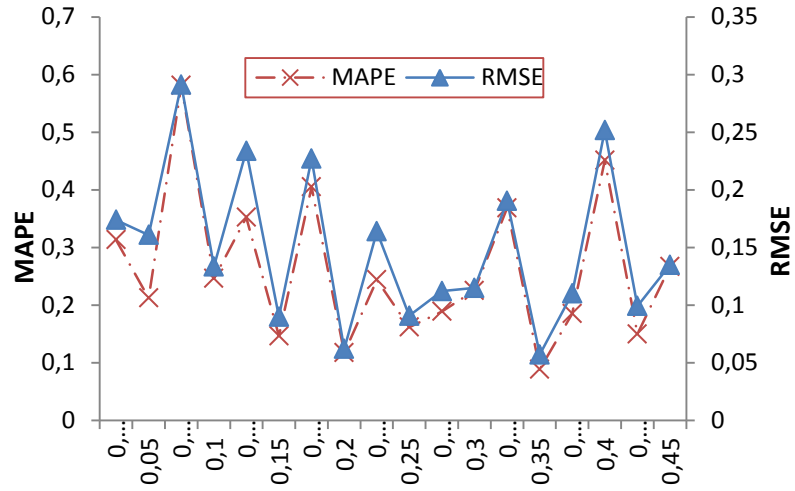
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n |Y_n - F_n| \quad (3.2)$$

MAPE: Mutlak Hata Oranları Ortalaması

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{Y_n - F_n}{Y_n} \right| \quad (3.3)$$

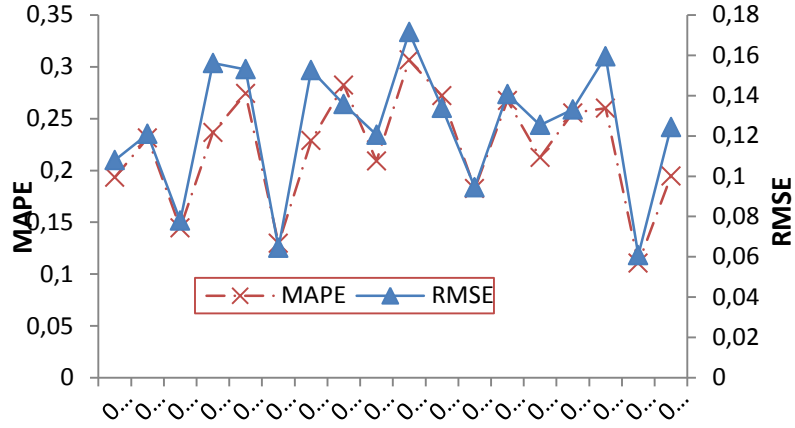
MAE tahmin setine ilişkin ortalama hata değerlerini büyüklüğünü belirlemek için kullanılmaktadır. MAE tahmin ve gözlem değerleri arasındaki farkın mutlak ortalamasıdır. [7]. MAPE değerleri % 10'un altında olan tahmin modellerini "yüksek doğruluk" derecesine sahip, % 10 ile % 20 arasında olan modelleri ise doğru tahminler olarak sınıflandırmıştır [54]. RMSE ise hata büyüklüğünün ortalamasının ölçüldüğü ikincil bir performans ölçütü olarak kabul edilebilir.

Ayrıca çalışma kapsamında performans karşılaştırması için Li ve Shi (2010) tarafından kullanılan optimal Learning Rates değerleri hesaplanmıştır [7]. Buna göre her iki algoritma bazında MAPE ve RMSE performans kriterleri için elde edilen değerler ve bu değerlere ilişkin grafikler karşılaştırmalı olarak Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'da verilmiştir.



Şekil 3.1. Learning Rates parametresinin Levenberg-MarquardtBackpropagation algoritmasına ait MAPE ve RMSE değerleri üzerindeki etkisi (The Learning RatesParameter'sEffect on theLevenberg-MarquardtBackpropagationAlgorithm's MAPE and RMSE Values)

