



BİLECİK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

**BİLECİK İLİNİN UYARLANIR SİNİR BULANIK
ÇIKARIM SİSTEMİ İLE BASINÇ, SICAKLIK VE
RÜZGAR HIZI TAHMİNİ**

Mehmet Recep MİNAZ
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Ayhan GÜN

BİLECİK, 2011



BİLECİK UNIVERSITY
Graduate School Of Sciences
Electrical And Electronics Engineering Program

**ESTIMATION OF PRESSURE, TEMPERATURE AND
WIND SPEED OF BİLECİK USING ADAPTIVE NEURO-
FUZZY INFERENCE SYSTEM**

Mehmet Recep MİNAZ
Master Of Science Thesis

Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. Ayhan GÜN

BİLECİK, 2011

ÖZET

Rüzgar hızı ile enerji üretilebilmesinin önem kazanması ile, hızla birebir etkili olan basınç ve sıcaklık verilerini tahmin etmek de son derece önemli hale gelmiştir. Bu verilerin tahminlerinin gerçekleştirilebilmesi için çeşitli modeller kullanılmaktadır. Uyarlanırlı Sinir Bulanık Sistemi (ANFIS) ve doğrusal çoklu regresyon analizi yöntemleri, bu tez çalışmasında yer alan tasarım modeli için kullanılmıştır. Tahminlerde kullanılan bu iki farklı yöntem ile hangi yöntemin daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur. Rüzgar hızı ve sıcaklıkta ANFIS, basınç tahmininde ise doğrusal çoklu regresyon analizi yönteminin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Bu çalışma, Bilecik ili için rüzgar hızı, sıcaklık ve basınç tahmini içermektedir. Bilecik iline ait 2000-2009 yılları arasındaki sıcaklık, basınç ve rüzgar hızı verileri alınarak, 2010 yılı için değerler tahmin edilmiştir. Sonrasında, 2010 yılına ait gerçek değerler ile önceden tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Elde edilecek tahminler doğrultusunda, rüzgar enerjisi sağlayan sistemlerin, değişen atmosferik şartlara hızlı uyumluluğunun sağlanması hedeflenmektedir.

Çalışmada elde edilen veriler, Bilecik ili ve çevresinde rüzgar enerjisinden yararlanmak isteyenler için referans olacak şekilde hazırlanmıştır.

Anahtar Kelime

ANFIS, regresyon, basınç, sıcaklık, rüzgar hızı

ABSTRACT

With the increase in the importance of energy produced in wind speed, the speed with the same degree of importance, pressure and temperature data to estimate, has become extremely important.

Estimates for the realization of this data, are used in a variety of models. Linear Multiple Regression Analysis and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) methods, are used for design model used in this thesis. With these two different methods used to estimate, which put forward the method to be more successful. For the wind speed and temperature, ANFIS, for the pressure in estimation. Linear Multiple Regression Analysis method was seen to be more successful.

In this study, for the province of Bilecik, wind speed, temperature and pressure estimates are obtained. Posses to Bilecik province, using data between the years 2000-2009 of the temperature, pressure and wind speed data, values were estimated for the year 2010. Thereafter, by 2010, predicted values were compared with actual values.

According to forecasts will be achieved, provides wind energy systems, rapid adaptation to changing climatic conditions are be attained.

The data obtained with this study, for Bilecik province and around will be a reference who wants to take advantage of wind energy.

Key Words

ANFIS, regression, pressure, temperature, wind speed

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda bana yardımcı olan, çalıőmalarıma yön veren, ilgi ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Ayhan GÜN'e, Bilecik Üniversitesi hocalarımdan sayın Doç.Dr Mehmet KURBAN ve Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL'a, çalıőmam boyunca bana maddi ve manevi destek veren Muhammet Baki MİNAZ'a, çalıőmalarım boyunca gösterdiğim emek ve sabra destek olan ailem, eşim ve çocuklarıma, Nıksar Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Hocalarına ve dünyada en değerli varlığıım olan anneme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mehmet Recep MİNAZ

Ağustos, 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Daha önce yapılmış çalışmalar	1
1.2. Tezin amacı ve içeriği.....	3
2. BASINÇ, SICAKLIK VE RÜZGAR HIZININ ÖLÇÜLMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	4
2.1. Basınç ölçümü	4
2.2. Sıcaklık ölçümü	5
2.3. Rüzgar hızının ölçümü.....	6
2.3.1. Rüzgardaki enerji.....	9
2.4. Rüzgar enerjisi ve tarihsel gelişimi	15
2.5. Dünya'da ve Türkiye'de rüzgar enerjisi	16
2.5.1. Dünya'da rüzgar enerjisi	16
2.5.2. Türkiye' rüzgar enerjisi.....	17
3. TAHMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	19
3.1. İstatistiksel yöntem	19
3.1.1. Regresyon modeli	19
3.1.1.1. Basit regresyon	20
3.1.1.2. Doğrusal çoklu regresyon	21
3.1.1.3. Eğrisel regresyon	22
3.2. Yapay zeka yöntemi	24
3.2.1. Uyarlanır sinir bulanık mantık çıkarım sistemi(ANFIS).....	24
3.2.2. ANFIS için geri yayılım öğrenme algoritması	29
3.2.3. Üyelik fonksiyonları ve denklemleri	33
4.2.4. Model performansı	36
4. UYGULAMALAR	37

4.1. ANFIS modelinde elde edilen basınç sıcaklık ve rüzgar hızı analiz sonuçları	37
4.2. Yıllık RMSE ve MSE değerlerinin karşılaştırılması	42
4.3. ANFIS ve doğrusal çoklu regresyon modelinin gerçek değerleriyle elde edilen tahmini değerlerinin karşılaştırılması	45
4.4. Ocak, Nisan, Haziran, Eylül ayları için RMSE ve MSE değerlerinin karşılaştırması	53
5. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1: Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi.....	14
Çizelge 2.2: Rüzgar enerjisinin tarihsel gelişimi	15
Çizelge 4.1: ANFIS'in öngördüğü gauss üyelik fonksiyonlarının lineer denklemleri	41
Çizelge 4.2: ANFIS ve regresyon modelinden 2010 yılı için elde edilen elde edilen hatalar	43
Çizelge 4.3: 2010 Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarının rüzgar hızı hata değerleri	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Kepçe anemometre	7
Şekil 2.2	: Yavaşlatma faktörü değişimi	12
Şekil 2.3	: Dünya’da senelere göre kurulu güç artışı	16
Şekil 2.4	: Türkiye’de 2000–2009 rüzgar kurulu gücü gelişimi	17
Şekil 3.1	: Sugeno tip bulanık çıkarım.....	25
Şekil 3.2	: ANFIS yapısı	27
Şekil 3.3	: Üçgen üyelik fonksiyonu	33
Şekil 3.4	: Yamuk üyelik fonksiyonu	34
Şekil 3.5	: Çan eğrisi üyelik fonksiyonu	35
Şekil 3.6	: Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu	35
Şekil 3.7	: Sigmoid üyelik fonksiyonu.....	36
Şekil 4.1	: Yapılan çalışmanın akış şeması.....	38
Şekil 4.2	: Eğitim verileri için ANFIS’in bulduğu değerler ile gerçek değerlerin aynı grafikte gösterimi.....	39
Şekil 4.3	: Test verileri için ANFIS’in bulduğu değerler ile gerçek değerlerin aynı grafikte gösterimi.....	39
Şekil 4.4	: Fis diyagramı.....	39
Şekil 4.5	: Kural tablosu.....	40
Şekil 4.6	: Yüzey görünümü.....	40
Şekil 4.7	: Oluşan üyelik fonksiyonları.....	40
Şekil 4.8	: Oluşan ANFIS yapısı.....	42
Şekil 4.9	: 2010 yılı için basınç RMSE değerlerinin karşılaştırılması.....	42
Şekil 4.10	: 2010 yılı için basınç MSE değerlerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.11	: 2010 yılı için sıcaklık RMSE değerlerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.12	: 2010 yılı için sıcaklık MSE değerlerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.13	: 2010 yılı için rüzgar hız RMSE değerlerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.14	: 2010 yılı için rüzgar hız MSE değerlerinin karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.15	: 2010 yılı Mart , Nisan ve Mayıs ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.16	: 2010 yılı Mart , Nisan ve Mayıs ayları basınç değerlerinin	

karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.17 : 2010 yılı Mart , Nisan ve Mayıs ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.18 : 2010 yılı Mart , Nisan ve Mayıs ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.19 : 2010 yılı Mart , Nisan ve Mayıs ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.....	47
Şekil 4.20 : 2010 yılı Mart , Nisan ve Mayıs ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.....	47
Şekil 4.21 : 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	47
Şekil 4.22 : 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.23 : 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.24 : 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları sıcaklık değerinin karşılaştırması.....	48
Şekil 4.25 : 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırması.....	49
Şekil 4.26 : 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırması.....	49
Şekil 4.27 : 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları basınç değerinin karşılaştırması.....	49
Şekil 4.28 : 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.29 : 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.30 : 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.31 : 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.32 : 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.33 : 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.34 : 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.35 : 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.....	52

Şekil 4.36 :	2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.37 :	2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.38 :	2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.39 :	2010 Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarının rüzgar hızı hata değerleri.	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
ANFIS	: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Uyarlanır Sinir Bulanık Çıkarım sistemi)
A	: Bulanık küme
C_A	: Kaldırma kuvveti katsayısı
$C_{p \max}$: Serbest pervaneden alınacak maksimum verim
C_W	: Direnç kuvveti katsayısıdır.
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
d	: İstenilen değer
e	: Hata ölçütü
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EPDK	: Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu
E	: En küçük kareler yöntemi uygulanarak hata ölçütü
E_k	: Rüzgar daki kinetik enerji (J)
E_y	: Enerji yoğunluğu (Wh/m ² .yıl)
f	: Yıllık esme saat sayısını (h/yıl) göstermektedir.
H	: Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik
H_o	: Rüzgar hızının ölçülmesi istenilen yükseklik
k	: Rüzgar türbininin tipine göre 0,1 ile 0,3 arasında değişen bir katsayı
MATLAB	: Matrix laboratory
MSE	: Ortalama karesel hata
m_h	: Havanın kütlesi (kg)
n	: Yavaşlatma faktörü
N	: Nüfus
P_r	: Rüzgarın anlık gücü(W)
PID	: Proportional-Integral-Derivative (Oransal-İntegral-Türev)
RMSE	: Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü
s	: Rotor süpürme alanı (m ²)
SI	: Uluslar Arası Birim Sistemi

t	:	Ölçüm zamanı (s)
U	:	A kümesinin tanımladığı evren
V	:	Referans yükseklikteki rüzgar hızı
V_o	:	İstenilen yükseklikteki rüzgar hızı
V_h	:	Hava hacmi (m^3)
V_r	:	Ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)
V_ξ	:	Çevresel hız
WWEA	:	World Wind Energy Association (Dünya rüzgar enerji birliği)
YSA	:	Yapay Sinir Ağları
$Z_{COA}(C)$:	Üyelik fonksiyon değeri
Z_k	:	Her kuralın gerçekleştirme oranıdır
λ_A	:	Dizayn devirlilik sayısı
ρ_h	:	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
$\xi_{uç}$:	Uç kayıpları
ξ_{Profil}	:	Profil kayıpları
α	:	Hellmann Katsayısı
ε	:	Kayma sayısı
π	:	Pi Sayısı

1. GİRİŞ

Rüzgar enerjisinin işlevsel olarak kullanımı antik çağlara kadar dayansa da elektrik üretmek amacıyla ilk denemeler 1800'lerin sonunda 1900'lerin başında Amerika'da elektrik mühendisi Charles F. Brush tarafından yapılmıştır. Ardından Danimarka'da meteorolog Poul La Cour ile başlayan rüzgar türbinin gelişimi ile günümüzdeki rüzgar türbini kavramına ulaşılmıştır. Günümüz enerji piyasasında rüzgar enerjisi büyüme potansiyeli olan ve gelişmeye halen açık bir alandır. Bugün dünyada kurulu olan rüzgar gücü potansiyeli 2010 yılı itibariyle 196.630 MW'a kadar ulaşmıştır. Bu rakamların 2011 yılı ile birlikte toplam kapasitenin 240,000 MW'ta ulaşması, gelişmeler ve geliştirilen politikalarla birlikte 2015 yılında küresel kurulu gücün 600,000 MW' tan fazla 2020 yılında küresel kurulu gücün 1.500.000 MW' tan fazla olması tahmin edilmektedir (WWEA, 2011).

Günümüzde rüzgar enerjisi ile enerji üretilmesinin önem kazanması rüzgar ile ilgili birçok çalışmanın kapılarını açmıştır. Bundan dolayı rüzgar hızı ile birebir etkili olan verilerin tahmini için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, Bilecik iline ait veriler kullanılmıştır. Bu tahminler için ilk etapta veriler gruplara bölünmüş, bütün yılların ayları bir grup olmak üzere on iki grup oluşturulmuştur.

1.1. Daha önce yapılmış çalışmalar

Bu tez konusuna öncü olan çalışmaların bazıları aşağıda verilmiştir.

Demirel ve arkadaşları yaptığı çalışmada ANFIS yöntemi ile elektrik enerjisi talep tahminleri yapılmış, çalışmadaki giriş değişkenleri Gayri Safi Milli Hâsıla, Nüfus, Üretilen Enerji, Kurulu Güç, çıkış ise Tüketilen Enerji olarak belirlenmiştir. (Demirel vd., 2010).

Castellanos ve James rüzgar hızını saatlik tahmin etmek için ANFIS kullanarak yaptıkları çalışmada çok iyi sonuçlar elde etmiştir (Castellanos ve James, 2009).

Sachdeva ve Verma Hindistan mühendislik okulunda bulanık mantık kullanarak yük tahmini gerçekleştirmişlerdir. Sistem giriş parametreleri günlük minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, mevsim, günlük kapasite, yağmur ve nem olarak, çıkış parametresi ise yük değeri olarak alınmıştır (Sachdeva ve Verma, 2008).

Özaktürk ve arkadaşları pelton türbinle çalışan küçük güçlü hidroelektrik santrallerinde bulanık mantık yöntemiyle güç tahmini yapılmış ve olumlu sonuçlar elde etmişlerdir (Özaktürk vd., 2008).

Hocaoğlu ve Kurban Eskişehir bölgesi için 1995 ile 2002 yıllarına ait güneşlenme sürelerini değerlendirip 2003 yılına ait güneşlenme sürelerini tahmin etmişlerdir. Çalışmada kendini güncelleyen ANFIS yapısı kullanılmıştır (Hocaoğlu ve Kurban, 2005).

Dursun'un yaptığı çalışmada, Elazığ iline ait sıcaklık, çığ noktası, nem oranı ve basınç verileri, veri tabanından alınarak ANFIS ve YSA sınıflandırıcılarından ayrı ayrı geçirildikten sonra hem hava tahmininin yapılması, hem de bu sınıflandırıcıların performanslarının değerlendirilmesi sağlanmıştır (Dursun, 2005).

Abraham ve Nath Avustralya'nın Victoria eyaletindeki elektrik enerjisi talebini her yarım saatte bir alınan on aylık verilerle ARIMA, ANN ve Neuro-Fuzzy modelleri kullanarak yapmışlar ve neuro-fuzzy modelin diğer modellere göre en iyi sonucu verdiği görmüşlerdir (Abraham ve Nath, 2001).

Alturki Arabistan'ın Riyad şehri için yapmış olduğu elektrik enerjisi orta ve uzun vadeli talebini tahmin etmek için "A Fuzzy Neural Approach for Forecasting Peak Power Demands" isimli çalışmayı gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada ARIMA, ANN ve Neuro-Fuzzy modelleri kullanılarak yapılmıştır. Neuro-Fuzzy modelin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Alturki, 2000).

Hafız ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Mısır için altı farklı bölgede Expert System, Fuzzy Logic ve ANN modelleri kullanılarak yapılan yük tahmini "Electric Load Forecast For Developing Countries" başlığı ile sunulan çalışmadır. Bu çalışmada 2010 yılına kadar elektrik enerjisi yük tahmini yapılmış ve en az hata tahmini ANN modelinden elde edilmiştir (Hafız vd., 2000).

William Amerika'da halka elektrik dağıtımı sağlayan kırk dokuz firmanın geçmiş talep tahminlerini ve mevcut satış verileri kullanarak doğrusal regresyon analizi, zaman serileri analizi, üssel düzeltim yöntemi ve çoklu regresyon analizi ile iki, dört, altı ve yedi yıllık satışların tahminini yapmıştır (William, 1985).

1.2. Tezin amacı ve içeriği

Bu tez çalışmasında enerji üretiminde kullanılan rüzgar hızı, rüzgar hızını etkileyen basınç ve sıcaklık değerlerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilecek tahminler doğrultusunda, rüzgar enerjisi üreten sistemlerin, değişen atmosferik şartlara hızlı uyumluluğu hedeflenmektedir. Tahminde ANFIS ve çoklu doğrusal regresyon analiz metodu kullanılmış, hangi metodun daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur.

Tezin içeriği beş bölümden oluşmaktadır. Kalan bölümlerde ele alınan konuların içerikleri aşağıda verilmektedir.

İkinci bölümde, basınç, sıcaklık ve rüzgar hızının ölçülmesi ve değerlendirilmesi anlatılmıştır. Dünya’da ve Türkiye’de rüzgar enerjisi ile ilgili bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tahminde kullanılan algoritmalarından ANFIS ve regresyon yöntemi detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde, Bilecik iline ait 2000-2009 yılları arasındaki basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı verileri alınıp değerlendirilmiştir. 2010 yılına ait değerler tahmin edilip gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölüm, sonuçlar kısmından oluşmaktadır. Bu bölümde tahmin için kullanılan yöntemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları sunulmuştur. Hangi yöntemin daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur.

2. BASINÇ, SICAKLIK VE RÜZGAR HIZININ ÖLÇÜLMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1. Basınç ölçümü

Basınç, bir yüzey üzerine etkide bulunan dik kuvvetin, birim alana düşen miktarıdır. Katı, sıvı ve gazlar ağırlıkları nedeniyle buldukları yüzeye bir kuvvet uygularlar. Kuvvetin kaynağı ne olursa olsun birim yüzeye dik olarak etki eden kuvvete basınç (P), bütün yüzeye dik olarak etki eden kuvvete de basınç kuvveti (F) denir (Url-6, 2011).

$$P = F/S \quad (E.2.1)$$

P : Basınç

F : Kuvvet

S : Alan

Atmosfer basıncını ölçmeye yarayan alet olan barometre 1643 yılında Evangelista Torricelli tarafından bulunmuştur. Atmosfer basıncını ölçmek için hava, su ya da cıva barometreleri kullanılabilir. En bilinen barometre türü cıvalı barometredir. Cıvalı barometre, içi cıva dolu dikey bir borudur. Borunun üst ucu kapalıdır. Alt uç ise açık, ancak cıva dolu bir kaba daldırılmış durumdadır. Atmosferin bu kap içindeki cıva yüzeyine yaptığı basınca göre, borunun içindeki cıva sütunu yükselip alçalır. Havalı barometre ise, havası boşaltılmış metal bir kutu biçimindedir. Bunun ince çeperleri, atmosferin basıncına göre yassılıp kabarabilir. Bu biçimde ortaya çıkan hareket, bir ibreye bağlı olarak bir kadrana aktarılır. Yazılı barometrede bu ibreye mürekkepli bir uç bağlanır ve altında döner bir silindir bulundurulur (Url-6, 2011).

Cıvalı Barometre

Cıva sütununun yüksekliği barometre basıncını gösterir. Bu basınç deniz düzeyinde, cıva sütunundaki 76 cm yüksekliğe eşittir. 76 cm-cıva aynı zamanda 1 atmosfer basınca eşittir. Sütundaki cıva düzeyinin alçalıp yükselmesi atmosfer basıncının değiştiğini gösterir ve bu yolla hava durumu tahmin edilebilir (Url-6, 2011).

Basınç farklarının oluşumu

Dünya, güneşten gelen ısıyı ekvator bölgesinin her zaman dik açıyla, kutup bölgelerinin de her zaman eğik açıyla almasını sağlayacak bir konumda oluşmuştur. Bu

durum ekvator bölgesinin her zaman çok sıcak, kutup bölgelerinin de her zaman çok soğuk olmasını sağlamıştır. (Dünyanın kutup eksenini ile yörünge düzlemi arasında 23.5 derecelik bir açı vardır ve dünya sağa doğru eğik konumuyla kendi eksenini etrafında ve güneş etrafındaki yörüngesinde hareketlerini sürdürmektedir). Ekvator bölgesi (0-30 kuzey enlemleri, 0-30 güney enlemleri arası) kara ve denizde en sıcak alanlardır (Url-6, 2011).

Bu alanlarda önce kara yüzeyleri ısınır. Isınan yüzeyler alttan itibaren havayı ısıtır. Isınan hava yükselir. Yükselen havanın yerinde, havanın yükselerek terk etmesinden dolayı boşluk oluşur. Bir başka deyişle basınç düşer. Bu sebeple ekvator bölgesi sürekli olarak dünyanın alçak basınç alanlarıdır. Aynı zamanda yükselen hava yükseldikçe soğur. Soğuk kutup alanlarında hava alttan itibaren soğur (Url-6, 2011).

En soğuk hava en alttaki hava olur. Soğuyan hava ağırlaşır birbirine doğru sıkışarak çöker. Çöken hava aynı zamanda ısınır. Bu yığılma sonucunda yüzeyde yüksek basınç oluşur. Dolayısıyla kutup alanları dünyanın her zaman yüksek basınç alanlarıdır. Yeryüzünde her zaman var olan bu alçak ve yüksek basınç alanlarının yanında diğer alanlarda karada ve deniz yüzeyinde bölgesel veya daha küçük ölçeklerde oluşan ve rüzgarların oluşmasına sebep olan basınç merkezleri görülür (Url-6, 2011).

2.2. Sıcaklık ölçümü

Sıcaklık, insanların sürekli olarak ilgi duydukları bir nicelik olmuştur. Dolayısıyla sıcaklığın ölçülebilmesi için çeşitli elemanlar imal edilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olanı cıvalı termometredir. Günümüzde ölçüm yapılan sıcaklık sahası - 270 °C ile 10000 °C arasında değişmektedir. Ancak çoğu uygulama bu saha, oda sıcaklığı ile 2000 °C aralığındadır (Considine, 1985). Sıcaklık ölçümü için kullanılan birçok sensör vardır ve bunlar arasında ucuz olmaları, küçük boyutlu olmaları, doğrulukları ve geniş çalışma sahaları nedeniyle termal çiftler en çok kullanılan elemandır. Sensorların ölçtükleri sıcaklık değerleri ile çıkışlarında ürettikleri elektriksel büyüklükler arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Dolayısıyla sensör çıkışlarının daha kolay bir şekilde değerlendirilebilmesi için girişle ilişkili olarak lineerleştirilmesi gerekmektedir (Attari, 1995).

Gelişen teknolojiyle beraber mikroişlemci fiyatlarının düşmesi, veri değerlendirme sistemlerini ihtiva eden birçok tasarımda bu devre elemanlarının tercih

edilmesinde uygun ortamı hazırlamıştır. Dolayısıyla bunların birer devre elemanı olarak kullanılmasıyla analog lineerleştirme yöntemlerinin yerine sayısal lineerleştirme yöntemleri tercih edilmeye başlanmıştır (Attari, 1995).

Günümüzde mikroişlemci tabanlı sıcaklık ölçüm sistemlerinin tasarımında, girişle lineer olmayan çıkış üreten sensörlerin çıkışlarının lineerleştirilmesi amacıyla interpolasyon metotları kullanılmaktadır. Bu metotla yapılan tasarımlar, iki alternatif üzerine kurulmuştur. Bunlardan ilkinde, katsayıları sadece okunabilir bir hafıza üzerinde saklanan ve interpolasyon tekniğiyle elde edilen birinci dereceden veya daha yüksek dereceli bir denklem ile sensörden alınan mevcut giriş verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde çıkışlar üretilir. Ancak burada denklemin derecesi küçük olursa katsayıların sayısı da az olmaktadır (Mahana ve Trofimenkoff, 1986).

