

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAN SERİLERİ MODELLERİ İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN
GÜÇ ÜRETİM TAHMİNLENMESİ**

FEYZA TURAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ BEDRİ KEKEZOĞLU**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZAMAN SERİLERİ MODELLERİ İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN
GÜÇ ÜRETİM TAHMİNLENMESİ**

Feyza TURAN tarafından hazırlanan tez çalışması 06.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr.Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr.Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr. Üyesi Altuğ BOZKURT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR
İstanbul Gelişim Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, yenilenebilir enerji sistemlerinin güç sistemlerine adapte edilmesi durumlarında karşılaşılan en önemli problemlerden bir tanesi olan 'belirsiz güç üretimi problemi' çözmeye yönelik olarak, zaman serileri ile rüzgar hızı tahmin çalışması yapılmıştır.

Çalışmam sırasında çok değerli yönlendirmeleri ile bana yol göstermesi ve son derece özverili davranışları için sevgili danışman hocam Dr.Öğr. ÜyesiBedri KEKEZOĞLU' na teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca hayat boyu, bana destek olmayı kendisine görev edinmiş kıymetli annem başta olmak üzere tüm aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ağustos, 2019

Feyza TURAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
BÖLÜM 2	
TAHMİN YÖNTEMLERİ	9
2.1 Süreklilik (Kalıcılık) Modeli	9
2.2 Fiziksel Yaklaşım	10
2.3 İstatiksel Yaklaşım	10
2.4 Sezgisel Yaklaşım ve Bazı Farklı Teknikler (HeuristicMethods)	11
2.5 Hibrit Modeller	11
BÖLÜM 3	
ZAMAN SERİSİ MODELLERİ	12
3.1 AR(OTOREGRESİF MODEL- ÖZBAĞLANIMSAL SÜREÇ, AUTOREGRESSIVE)	13
3.2 MA (HAREKETLİ ORTALAMA, MOVİNG AVERAGE)	14
3.3 ARMA (OTOREGRESİF HAREKETLİ ORTALAMA, AUTOREGRESSIVE MOVİNG AVERAGE)	14

3.4	ARIMA (OTOREGRESİF TÜMLEŞİK HAREKETLİ ORTALAMA, AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVİNGAVERAGE)	15	
3.5	BOX – JENKİNS Metodolojisi	15	
3.5.1	Otokorelasyon Fonksiyonu(Auto Correlation -ACF)	15	
3.5.2	Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu(Partial Auto Correlation -PACF) ...	16	
BÖLÜM 4			
ZAMAN SERİLERİ İLE RÜZGAR HIZI TAHMİNİ.....			25
4.1	Rüzgar Hızı Tahmini	28	
4.1.1	Şubat Ayına Ait Rüzgar Hızı Tahminleri	29	
4.1.2	Mart Ayına Ait Rüzgar Hızı Tahminleri	32	
4.1.3	Haziran Ayına Ait Rüzgar Hızı Tahminleri	34	
4.1.4	Bölgelere Ait Rüzgar Hızı Tahminlerinin Değerlendirilmesi.....	37	
4.2	Rüzgar türbini Güç retimi Tahmini	42	
BÖLÜM 5			
SONUÇ VE ÖNERİLER			45
KAYNAKLAR			47
ÖZGEÇMİŞ			51

SİMGE LİSTESİ

a	AR sürecine ait katsayılar
d	Fark alma işlemi sayısı
e_t	Hata terimleri
p	AR sürecinin katsayısı
q	MA sürecinin katsayısı
Y_t	Zaman serisi
θ	MA sürecine ait katsayılar
μ	Sabit terim
ρ	Otokorelasyon katsayısı
ϕ	Kısmi otokorelasyon katsayısı
T	Gözlem sayısı