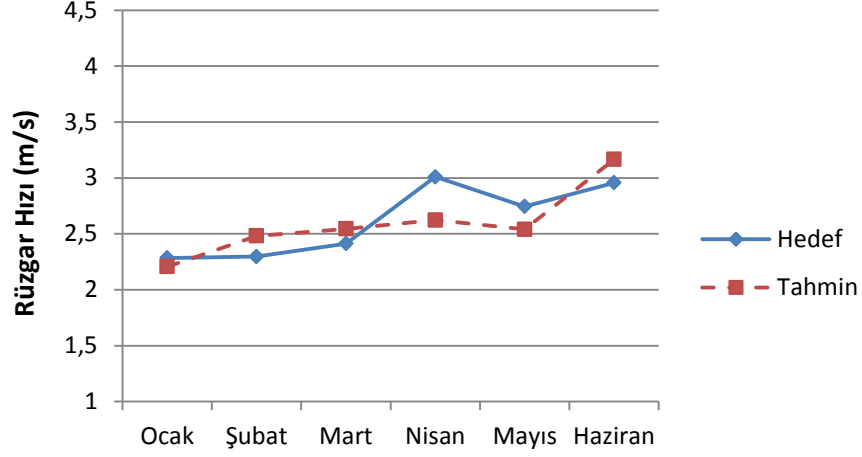
Levenberg-MarquardtBackpropagation algoritması ile yapılan analizde 0,350 Öğrenme oranının hem RMSE hem de MAPE oranlarında en düşük hata oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple çalışmada Levenberg-MarquardtBackpropagation kullanılması durumunda 0,350 öğrenme oranı kullanılacaktır.



Şekil 3.2. Learning Rates parametresinin ResilientBackpropagation algoritmasına ait MAPE ve RMSE değerleri üzerindeki etkisi (The Learning RatesParameter'sEffect on theResilientBackpropagationAlgorithm's MAPE and RMSE Values)

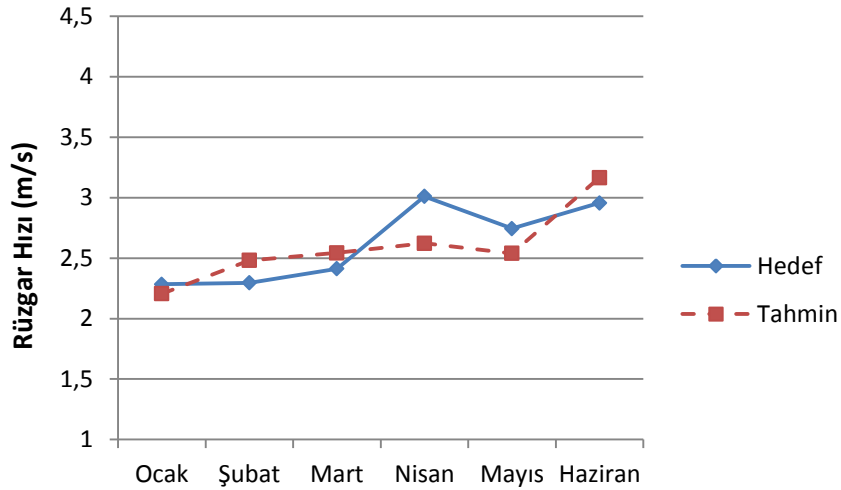
Resilient Back Propagation algoritması ile yapılan analizde ise 0,425 öğrenme oranının RMSE ve MAPE kriterlerinin her ikisinde de en düşük hata oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple çalışmada Resilient Back Propagation algoritmasının kullanılması durumunda 0,425 öğrenme oranı kullanılacaktır.

Kırşehir ili 2011 yılı ilk altı aylık ortalama rüzgar hızı tahmin değerlerine bakıldığında hedef ve tahmin değerlerine yönelik karşılaştırma grafiği Şekil 3.3.'deki gibi gerçekleşmiştir.



Şekil 3.3. Levenberg-Marquardtbackpropagation algoritması kullanılarak Kırşehir ili için elde edilen tahmin sonuçları (Levenberg-Marquardtbackpropagationalgorithmestimationresultsobtainedfor Kırşehir)

2011 yılı ilk altı aylık ortalama rüzgar hızı tahmin değerleri Resilient Backpropagation algoritması kullanılarak irdelendiğinde Şekil 3.4.'de yer alan hedef ve tahmin değerlerine ilişkin karşılaştırma grafiğine ulaşılmıştır.