Tasarlanan sistemin yapısı basit olmakla beraber, sistemin çıkışında elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasındaki hata miktarı büyük olmaktadır. Artırılan sistem derecesi ile birlikte denkleme ait katsayıların sayısı ve buna paralel olarak sistem karmaşası da artmaktadır. İkinci yöntemde ise, okunabilir bir hafıza üzerinde saklanan tek boyutlu "look-up table" olarak isimlendirilen bir veri tabanı oluşturulmakta ve sensörden okunan veriye karşılık bu tablodan uygun değerler seçilerek çıkışa aktarılmaktadır (Mahana ve Trofimenkoff, 1986).

Bu yöntemin en büyük dezavantajı oluşturulan veri tabanının büyüklüğünün sistemin hassasiyeti ile doğru orantılı olarak artmasıdır. Diğer bir deyişle yüksek hassasiyetli çıkışın arzu edildiği uygulamalarda ihtiyaç duyulan hafıza boyutlarının artması kaçınılmazdır (Mahana ve Trofimenkoff, 1986).

2.3. Rüzgar hızının ölçümü

Rüzgar enerjisinin olası bir bölgedeki potansiyelinin hesaplanabilmesi, rüzgar türbinin kurulacağı yerin belirlenmesinde rüzgar hızının ve yönün ölçülmesi, dağılımının gösterilmesi esas işlemlerden biridir. Bunun için seçilen bölgede, belirlenen yüksekliklerde, belirli bir zaman periyodu içinde, yön ve hız ölçümleri alınması rüzgar profilinin anlaşılması için gereklidir (Şaylan, 2009).

Rüzgar yönü ve hız parametreleri ile ifade edilebilen bir büyüklük olduğu için vektörel olarak tanımlanır (Şaylan, 2009). Bu parametreleri ölçebilmek için geliştirilmiş aletlere anemometre denir. Anemometre terimi yunanca "anemos"(rüzgar) kelimesinden

gelir. İlk olarak 1846 yılında Thomas R. Robinson tarafından tasarlanmıştır (Durak ve Özer, 2007). Anemometreler günümüzde mekanik ve elektronik olarak iki türe ayrılabilir.

Mekanik anemometreler anemograf olarak bilinen grafiksel olarak rüzgar hızını kayıt altına alan rüzgar yönünü de kaydeden cihazlardır (Şaylan, 2009). Bu cihazlarda ortalama hız, rüzgar akışının zamana oranıyla bulunur. Uzak mesafelerde yer alan bölgeler için bu tip anemometreler güç kaynağı olmadan çalıştıkları için avantajlıdır (Manwell vd., 2002). Elektronik anemometreler bir veri toplayıcı ile birlikte çalışarak yön ve hız bilgilerini bu toplayıcıda depolama ve bilgisayara aktarma imkânı sağlamaktadır (Şaylan, 2009). Elektronik anemometreler ile anlık rüzgar hızları gözlemlenebilir. Dönen milin aşağı ucu, minyatür bir AC ya da DC jeneratörüne bağlıdır. Analog çıkış birçok metotla rüzgar hızı verisine dönüştürülür.



Şekil 2.1. Kepçe anemometre (Şaylan, 2009).

Anemometreler dönme eksenlerine göre kepçeli (yatay) ve pervaneli (düşey) olmak üzere ele alınabilir. Kepçeli anemometre olarak adlandırılan tipte, yarım küre şeklinde üç yada daha fazla sayıda kepçe rüzgarın mukavemetine bağlı olarak bir eksen etrafında döner, dönme sayısı ile rüzgar hızı konusunda bilgi verir (Şaylan, 2009). Şekil 2.1'de kepçeli anemometrelerin dönüş oranları, dönüş sayımları yapan mekanik bir sayaç, elektrik ya da elektronik devrelerindeki gerilim değişimleri (AC ya da DC), fotoelektrik bir devre anahtarı vasıtasıyla ölçülebilir. Kepçe anemometrelerin tepki ve doğruluğu ağırlığına ve fiziksel boyutlarına ve yapısal rüzgar sürtünmesine bağlıdır. Bu parametrelerin değişimi ile tepki süresi de değişir (Manwell vd., 2002).

Meteoroloji istasyonlarında ölçüm için tercih edilen tip anemometreler bu tiptedir. Ölçüm alınabilmesi için genel olarak sabit bir kule üzerine yerleştirilmeleri tercih edilir (Şaylan, 2009). Pervaneli anemometrede pervaneye gelen rüzgar şaftı döndürür ve bu da AC ya da DC jeneratörünü veya küçük bir dişliyi çevirerek elektriksel işaret oluşturur. Bu tarz anemometreler hızlı tepki için ve değişken rüzgar hızlarına uyumlu olarak kullanılmıştır. Genel yatay eksenli kullanımda, pervane bir kuyruk yelkovanı ile rüzgar yönünde tutulur bu sayede rüzgar yönü hakkında da fikir verir. Bu tarz anemometrelerin doğruluğu kepçe tipi ile aynıdır (Manwell vd., 2002).

Bir eksen etrafında dönüş yaparak rüzgar hızı ölçümü yapan bu tarz anemometrelere doğrudan ölçüm yapan anemometreler denir. Kepçeli ve pervaneli tip anemometrelerde rüzgar hızının ölçümüne geçilebilmesi için rüzgarın belirli bir azami hıza sahip olması gerekir. Bu azami hız aletten alete değişkenlik gösterir (Şaylan, 2009).

Ayrıca ses dalgaları, lazer ışını veya ince bir teldeki direncin değişimi gibi fiziksel ölçütlere dayanarak ölçüm alan yapan anemometrelere ise dolaylı yoldan ölçüm alan anemometreler denir. Ses dalgalarını kullanarak ölçüm alan sonik anemometreler, sabit bir sensor yardımıyla ses dalgalarının vericiden alıcıya geçiş hızına göre ölçüm yaparlar. Üç boyutlu ve oldukça hassas ölçüm alan bu aletlerin en büyük dezavantajları pahalı olmalarıdır. Lazer anemometreler ise lazer ışığı üzerinde rüzgarın oluşturduğu değişikliği temel alarak ölçüm alan anemometrelerdir. Telle ölçüm alan anemometreler ise, sıcak bir telde rüzgara bağlı olarak telin direncinde meydana gelen değişimi esasına dayanarak çalışan anemometrelerdir (Şaylan, 2009).

Bunlar dışında troposfer tabakasının da ölçüm almak için geliştirilmiş uzun mesafeli mikrodalga ve radarlı rüzgar anemometreleri de vardır (Şaylan, 2009).

Rüzgar ölçüm yüksekliği genel olarak, özel amaçlı ölçüm istasyonları dışında dünya meteoroloji örgütü standartlarına göre yüzeyden 10 m yukarıda alınır. Ölçüm alınacak bölgenin etrafı açık bir bölge olması, rüzgar hızının ve yönünün belirleneceği yerde ölçüm yapan istasyonla civarındaki engel teşkil edebilecek obje arasındaki mesafenin objenin boyunun on katı veya daha fazla olması gerekmektedir. Ayrıca ölçüm yapan istasyonun 150 m çapındaki bölgede rüzgarı engelleyebilecek bir etki bulunmamalıdır (WMO, 2006). Kurulacak bir rüzgar türbini için ölçüm yüksekliği türbin yüksekliğinin üçte ikisi kadar olması gerekli görülür (Şaylan, 2009).

Rüzgar karakteristiğinin belirlenmesi uzun süreli ölçümler gerektirdiğinden, ölçüm yapılan istasyonunun yerleşik durumda bulunması gerekir. Rüzgar hızı SI birim sisteminde m/sn cinsinden ifade edilir (Hau, 2006).

Sıcaklık, nem, basınç gibi değişkenlerin ölçülmesi de rüzgar hızı ve yönünün belirlenmesinde destekleyici parametrelerdir.

2.3.1. Rüzgardaki enerji

Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için temel veriler rüzgar hızı ve esme saat sayısıdır. Bu veriler kullanılarak bir yöreye ait potansiyel enerji değerini ortaya koymak olanaklıdır. Bunun için, rüzgar potansiyelini tanımlayan kinetik enerjinin hesaplanması gerekir. Havanın bir ağırlığı ve hızı olması nedeniyle bir kinetik enerjisi vardır. Rüzgar türbinleri ile ilgili ilk teori 1926 yılında Göttingen Institute'de Dr. Albert BETZ tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoremden, Betz rüzgar rotorunun ideal olduğu varsayılır. Diğer bir ifade ile rotor, havaya karşı sürüklenme direnci göstermeyen sonsuz sayıda kanattan oluşmaktadır. Bu şekilde, rüzgar rotorunun mükemmel bir enerji dönüştürücüsü olduğu varsayılmıştır. Bu teoriye göre; Rüzgar hareket halindeki hava olup sahip olduğu kinetik enerji şu şekildedir.

$$E_k = \frac{1}{2} m_h v_r^2 \quad (\text{E.2.2})$$

Burada;

E_k : Rüzgar daki kinetik enerji (J)

V_r : Ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)

m_h : Havanın kütlesi (kg)

Havanın kütlesi (m_h) aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$m_h = \rho_h V_h \quad (\text{E.2.3})$$

Burada;

ρ_h : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

V_h : Hava hacmi (m^3)

Hava hacmi

$$V_h = V_r \cdot s \cdot t \quad (\text{E.2.4})$$

Formülü ile hesaplanır. Burada;

V_r : Ölçüm yüksekliğindeki rüzgar hızı (m/s)

s : Rotor süpürme alanı (m^2)

t : Ölçüm zamanını (s)

Böylece, “E2.4” bağıntısı “E.2.3” bağıntısında yerine konularak, kinetik enerji eşitliğinde gerekli düzenlemeler yapılacak olursa, Rüzgar enerjisi (E_r) Joule cinsinden şu bağıntı ile tanımlanmış olur.

$$E_r = \frac{1}{2} \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \cdot t \quad (\text{E.2.5})$$

Bu eşitlikte $t = 1$ alınacak olursa, Birim zamandaki enerji yani, rüzgarın anlık gücü

$$P_r = \frac{1}{2} \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \quad (\text{E.2.6})$$

olur, burada;

P_r : Rüzgarın anlık gücü 'dür (W)

Değişik rüzgar hızlarına sahip yörelerin rüzgar güç ve enerjilerini karşılaştırmak amacı ile, rüzgar güç ve enerji yoğunluğu teriminden yararlanılır. Buna göre “E.2.6” eşitliği düzenlenecek olursa; P_y , Ölçüm yüksekliğindeki güç yoğunluğu (W/m^2) şu şekilde olur.

$$P_y = \frac{P_r}{s} = \frac{1}{2} \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \quad (\text{E.2.7})$$

Bu sonuca göre enerji yoğunluğunu (E_y) bulacak olursak.

$$E_y = P_r \frac{f}{s} = P_y \cdot f = \frac{1}{2} \rho_h \cdot s \cdot v_r^3 \cdot f \quad (\text{E.2.8})$$

Burada;

E_y : Enerji yoğunluğu ($\text{Wh}/\text{m}^2 \cdot \text{yıl}$)

s : Rotor süpürme alanını (m^2)

f : Yıllık esme saat sayısını (h/yıl) göstermektedir.

Rüzgar, kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Bunun bilinen fiziksel konular ve teknolojik imkânlar sayesinde yararlı enerjiye çevrilen miktarına “Rüzgar enerjisi teknik potansiyeli” denir.

Bu durumda türbinin gücü;

$$P_T = \frac{I}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot v_2 \cdot (v_r^2 - v_r^3) \quad (\text{E.2.9})$$

Froude- Rankie teoreminden ortalama türbin içindeki rüzgar hızı,

$$v_2 = \left(\frac{v_r + v_a}{2} \right) \quad (\text{E.2.10})$$

olarak hesaplanır. Türbin gücü “E.2.9” formülünde v_2 yerine yazılırsa,

$$P_T = \frac{I}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot \left(\frac{v_r + v_a}{2} \right) \cdot (v_r^2 - v_r^3) \quad (\text{E.2.11})$$

veya

$$P_T = \frac{I}{2} \cdot \rho \cdot s \cdot \left(I + \frac{v_a}{v_r} \right) \cdot \left(I + \left(\frac{v_a}{v_r} \right)^2 \right) \quad (\text{E.2.12})$$

Burada "E.2.6" denklemi "E.2.12" denkleminde yazılırsa;

$$P_T = P_r \frac{I}{2} \cdot \left[\left(I + \frac{v_a}{v_r} \right) \cdot \left(I + \left(\frac{v_a}{v_r} \right)^2 \right) \right] \quad (\text{E.2.13})$$

elde edilir. Burada güç faktörü $C_p = P_T/P_r$ ve yavaşlatma faktörü $n = V_3/V_r$ olarak tanımlanırsa "E.2.13" denklemi;

$$C_p = \frac{I}{2} (I+n) \cdot (I-n^2) \quad (\text{E.2.14})$$

Halini alır. Bu denklemde maksimum güç faktörü C_p 'yi bulmak için yavaşlatma faktörü n 'in türevi alınıp sifıra eşitlenirse,

$$\frac{d}{d_n} C_p = \frac{I}{2} \frac{d}{d_n} (I - n^2 + n + n^3) \quad (\text{E.2.15})$$

$$n_1 = \frac{I}{3}, n_2 = -I$$

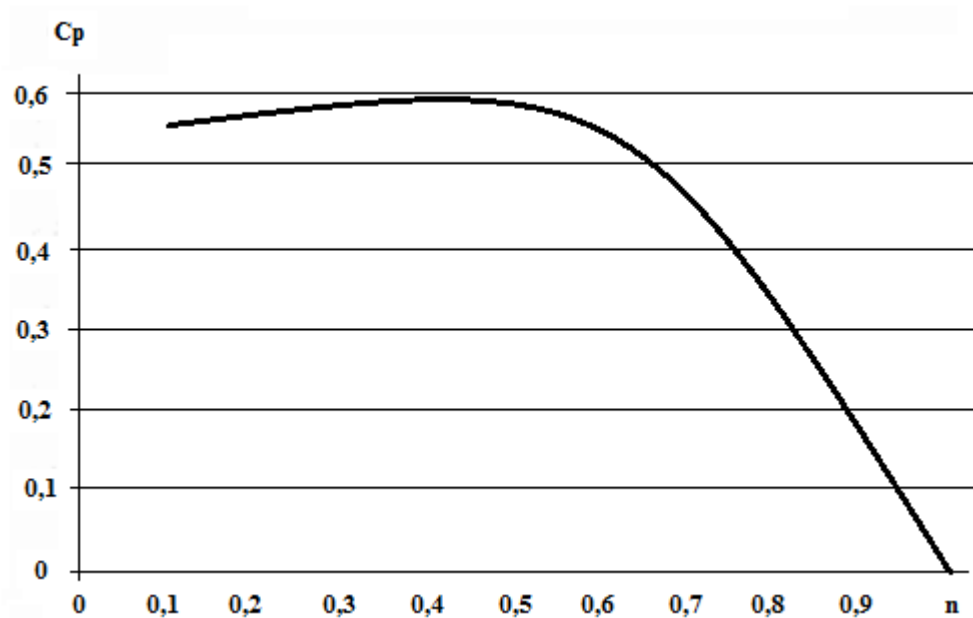
bulunur. Yavaşlatma faktörünün değişimi Şekil 2.2 'de verilmiştir.

Yavaşlatma faktörü n , hiçbir zaman negatif değer olamayacağından $1/3$ alınır ve “E.3.14” denkleminde yerine konulursa;

$$C_{pmax} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{3} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{9} \right)$$

$$C_{pmax} = 0,5926$$

Serbest pervaneden alınacak maksimum verim olarak bulunur. Yani bir rüzgar türbiniyle, rüzgarın tüm enerjisinden faydalanmak imkânsızdır. Rüzgar, rüzgar türbininden, rüzgardan aldığımız enerji ölçüsünde yavaşlamış olarak çıkar.



Şekil 2.2. Yavaşlatma faktörü değişimi (Url 1, 2010).

Eğer rüzgardaki tüm enerjiyi alabilseydik, rüzgarın türbinden durgun halde çıkması gerekir. Fakat bu durumda da türbine rüzgarın diğer taraftan girmesi engellenir ve hiç enerji elde edilmez. Çağdaş rüzgar türbinleri için C_p değeri yaklaşık olarak 0,35–0,40'tır. Bunun nedeni hava direnci, rotorun oluşturduğu türbülans ve aktarma organları ile elektrik sistemi gibi noktalardaki kayıplardır. Rüzgar türbinlerinde oluşan gücü güç faktörünü de katarak yeniden tanımlarsak, sonuç aşağıdaki gibi olur.

$$P = \frac{1}{2} \rho_h \cdot C_p \cdot s \cdot v_r^3 \quad (\text{E.2.16})$$

Eğer “E.2.16” formülünde;

$k = \frac{1}{2} \rho_h \cdot C_p$ seçilirse, güç formülü aşağıdaki gibi olur.

$$P = k \cdot s \cdot v_r^3 \quad (\text{E.2.17})$$

Burada k, rüzgar türbininin tipine göre 0,1 ile 0,3 arasında değişen bir katsayıdır. (İdeal bir rüzgar türbini için “k” katsayısının değeri 0,37’dir, fakat hiçbir zaman bu değere ulaşamaz.) Bu durumda ise gelen rüzgarın kinetik enerjisinin %59,3’ü geri kazanılır (Jaramillo ve Borja, 2004; Özdamar, 2000; Dündar vd., 2002).

Güç Kayıpları

Optimal bir rüzgar türbini pervanesinden alınabilecek güç en fazla

$$P_p = C_{pBetz} \cdot C_p \cdot s \cdot v_r^3 \quad (\text{E.2.18})$$

$$P_p = 0,5926 \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v_r^3$$

dir. Fakat uygulamada bu değere ulaşamaz. Çünkü bunun nedenleri kayıplardır. Pervanedeki bu kayıplar üç ana başlık altında toplanırlar:

-Profil Kayıpları

İhmal edilen direnç kuvvetlerinden kaynaklanırlar. Hesaplamalarda,

$$\lambda_A = \frac{V_\varepsilon}{V_r} = R \cdot n \cdot \frac{\pi}{30 \cdot V_r} \quad (\text{E.2.19})$$

$$\varepsilon = \frac{C_A}{C_w} \quad (\text{E.2.20})$$

$$\xi_{\text{Profil}}(\lambda_A, \varepsilon) = 1 - \frac{\lambda_A}{\varepsilon} \quad (\text{E.2.21})$$

İle dikkate alınır. Burada;

λ_A : Dizayn devirlilik sayısı

V_ε : Çevresel hız

ε : Kayma sayısı

C_A :Kaldırma kuvveti katsayısı

C_W : Direnç kuvveti katsayısıdır.

Uç Kayıpları

Kanat ucunda, profil alt kısmından profilin üst kısmına doğru hava akımı oluşur. Kanat uçlarındaki bu akım ile kanada gelen hava akımı üst üste binerek, gittikçe genişleyen girdap oluştururlar. Hesaplamalarda bu kayıp;

$$\xi_{uç}(Z, \lambda_A) = 1 - \left(\frac{1,84}{z \cdot \lambda_A} \right) \quad (\text{E.2.22})$$

ile dikkate alınır. Burada kanat sayısı (Z) ile gösterilir.

-Girdap Kayıpları

Betz Kriteri'ne göre rüzgar hızı, pervane düzlemi öncesi ve sonrasında doğrultusunu değiştirmez. Hâlbuki kanada çarpan hava kütlesi, kanat sonrasında doğrultusunu değiştirir ve girdap oluşturur. Girdap kayıpları Schmitz tarafından verilen Cpschmitz-A, a eğrisi yardımıyla hesaba katılır. Cpschmitz-A, a eğrisi Şekil 2.3 verilmiştir. Sonuçta, bir rüzgar türbini pervanesinin gerçek güç faktörü;

$$C_{pGerçek} = C_{pSchmitz}(\lambda_A) \cdot \xi_{Profil}(\lambda_A, \epsilon) \cdot \xi_{uç}(Z, \lambda_A) \quad (\text{E.2.23})$$

Bağıntısı ile bulunur (Şen, 2003; Polat, 2000).

Hellmann Yükseltme Bağıntısı

$$\frac{V}{V_o} = \left(\frac{H}{H_o} \right)^\alpha \quad (\text{E.2.24})$$

Burada α : Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisini belirleyen katsayıdır ve değişik arazi yapısına göre 0,1 ile 0,4 arasında değerler alır. Bu farklı arazi yapılarına göre α değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (Jaramillo ve Borja, 2004; Özdamar, 2000; Dündar vd., 2002).

Çizelge 2.1. Yüzey farklılıklarının rüzgar hızına etkisi

Durum	α (Hellmann Katsayısı)
Açık deniz, kıyı şeridi	0.10-0.13
Yeşil ve ekili alan	0.13-0.20
Ağaçlı alan	0.20-0.27
Yüksek bina ve kentsel alan	0.27-0.40

2.4. Rüzgar enerjisi ve tarihsel gelişimi

Çizelge 2.2. Rüzgar enerjisinin tarihsel gelişimi

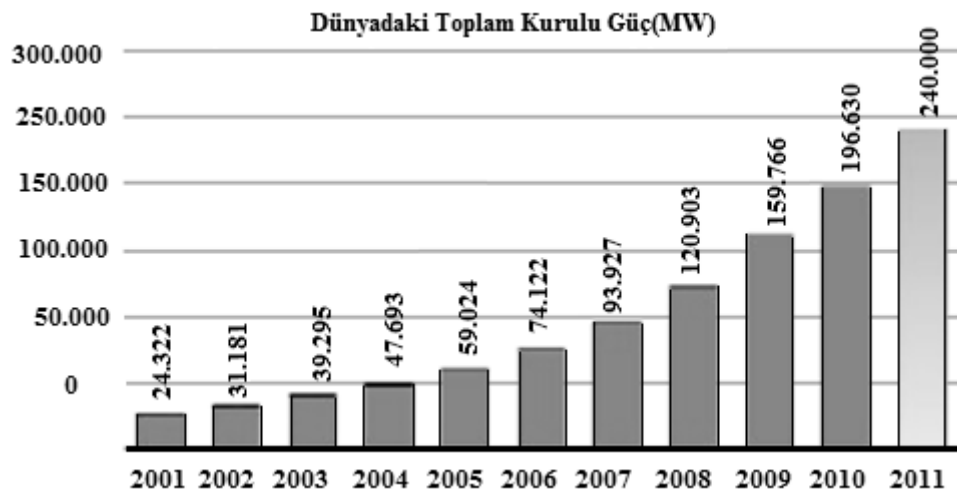
Çalışmanın Konusu	Çalışma Tarihi	Kaynak
Rüzgar enerjisinin ilk olarak 3000 yıl önce buğday öğütme ve su pompalama amaçlı olarak kullanıldığı düşünülmektedir.	2001	Burton
Buğday öğütme amaçlı olarak M.Ö 644'te Persler kullanmıştır.	2006	Hau
İlk tam rüzgar değirmeni M.Ö. 200 yılında antik Babylon'da inşa edilmiş. Bu konudaki ilk yazılı kayıtlar 12. yüzyıla aittir.	2010	Url-3
Rüzgar türbini Avrupa'ya 10. yüzyılda geçmiştir.	1996	Ultanır
İngiltere'nin ilk rüzgar türbini 1191'de kayıtlara geçmiştir.	2001	Johnson
13. yüzyılda Almanya'da rüzgar türbinleri görülmüştür.	2006	Hau
1700'lerin ortaları 1800'lerin başında Hollandalılar "Dutch windmill" türbin türünü Amerika'ya getirmişler.	2001	Johnson
Çok pervaneli yel değirmenleri, 19. yüzyılın ikinci yarısında ABD'de icat edilmiştir.	2010	Url-4
1890 yılında Danimarka'da kurulan rüzgar türbini ilk olma özelliği taşımaktadır.	2010	Url-5
1940'larda 1.25 MW enerji üretimi yapan rüzgar türbini, 2. Dünya savaşı yıllarında kurulmuştur.	2010	Url-5
Albert Betz'in 1920'de, rüzgar enerjisi dönüşümlerinde fiziksel prensipleri formülize etmesiyle rüzgar türbinlerine ait kanat tasarımları değişti ve bu denklemleri rüzgar türbinlerine uyguladı.	2006	Hau
1941'de 1250 kW'lık gücüyle, en büyük rüzgar türbini Palmer C. Putnam tarafından Rutland yakınlarındaki Grandpa's Knob'da üretildi.	2001	Johnson
Günümüz modern rüzgar türbinlerinin öncüsü olan tasarım ise, 1957 yılında La Cour'un öğrencisi olan Mühendis Johannes Juul tarafından yapılmıştır.	2010	Url-1
1972 yılında federal enerji komisyonu tarafından elektrik enerjisi üreten büyük bir rüzgar türbin tesisi kurmakla görevlendirilen Thomas, bu amaçla bir proje geliştirdi.	1974	Savino
Dr. Ulric Hütter Almanya'da 100 kW'lık bir türbin tasarlamıştır	2001	Johnson
1970'lerde baş gösteren petrol krizine kadar rüzgar ile ilgili çalışmalar arka planda kalmıştır.	2000	Durak
1970 Avrupa ve Amerika'da rüzgar enerjisinden fayda sağlamak için özel altyapılı çiftlikler oluşturulmuştur.	2010	Url-5
Smith-Putnam rüzgar türbini denemeleri Percy H. Thomas'ı rüzgar enerjisinde kullanılan elektrik jeneratörleri konusunda 10 yıllık bir çalışmaya teşvik etti.	2001	Johnson
Gelecekte kıyı ötesi rüzgar enerji sistemleri gelişen dinamik yapı içinde daha büyük bir öneme sahip olacaktır. Araştırmalara göre dünya geneli kıyı ötesi rüzgar potansiyeli, elektrik tüketim miktarından daha fazladır. Bu noktada yeni planlamalar ve projeler hazırlanmaktadır.	2008	Stiebler

*Not: Çizelge 2.2'deki mevcut kısmi kaynaklardan oluşturulmuştur. Rüzgar enerjisinin tarihsel gelişimi için detaylı bilgi içermemektedir.