KISALTMA LİSTESİ

AR	Otoregresif Model
ARMA	Otoregresif Hareketli Ortalama
ARMAX	Eksojenik Değişkenli Otoregresif Hareketli Ortalama
ARIMA	Otoregresif Tümlşik Hareketli Ortalama
ANFIS	Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
AIC	Akaike Bilgi Kriteri
BIC	Schwarz Bilgi Kriteri
GARCHX	Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Heterosidasyon
MA	Hareketli Ortalama
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MSE	Ortalama Kareli Hata
MAPE	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
NAR	Doğrusal Olmayan Yapay Sinir Ağları
NARX	Doğrusal Olmayan Otoregresif Eksojenik Sinir Ağları
NWP	Sayısal Hava Tahmini
PAR	Polinom Otoregresif Model
RMSE	Kök Ortalama Mutlak Hata
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3. 1 Rüzgar hızına ait zaman serisi grafiği.....	17
Şekil 3. 2 Rüzgar hızının birinci farkına ait zaman serisi grafiği.....	19
Şekil 4. 1 EViews programı arayüzü görünümü.....	27
Şekil 4. 2 EViews programı kullanıma ait görünüm	28
Şekil 4. 3 Çerkezköy bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	29
Şekil 4. 4 Çerkezköy bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	30
Şekil 4. 5 Çerkezköy bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	30
Şekil 4. 6 Çatalca bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	31
Şekil 4. 7 Çatalca bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	31
Şekil 4. 8 Çatalca bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	32
Şekil 4. 9 Çorlu bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	32
Şekil 4. 10 Çorlu bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	33
Şekil 4. 11 Çorlu bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	33
Şekil 4. 12 Malkara bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	34
Şekil 4. 13 Malkara bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	35
Şekil 4. 14 Malkara bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	35
Şekil 4. 15 Tekirdağ bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	36
Şekil 4. 16 Tekirdağ bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	36
Şekil 4. 17 Tekirdağ bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği.....	37

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 Seriyeye ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları.....	17
Çizelge 3. 2 Serinin birinci farkının otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları	20
Çizelge 3. 3 Tahmin aralığı değerlendirilmesi [25].....	24
Çizelge 4. 1 Şubat ayına ait rüzgar hızı değerleri.....	24
Çizelge 4. 2 Mart ayına ait rüzgar hızı değerleri.....	24
Çizelge 4. 3 Haziran ayına ait rüzgar hızı değerleri.....	24
Çizelge 4. 4 Şubat ayı 10 günlük tahmin aralığı sonuçları.....	37
Çizelge 4. 5 Şubat ayı 1 günlük tahmin aralığı sonuçları.....	38
Çizelge 4. 6 Şubat ayı 1 saatlik tahmin aralığı sonuçları.....	38
Çizelge 4. 7 Mart ayı 10 günlük tahmin aralığı sonuçları.....	24
Çizelge 4. 8 Mart ayı 1 günlük tahmin aralığı sonuçları.....	39
Çizelge 4. 9 Mart ayı 1 saatlik tahmin aralığı sonuçları.....	40
Çizelge 4. 10 Haziran ayı 10 günlük tahmin aralığı sonuçları.....	40
Çizelge 4. 11 Haziran ayı 1 günlük tahmin aralığı sonuçları.....	41
Çizelge 4. 12 Haziran ayı 1 saatlik tahmin aralığı sonuçları.....	41
Çizelge 4. 13 Türbine ait teknik veriler.....	42
Çizelge 4. 14 Şubat ayına ait güç üretim değerleri.....	43
Çizelge 4. 15 Mart ayına ait güç üretim değerleri.....	44
Çizelge 4. 16 Haziran ayına ait güç üretim değerleri.....	44

ZAMAN SERİLERİ YÖNTEMLERİ İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ GÜÇ ÜRETİM TAHMİNLENMESİ

Feyza TURAN

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr.Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU