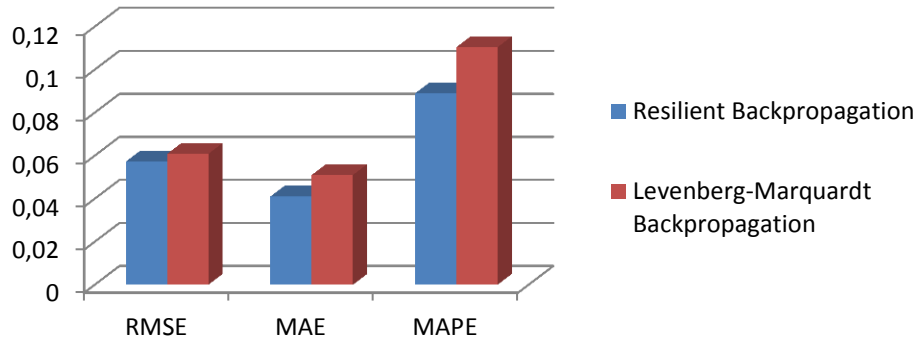


Şekil 3.4. Resilientbackpropagation algoritması kullanılarak Kırşehir ili için elde edilen tahmin sonuçları (Resilientbackpropagationalgorithmestimationresultsobtainedfor Kırşehir)

Elde edilen bulgular çerçevesinde Kırşehir ili 2011 yılı ilk altı aylık ortalama rüzgar hızı tahmin değerlerine yönelik RMSE, MAE ve MAPE değerleri Çizelge 7’da, karşılaştırmalı performans değerleri ise Şekil 3.5.’de yer almaktadır.

Çizelge 7. Performans Ölçütlerine İlişkin Değerler (Value of PerformanceMetricsRelatedto)

ALGORİTMALAR	RMSE (%)	MAE (%)	MAPE (%)
Resilient Backpropagation	0,0572	0,0410	0,0889
Levenberg-Marquardt Backpropagation	0,0608	0,0510	0,1104



Şekil 3.5. Performans Ölçütlerine İlişkin Karşılaştırmalı Değerler (Comparative Value of PerformanceMetricsRelatedto)

4. SONUÇ

Genel kabul görmüş enerji kaynaklarının önümüzdeki yüzyılda tükenecek olması ve çevreye verdiği zarardan ötürü dünyada alternatif enerji kaynaklarına yöneliş başlamıştır. Bu kapsamda rüzgâr enerjisi pek çok avantajıyla birlikte dikkat çekmekte ve her geçen gün daha fazla talep görmektedir. Maliyetinin görece olarak düşüklüğü, temiz ve yenilenebilir olması bu avantajların başında gelmektedir. Türkiye’de rüzgâr potansiyeli bakımından güçlü olmasına rağmen bu potansiyelim yeterince kullanamadığı ifade edilebilir.

Araştırmada 1975-2010 yılı için Kırşehir İli Rüzgar hızı, sıcaklık, nem ve basınç değerleri kullanılarak Yapay Sinir Ağları yöntemine ilişkin olarak Resilient Backpropagation ve Levenberg-Marquardt Backpropagation algoritmalarından elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağları ile rüzgar hızı tahmini için çoğunlukla Backpropagation kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ancak farklı algoritmalar arasında karşılaştırma yapılması belirli performans kriterlerinin açısından en doğru tahmine ulaşılmasını sağlayabilir. Böylelikle karmaşık problemlerin irdelenmesinde algoritmalar arasında seçim yapabilme imkanı elde edilmiş olacaktır.

Çalışmada kapsamında Levenberg-Marquardt Backpropagation ve Resilient Backpropagation algoritmaları kullanılarak Kırşehir ili Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarına ilişkin rüzgar hızı tahmin değerleri elde edilmiş ve her iki algoritmanın performans kriterleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasında çok büyük bir farklılığın olmadığı ve bu tahmin sonuçlarının gerçek değerler yerine kullanılabileceğini ifade etmek mümkündür. Performans kriterleri olarak Ortalama Hata Karekök (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Mutlak Hata Oranları Ortalaması (MAPE)