2.5. Dünya'da ve Türkiye'de rüzgar enerjisi

2.5.1. Dünya'da rüzgar enerjisi

Dünya rüzgar enerji birliği(WWEA)'nın 2010 rüzgar enerjisi raporuna göre eklenen 37.642 MW güç ile rüzgar enerjisi toplam kurulu gücü 196.630 MW'a ulaşmıştır. Bu artış ile birlikte %23.6'lık büyüme oranını sergilemiştir. 2010'un sonunda kurulan bütün rüzgar türbinleri ile beraber 430 TWh üretim yapılabilmektedir, bu rakam dünyanın yedinci büyük ekonomisine sahip İtalya'nın toplam elektrik talebine ve küresel elektrik tüketiminin %2.5'şine denk gelmektedir. Rüzgar sektörünün 2010 yılı itibariyle toplam cirosu 40 milyar Euro'yu bulmuştur. Sektörün 2010 yılında 670,000 kişiye sağladığı istihdamın 2012 ile birlikte bir milyon kişiye iş imkanı sağlaması beklenmektedir. Dünyadaki toplam kurulu güç artışları senelere göre Şekil 2.3'de görülmektedir (WWEA, 2011).



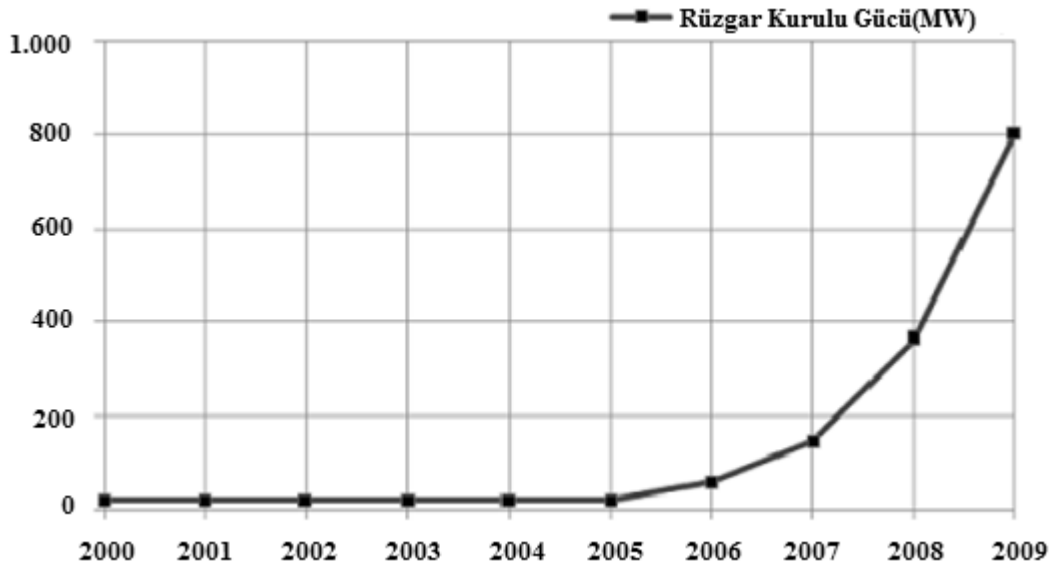
Şekil 2.3. Dünya'da senelere göre kurulu güç artışı (WWEA, 2011)

Rüzgar endüstrisinde yeni türbinlerin en büyük pazarına sahip Çin bir yıl içinde 18.900 MW'lık kurulum yapmıştır. Bu oran 2009 yılına göre %50 den daha fazla artırmıştır. Toplam kurulu güçte Çin birinci sırada, Amerika Birleşik Devletleri ikinci sırada, Almanya ise üçüncü sırayı paylaşmıştır. Asya yeni kurulumlarda en büyük paya sahip olarak %54.6'lık bir pay alırken Avrupa %27 ile ikinci sırayı almış ve Kuzey Amerika %16.7 ile üçüncü sıraya düşmüştür. Latin Amerika, Afrika kurulu gücünde azalma olmuştur. Dünya genelinde 2011 yılında toplam kapasite 240.000 MW'ta, 2015

yılında 600.000 MW'ta, 2020 yılında 1.500.000 MW'tan daha fazla olması beklenmektedir (WWEA, 2011).

2.5.2. Türkiye' rüzgar enerjisi

1998'de otoprodüktör olarak İzmir, Çeşme bölgesinde 1.74 MW kurulu güç ile ilk rüzgar enerjisi santralinin kurulmasıyla Türkiye'de rüzgar sektörüne giriş yapılmış, 2006 yılından itibaren rüzgar sektöründe gelişmeler başlamıştır. 2000 yılından 2009 yılına kadar Türkiye'de rüzgar enerjisi kurulu gücü 800 MW'a ulaşmıştır (ETKB, 2009). Yıllık gelişimine göre kurulu güç artışı Şekil 2.4'de verilmiştir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından bildirilen Türkiye'de kurulma imkânı olan toplam rüzgar enerjisi santrali kurulu gücü 131.756.40 MW'dır.



Şekil 2.4. Türkiye'de 2000–2009 rüzgar kurulu gücü gelişimi (ETKB, 2010).

Türkiye'de bu kapsamda çıkarılmış kanunlardan; “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği” gereğince “Bir bağlantı noktasında, sistemin kısa devre gücünün en fazla %5'i kadar kurulu güçte rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantısına izin verilir denilerek tesisin gücü kısa devre gücünün %5'i ile sınırlandırılmıştır (T.C. Resmi Gazete S. 25639, 2004; T.C. Resmi Gazete S. 27007, 2008).

Ayrıca 18.4.2007 tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununun 17. Maddesiyle, 10.5.2005 tarihli ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik

Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun 6. maddesinde yapılan değişiklikle yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik enerjisinin satın alınması için uygulanacak fiyat “c) Bu Kanun kapsamında satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyat; her yıl için, EPDK’nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatıdır (T.C Resmi Gazete S.25819, 2005, T.C. Resmî Gazete, S. 26510, 2007). Ancak uygulanacak bu fiyat 5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından az, 5.5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamaz.

Ancak 5,5 Euro Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış imkânı bulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisans sahibi tüzel kişiler bu imkândan yararlanırlar.” ile belirlenmiş, aynı yasanın 8. Maddesi, 5627 sayılı kanunun 18. Maddesi ile değiştirilerek rüzgar enerjisi kaynaklı elektrik üreten santrallere alım garantisi getirilmiş, teşvik amaçlı olarak kurulum için arazi ve santral sahası temininde kolaylık sağlanmıştır (T.C. Resmî Gazete, S. 26510, 2007).

Bununla birlikte, 2009 yılında Türkiye, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda uluslararası tek anlaşma olan Kyoto protokolüne imza atmasıyla, atmosfere salınan sera gazı miktarının %5’e çekilmesini, endüstri motorlu taşıt ve ısıtmadan kaynaklanan sera gazını azaltmayı amaçlayan mevzuatların düzenlenmesini, daha az enerjiyle ısınma, araçların daha uzun yol kat etmesi, daha az enerji tüketen teknoloji sistemlerinin endüstride kullanılmasının sağlanması, atmosfere bırakılan metan ve karbondioksit oranının düşürülmesi için alternatif enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi, fazla yakıt tüketen ve fazla karbon üreten fazla vergi alınması gibi şartları da uygulayacağını kabul etmiştir (Url- 2, T.C Resmi Gazete S.27227, 2009).

Aynı zamanda WWEA 2010 raporuna göre Türkiye Rüzgar sektöründe büyüme oranı olarak %59.9 ile beşinci oranda büyümeyi göstermiştir. Bu oran 2009 yılıyla karşılaştırıldığında Türkiye’nin Rüzgar enerji sektörü büyümesinde bir azalma olduğu görülmektedir (WWEA, 2011).

3. TAHMİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Literatürde birçok tahmin yöntemi olmasına karşın bu çalışmada istatistik yöntemlerden biri olan doğrusal çoklu regresyon modeli ve ANFIS modeli kullanılmıştır. Bu yöntemlerin açıklamaları takip eden bölümde verilmiştir.

3.1. İstatistik Yöntem

3.1.1. Regresyon modeli

Serbest değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etki biçimi ve yönü, istatistik denklemlerle de belirtilebilmektedir.

Bir örnek üzerindeki X_1, X_2, \dots Serbest ve Y bağımlı değişken ölçülerine dayanarak Y ile X_1, X_2, \dots Değişkenleri arasındaki,

$$Y = f(X_1, X_2, \dots) \quad (E.3.1)$$

Fonksiyonel ilişkiyi kestirme işlemine regresyon analizi adı verilmektedir. Fonksiyonel ilişki sayesinde X_1, X_2, \dots Serbest değişkenleri ölçülerek, bu ölçüler yardımı ile ölçülemeyen z değeri tahmin edilebilmektedir. Trendde zaman süresi önemlidir; regresyon ise belirli bir dönemde söz konusu Y ve X_1 gibi iki veya daha fazla değişken arasındaki ortalama ilişkiye denir.

Regresyon analizi için önce, belirli bir model halinde, fonksiyon biçimine karar verilmez. Bu model bir yâda çok sayıda serbest değişkenli, doğrusal yâda eğrisel, toplanabilir yâda toplanamaz şekilde olabilir. Fonksiyon biçiminin kararlaştırılmasında, grafik çiziminden yararlanılabilir (Yoldaş, 2006).

Regresyon analizi ile bir değişkenin başka bir veya birkaç değişken karşısında gösterdiği farklı durumlar, sürekli bir fonksiyon halinde belirtilmektedir. Bu şekilde,

- İncelenen değişkenler arasında bulunduğu sanılan ilişkinin varlığı, yönü, biçimi ve standart hatası saptanmaktadır.
- Gözlenmesi ve ölçülmesi güç olan bir değişkenin belirli koşullardaki değeri, diğer değişkenler yardımıyla tahmin edilebilmektedir.

Regresyonun varlığı ve standart hatasının küçük görülmesi değişkenler arasında bir “neden-sonuç” ilişkisi olduğunu kanıtlayamaz. Aralarındaki ilişki, bir yönlü etkiden

yâda karşılıklı etkileşimden gelebileceği gibi, ortak bir yâda birkaç neden yüzünden birlikte değişme yâda birbirini izleme hali olabilir. İlişkinin nedeni ayrıca düşünsel (akıl yürütme) yoldan da saptanmalıdır.

Değişkenler arasındaki ilişki ne kadar kuvvetli ise, regresyon denklemi ile yapılacak tahminlerin hatası o kadar küçülecek, ilişki zayıfladıkça tahminlerin hata payı büyüyecektir.

3.1.1.1. Basit regresyon

Basit regresyon analizinin amacı, iki değişken arasındaki gerçek ilişkinin eşitlik “E.3.2” de görüleceği gibi doğrusal bir bağıntı yardımıyla bir tahmini elde etmektir. Başka bir deyişle, değişkenler arasında bulunduğu kabul edilen gerçek doğrusal ilişkiyi verir.

$$Y = a + bX \quad (E.3.2)$$

Doğrusal fonksiyonda a, fonksiyonun Y eksenini kestiği noktayı; b ise doğrunun eğimini ifade etmektedir.

Serpilme diyagramı vasıtası ile tespit edilen doğrusal bir ilişki çok sayıda doğru ile gösterilir. Ancak ilişkiyi en iyi belirleyecek denklem, en küçük kareler metodu yardımıyla tespit edilecek olan denklemdir. Bu kritere göre çizilen eğriden serpilme diyagramındaki noktalara olan dikey uzaklıkların karelerinin toplamı minimum olacaktır. Fakat bir doğrunun bu kritere göre çizilmiş olması uyumun daha iyi olması anlamına gelmez. Kriter olarak noktalardan uzaklıkların toplamının değil, uzaklıkların karelerinin toplamının kullanılmasının sebebi, gerçek uzaklıkların göz önüne alınabilmesidir.

En küçük kareler metodunu kullanarak, doğru denklemindeki a ve b parametreleri şu şekilde hesaplanır.

$$\sum [Y - (a + bX)]^2 = \min \quad (E.3.3)$$

Yukarıdaki denklemin minimumunu bulmak için, önce a’ya daha sonra b’ye göre kısmi türevlerini alarak sıfıra eşitlemek gerekir. Bu durumda,

$$\frac{\partial \sum}{\partial a} = -2 \sum (Y_i - a - bX_i) = 0 \quad (E.3.4)$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial b} = -2 \sum (Y_i - a - bX_i) - X_i = 0 \quad (\text{E.3.5})$$

Buradan,

$$\sum Y_i = na + b \sum X_i^2 \quad (\text{E.3.6})$$

$$\sum Y_i X_i = a \sum X_i + b \sum Y_i^2 \quad (\text{E.3.7})$$

Denklemleri elde edilir. Bu denklemler normal denklemleri olarak adlandırılmaktadır. a ve b değerleri bu normal denklemlerin çözülmesiyle aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (\text{E.3.8})$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (\text{E.3.9})$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (\text{E.3.10})$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \bar{Y} \sum X_i}{\sum X_i^2 - \bar{X} \sum X_i} \quad (\text{E.3.11})$$

3.1.1.2. Doğrusal çoklu regresyon

Doğrusal çoklu regresyon birden fazla değişken (X_1, X_2, \dots, X_n) ile bir bağımlı değişken (Y) arasındaki ilişkiyi verir. Burada her bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle doğrusal ilişkisi,

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n \quad (\text{E.3.12})$$

Şeklinde doğrusal bir katsayısı (b) yerine n tane net veya kısmi regresyon katsayısı ihtiva etmektedir. Bu katsayıların her biri katsayı ile ilgili bağımsız değişkende meydana gelebilecek bir değişkenliğin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmektedir. Basit regresyon analizinde olduğu gibi çoklu regresyon fonksiyonuna varmak için en küçük kareler metodu kullanılabilir.

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (\text{E.3.13})$$

“E.3.1.3”deki gibi bir çoklu regresyon modelinde basit modeldeki normal denklem yerine aşağıdaki üç normal denklemin bir arada çözülmesi gerekmektedir.

$$\sum Y = na + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \quad (\text{E.3.14})$$

$$\sum X_1 Y = a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 \quad (\text{E.3.15})$$

$$\sum X_2 Y = a \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 \quad (\text{E.3.16})$$

İki bağımsız değişkenin bulunduğu regresyon modelinde parametrelerin tahminlerinde matris işlemlerin kullanılması özellikle standart hataların hesabında kolaylık sağlar. Bir bağımsız değişkenin olduğu doğrusal regresyon modelinde β_0 ve β_1 parametre tahminleri olan b_0 ve b_1 istatistikleri;

$$\underline{b} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (\text{E.3.17})$$

Çözümünden elde edilir. Aynı eşitlik iki ve daha fazla bağımsız değişkenin olduğu modellerde kullanılır (Unver ve Gamgam, 2008).

3.1.1.3. Eğrisel regresyon

X serbest değişken ile Y bağımlı değişken arasındaki ilişkinin eğilimi bir eğri biçiminde görülürse, bu iki değişken arasındaki bağıntı;

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (\text{E.3.18})$$

Şeklinde ikinci derece bir parabol veya daha genel olarak

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + eX^4 + \dots \quad (\text{E.3.19})$$

gibi, toplanabilir bir polinom modeli ile verilebilir.

Eğrisel regresyonun a,b,c, ... katsayıları da yine örnekleme yoluyla saptanan X ve Y ölçü değerlerinde ve en küçük kareler yöntemi ile hesaplanır. Değişken olan a,b,c regresyon katsayıları o şekilde hesaplanmalı ki bu fonksiyon ile bulunacak y tahmin değerleri ile gerçek y değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı en küçük olsun.

$$\sum (Y' - Y)^2 = \sum (a + bX + cX^2 - Y)^2 = \min \quad (\text{E.3.20})$$

Bunun için, minimum fonksiyonun a,b,c değişkenlerine göre bulunacak kısmi türevi sifıra eşit olmalıdır.

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial a} = 2 \sum (a + bX + cX^2 - Y) \cdot 1 = 0 \quad (\text{E.3.21})$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial b} = 2 \sum (a + bX + cX^2 - Y) \cdot X = 0 \quad (\text{E.3.22})$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial c} = 2 \sum (a + bX + cX^2 - Y) \cdot X^2 = 0 \quad (\text{E.3.23})$$

Bu eşitliklerin çözümü ile aşağıdaki denklem takımı elde edilir. İkinci derece regresyonun a,b,c katsayıları;

$$na + b \sum X + c \sum X^2 = \sum Y \quad (\text{E.3.24})$$

$$aX + b \sum X^2 + c \sum X^3 = \sum XY \quad (\text{E.3.25})$$

$$a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4 = \sum X^2 Y \quad (\text{E.3.26})$$

olarak bulunan parabolün normal denklemleri yardımı ile hesaplanır.

Eğrisel modeller hiperbolik ya da üstel ve böylece toplanamaz özellikte olabilirler. Bu modeller; logaritma ya da ters sayı dönüşümleri ile, doğrusal modele çevrilebilir. Bu şekilde, doğrusal regresyon olarak, katsayılar hesaplanır. Ancak bu halde uygulanacak istatistik analiz ve testlerde, dönüştürülmüş değerlerin kullanılması ve sonuçların bu dönüştürülmüş ölçeğe göre verilmesi zorunluluğu unutulmamalıdır. Aşağıda bazı dönüşüm modelleri verilmiştir (Yoldaş, 2006).

Eğrisel Model

Dönüştürülmüş Doğrusal Model

$$y = aX^\beta \quad \log y = \log \alpha + \beta \log x \quad (\text{E.3.27})$$

$$y = a\beta^x \quad \log y = \log \alpha + x \log \beta \quad (\text{E.3.28})$$

$$y = ae^{\beta x} \quad \log y = \log \alpha + \beta x \log e \quad (\text{E.3.29})$$

$$y = ae^{-\beta x} \quad \log y = \log \alpha - \beta x \log e \quad (\text{E.3.30})$$

$$y = \frac{x}{\alpha + \beta x} \quad \frac{x}{y} = z = \alpha + \beta x \quad (\text{E.3.31})$$

$$y = \alpha + \frac{\beta}{x} \quad xy = z = \alpha x + \beta \quad (\text{E.3.32})$$

$$y = \frac{\alpha}{\beta} \quad \frac{1}{y} = \frac{x}{a} \quad (\text{E.3.33})$$

3.2. Yapay Zekâ Yöntemi

3.2.1. Uyarlanırsinir bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)

ANFIS uyarlamalı ağların, işlevsel olarak bulanık çıkarım sistemine eşdeğer olan bir sınıfıdır. ANFIS denetleyicilerin bazı özellikleri;

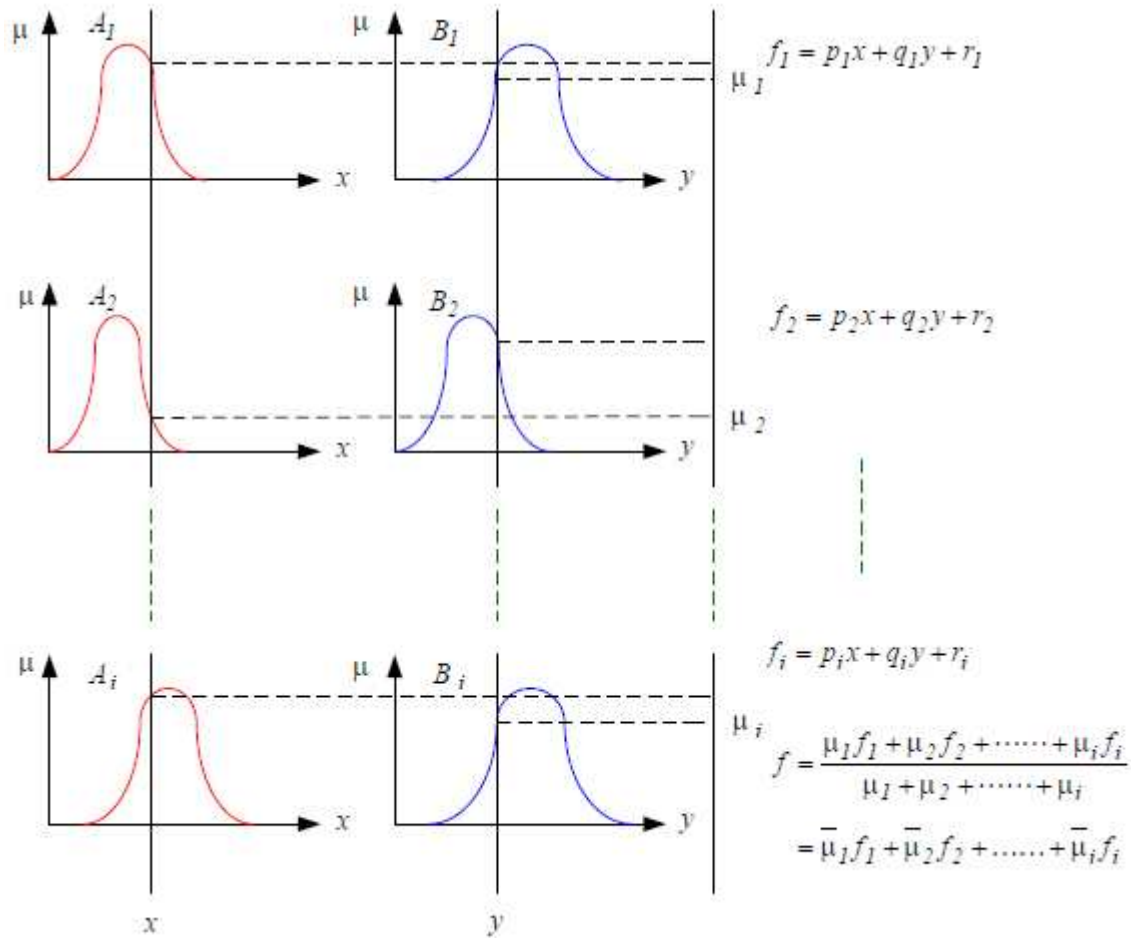
- . Öğrenme yeteneği
- . Paralel işlem
- . Yapılandırılmış bilgi temsili
- . Diğer denetim tasarım yöntemleriyle daha iyi bütünleşme şeklinde verilebilir.

ANFIS'in yapısındaki bulanık çıkarım sisteminin mimarisini kolaylıkla anlatabilmek için x ve y olmak üzere iki giriş ve f gibi bir çıkış olduğu kabul edilirse, birinci derece Sugeno bulanık modeli için, bulanık eğer-ise muhtemel kuralı aşağıdaki gibi olur.

Eğer verinin herhangi bir kümeye olan üyelik değeri 1'e yakınsa o kümede, 0'a yakınsa o küme sınırlarının dışındadır. Yukarıdaki sistemin geliştirilmiş girdi kuralları ele alınarak yapılan Sugeno modeli Şekil 3.1 de verilmiştir. Bu Sugeno modeline denk gelen ANFIS modeli ise Şekil 3.2 de verilmektedir.