Dünyanın sahip olduğu doğal kaynaklar ile enerji üreten insanoğlu, bu kaynakların tükenmeye başlaması ile birlikte büyük bir enerji sorunu ile yüzyüze gelmiştir. Hayatın her alanında elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması ve aynı zamanda küresel ısınmanın dünyaya verdiği zararların sonuçları birleşince bu durum daha dramatik hale bürünmüştür. Alternatif enerji kaynaklarına yönelen bilim insanları, yüzyıllardır insanların hayatlarında olan rüzgar ve güneş enerjilerini modern teknikler ile elektrığe çevirerek enerji piyasasına kazandırmışlardır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin mevcut güç sistemine adapte olması sırasında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Güç çıkışının sabit olmaması bu enerji kaynaklarının en büyük sorunudur. Belirsiz güç üretiminin en temel nedeni ise yenilenebilir enerji sistemlerinin doğrudan çevresel etkenlere bağlı oluşudur. Sıcaklık, nem dengesi, arazi koşulları, basınç, gölgelenme etkisi, rüzgarın yönü vb. faktörler rüzgar hızı ve güneş ışınımı değerlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için, enerjiye çevirilecek doğal büyüklüğün gelecek değerinin tahmin edilmesi yöntemi geliştirilmiştir. Böylelikle kesin doğruluk sağlanamamakla birlikte, güç üretimi hakkında bilgi sahibi olmak mümkün hale gelmiştir.

Tahmin yapabilmek için üretilen pek çok farklı yöntem vardır. Bu tez çalışmasında stokastik bir yöntem olan zaman serileri ile ilgili bilgi verilmiş rüzgar hızı analizi üzerine çalışılmıştır. Doğrusal olmayan zaman serisi analizi ARIMA ile farklı bölgelerde,

farklı zaman ölçeklerinde, farklı zaman dilimlerinde ile farklı örnekleme kümelerinde rüzgar hızı tahmini yapılmış vezaman serisi analizi yönteminin başarısı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, zaman serisi analizi, ARIMA, rüzgar hızı tahmini



**POWER GENERATION FORECASTING OF RENEWABLE ENERGY
RESOURCES BY USING TIME SERIES METHODS**

Feyza TURAN

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Dr. Bedri KEKEZOĞLU

With the natural resources of the world, the energy producing human being is faced with a big energy problem with the depletion of these resources. This situation has become more dramatic as the need for electricity in all areas of life is increased and at the same time the consequences of the damage caused by the global warming to the world are combined. Scientists who have turned to alternative energy sources have transformed wind and solar energies, which have been in people's lives for centuries, into electricity by modern techniques.

Some problems have arisen when the energy obtained from renewable energy sources is adapted to the existing power system. The non-fixed power output is the biggest problem of these energy sources. The main reason of uncertain power output is that renewable energy systems are directly related to environmental factors. Temperature, humidity balance, land conditions, pressure, ghosting effect, wind direction and so on. The factors greatly affect wind speed and solar radiation values. In order to overcome this situation, the method of forecasting the future value of the natural size to be converted into energy has been developed. Thus, it is possible to obtain information about the power output, although it is not possible to provide precise accuracy.

There are many different methods produced to forecasting. In this thesis, information about time series which is a stochastic method has been given and wind speed analysis

has been studied. Nonlinear time series analysis ARIMA has been used to estimate the wind speed in different time zones, different time scales and different sample sets, and the success of the time series analysis method.

Keywords: Renewableenergysystems, time series analysis, ARIMA, wind speed forecasting