kullanılmıştır. Bu amaçla elde edilen verilere göre Resilient Backpropagation öğrenme algoritması RMSE 0,0572, MAE 0,0889 ve MAPE 0,0410 doğruluk oranına ulaşırken, Levenberg-Marquardt Backpropagation algoritmasının ise RMSE 0,0608, MAE 0,0510 ve MAPE 0,1104 doğruluk oranına sahip tahminler yaptığı görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak her iki algoritmanın performansının birbirine çok yakın olduğu ve Resilient Backpropagation öğrenme algoritmasının küçük bir farkla da olsa daha doğru sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Stover, D., The Forecast for Wind Power, Popular Science, 247, 65-72, 1995.
- [2] Çam, E. ve Yıldız O. Prediction of Wind Speed and Power in the Central Anatolian Region of Turkey by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) Turkish J. Eng. Env. Sci. 30, 35-41, 2006.
- [3] Bilgili, M., Şahin, B. ve Abdulkadir, Y., Application of artificial neural networks for the wind speed prediction of target station using reference stations data, Renewable Energy, 32 2350-2360, 2007.
- [4] Monfared, M, Rastegar, H. ve Kojabadi, H.M., A new strategy for wind speed forecasting using artificial intelligent methods, Renewable Energy, 34, 845-848, 2009.
- [5] Ata, R. Analysis by ANN of electricity generation at different height from autonomous wind türbine, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ, 23, 523-529, 2008.
- [6] Ata, R. ve Kocyigit, Y., An adaptive neuro-fuzzy inference system approach for prediction of tip speed ratio in wind turbines, Expert Systems with Applications, Volume 37, Issue 7, 5454-5460, 2010.
- [7] Li, G. ve Shi, J., On comparing three artificial neural networks for wind speed forecasting, Applied Energy, 87, 2313-2320, 2010.
- [8] Alexiadis, M.C., Dokopoulos, P.S., Sahsamanoglou, H.S. and Manousaridis, I.M.: Short-Term Forecasting of Wind Speed and Related Electrical Power. Solar Energy, 63, 61-68, 1998

- [9] Li, G. ve Shi, J., On comparing three artificial neural networks for wind speed forecasting, *Applied Energy*, 87, 2313-2320, 2010.
- [10] Philippopoulos, K ve Deligiorgi D., Application of artificial neural networks for the spatial estimation of windspeed in a coastal region with complex topography, *Renewable Energy*, 38, 75-82, 2012.
- [11] Barbounis, T.G. and Theocharis, J.B. (2007) A Locally Recurrent Fuzzy Neural Network with Application to the Wind Speed Prediction Using Spatial Correlation. *Neurocomputing*, 70, 1525-1542.
- [12] Cadenas, E; Rivera, W.: Wind speed forecasting in three different regions of Mexico, using a hybrid ARIMA ANN model. *Renewable Energy*, Vol. 35, 2732-2738, 2010.
- [13] Kariniotakis, G., Stavrakakis, G.S. ve Nogaret, E.F. (1996) Wind Power Forecasting Using Advanced Neural Network Models. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 11, 762-767, 1996.
- [14] Beyer, H. G., Degner, T., Hausmann, J., Hoffmann, M. and Rujan, P.: "Short term prediction of wind speed and power output of a wind turbine with neural networks," in *Proceedings of the 5th European Wind Energy Association Conference and Exhibition, Thessaloniki, Greece*, s.349—352, 1994.

- [15] Yurdusev, M.A., Ata, R. ve Çetin, N.S., Assessment of Optimum tip Speedratio in Wind Türbine Ausing Artificial Neural Networks, Energy, 31, 2153-2161, 2006.
- [16] Saray, U., Lüy, M., Çam, E., Amasya ili için yapay sinir ağlarıyla Rüzgâr hızı tahmini. Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri(EEMG), 29 Eylül- 1 Ekim 2011, Ankara, 20-23, 2011.
- [17] Çolak, i., Bayındır, R., Sefa, i., Demirbaş, Ş., ve Ergen, H., Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,19-21 Ekim, Mersin, 19-25, 2005.
- [18] Elektrik üretim sektör raporu, EÜAŞ,16s., 2010.
- [19] Petrol sektöründe gelişmeler, Petrol-iş, 32s., 2011.
- [20] H. H. Özcan, Rüzgâr enerjisi yatırımları ve Isparta ilinde kurulabilecek rüzgâr enerjisi santralinin ekonomik analizi. Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.
- [21] Kartal, B. Eskişehir ve yöresinde enerji üretimi amaçlı rüzgar hızlarının tespiti ve kullanıma uygunluğunun araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2009
- [22] Atılgan İ. Türkiye'nin Enerji Potansiyeline Bakış, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 15, No 1, 31-47, 2000
- [23] Çağlar, Ü., Cengiz, C., Çakan, E., Onan, M.T., & Kocaoğlu, Ş., Türkiye'nin atıl enerji kaynağı: Rüzgar enerjisi. DEÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi II. Ulusal

İktisat Kongresi (20-22 Şubat 2008) Bildirileri, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, 2008.

[24] Şimşek, V., Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santralı Tasarım”, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2007.

[25] Varınca Kamil B.,Varank G., Rüzgâr Kaynaklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Enerji Yönetimi Sempozyumu, s: 367-376, Haziran 2005, Kayseri, 2005.