Eğer verinin herhangi bir kümeye olan üyelik değeri 1'e yakınsa o kümede, 0'a yakınsa o küme sınırlarının dışındadır. Yukarıdaki sistemin geliştirilmiş girdi kuralları ele alınarak yapılan Sugeno modeli Şekil 3.1 de verilmiştir. Bu Sugeno modeline denk gelen ANFIS modeli ise Şekil 3.2 de verilmektedir.

Şekil 3.2 ANFIS yapısının genel gösterimidir ve ilgili katmanlardaki çıktı hesaplamaları ve eğitim denklemleri aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.1. Sugeno tip bulanık çıkarım.

Kural 1: Eğer $x=A_1$ ve $y=B_1$ ise $f_1(x,y)=p_1x+q_1y+r_1$

Kural 2: Eğer $x=A_2$ ve $y=B_2$ ise $f_2(x,y)=p_2x+q_2y+r_2$

.

.

.

Kural i : Eğer $x=A_n$ ve $y=B_n$ ise $f_n(x,y)=p_nx+q_ny+r_n$

Altı katmandan oluşan ANFIS'te, her katmandaki sınırlar aynı işlemleri içerirler. İkinci katmandaki sınır sayısı, bulanık kural sayısını göstermektedir. Katmanların özellikleri aşağıda verilmektedir (Cetişli, 2005).

1. Katman: Bu kademedeki her düğüm, giriş sinyallerin diğer katmanlara aktarıldığı giriş düğümleridir. Bu düğümde herhangi bir toplam ya da etkinlik işlevi kullanılmamaktadır.

2. Katman: Bu katmandaki her bir düğüm A_i ve B_i gibi bir bulanık kümeyi ifade eder.

Bu katmandaki düğümlerin çıkışı giriş örneklerine ve kullanılan üyelik işlevine bağlı olan üyelik dereceleridir. Bu düğümlerden elde edilen üyelik dereceleri veya düğüm çıkışları Eşitlik “E.3.34” deki gibidir.

$$\begin{aligned}\alpha_i^2 &= \mu_{A_1}(x) \\ \alpha_{i+2}^2 &= \mu_{B_1}(y) \quad i=1,2,3,\dots,n\end{aligned}\quad (\text{E.3.34})$$

“E.3.2.1.1”de görüldüğü gibi iki farklı düğüm çıkışı yazılmıştır. Bunun nedeni ağın x ve y gibi iki farklı girişe sahip olmasıdır. Bu katmanda her iki giriş için toplam dört düğüm vardır. Her bir düğümde üyelik işlevi olarak en çoğu 1 ve en azı 0 olan çan eğrisi üyelik işlevleri kullanılır ve sonuç işlevi “E.3.35” ve “(E.3.36)” de verilmiştir.

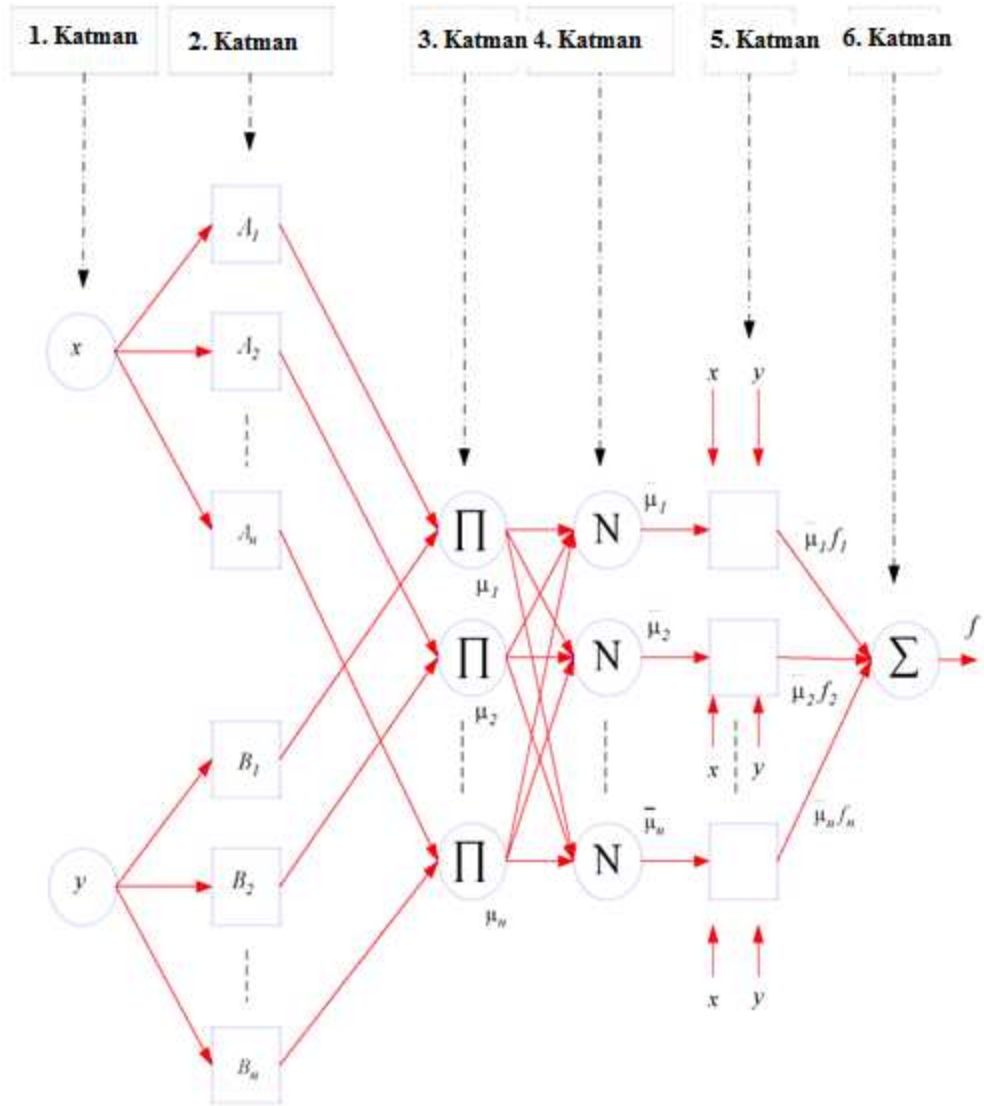
$$\mu_{A_1}(x) = \exp\left[\left(\frac{x-m_i}{\alpha_i}\right)\right] \quad (\text{E.3.35})$$

$$\mu_{A_1}(x) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-m_i}{\alpha_i}\right|} \quad (\text{E.3.36})$$

Burada m_i ve α_i çan eğrisi şekilli üyelik işlevinin sırasıyla orta noktasını (mean) ve standart sapmasını (standard deviation) gösterir. Bu değişkenler ağ eğitilirken ayarlanır.

3. Katman: Bu katmandaki her düğüm U ile etkilenmiştir ve giren tüm işaretlerin çarpımını gösterir. Düğüm çıkışı “E.3.37” deki gibi ifade edilebilir.

$$\alpha_i^3 = \mu_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y) \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (\text{E.3.37})$$



Şekil 3.2. ANFIS yapısı (Gün, 2007).

Her bir düğümün çıkışı bir kuralın ateşleme seviyesini temsil eder. Genelleştirilmiş bulanık VE'yi (AND) yerine getiren t-norm operatörlerden herhangi biri, bu katmandaki düğümler için düğüm işlevi olarak kullanılabilir.

4. Katman: Bu katmandaki her düğüm N ile etiketlenmiştir ve bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesi hesaplanır. Bu "E.3.38" da görüldüğü gibi, i.düğüm için, i.kuralın ateşleme seviyesinin, bütün kuralların ateşleme seviyelerinin toplamına eşittir.

$$\alpha_i^3 = \bar{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\mu_1 + \mu_2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (\text{E.3.38})$$

5. Katman: Bu katmandaki her i düğümü, düğüm işlevi ile uyarlamalı bir düğümdür. Her i düğümü sonuç ağırlıkları değerlerini hesaplar. Düğüm çıkış işlevi "E.3.39" deki gibi yazılabilir.

$$\alpha_i^5 = \bar{\mu}_i f_i = \bar{\mu}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (\text{E.3.39})$$

Burada $\bar{\mu}_i$, 4. katmanın çıkışıdır ve normalleştirilmiş ateşleme seviyesidir ve p_i, q_i, r_i ayar edilebilmesi için gerekli olan, ayar değişken kümesidir. Bu katmandaki değişkenler sonuç değişkenlere karşılık gelir.

6. Katman: Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. katman çıkışından alınan sinyaller toplanır ve elde edilen sonuç sistemin gerçek çıkışı f değerini verir. Ağın gerçek çıkışı "E.3.40" de verilmiştir.

$$\alpha_i^6 = f = \sum_i \bar{\mu}_i f_i = \frac{\sum_i \bar{\mu}_i f_i}{\sum_i \bar{\mu}_i} \quad (\text{E.3.40})$$

Böylece Sugeno bulanık çıkarım modeline işlevsel olarak eşdeğer olan, örnek ANFIS yapısı tanımlanmıştır. Ağın yapısı tamamen sabit değildir. Ağın oluşturulması ve düğüm işlevlerinin görevlerine göre ayrılması, her katmandaki her bir düğümün sağladıklarına ve modüler işlevselliğine göre keyfi olarak seçilebilir.

Sugeno tip ANFIS'ten tsukamoto ANFIS'e kolaylıkla geçilebilir. Genellikle yaygın olarak da bu iki tip kullanılır. Mamdani tip bulanık çıkarıma karşılık gelen ANFIS için, max-min kompozisyonu ve sonuç çıkış için ağırlık merkezi durulama yöntemi ile elde edilir. Fakat bu Sugeno veya tsukamoto tip ANFIS'e göre çok karmaşık ve zordur. Ayrıca öğrenme yeteneğine ve yaklaşım gücüne önemli bir katkı sağlamamaktadır.

Bütün sonuç değişkenler bir vektör olarak $(p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2)^T$ şeklinde düzenlenir ve " E.3.41" ile gösterilebilir.

Sonuç ve üyelik işlevlerine ait değişkenlerin ayarlanmasında geri yayımlı öğrenme algoritması kullanılabilir. Şekil 3.2 de verilen ANFIS için gerekli eğitim algoritması aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.2.2. ANFIS için geri yayımlı öğrenme algoritması

Şekil 3.2 deki yapıya göre geri yayımlı öğrenme algoritmasında ağın çıkışından elde edilen hata değeri giriş katmanına kadar geriye doğru yansıtılarak gerekli ağırlık değişkenlerinin ayarlanması gerçekleştirilir. Amaç E hata ölçütünü öğrenme işlemi sonunda bütün giriş örnekleri için sıfıra götürmektir. Ağın çıkışında hata, istenen değer d ile gerçek çıkış f arasındaki farktır ve “E.3.42” deki gibi ifade edilir (Elmas, 2003).

$$e = d - f \quad (\text{E4.42})$$

$$f = [\bar{\mu}_1 \bar{\mu}_1 x \bar{\mu}_1 y \bar{\mu}_2 \bar{\mu}_2 x \bar{\mu}_2 y \dots \bar{\mu}_i \bar{\mu}_i x \bar{\mu}_i y] \begin{bmatrix} r_1 \\ p_1 \\ q_1 \\ r_2 \\ p_2 \\ q_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_i \\ p_i \\ q_i \end{bmatrix} \quad (\text{E.3.41})$$

Bu hata değerine göre en küçük kareler yöntemi uygulanarak hata ölçütü E aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} e^2 \quad (\text{E4.43})$$

Hata ölçütü kullanılarak hata geriye doğru katman katman aşağıdaki gibi yansıtılır.

5.Katman: Bu katmanda herhangi bir ağırlık değeri ayarlaması yoktur, sadece çıkıştaki hatanın katman çıkışına yansıtılması hesaplanır,

$$\delta^2 = \frac{\partial E}{\partial f} = - \left[\frac{\partial E}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial f} \right] = e \quad (\text{E.3.44})$$

4.Katman: Bu katmanda p_i, q_i, r_i sonuç değişkenlerinin ayarlanması için gerekli hesaplamalar gerçekleştirilir.

$$\Delta_{p_i} = -\frac{\partial E}{\partial E_{p_i}} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \right] \left[\frac{\partial E}{\partial p_i} \right] \quad (\text{E.3.45})$$

$$f = \sum_i \bar{R}_i (p_i + q_i + r_i) \quad i = 1,2 \quad (\text{E.3.46})$$

$$\frac{\partial f}{\partial p_i} = \bar{\mu}_i x \quad (\text{E.3.47})$$

Buradan;

$$\Delta_{p_i} = \delta^5 \bar{\mu}_i x \quad (\text{E.3.48})$$

elde edilir.

Aynı işlemler diğer sonuç değişkenlerine de uygulanarak değişimler hesaplanır.

Buna göre,

$$\Delta_{q_i} = \delta^5 \bar{\mu}_i y \quad (\text{E.3.49})$$

$$\Delta_{r_i} = \delta^5 \bar{\mu}_i \quad (\text{E.3.50})$$

olur.

3.Katman: Bu katmanda çıkış katmanından yansıyan hata değeri hesaplanır herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur.

$$\delta_i^3 = -\frac{\partial E}{\partial \bar{\mu}_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \right] \left[\frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \right] \quad i = 1,2 \quad (\text{E.3.51})$$

$$f = \sum_i \bar{\mu}_i f_i \quad (\text{E.3.52})$$

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} = f_i \quad (\text{E.3.53})$$

$$\delta_i^4 = \delta_i^6 f_i \quad (\text{E.3.54})$$

2.Katman: Bu katmanda çıkış katmanından yansıyan hata değeri hesaplanır herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur,

$$\delta_i^3 = -\frac{\partial E}{\partial \bar{\mu}_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \right] \left[\frac{\partial f}{\partial \mu_i} \right] \quad i = 1,2,3,\dots,n \quad (\text{E.3.55})$$

$\bar{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\sum_i \mu_i}$, bu ifade de $a = \sum_i \mu_i$ olarak alınır,

$$\frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} = \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right] \quad (\text{E.3.56})$$

Olarak bulunur. Bu ifade ‘‘E.3.48’’ de yerine konularak aşağıdaki son durum elde edilir.

$$\delta_i^3 = \delta_i^4 \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right] \quad (\text{E.3.57})$$

1. Katman: Bu katmanda hem hata değeri hem de giriş üyelik işlevlerine ait değişkenlerin ayarlanması gerçekleştirilir.

$$\delta_i^2 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_{A_i}} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \left[\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}} \right] \quad i = 1,2 \quad (\text{E.3.58})$$

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}} = \partial \mu_{B_i} \quad (\text{E.3.59})$$

$$\delta_i^2 = \delta_i^3 \mu_{B_i} \quad (\text{E.3.60})$$

$$\delta_{i+2}^2 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_{B_i}} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \left[\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{B_i}} \right] \quad (\text{E.3.61})$$

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{B_i}} = \mu_{A_i} \quad (\text{E.3.62})$$

$$\delta_{i+2}^2 = \delta_i^3 \mu_{A_i} \quad (\text{E.3.63})$$

Bu katmanda;

$$\mu_{A_i} = \exp \left[-\left(\frac{x - m_i}{\sigma_i} \right)^2 \right], v_i = -\left(\frac{x - m_i}{\sigma_i} \right)^2, \mu_{A_i} = \exp[v_i] \quad (\text{E.3.64})$$

dir. Burada kullanılan üyelik işlevlerinin değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

Çan eğrisi şekilli üyelik işlevlerinin orta noktalarındaki değişim aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta m_i = -\frac{\partial E}{\partial m_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}} \right] \left[\frac{\partial \mu_{A_i}}{\partial v_i} \frac{\partial v_i}{\partial m_i} \right] \quad i = 1, 2 \quad (\text{E.3.65})$$

$$\frac{\partial \mu_{A_i}}{\partial v_i} = \exp[v_i] = \mu_{A_i} \quad (\text{E.3.66})$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial m_i} = 2 \left[\frac{x - m_i}{\sigma_i^2} \right] \quad (\text{E.3.67})$$

$$\Delta m_i = 2 \left[\frac{x - m_i}{\sigma_i^2} \right] \delta_i^3 \mu_{A_i} \mu_{B_i} \quad \mu_i = \mu_{A_i} \mu_{B_i} \quad (\text{E.3.68})$$

$$\Delta m_i = 2 \left[\frac{x - m_i}{\sigma_i^2} \right] \delta_i^3 \mu_i \quad (\text{E.3.69})$$

Aynı şekilde Δm_{i+2} aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$\Delta m_{i+2} = 2 \left[\frac{x - m_{i+2}}{\sigma_{i+2}^2} \right] \delta_i^3 \mu_i \quad (\text{E.3.70})$$

Çan eğrisi şekilli üyelik işlevlerinin standart sapmalarındaki değişim aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta \sigma_i = -\frac{\partial E}{\partial \sigma_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \bar{\mu}_i} \frac{\partial \bar{\mu}_i}{\partial \mu_i} \frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{A_i}} \right] \left[\frac{\partial \mu_{A_i}}{\partial v_i} \frac{\partial v_i}{\partial \sigma_i} \right] \quad i = 1, 2 \quad (\text{E.3.71})$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial \sigma_i} = 2 \left[\frac{(x - m_i)^2}{\sigma_i^3} \right] \quad (\text{E.3.72})$$

$$\Delta \sigma_i = 2 \left[\frac{(x - m_i)^2}{\sigma_i^3} \right] \delta_i^3 \mu_i \quad (\text{E.3.73})$$

Aynı şekilde $\Delta \sigma_{i+2}$ aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$\Delta \sigma_{i+2} = 2 \left[\frac{(y - m_{i+2})^2}{\sigma_{i+2}^3} \right] \delta_i^3 \mu_i \quad (\text{E.3.74})$$

Deneyisel çalışmalarda MATLAB programlama dilinde blok yapısı verilen ANFIS yukarıda verilen denklemleri kullanarak fonksiyonların katsayılarını hesaplamaktadır. Bir sonraki bölümde ANFIS kullanarak elde edilen deneysel sonuçlar verilmektedir.

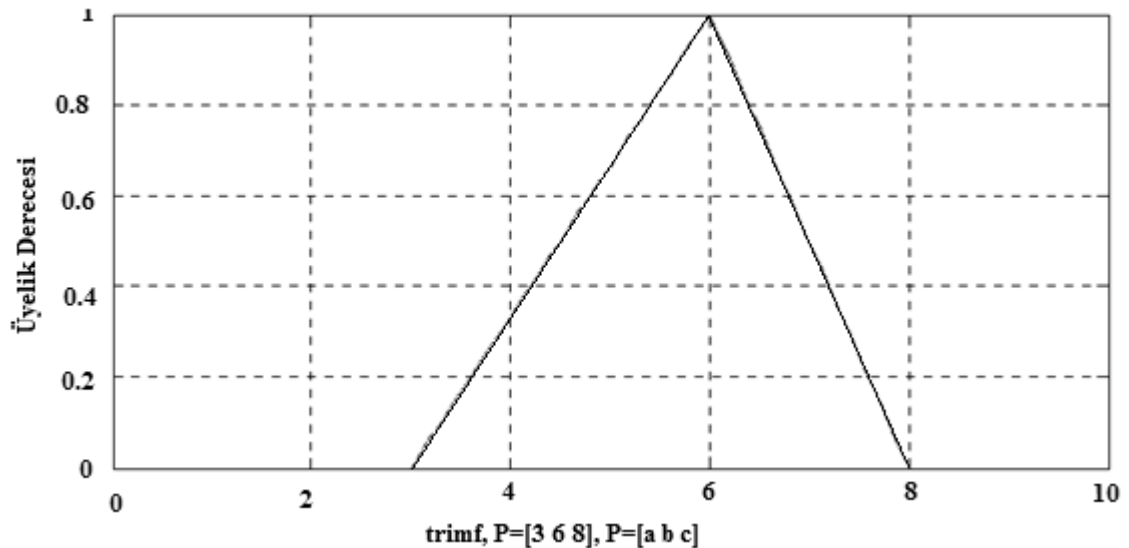
3.2.3. Üyelik Fonksiyonları ve Denklemleri

ANFIS uygulamasında kullanılan bazı üyelik fonksiyonları aşağıda ele alınmıştır. giriş üyelikleri belirlenirken uygulamalarda bu fonksiyonlar kullanılabilir. Uzman tarafından veya deneme – yanılma işlemiyle en iyi sonucu veren üyelik belirlenir ve ilgili denklemler elde edilir.

Üçgen üyelik fonksiyonu: Üçgen üyelik fonksiyonu 3 parametreyle tanımlanır. $\{a,b,c\}$

$$triangle(x;a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b. \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c. \\ 0, & c \leq x. \end{cases} \quad (E.3.75)$$

En küçüklerin en büyüğü yöntemini uygulayarak, yukarıdaki eşitlik $triangle(x;a,b,c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right)$ ile ifade edilir. Parametreler (a,b,c,)yatay eksende köşe noktalara denk gelen sabitlerdir. Şekil 3.3 üçgen üyelik fonksiyonunu göstermektedir.



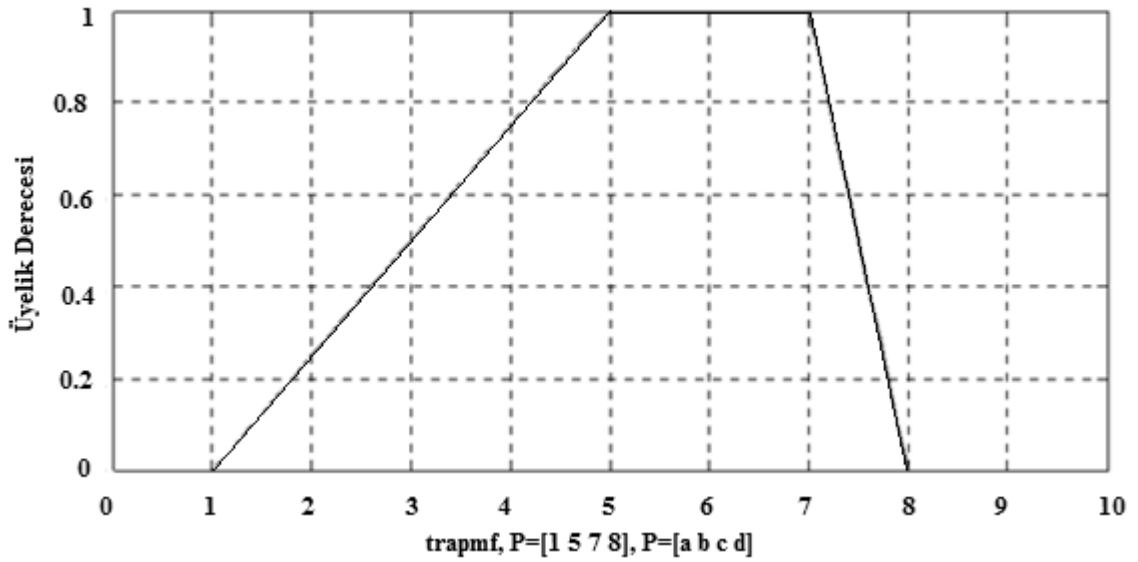
Şekil 3.3. Üçgen üyelik fonksiyonu (Jang vd., 1997).

Yamuk üyelik fonksiyonu: “E.3.76” ile ifade edilen yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 3.4 de gösterilmektedir. En küçüklerin en büyüğü yöntemini uygulayarak,

yukarıdaki eşitlik $trapezoid(x;a,b,c,d)=\max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a},1,\frac{d-x}{d-c}\right),0\right)$ ile ifade edilir.

Parametreler (a,b,c,d) ile gösterilen sabitlerdir.