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Modern dünyanın insan hayatına kattığı bütün kolaylıkların temelinde elektrik enerjisi bulunmaktadır. Elektrik enerjisinin üretimi pek çok farklı kaynaktan sağlanabilir. Fakat bu kaynaklar arasında temiz enerji olarak isimlendirilmiş yenilenebilir enerji kaynaklarının payı son yıllarda dikkat çekici ölçüde artmış ve diğer fosil yakıtlara bağlı geleneksel üretim sistemlerinin arasında yerini almıştır. Ülkemizde 2018 yılı sonu itibariyle üretilen toplam enerjinin % 6,6' sı rüzgardan, %2,6' sı güneşten elde edilmiştir [1]. Yenilenebilir enerji sistemlerinin elektrik üretiminde rol almaya başlamasıyla, güç sistemine adaptasyonu noktasında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin en önemlilerinden bir tanesi enerji üretimin çevresel faktörlere bağlı olarak, belirsiz oluşudur. Bu çevresel faktörler arasında basınç, sıcaklık, rüzgarın yönü, nemlilik, arazi yapısı, engebe durumu, gölgelenme etkisi, etraftaki binaların bölgeye etkisi vb. etkiler sayılabilir. Özellikle güç üretimi ve dağıtımını planlaması yapan merkezler hangi üretim tesisinden ne kadar enerji sağlanacağını bilmek isterler. Böylelikle hem kaliteli, güvenli bir işletme hem de ekonomik yük dağılımı sağlanmış olur.

Kaliteli ve güvenilir bir güç sisteminin ülkelerin gelişmişlik düzeyinin de bir göstergesi sayılabileceği günümüz dünyasında, güç sistemi açısından güç üretim tahminlenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Elektrik üretiminde arz-talep dengesi çok önemlidir. Enerji büyük ölçüde depolanamadığından, bir yenilenebilir enerji kaynağında şartların en elverişli olduğu zamanda fazla üretim yapılması sistemi daha verimli hale getirmemektedir. Üretim ile tüketim arasında denge sağlanabilmesi ile kayıpların veya enerji yetersizliklerinin önüne geçilmeye çalışılır. Bu nedenle güç üretim tahminlenmesi

enerji piyasasında büyük bir önem taşımaktadır [2]. Rüzgardan elde edilecek güç sözkonusu olduğunda, diğer enerji üretim sistemlerinin güç çıkışlarının güvenilirliği ile rekabet edebilmesi için rüzgar türbini güç üretim tahmini yapma işlemi ayrıca önem kazanır [3]. Bir rüzgar türbini ya da tarlasından elde edilecek güç çıkışı için öncelikli olarak rüzgar hızının tahmin edilmesi gerekir. Tahmin yapmak için geliştirmiş pek çok yöntem vardır. Bu yöntemlerden bazıları yapay sinir ağları, bulanık mantık, hibrit sistemler, zaman serileri analizi olarak sıralanabilir. Bu tez çalışmasında zaman serileri analizi ele alınmıştır.

Zaman serisi, belirli bir zaman aralığında, ölçülebilir bir büyüklüğe ait değerler verisidir. Zaman serileri tahmin yapma işlemlerinin ilk basamağıdır. Hayatın her alanından pek çok olgu, zaman serileri şeklinde ifade edilebilmektedir. Böylelikle verilerin yorumlanması, matematiksel olarak işlenmesi ve sonrasında analiz edilerek geleceğe dair tahminde bulunulması mümkün hale gelmektedir. Bu tez çalışmasının 1.bölümünde konu ile ilgili literatür irdelenmiştir, 2. bölümünde tahmin yöntemlerinden bahsedilmiş, 3. bölümünde ise zaman serileri anlatılmış ve 4. bölümünde uygulama çalışması ayrıntılarıyla paylaşılmıştır. Çalışma 5. Bölüm ile sonlandırılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Zaman serileri ile analiz fikri ilk olarak iktisat alanında ortaya çıkmıştır. Özellikle 1970' li yılların başlarında pek çok bilim insanı tarafından çalışılmıştır. Kullanılmaya başlandığı ilk günden bugüne kadar pek çok bilim insanı bu yöntemlerin daha etkin sonuç vermesi için önerilerde bulunmuştur. Zaman serisi analizi ile ilgili yapılmış çalışmalar birkaç sınıfa ayırarak irdelenebilmektedir.