[26] Öztürk, H. H. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi, Ankara, 2008.

[27] Toklu, M. Rüzgâr Enerjisi ve Elazığ Şartlarında Bir Rüzgâr Santrali Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2002.

[28] Durak M.,Özer S., RüzgârEnerjisi: TeoriveUygulama, Ankara, Türkiye, 241-242, 2008.

[29] Fıçıcı, F., Dursun B., Gökçöl C. Rüzgâr Enerji Sistemlerinden Kaynaklanan Gürültünün İncelenmesi. SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 1. Sayı, 11. Cilt, ss.54-62, 2007.

[30] Masters, G. M. Renewable and Efficient Electric Power Systems. John Wiley & Sons, New Jersey, 2004.

- [31] Patel, M. R. Wind and Solar Power Systems. CRC Press, Boca Raton, Second Edition, London, 2006.
- [32] Shepherd, W., Shepherd, D. W. Energy Studies. Imperial College Press, Second Edition, London, 2003.
- [33] Zhang W., Xu H., Active Disturbance Rejection Based Pitch Control of Variable Speed Wind Turbine, 30th Chinese Control Conference: July 22-24, Yantai, China, s. 5094-5098, 2011
- [34] Özdamar, A., Dünya ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinden Yararlanılması Üzerine Bir Araştırma, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.6 (2-3): 133-145, 2000.
- [35] Anonim, <http://www.windpower.org> (Erişim tarihi: 14.03.2012)
- [36] Rebecca, M., “WindPower”, San JoseStateUniversity, France, 2011.
- [37] Çolak, i., Bayındır, R., Sefa, i., Demirbaş, Ş., ve Ergen, H., Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,19-21 Ekim, Mersin, 19-25, 2005.
- [38] Gücüyetmez, M., Çam, E., Küçük rüzgâr türbinleri ve bir örnek uygulama. Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri(EEMG), 29 Eylül- 1 Ekim 2011, Ankara, 12-15, 2011.
- [39] WMO, Instruments and Observing Methods, Report No:87. 27s., 2006.
- [40] Şaylan, L., Meteorolojik Aletler ve Gözlem Usulleri Dersi Notları, 2009.

- [41] Maç, N., Türkiye’de Enerji Sektörü, Konya Ticaret Odası Etüd-Araştırma Servisi Araştırma Raporu, Sayı 42/39, 2006.
- [42] Şen. Z.,Yapay sinir ağları ilkeleri. Su vakfı yayınları, İstanbul, 2004.
- [43] Anderson, D.,McNeill, G.,Artificial Neural Networks Tecnology.Kaman science comporation, Rome, 1992.
- [44] Lin, C. L., Su, H. W., Intelligent Control Theory in Guidance and control System Design: an Overview, Proc. Natl. Sci. Counc. ROCA, 24(1): 15-30, 2000
- [45] Nabiyev, V. V., Yapay Zeka Problemler-Yöntemler-Algoritma. Seçkin Yayınevi, Ankara,2005.
- [46] B. Dandil, Yapay Sinir Ağı ile Sistem Kontrolü.Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1998.
- [47] D. Eggert, Neural Network Control, Tecnical University of Denmark, Denmark, 2003
- [48] Lüy, M., Yapay sinir ağlarının, modellenmesi yapılan termik santralde uygulanması. Doktora tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2009.
- [49] Zorlu, K., A ComparativeStudy of Using TheMethods of MultipleLinearRegressionandArtificialNeural Networks in OrganizationalCorrelationsForTheFields of Management andOrganization, Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 8 (17), 1-25, 2012.

[50] Okkan, U. ve Mollamahmutoğlu, A., Yiğitler ayı, Günlük Akımlarının Yapay Sinir Ağları ve Regresyon Analizi İle Modellenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23, 33-48, 2010.

[51] <http://www.kirsehir24.com/haberler/32/Mucur/8>, Erişim Tarihi, 29.12.2012.

[52] alışkan, M., 2011. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Mevcut Yatırımlar. İstanbul, Rüzgar Enerjisi Santralleri Semineri, <http://www.tucsa.org/images/yayinlar/sunumlar/MUSTAFA-CALISKAN.pdf>

[53] Bilgili M. ve şahin B., Comparative analysis of regression and artificial neural network models for wind speed prediction, Meteorol Atmos Phys, 109, 61–72, 2010.

[54] Witt, S.F. ve Witt, C.A. Modeling and Forecasting Demand in Tourism. Londra: Academic Press, 1992.