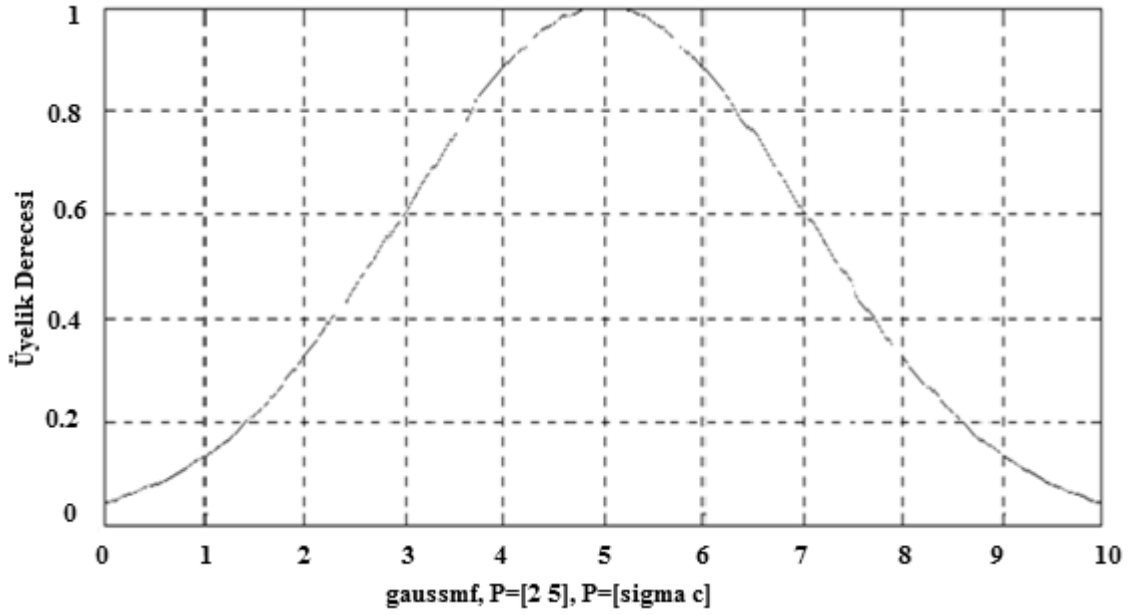
$$trapezoid(x;a,b,c,d)=\begin{cases} 0, & x \leq a. \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b. \\ 1, & b \leq x \leq c. \\ \frac{c-x}{c-b} & c \leq x \leq d. \\ 0, & d \leq x. \end{cases} \quad (E.3.76)$$



Şekil 3.4. Yamuk üyelik fonksiyonu (Jang vd., 1997).

Çan eğrisi üyelik fonksiyonu: Bu fonksiyon “E.3.77” ile verilmektedir. Şekil 3.5 parametrelerin yerlerini göstermektedir.

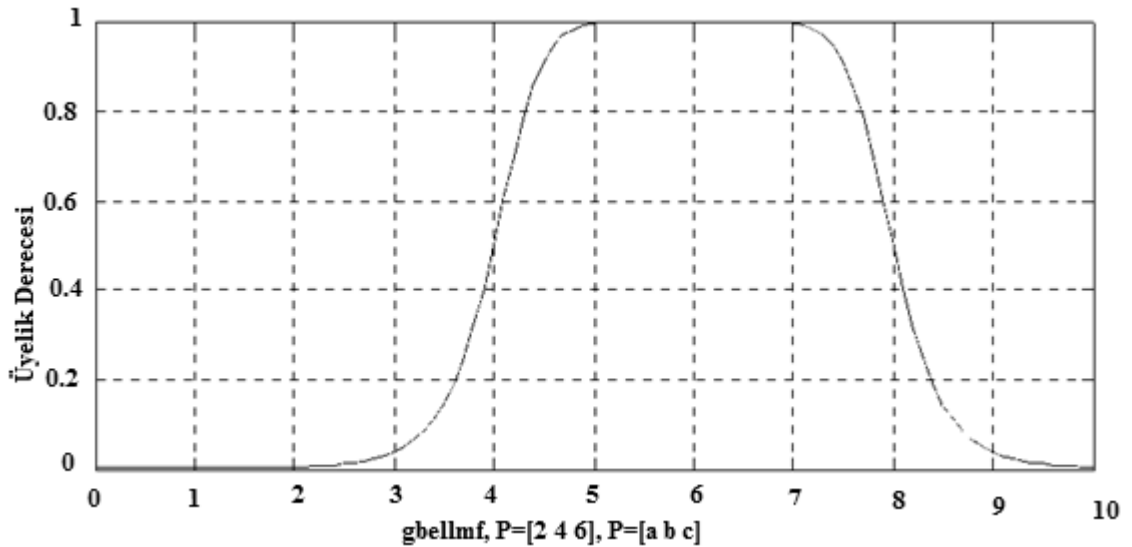
$$gaussian(x;c,\vartheta)=e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\vartheta}\right)^2} \quad (E.3.77)$$



Şekil 3.5. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu (Jang vd., 1997).

Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu: “E.3.78” ile verilen genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu Şekil 3.6 de gösterilmektedir.

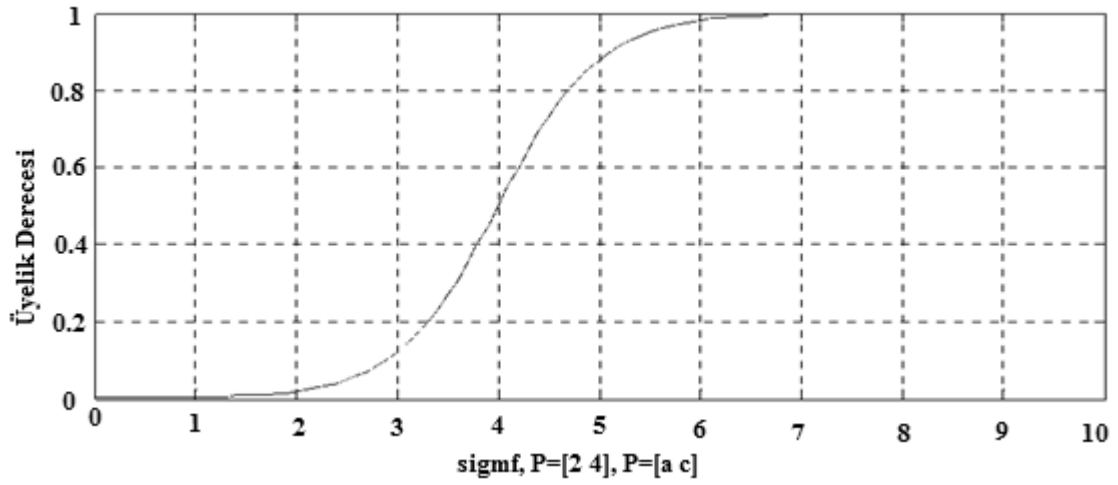
$$bell(x;a,b,c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (E.3.78)$$



Şekil 3.6. Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu (Jang vd., 1997).

Sigmoid üyelik fonksiyonu: “E.3.79” ile verilen sigmoid üyelik fonksiyonu Şekil 3.7 da verilmektedir.

$$\text{sig}(x; a, c) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - c)]} \quad (\text{E.3.79})$$



Şekil 3.7. Sigmoid üyelik fonksiyonu (Jang vd., 1997).

3.2.4. Model Performansı

Model performansının ölçümü için kullanılan birinci ölçü, “E.3.80” ile verilen toplam karesel hatanın ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır (ortalama karesel hata, mean squared error, MSE).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (\text{E.3.80})$$

Model performansının ölçümü için kullanılan ikinci ölçü, “E.3.81” eşitliği ile verilen ortalama karesel hatanın karekökünün alınması suretiyle belirlenen hatadır (Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü, Root Mean Squared Error-RMSE).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (\text{E.3.81})$$

4. UYGULAMA

Bu çalışmada ANFIS ve doğrusal çoklu regresyon yöntemleri kullanılarak basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı tahmini yapılmıştır. Çalışmada, Bilecik iline ait 2000-2010 yılları arasındaki ortalama basınç, ortalama sıcaklık ve ortalama rüzgar hızı verileri meteoroloji genel müdürlüğünden temin edilmiştir (DMİ, 2011).

Veri analizleri için MATLAB 2009 7.8 bilgisayar paket yazılımındaki ANFIS araç çubuğu kullanılmıştır (Matlab, 2009). Tahmin edilen değerler ile gerçek veriler birbirleriyle karşılaştırılarak grafik ortamında gösterilmiştir. Yapılan analizlerde en düşük hata oranını elde etmek için aşağıdaki uygulamalar ele alınmıştır.

2000-2010 yıllarına ait, elde edilen basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı değişkenleriyle aylık veriler gruplar halinde oluşturulmuştur. Her grup basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı değişkenleriyle birlikte elde edilmiştir.

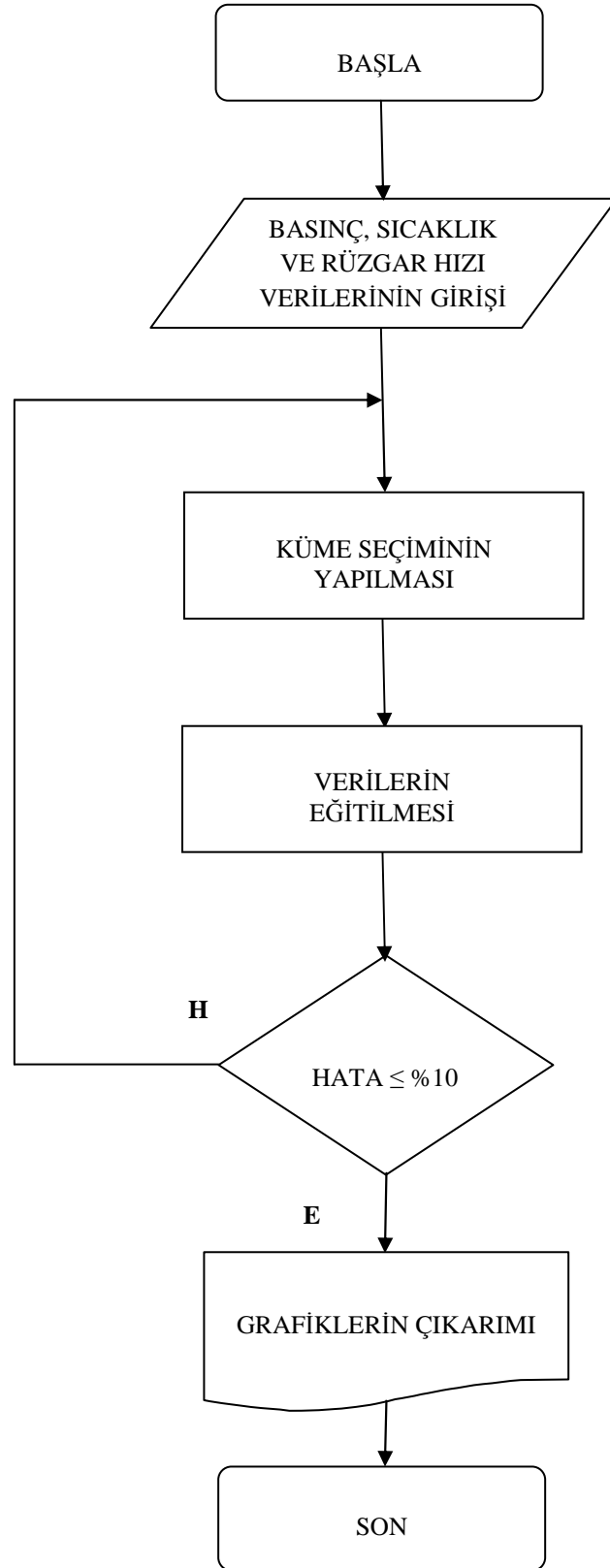
ANFIS uygulamasında 2000-2009 yıllarına ait veriler değerlendirilip 2010 yılı verileri tahmin edilerek, 2010 yılına ait gerçek değerlerle karşılaştırmıştır. ANFIS'te oluşturulan modelde kullanılan küme sayılarının artırılması daha iyi sonuçlar vermesine karşın dezavantajları da beraberinde getirmiştir.

Küme sayısının artırılması ve girdi verilerinin çok olmasından dolayı işlem süreleri uzamış ve iterasyonlar yavaşlamıştır. Elimizdeki verilere göre hangi üyelik fonksiyonları kullanacağımız ve kaç adet küme seçeceğimiz belli olmadığı için eksiltici kümeleme(subtractive clustering) kullanılmıştır (Chiu, 1994). Bu kümelendirme yöntemi en iyi küme sayısını bulmak için kullanılmıştır.

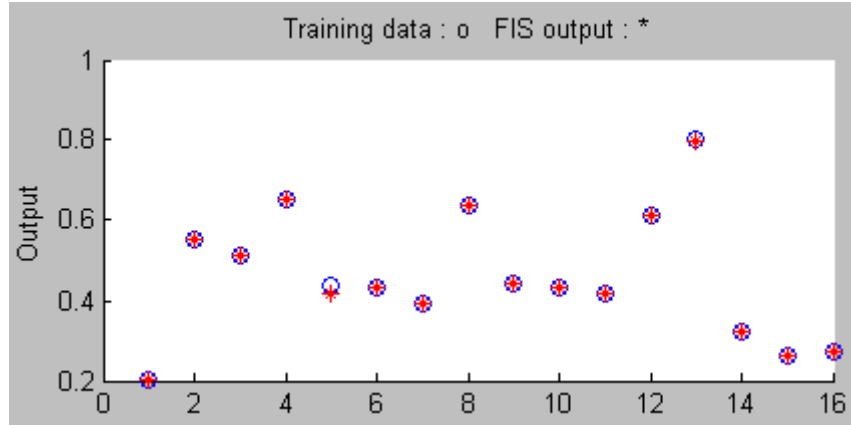
Eksiltici kümeleme kullanılarak otuz altı gruba ayrılan veriler 14-16 küme arasında elde edilmiş ve bu kümeler gauss üyelik fonksiyonuna uygulanmıştır. Şekil 4.7'de oluşturulan ANFIS yapısında elde edilen sonuçlar doğrusal çoklu regresyon analiz yöntemiyle karşılaştırılmış ve grafik ortamında gösterilmiştir.

4.1. ANFIS modelinde elde edilen basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı analiz sonuçları

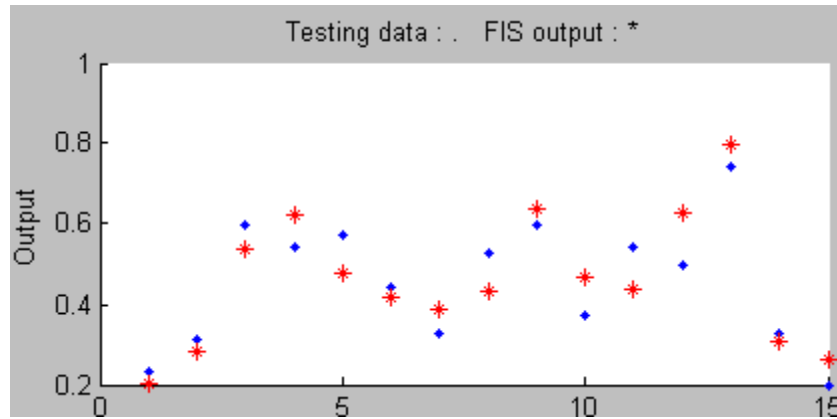
2000-2010 yılları için ANFIS'in öngördüğü analiz grafikler ve akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.1. Yapılan çalışmanın akış şeması



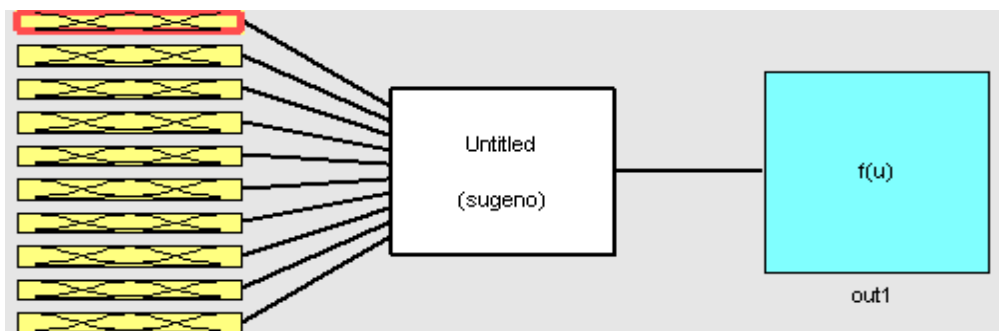
Şekil 4.2. Eğitim verileri için ANFIS'in bulduğu değerler ile gerçek değerlerin aynı grafikte gösterimi.



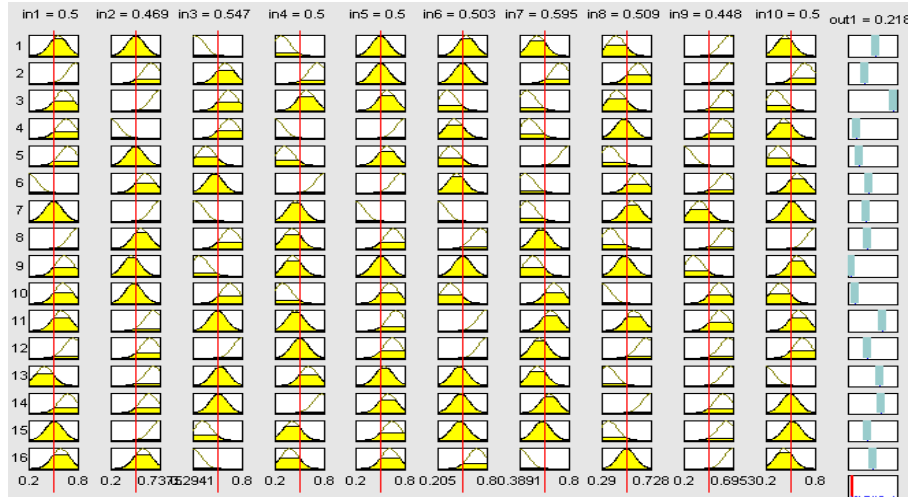
Şekil 4.3. Test verileri için ANFIS'in bulduğu değerler ile gerçek değerlerin aynı grafikte gösterimi.

Şekil 4.2 ve şekil 4.3'de eğitim ve test verileri için ANFIS'in çıkış değerleri ile gerçek değerler birbirlerine oldukça yakındır. Bu grafiklerin hata değerleri yüzde onun altındadır.

Şekil 4.4'te on adet girişe karşılık tek çıkış değeri veren fis diyagramıdır. Yapılan bütün ANFIS modelde fis diyagramı bu yapıdadır.

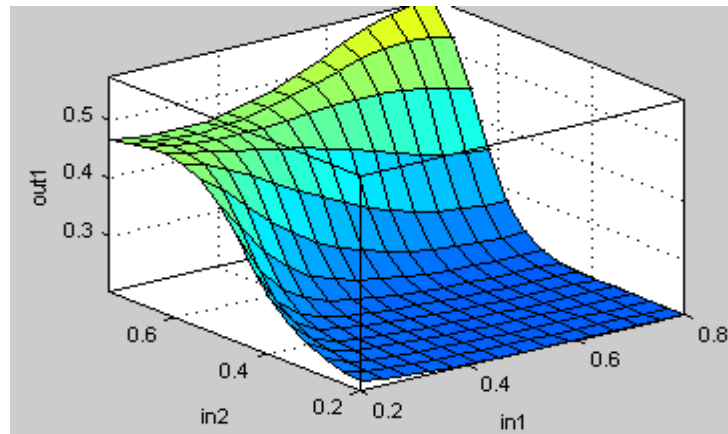


Şekil 4.4. Fis diyagramı.



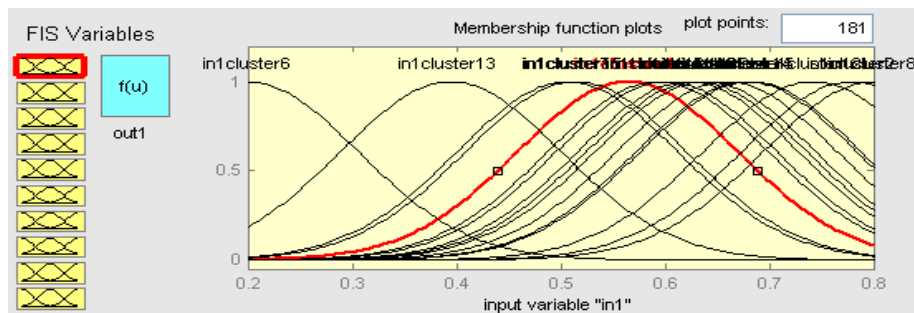
Şekil 4.5. Kural tablosu.

Şekil 4.5 te ANFIS'in öngördüğü kurallar tablosu verilmiştir. Bu kural tablosunda 16 tane kural bulunmaktadır. Oluşturulan oyuz altı modellemede kural tablosu 14-16 arası kurallardan oluşmaktadır.



Şekil 4.6. Yüzey görünümü.

Şekil 4.6'te üç boyutlu yüzey görünümü verilmiştir. Her bir modelde doksan tane görünüm vardır. Toplamda ise yaklaşık olarak 3240 tane yüzey görünümü vardır.



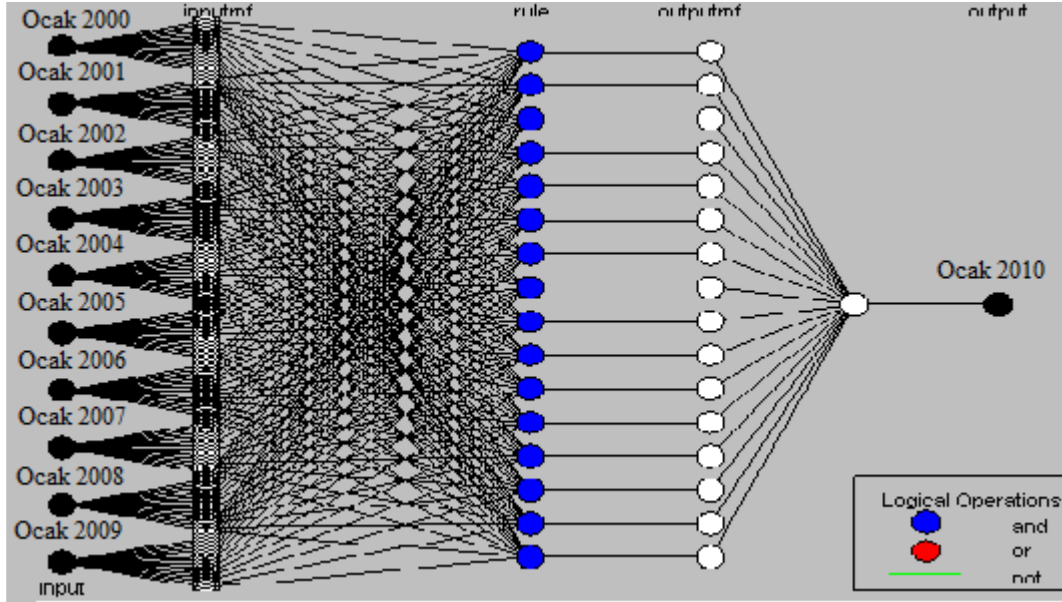
Şekil 4.7. Oluşan üyelik fonksiyonları.

Şekil 4.7’da ANFIS’in öngördüğü gauss üyelik fonksiyonları verilmiştir. Girişlerin herbirinde on altı adet üyelik fonksiyonu, çıkışında ise on altı tane üyelik fonksiyonu vardır.

Çizelge 4.1. ANFIS’in öngördüğü gauss üyelik fonksiyonlarının lineer denklemleri.

Giriş Değişkeni	Katsayılar	Çıkış denklemi
X	[σ c]	Y
ocakIn1cluster1	[0.1061 0.5641]	$y = e^{\frac{(x-0,5641)^2}{-0,0225}}$
ocakIn1cluster2	[0.1061 0.7793]	$y = e^{\frac{(x-0,7793)^2}{-0,0225}}$
.	.	.
.	.	.
ocakIn10cluster16	[0.1061 0.4261]	$y = e^{\frac{(x-0,4261)^2}{-0,0225}}$
şubatIn1cluster1	[0.0683 0.5861]	$y = e^{\frac{(x-0,5861)^2}{-0,0093}}$
şubatIn1cluster2	[0.0683 0.3970]	$y = e^{\frac{(x-0,397)^2}{-0,0093}}$
.	.	.
.	.	.
şubatIn10cluster16	[0.0991 0.3342]	$y = e^{\frac{(x-0,3342)^2}{-0,0196}}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
kasımIn1cluster1	[0.1038 0.4978]	$y = e^{\frac{(x-0,4978)^2}{-0,0215}}$
kasımIn1cluster2	[0.1118 0.4026]	$y = e^{\frac{(x-0,4026)^2}{-0,025}}$
.	.	.
.	.	.
kasımIn10cluster16	[0.1014 0.4842]	$y = e^{\frac{(x-0,4842)^2}{-0,0206}}$
aralıkIn1cluster1	[0.1061 0.6333]	$y = e^{\frac{(x-0,6333)^2}{-0,0225}}$
aralıkIn1cluster2	[0.1061 0.3500]	$y = e^{\frac{(x-0,35)^2}{-0,0225}}$
.	.	.
.	.	.
aralıkIn10cluster16	[0.0966 0.6667]	$y = e^{\frac{(x-0,6667)^2}{-0,0187}}$

Şekil 4.7’de üyelik fonksiyonların ön gördüğü, gauss üyelik fonksiyonlarının lineer denklemleri çizelge 4.1’de verilmiştir. Her bir denklem bir gauss üyelik fonksiyonuna aittir. Burada yaklaşık olarak 5760 tane lineer denklem vardır.