İktisat alanında yapılan başlıca çalışmalara bakılacak olursa, 1970 yılında Box ve Jenkins yazdıkları kitapta, daha sonra kendi isimleri ile anılacak olan Box-Jenkins metodolojisini literatüre katmışlardır. Box-Jenkins yaklaşımında, zaman serilerin durağan olmadığı durumlarda ARMA(p,q) sisteminin ARIMA(p,d,q) ' ya nasıl dönüştürüleceği anlatılmıştır. Böylelikle Box-Jenkins yaklaşımı hem zaman serileri analizinin kullanılmasını kolaylaştırmış hem de sistematik hale getirerek zaman serilerine olan ilginin artmasını sağlamıştır. Ayrıca bu serilerin analizinin bilgisayar programları ile yapılabilmesinin

önünü açmıştır. Cimrilik prensibine dayanan bu yaklaşımdan sonra, Box – Jenkins'in yaptığı iyileştirmeler ile bu yöntem hem daha kullanışlı hale gelmiş, zaman serileri analizi hem de iktisat ve ekonomi problemleri dışında da diğer bilim dallarından, geniş bir ölçekte çalışmalarda yer almaya başlamıştır [4]. 1972 yılında Nelson Amerikan ekonomisi ile ilgili bir tahmin modeli oluşturmuş ve ARIMA' yı kullanmıştır [5]. İlk basımı 1978 yılında yapılan kitabında Gujarati, zaman serileri ile ilgili bilinmesi gereken her noktayı ayrıntılı biçimde anlatarak literatüre kazandırmıştır [6].

Pek çok araştırmacı kendi ülkesi ile ilgili çalışmalarda zaman serilerinden özellikle de ARIMA' dan yararlanmıştır. Hill vd. İngilterenin güç sistemi için rüzgar hızının tahminini coğrafi konuma göre, mevsimselliğe göre vb. farklılıklarını ele alarak incelemiştir [7]. İspanya da ise Perez-Mora vd. hem güneş ışınımı hem de rüzgar hızı üzerinde çalışmışlardır. En iyi tahmin sonucunu elde etmek istatistiksel yaklaşım ARIMA ve sezgisel yaklaşım NARX(Non linear autoregressive exogenous neural network) 'i birlikte uygulamışlar ve 24 saatlik tahmin sonucu üretmişlerdir. Sonuç olarak güneş ışınımını tahmin sonuçlarının rüzgar hızı tahmininden daha iyi olduğu ve NARX yaklaşımının her iki büyüklükte de daha iyi çıktılar verdiği sonucuna ulaşmışlardır [8]. Jiang ve arkadaşları rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına açılan enerji sahası sayesinde ARIMA ile Çin'in yıllık kömür tüketimi ve fiyat tahminini yaparak gelecek 30 yıl içerisinde göstereceği düşüşü incelenmiş ve oldukça gerçekçi bir sonuç bulmuşlardır [9]. Potter vd. Avustralya üzerinde bir örneklem noktasında rüzgârın hızının ve yönünün tahmin edilmesi için ilk kez ANFIS(Adaptiveneuro- fuzzyinferencesystem) yaklaşımından bahsetmiştir [10]. Dünya genelinde kullanılan zaman serileri yöntemleri ülkemizde de ağırlıklı olarak 2010 yılından sonra pek çok farklı alanda çalışma konusu edilmiştir.