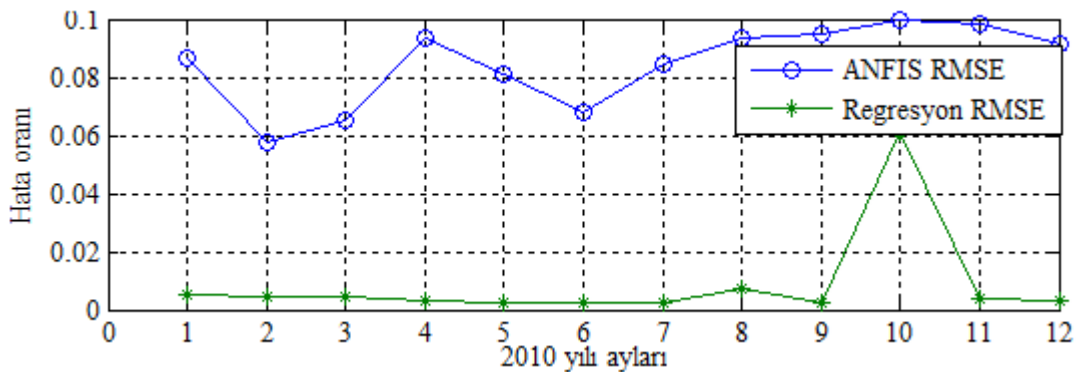


Şekil 4.8. Oluşan ANFİS yapısı.

Şekil 4.8’de modelde oluşan ANFİS yapısı verilmiştir. On giriş değişkenine karşılık bir çıkış değişkeni elde edilir.

4.2. Yıllık RMSE ve MSE değerlerinin karşılaştırılması

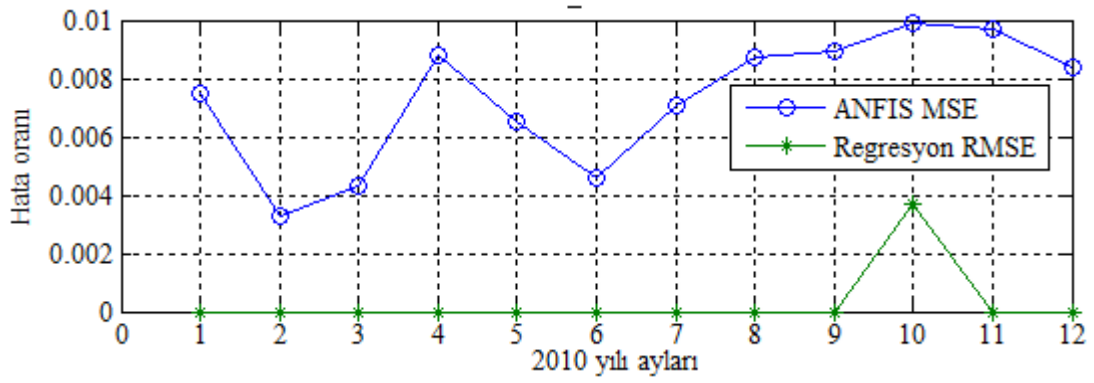
ANFİS modeli kullanılarak elde edilen hata değerleri “E.3.80” ile “E.3.81” denklemleriyle hesaplanmış ve çizelge 4.2’de sunulmuştur. Basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı değişkenlerinin yıllık RMSE ve MSE hata değerleri Şekil 4.8 ile Şekil 4.13’te verilmiştir. Bu grafikleri incelediğimizde basınç tahmininde regresyon modelin, sıcaklık ve rüzgar hızı tahmininde ANFİS modelin daha az hata verdiği görülmüştür.



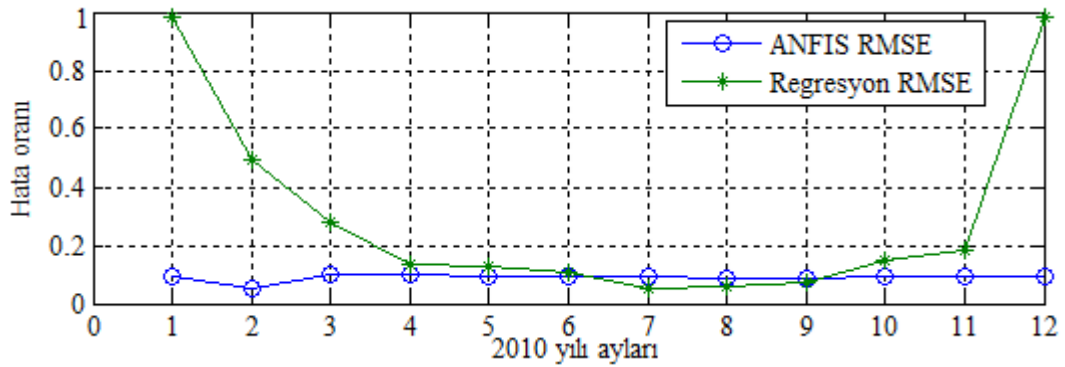
Şekil 4.9. 2010 yılı için basınç RMSE değerlerinin karşılaştırılması.

Çizelge 4.2. ANFİS ve regresyon modelinden 2010 yılı için elde edilen elde edilen hatalar.

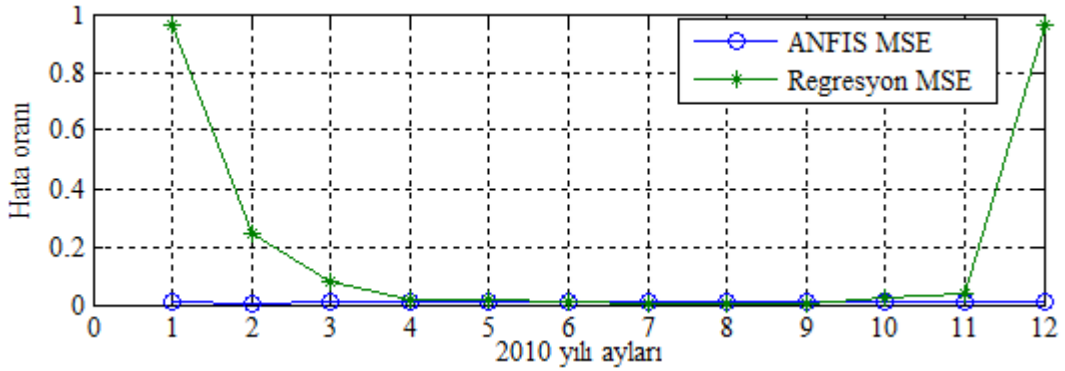
Kullanılan Yöntem	Hata Cinsi	OCAK			TEMMUZ		
		Basınç	Sıcaklık	Hız	Basınç	Sıcaklık	Hız
ANFIS Model	MSE	0.0075	0.0086	0.0082	0.0071	0.0081	0.0092
	RMSE	0.0864	0.0927	0.0903	0.0845	0.0899	0.0959
Regresyon Model	MSE	0.0000	0.9594	0.2785	0.0000	0.0024	0.0226
	RMSE	0.0050	0.9795	0.5277	0.0022	0.0488	0.1503
		ŞUBAT			AĞUSTOS		
		Basınç	Sıcaklık	Hız	Basınç	Sıcaklık	Hız
ANFIS Model	MSE	0.0033	0.0028	0.0038	0.0087	0.0074	0.0086
	RMSE	0.0579	0.0530	0.0615	0.0932	0.0858	0.0929
Regresyon Model	MSE	0.0000	0.2462	0.2061	0.0000	0.0034	0.0172
	RMSE	0.0046	0.4962	0.4540	0.0070	0.0580	0.1313
		MART			EYLÜL		
		Basınç	Sıcaklık	Hız	Basınç	Sıcaklık	Hız
ANFIS Model	MSE	0.0043	0.0094	0.0088	0.0089	0.0075	0.0066
	RMSE	0.0654	0.0968	0.0940	0.0945	0.0868	0.0811
Regresyon Model	MSE	0.0000	0.0773	0.0553	0.0000	0.0051	0.0221
	RMSE	0.0042	0.2780	0.2351	0.0022	0.0712	0.1485
		NİSAN			EKİM		
		Basınç	Sıcaklık	Hız	Basınç	Sıcaklık	Hız
ANFIS Model	MSE	0.0088	0.0097	0.0085	0.0099	0.0090	0.0079
	RMSE	0.0936	0.0984	0.0924	0.0994	0.0946	0.0887
Regresyon Model	MSE	0.0000	0.0185	0.0596	0.0037	0.0229	0.1250
	RMSE	0.0028	0.1361	0.2442	0.0612	0.1512	0.3535
		MAYIS			KASIM		
		Basınç	Sıcaklık	Hız	Basınç	Sıcaklık	Hız
ANFIS Model	MSE	0.0065	0.0090	0.0096	0.0097	0.0089	0.0099
	RMSE	0.0807	0.0947	0.0977	0.0983	0.0945	0.0997
Regresyon Model	MSE	0.0000	0.0155	0.0347	0.0000	0.0347	0.0890
	RMSE	0.0022	0.1244	0.1862	0.0035	0.1862	0.2983
		HAZİRAN			ARALIK		
		Basınç	Sıcaklık	Hız	Basınç	Sıcaklık	Hız
ANFIS Model	MSE	0.0046	0.0090	0.0079	0.0084	0.0091	0.0090
	RMSE	0.0678	0.0947	0.0891	0.0916	0.0953	0.0947
Regresyon Model	MSE	0.0000	0.0119	0.0289	0.0000	0.9616	0.7635
	RMSE	0.0024	0.1089	0.1701	0.0029	0.9806	0.8738



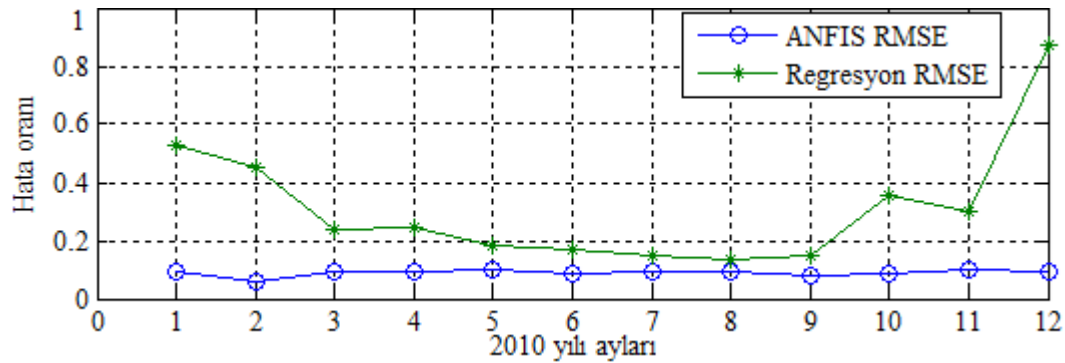
Şekil 4.10. 2010 yılı için basınç MSE değerlerinin karşılaştırılması.



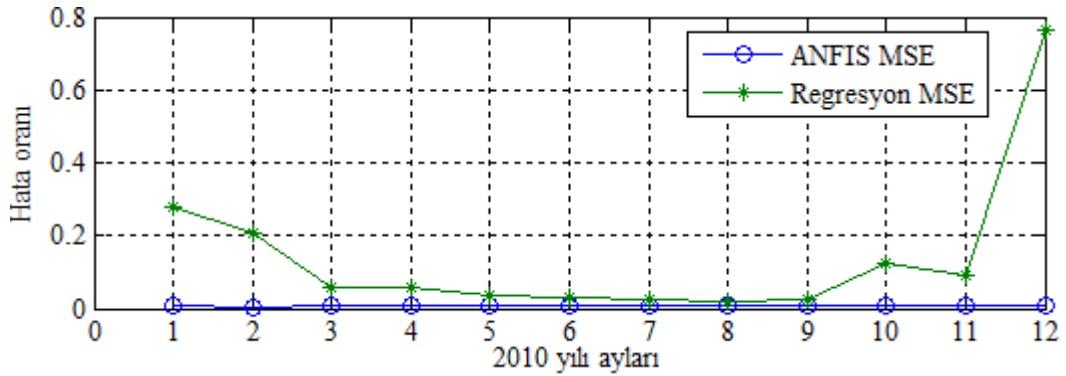
Şekil 4.11. 2010 yılı için sıcaklık RMSE değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.12. 2010 yılı için sıcaklık MSE değerlerinin karşılaştırılması.



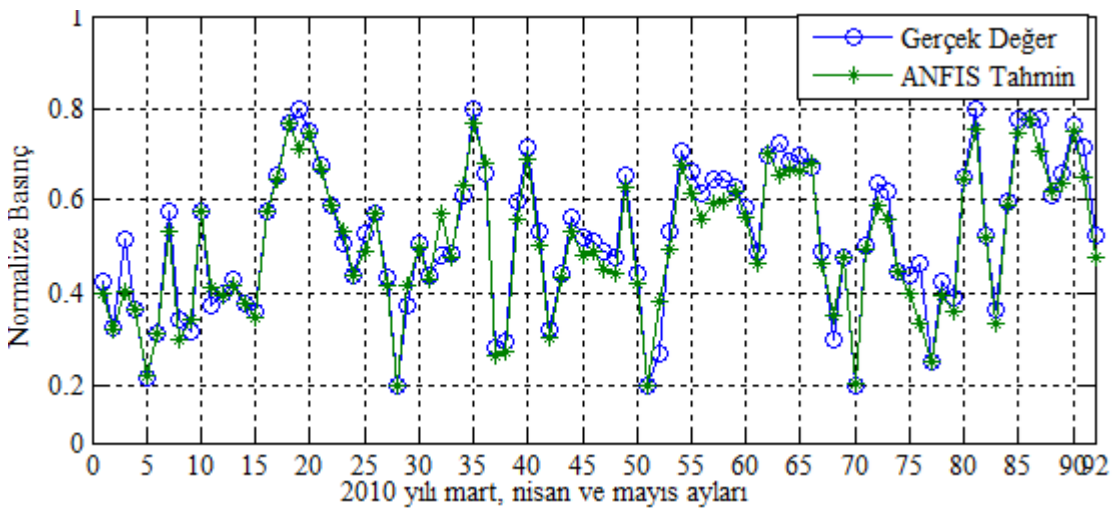
Şekil 4.13. 2010 yılı için rüzgar hızı RMSE değerlerinin karşılaştırılması.



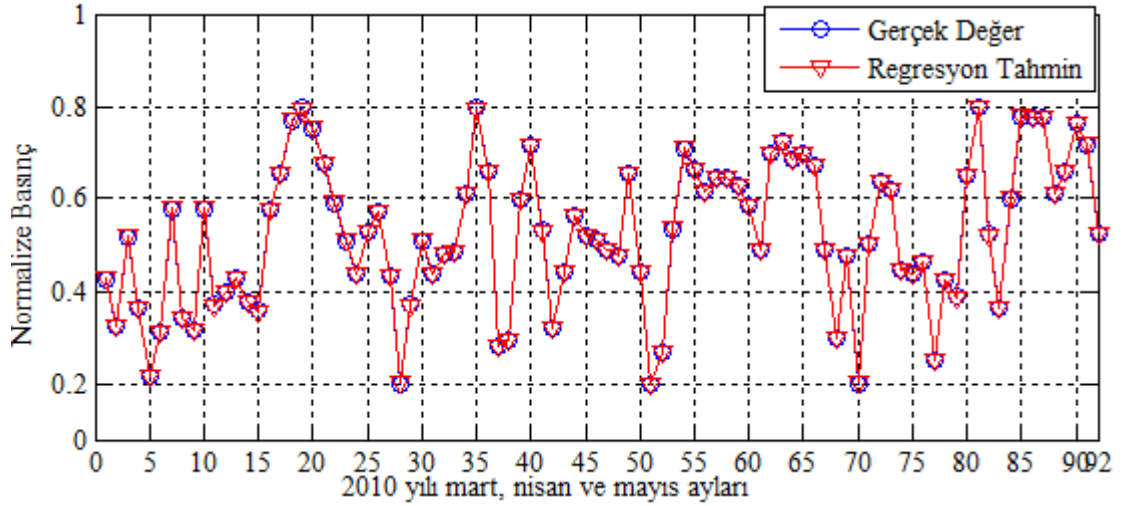
Şekil 4.14. 2010 yılı için rüzgar hızı MSE değerlerinin karşılaştırılması.

4.3. ANFIS ve doğrusal çoklu regresyon modelinin gerçek değerleriyle elde edilen tahmini değerlerinin karşılaştırılması

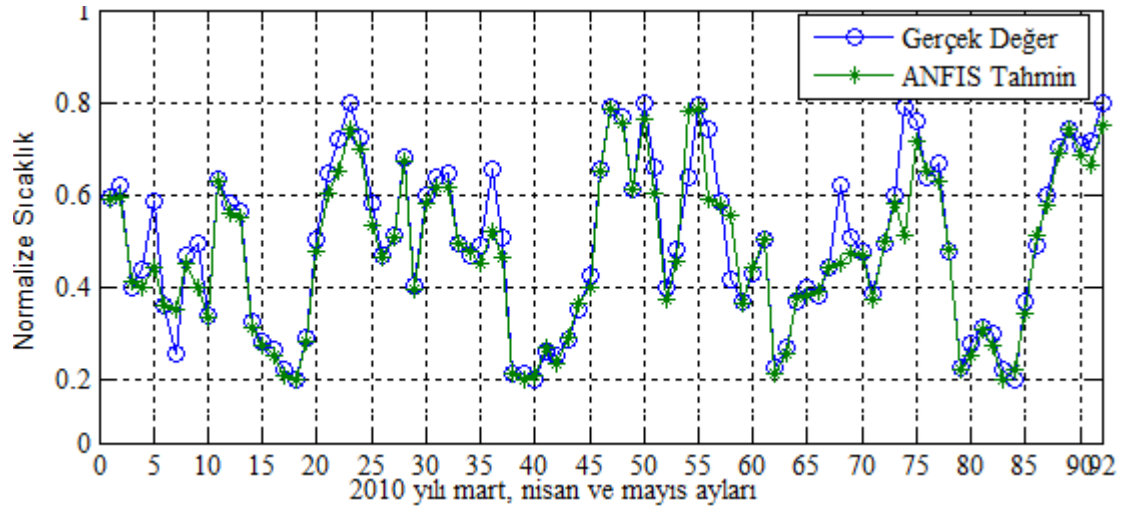
ANFIS ve doğrusal çoklu regresyon tekniği ile yapılan tahmin değerlerinin karşılaştırmaları şekil 4.15 ile şekil 4.38 arasındaki grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi ANFIS çıktıları ile gerçek değer karşılaştırmalarında hata oranı %10'un altındadır. Doğrusal çoklu regresyon tekniğinde basınç değerlerinin hata oranı ile yedi, sekiz ve dokuzuncu ayın sıcaklık hata değerleri ANFIS'te elde edilen hata değerine göre daha azdır. Rüzgar hızı, yedi, sekiz ve dokuzuncu ayın dışındaki diğer aylarda hata oranı %10'un oldukça üstündedir.



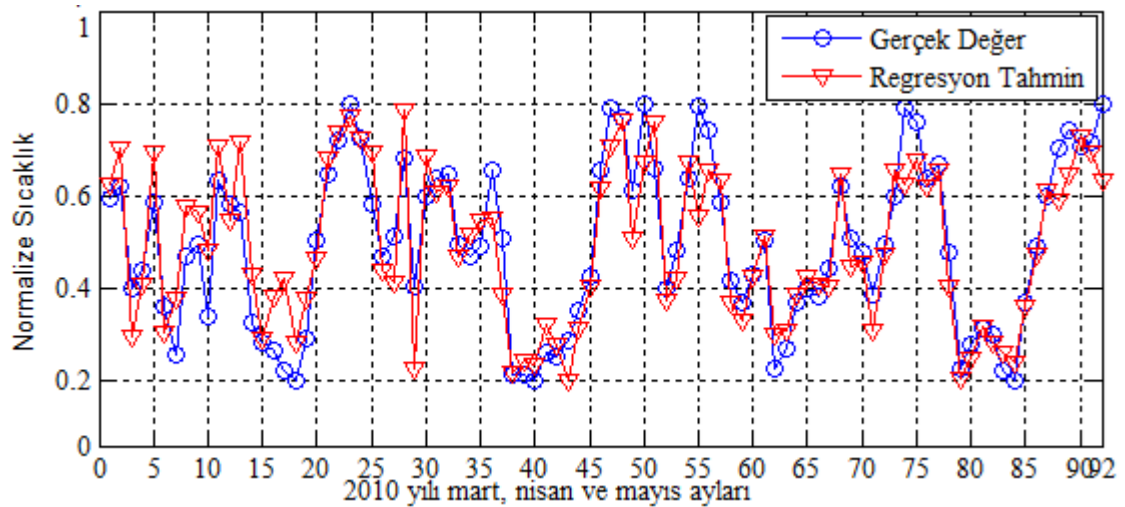
Şekil 4.15. 2010 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



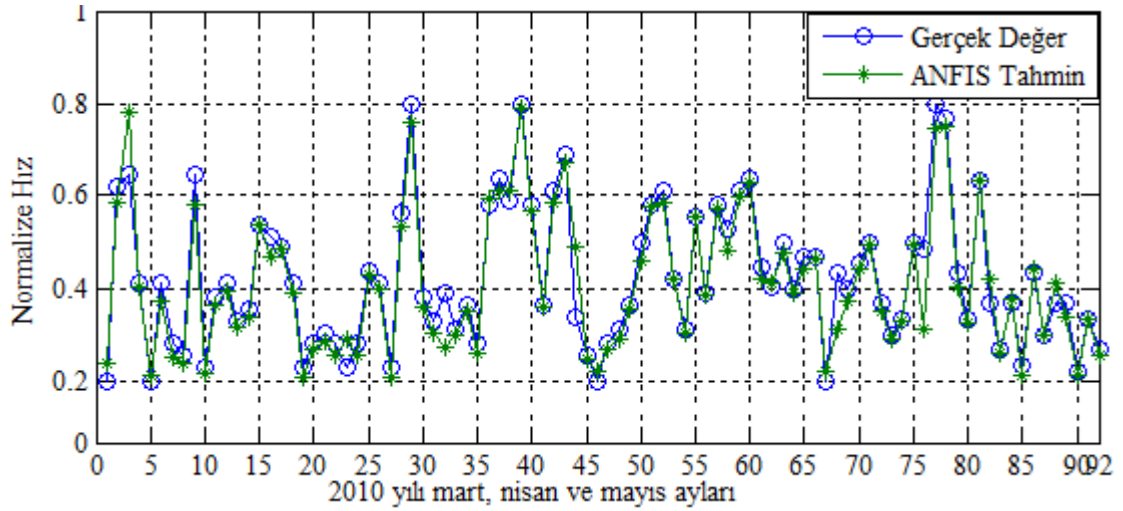
Şekil 4.16. 2010 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



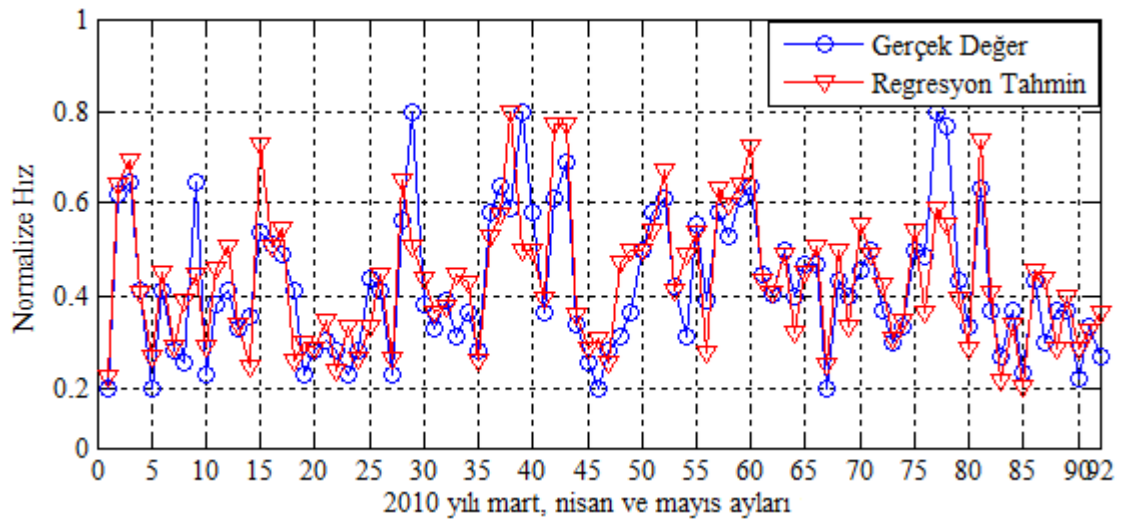
Şekil 4.17. 2010 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.