Türkiye'de yapılan çalışmalarda da zaman serilerinden faydalanılmıştır. Akgül, zaman serilerinin analizini ve ARIMA modelinin kullanımına yönelik yazdığı kitabında pek çok örnek ile bu yöntemi iktisat alanının dışındaki uygulamalar için de anlaşılır kılmıştır [11]. Sevüktekin vd. ise Eviews uygulamalı çalışmaları içeren kitapları ile türkçe kaynak olarak önemli bir yere sahiptir [12]. Köse vd. Karabük ilinin 24 saatlik rüzgar hızı tahmini yapmış ve en iyi ARIMA modelini seçmiştir [13]. Çiğdem, yazdığı yüksek lisans tezinde zaman serilerinde mevsimsel düzeltme üzerine çalışmış ve aylık sanayi üretim

indeksi üzerinde uygulama yapmıştır. Sonuç olarak seriyi bölerek incelemenin daha iyi olduğunu görmüştür [14]. Zakeri, Türkiye elektrik piyasasında fiyat tahmini üzerine yüksek lisans tezi hazırlamıştır. Elektrik fiyatlarının saatlik tahminini ARMAX ve GARCH yöntemleri ile hibrit olarak hesaplamıştır [15]. Akkurt, Türkiye'nin ve İstanbul'un doğal gaz tüketiminin geleceği hakkında bilgi sahibi olmak adına zaman serileri yönteminden yararlanmıştır. Yüksek lisans tezinde mevsimsel ARIMA yöntemini kullanarak elde edilen sonuçların gerçek değerlere oranla oldukça yüksek olduğu sonucuna ulaşmıştır [16]. Dönmez ise tezinde Turizm örneği üzerinde, ARIMA sonuçlarını iyileştirmek için yapay sinir ağlarını kullanmıştır [17]. Bircan vd. yaptığı çalışmada Box-Jenkins metodolojisinin uygulanması ile ilgili bilgiler vererek aylık döviz kuru üzerinde ARIMA yöntemini kullanmıştır [18]. XU vd. yenilenebilir enerji sistemlerinin uyum sağlama payının yüksek olduğu enerji sistemlerinde tüketici odaklı fiyatlandırmanın zaman serileri yöntemlerinden yararlanarak tahmin edilmesi üzerinde çalışmışlardır. Tüketicilerin farklı kombinasyonlarda ev aletlerini kullanma durumları için üretilen tahmin sonuçları ile enerji tasarrufu sağlayabileceğini öngörmüşlerdir [19]. Ballı, tezinde gıda sektörü üzerinden yapay sinir ağları ve stokastik yöntemler ile karşılaştırmalı çalışmıştır. Yapay sinir ağlarının daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir [20]. Turgut vd. ise zaman serileri Ankara'daki hava kirliliğinin gelecekteki değerlerini tahmin etmek için kullanmışlardır. Sonuç olarak ARIMA değerleri ile gelecekte hava kirliliğinin hayati sınırların neresinde kaldığı değerlendirilmiştir [21]. Çelik, zaman serileri yöntemini 64 yıllık bal üretimi verisini işlemek için kullanarak 6 yıllık tahmin yapmıştır [22]. Boltürk, yüksek lisans tezinde elektrik talebi tahmininde kullanılan yöntemleri karşılaştırmıştır. Genel olarak Bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile yapılan tahminlerin ARIMA modellerine kıyasla daha iyi sonuç verdiğini söylemiştir [2]. Ertaç, doktora tezinde İstanbul'un 100 yıllık meteorolojik verilerini kullanmıştır. Kısmi en küçük kareler yöntemini çok değişkenli gömme yöntemlerini daha etkin bir biçimde kullanma çalışması yaparak tahmin sonuçlarını iyileştirme ve hataları değerlendirerek sonuç almayı hedeflemiştir. Çalışmasında çoklu tahmin üzerinde duran Ertaç, sonuçta doğrusal olmayan zaman serilerinin tahmini için normal en küçük kareler, kısmi en küçük kareler ve yapay sinir ağları yöntemlerini karşılaştırmış, en iyi sonucu kısmi en küçük kareler yöntemi ile edildiğini göstermiştir [23].