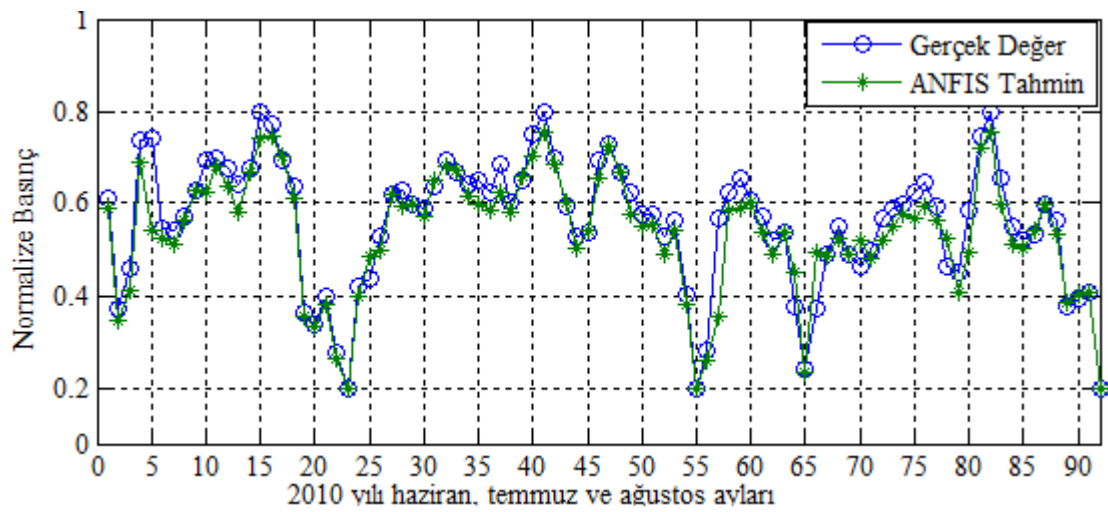
Şekil 4.18. 2010 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.



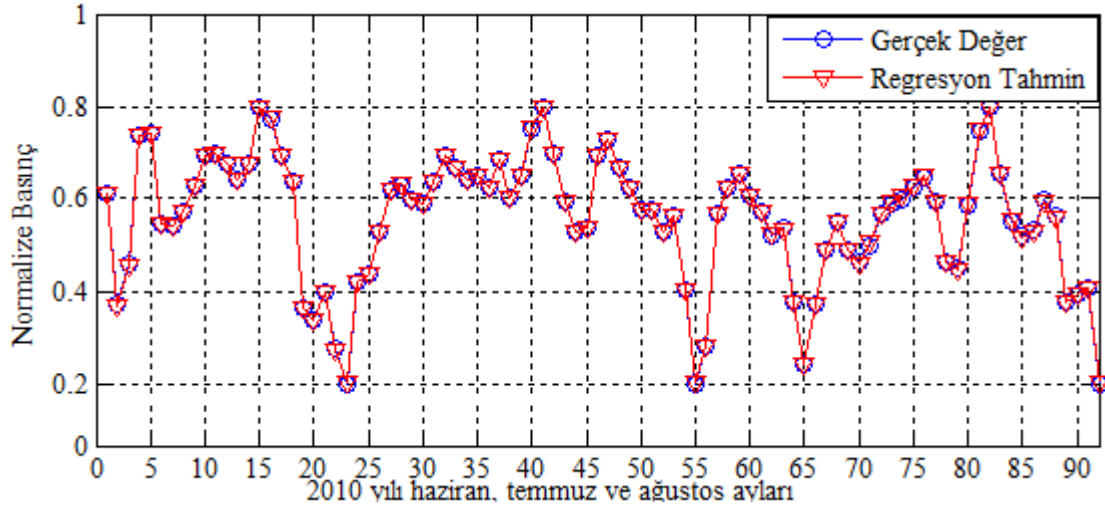
Şekil 4.19. 2010 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırılması.



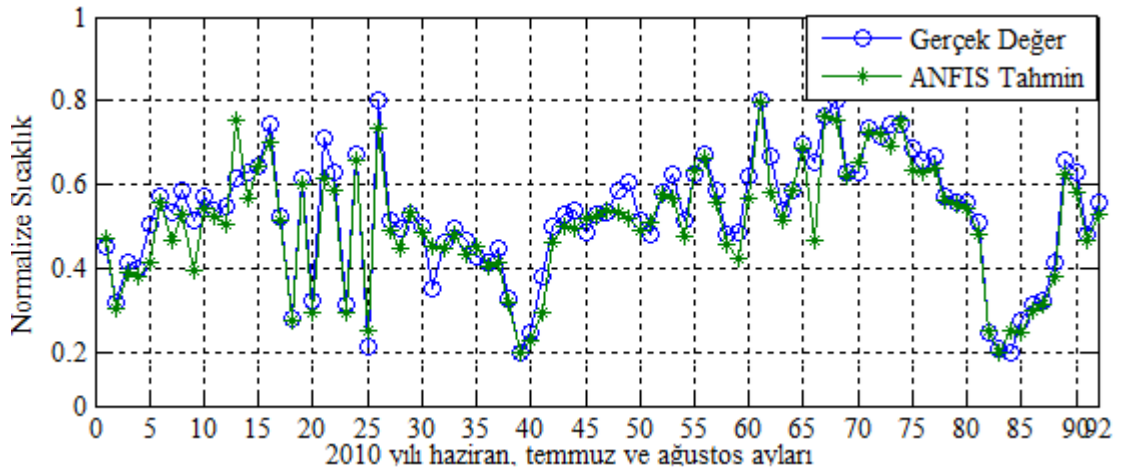
Şekil 4.20. 2010 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırılması.



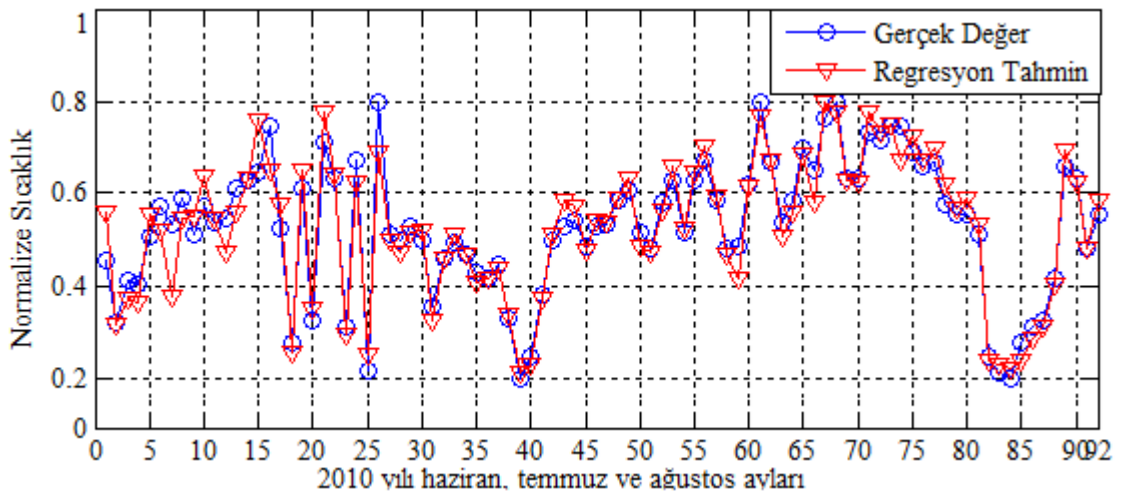
Şekil 4.21. 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



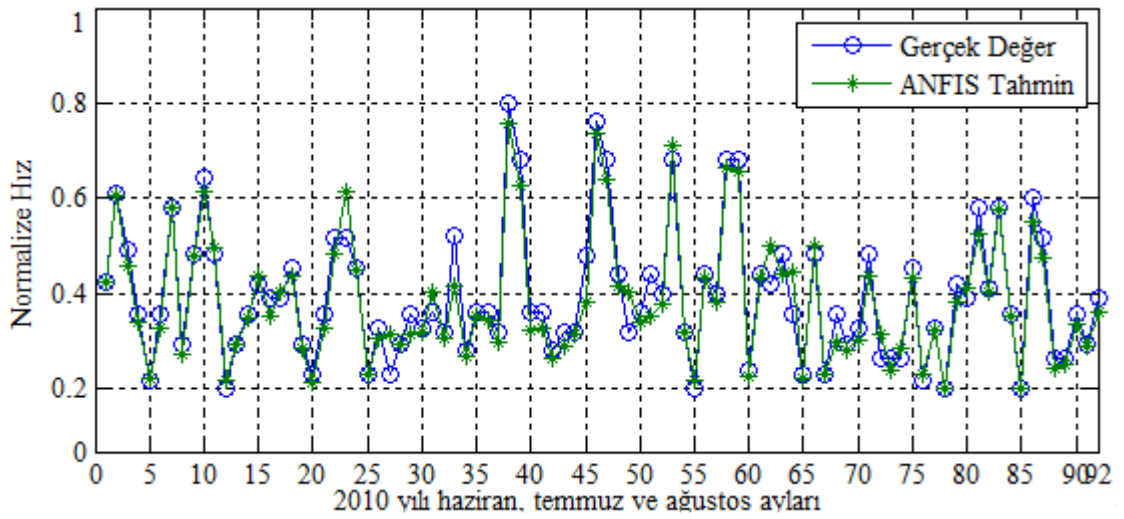
Şekil 4.22. 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



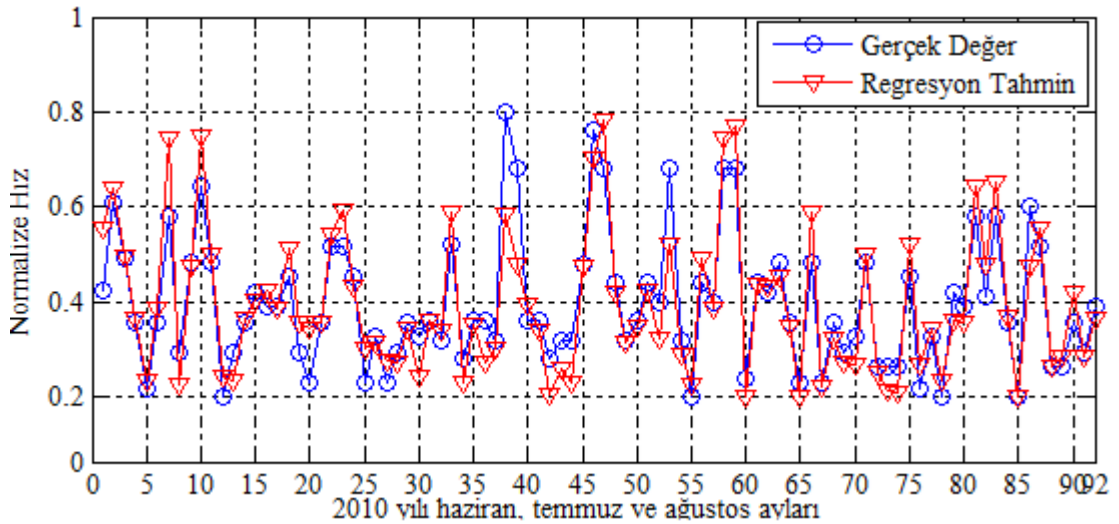
Şekil 4.23. 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.



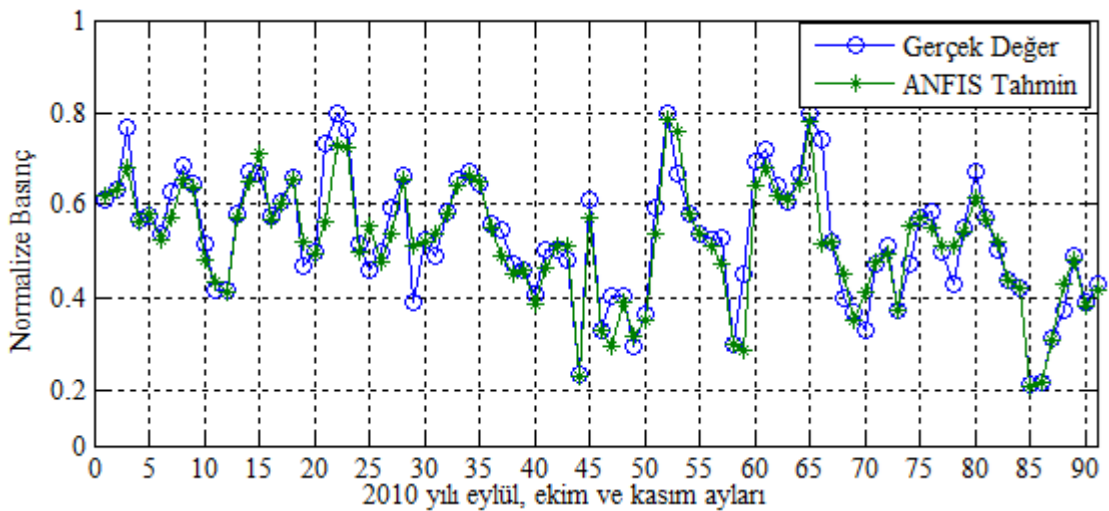
Şekil 4.24. 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları sıcaklık değerinin karşılaştırılması.



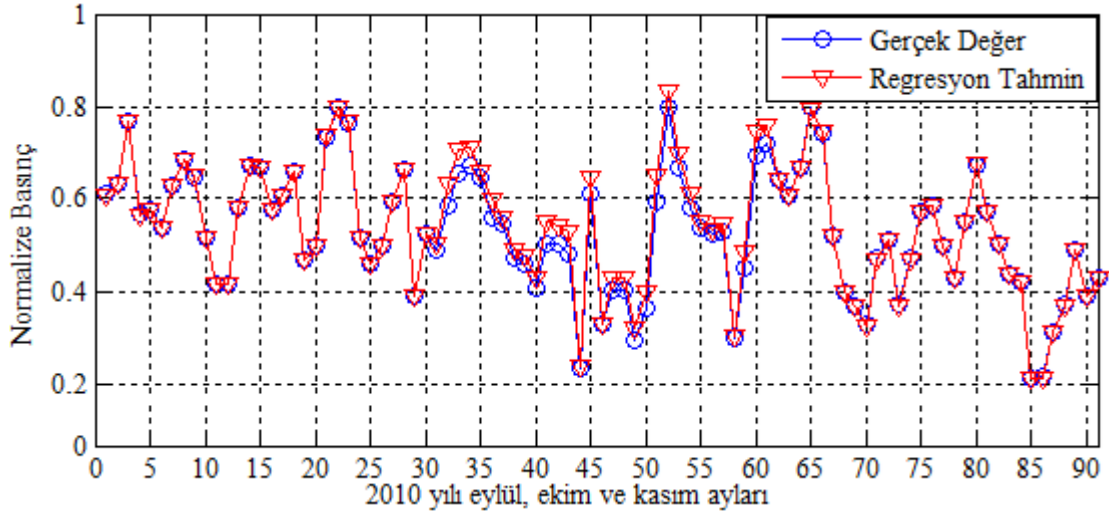
Şekil 4.25. 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırması.



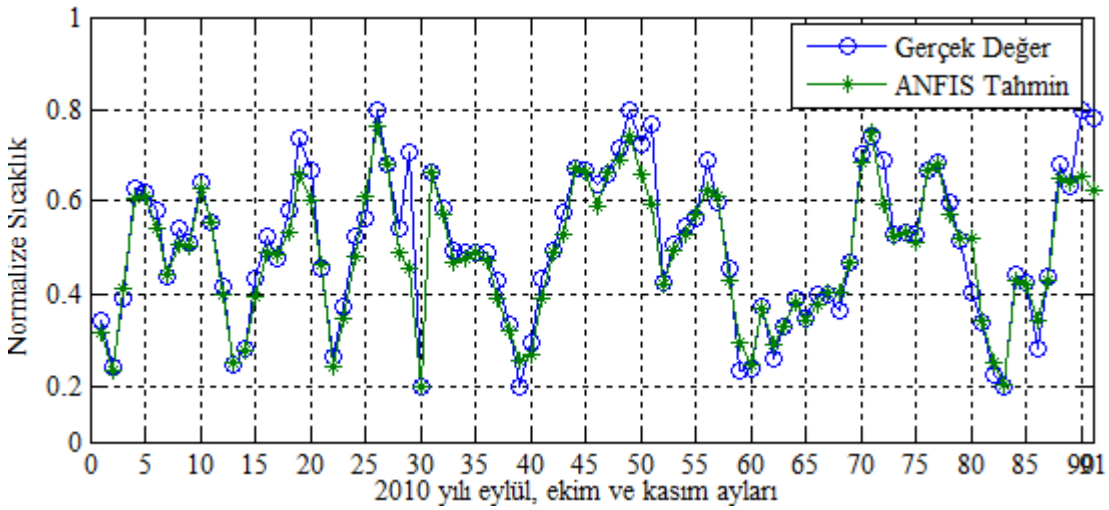
Şekil 4.26. 2010 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırması.



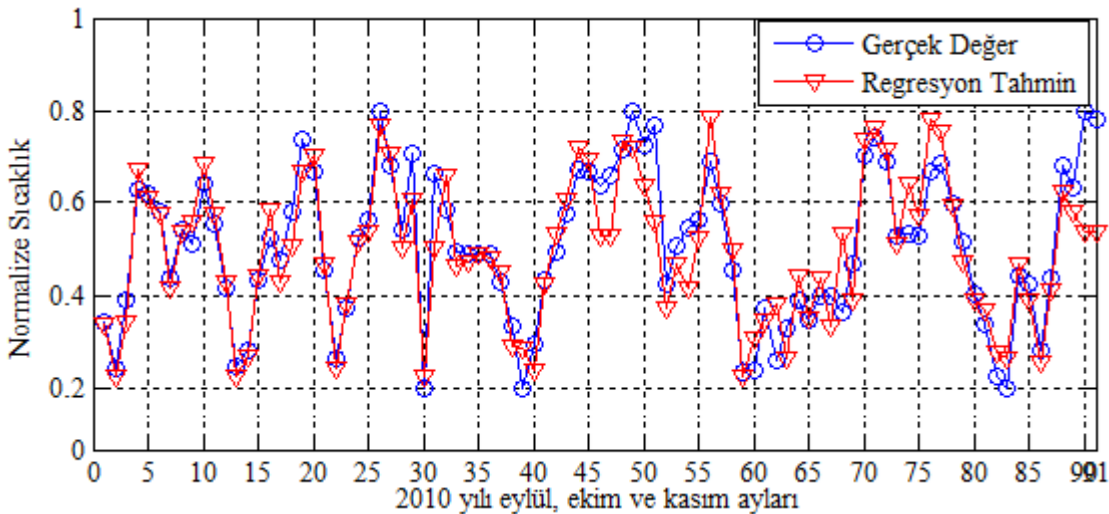
Şekil 4.27. 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



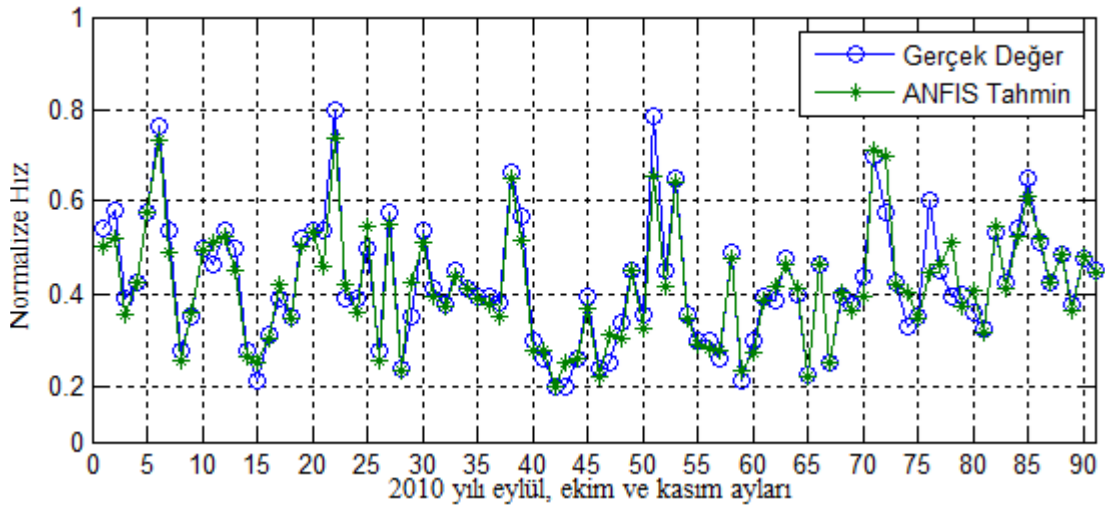
Şekil 4.28. 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



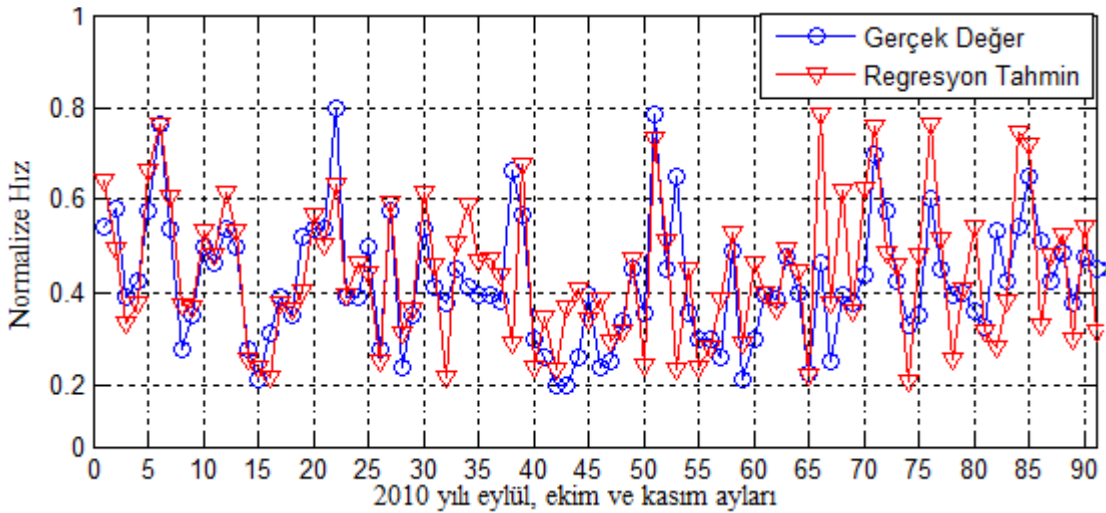
Şekil 4.29. 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.



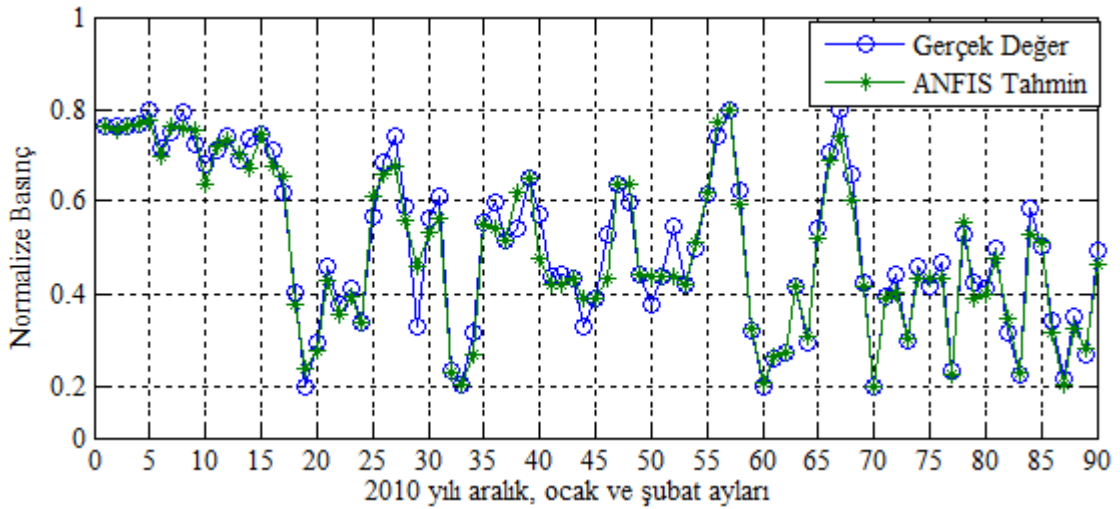
Şekil 4.30. 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.



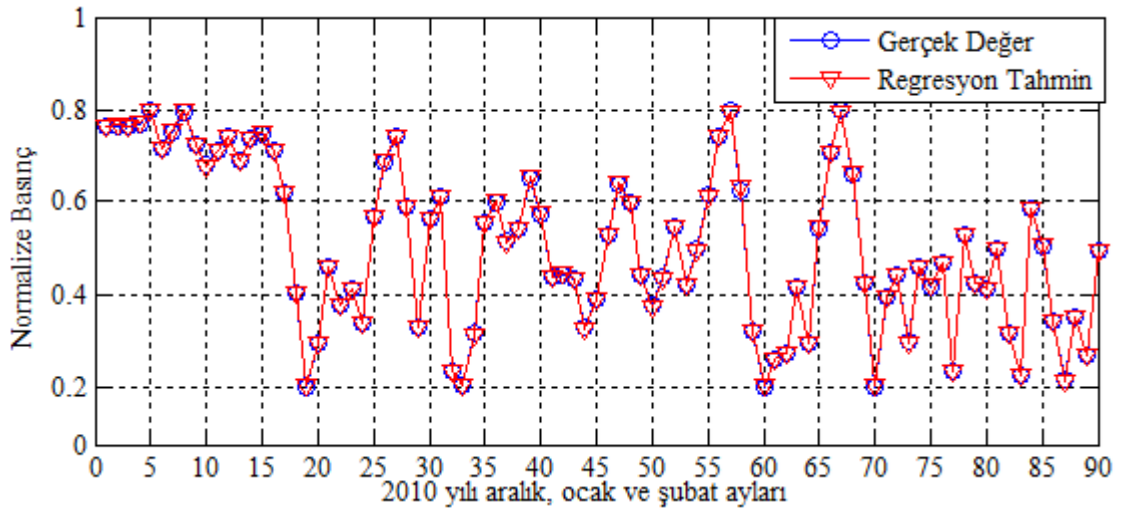
Şekil 4.31. 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.



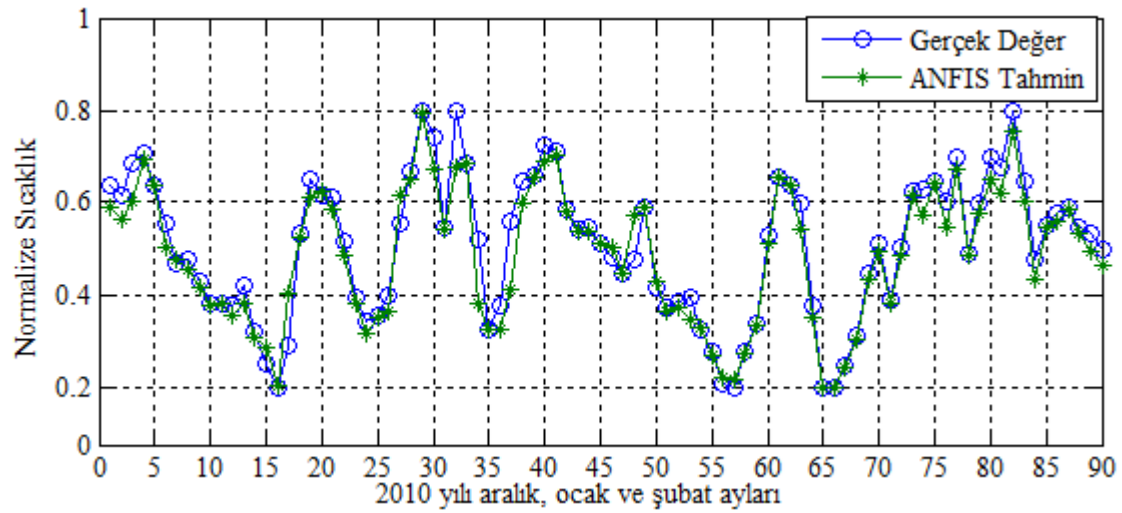
Şekil 4.32. 2010 yılı Eylül, Ekim ve Kasım ayları rüzgar hız değerlerinin karşılaştırılması.



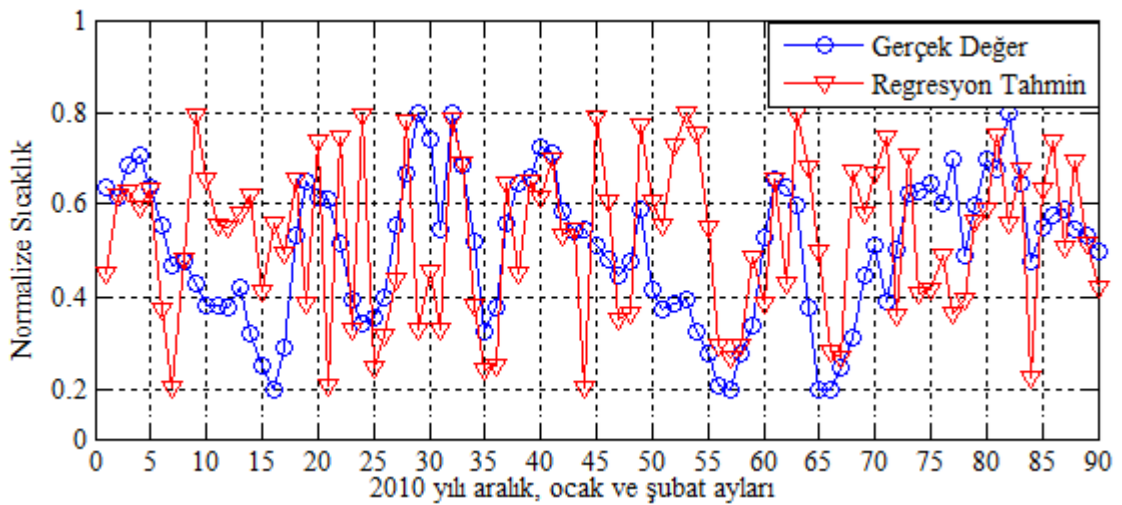
Şekil 4.33. 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



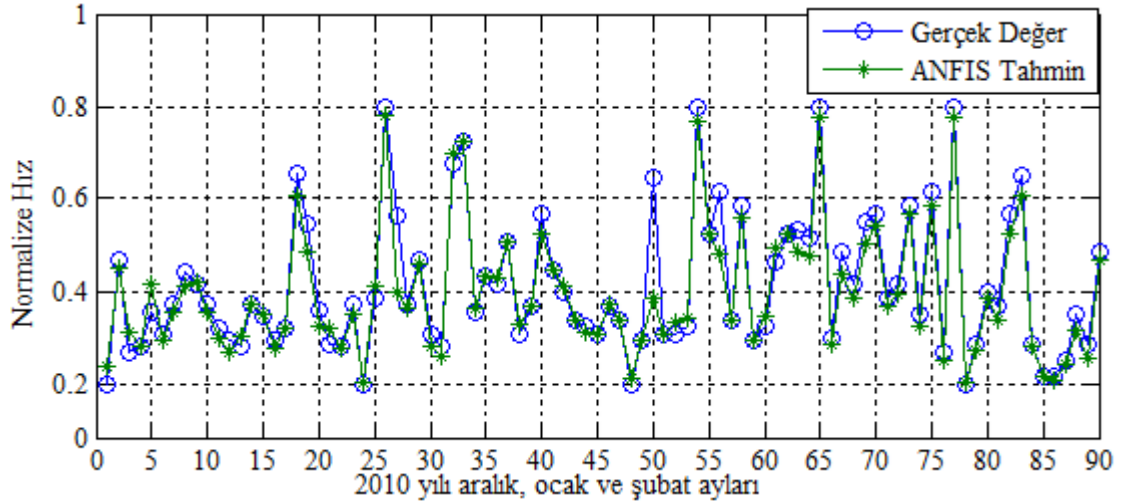
Şekil 4.34. 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları basınç değerlerinin karşılaştırılması.



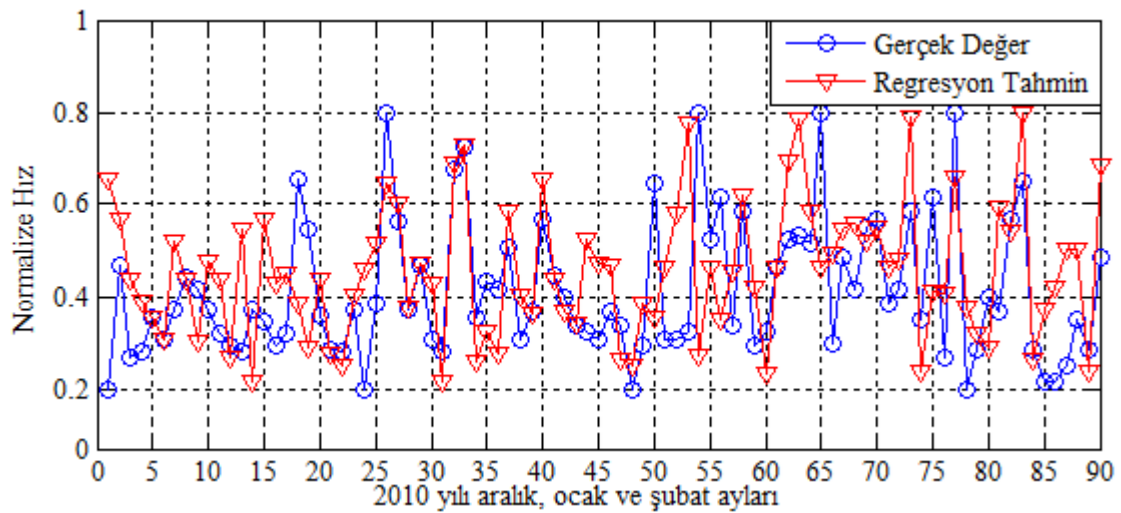
Şekil 4.35. 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.36. 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.37. 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırılması.



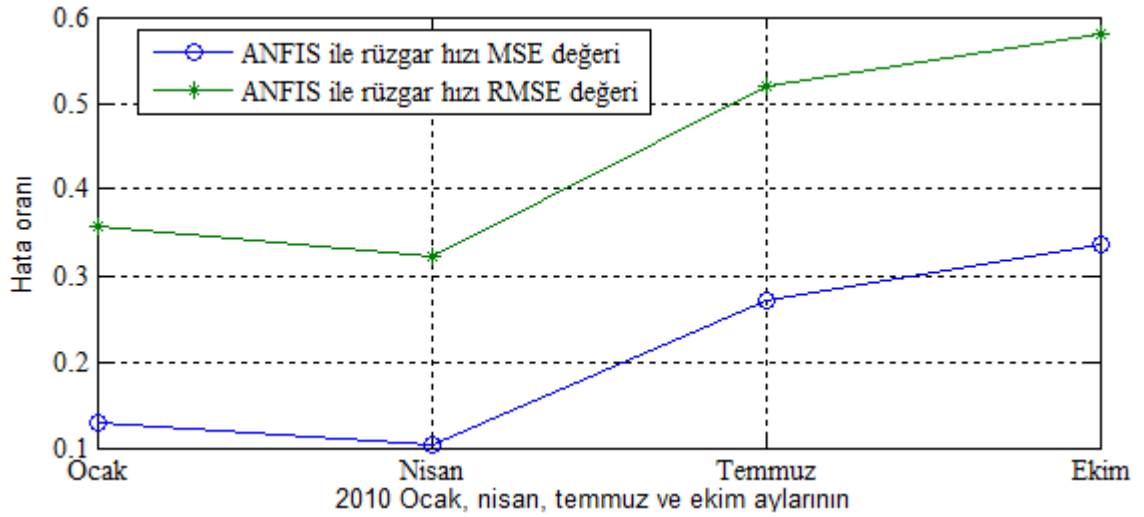
Şekil 4.38. 2010 yılı Aralık, Ocak ve Şubat ayları rüzgar hız değerinin karşılaştırılması.

4.4. Ocak, Nisan, Haziran, Eylül ayları için RMSE ve MSE değerlerinin karşılaştırması

Çizelge 4.3'te ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim ayları için , girişe basınç ve sıcaklık verilip çıkışta ise rüzgar hızı alınmıştır. Bu bölümdeki çalışmada oluşan RMSE ve MSE değerleri verilmiştir. Şekil 4.39'de bu değerlerin karşılaştırmaları gösterilmiştir. Çizelge 4.3 ve şekil 4.39'de görüldüğü gibi yapılan bu modellemede RMSE ve MSE değerleri çok yüksek çıkmıştır. Bu modellemede yapılan tahmin çalışmasının sonuçları istenilen seviyede değildir.

Çizelge 4.3. 2010 Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarının rüzgar hızı hata değerleri.

Kullanılan Yöntem	Hata Cinsi	OCAK	NİSAN	TEMMUZ	EKİM
		Hız Değerleri			
ANFİS Model	MSE	0,1281	0,1036	0,2707	0,3370
	RMSE	0,3579	0,3219	0,5203	0,5806



Şekil 4.39. 2010 Ocak, Nisan, Temmuz ve Ekim aylarının rüzgar hızı hata değerleri.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında 2000-2009 yılları arasındaki Bilecik ilinin meteoroloji müdürlüğünden alınan günlük ortalama basınç, sıcaklık ve rüzgar hız verileri değerlendirilerek 2010 yılının rüzgar hızı tahmini yapılmıştır. Yapılan analizlerde ANFIS ve doğrusal çoklu regresyon tekniği kullanılarak basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı değerleri tahmin edilmiştir.

Bu modeller uygulanırken on yılın her ayı bir grup olarak belirlenmiştir. Oluşturulan her grupta basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı üç bölüme ayrılarak değerlendirilmiştir. Oluşturulan otuz altı grubun her biri için analizler yapılarak grafikler elde edildi ve gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi ANFIS modeli ile yapılan tahminlerde rüzgar hızı ve sıcaklık RMSE değerleri %10’nun altında olduğu görülmektedir. Basınç parametresi tahmininde doğrusal çoklu regresyon tekniğinin ANFIS ‘e oranla daha iyi sonuçlar verdiği, sıcaklık parametresi tahmininde Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının yine doğrusal çoklu regresyon yöntemiyle iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sıcaklığın diğer aylardaki değerleri ve bütün aylardaki rüzgar hızı değerlerinin ANFIS modeli daha etkindir.

Bu karşılaştırmalar sonucunda ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasında çok büyük bir farklılığın olmadığı ve bu tahmin sonuçlarının gerçek değerler yerine kullanılabileceği öngörülmüştür. Özellikle sıcaklık ve rüzgar tahmininde ANFIS modelin kullanılmasının daha etkin bir yöntem olduğu, yaptığımız analizler sonucunda ortaya çıkmıştır. Basınç tahmininde ise doğrusal çoklu regresyon tekniğinin kullanılması daha uygun olduğu görülmüştür.

Çalışmada elde edilen verilerle rüzgar türbinlerinde elde edilecek enerjinin önceden tespit edilerek enerji güvenilirliğinin artışı, sisteme girebilecek rüzgar kaynaklı aşırı zorlamalar önceden öngörülerek sistem güvenliğini sağlayacaktır.

Bu çalışma Bilecik iline ait basınç, sıcaklık ve rüzgar hızı verileri tahmini için kullanılmasına karşın aynı yöntem ile farklı bir bölgenin herhangi bir gündeki basınç, sıcaklık ve rüzgar hızları tahmin edilebilir. Ayrıca rüzgar enerjisi sağlayan sistemlerin, değişen atmosferik şartlara hızlı uyumunun sağlanması hedeflenmektedir. Bu çalışma geliştirilerek hem şehirselleşen hem de bölgesel tahminlerde yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abraham, A. ve Nath, B., “A neuro-fuzzy approach for modelling electricity demand in Victoria”, *Elsevier, Applied Soft Computing 1.*, Churchill, Australia, 127–138, (2001).
- Alturki, F.A., “A Fuzzy Neural Approach for Forecasting Peak Power Demands”, J. *King Saud Univ., Eng. Sci.* (1), Vol. 14, Riyadh, Saudi Arabia, 29-40, (2000).
- Attari, M., Boudjema, F., Heniche, M., "An Artificial Neural Network To Linearize A G (Tungsten vs. Tungsten 26% Rhenium) Thermocouple Characteristic in The Range Of Zero To 2000°C, *Industrial Electronics*", 1995. ISIE '95, Proceedings of the IEEE International Symposium on, Volume: 1,10-14 July 1995.
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. ve Bossanyi, E., “Wind Energy Handbook”, *John Wiley & Sons Ltd*, England, 0-471-48997-2, 2001.
- Castellanos, F. ve James, N., “Average Hour Wind Speed Forecasting with ANFIS”, *11th Americas Conference on Wind Engineering*, San Juan Puerto Rico, June 22-26 2009
- Cetisli, B., “El Yazısı Karakter Tanıma: Dalgacık moment özniteliklerinin yenilenen ANFIS ile sınıflandırılması”, Doktora tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, Şubat 2005.
- Chiu, S., "Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 2, No. 3, (1994).
- Considine, D.M., "*Process Instruments And Controls Handbook*" New York, MacGraw-Hill, 1985.
- Demirel Ö, Kakilli A. ve Tektaş M., “ANFIS Ve Arma Modelleri İle Elektrik Enerjisi Yük Tahmini”, *Gazi Üniv. Müh. Min. Fak.* Cilt 25- No-3, Ankara, 2010.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, "17120'nolu Gözlem evi", Bilecik, Ankara, 2011.
- Durak, M. ve Özer, S., “Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama”, *şahsi yayınlanan kitap*, Ankara, 2007.
- Durak, M., “Rüzgar Enerjisi Teknolojisi ve Türkiye Uygulaması, Akhisar Rüzgar Elektrik Santrali”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*, İstanbul, 2000.

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Dursun, Ö. O., “Meteorolojik Verilerin Veri Madenciliği ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 2005.
- Dündar, C., Canbaz, M., Akgün, N., Ural, G.,”Türkiye Rüzgar Atlası”, *DMİ yayınları*, Ankara, 2002.
- Elmas, C., “Bulanık mantık denetleyiciler”, *Seckin Yayıncılık*, 230 s., Ankara, 2003.
- ETKB.,”*Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı*”, 2010-2014,p16-17, Ankara, 2010.
- Gün, A., “Yetersiz Uyarımlı Bir Elektromekanik Sistem Gerçekleşmesi ve Denetimi”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 2007.
- Hafız, A.S.H., Abdel-Gawad, N. M., Salama, M. M., Hegazy, A. ve El- Debeiky, S., “Electric Load Forecast For Developing Countries”, *IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference No:11*, Cairo , Egypte, 429-441, (2002).
- Hau, E., “Wind Turbines, Fundamentals, Technologies”, *Application, Economics, 2nd ed*, Springer, Berlin, Germany, 10 3- 540- 24240- 6, 2006.
- Hocaoğlu F. O. ve Kurban, M., “Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ile Eskişehir Bölgesi için Güneşlenme Süreleri Tahmini”, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı*, İstanbul, 22-25 Eylül (2005).
- Jaramillo, O.A., Borja, M.A., “Wind speed analysis in La Ventosa”, *a bimodal probability distribution case, Renewable Energy*, 29 (2004) 1613–1630, Mexico, 2004.
- Johnson, G. L., “Wind Energy Systems”, *Electronic Edition*, Manhattan, USA, (2001).
- J.-S. R. Jang, C.-T. Sun ve E. Mizutani,” Neuro-fuzzy and soft computing”, *Prentice Hall*, New Jersey, (1997).
- Mahana, P.N., Trofimenkoff F.N., "*Transducer Output Signal Processing Using an Eight-bit Microcomputer*", IEEE Trans. Inst. & Meas., Vol. IM-35, No.2, 182-186,June1986.

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Manwell, J., F., McGowan, J., G. ve Rogers A.L., "Wind Energy Explained, Theory, Design and Application", *John Wiley & Sons, Ltd, University of Massachusetts, Amherst, USA, 0-470-84612-7*,(2002).
- MATLAB Fuzzy Logic Toolbox-2 User's Guide, *The MathWorks, Inc. COPYRIGHT 1995–2009*
- Özaktürk M., Yanıkoğlu E., Metin A., ‘‘Küçük Hidroelektrik Santralleri Gücünün Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini’’*,Elektrik-Elektronik Müh.*, Sakarya, Türkiye, (2008).
- Özdamar, A., ‘‘Büyük Anma Güçlü Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması’’, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, sayı: 32, Denizli, (2000).
- Polat, U., ‘‘Rüzgar Santralleri ve Enerji Sistemlerine Bağlantılarının İncelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 2000.
- Sachdeva S., Verma C.M.,’’ *Load Forecasting using Fuzzy Methods*’’, Yamuna Nagar, Haryana, *IEEE*, INDIA, (2008).
- Savino, J. M., ‘‘A Brief Summary Of The Attempts To Develop Large Wind-Electric Generating Systems In The U. S.’’, *N A S A Technical Memorandum, Lewis Research Center*, Cleveland, Ohio, NASA TM X-71605, (1974).
- Şaylan, L.,’’*Meteorolojik Aletler ve Gözlem Usulleri Dersi Notları*’’, 2009.
- Şen, Ç.,’’Gökçeada’nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi İle Karşılanması’’, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir 2003.
- T.C. Resmi Gazete S.25639.,’’*Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği*’’, 2004.
- T.C Resmi Gazete S.27007.,’’*Elektrik İletimi Sistemi: Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*’’, 2008.
- T.C Resmi Gazete S.25819, Kanun No:5346., ‘‘*Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun*’’, 2005.
- T.C Resmi Gazete S.26510, Kanun No: 5627, ‘‘*Enerji Verimliliği Kanunu*’’, 2007.

KAYNAKLAR(Devam ediyor)

- Ulanır, M. Ö., “Yel Değirmenlerinden Günümüze Rüzgar Enerjisi”, *Bilim Teknik Dergisi*, Nisan (1996).
- Unver, Ö. ve Gamgam H., “Uygulamalı Temel İstatistik Yöntemleri”,*Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 2008.
- Url-1 < <http://www.windpower.org/>>, alındığı tarih 27.08.2010
- Url- 2 < http://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protokolü >, alındığı tarih 25.08.2010
- Url-3 < <http://www.ruzgarturbiniturk.com/>>, 2011
- Url-4 < <http://www.eie.gov.tr/>>, 2010
- Url-5 < <http://web.gyte.edu.tr/>>, 2011
- Url-6 < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Basınç>>, 2011
- William R., “Comparative Analysis of Company Forecasts and Advanced Time Series Techniques Using Annual Electric Utility Energy Sales Data”, *International Journal of Forecasting*, (1985).
- WMO, “*Instruments and observing methods*”, *Report* No: 87, WMO TD No:1307., 2006.
- WWEA, “World Wind Energy Assossication Report 2011, *WWEA Head Office*, Bonn, Germany, 2011.
- Yoldas, U.C., “Elektrik Enerjisinde Yük Tahmini Yöntemleri Ve Türkiye’nin 2005–2020 Yılları Arasındaki Elektrik Enerjisi Talep Gelisimi Ve Arz Planlaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Recep MİNAZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Kurtalan 12.05.1981



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :Dicle Üniversitesi
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri : -

İş Deneyimi

Stajlar :-TEDAŞ
Projeler :-
Çalıştığı Kurumlar : TEDAŞ(2004–2006), TEİAŞ(2006–2008),
Gaziosmanpaşa üniversitesi(2009’dan itibaren)

İletişim

Adres : Gaziosmanpaşa Üniversitesi Niksar Teknik Bilimler
Meslek Yüksekokulu Niksar/TOKAT
Tel : 0505 381 57 27
E-Posta Adresi : recminaz@gmail.com

Diğer: -

Tarih: 10.08.2011

İmza