Tahmin yöntemleri ve hibrit sistemleri kullanmayı öneren çalışmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Soman vd. tahmin yöntemleri hakkında inceleme çalışması yapmışlardır. Buna ek olarak rüzgar hızı çalışmalarında tahmin yapılırken göz önünde bulundurulması gereken zaman skalası ve ayrıntılı karşılaştırma tablosu ile konuyu anlaşılır bir biçimde açıklamışlardır [24]. Chandra vd. de hem rüzgar hızı tahmini üzerine çalışan bilim insanları hem de elektrik üreticileri için gerekli bilgileri içeren detaylı bir inceleme çalışması sunmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda rüzgar hızının tahmini yapılacak bölgeye ve tahmin süresine bağlı olarak kullanılacak tahmin yöntemlerinin farklılaşacağını ifade etmişlerdir [25]. Filik vd. kısa dönem rüzgar hızı tahmininde kullanılmak üzere hem AR hem de YSA yöntemlerini birlikte kullanmayı önermişlerdir. Bu hibrit yöntemin sonucunda, kullanılan iki yöntemin tek başlarına uygulanmaları haline oranla daha başarılı olduğunu göstermişlerdir [26]. Karthica vd. ise önerdikleri hibrit modelde, süreçleri birlikte çalıştırmak yerine peşpeşe çalıştırmayı denemişlerdir. Yapay zeka tekniklerini, ARIMA yöntemi ile elde edilen kısa dönem rüzgar enerjisi talep tahmin sonuçları ile gerçek değer arasındaki sapma miktarını düzeltmek için kullanmışlardır [27]. Oprea vd. ARIMA yöntemini hem pv panel hem de rüzgar türbini üzerinde kullanmışlar ve sonuç olarak bu yöntemin pv paneller üzerinde daha doğru çıktılar verdiğini görmüşlerdir. Güneş ışınımının, rüzgar hızına oranla daha doğru tahmin edilebilir olduğunu literatüre katmışlardır [28]. Akcan rüzgar enerjisi üretim tesislerinin en verimli biçimde konumlandırılması amacıyla uzun dönem için rüzgar hızının tahmin edilmesinin önemi hakkında yaptığı çalışmada bir çok yöntemi karşılaştırmış ve sonuç olarak üstel düzeltme yönteminin daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır [29]. Rüzgar hızı verileri oldukça büyük bir veri setidir. Kırbas ise konuya farklı bir yerden bakarak verileri indirgemeyi denemiştir. Sonrasında ise farklı ARIMA ve NAR(Nonlinear YSA) değerleri denemiştir. Sonuç olarak ARIMA değerlerinin birbirinden çok farklı sonuçlar vermediğini ancak ARIMA ile YSA değerlerinin birbirinden oldukça farklı olduğunu görmüştür [30]. Ayrıca YSA yönteminde geriye dönük veri sayısının artırılmasının tahmin sonuçlarına olumlu etki yapmadığını göstermiştir. Böylelikle, rüzgar hızı verilerinin eski değerleri ile yeni değerleri aralarındaki ilişkinin güçlü olmadığı bilgisi literatüre katılmıştır. Mahmutoglu vd. , elektrik tüketim öngörüsü ile ilgili önerilerde bulunmak adına ARIMA yönteminden faydalanmışlardır. Rüzgar

enerjisinin piyasadaki payının artacağı sonucuna ulaşmışlar ve bu yatırımların devlet tarafından gerçekleşmesi halinde beklentinin karşılanabileceği önerisinde bulunmuşlardır [31]. Hou vd. elektrik üretimi tahmin sonuçlarının hata analizini yapmak için bir yazılım önermişlerdir. Böylelikle ARIMA ile dalgacık analizini birleştirerek hesaplanan tahmin sonuçlarının gerçek verilere daha iyi uyum sağlaması hedeflenmiştir. Önerilen yöntemle göre dalgacık analizi ile verilere etki eden bileşenlerin ne zaman, ne kadar etki ettiği gibi bilgiler edinilerek tahmin sonuçları revize edilmektedir. Elde edilen sonuçlar öngörü aralığı içinde başarılı bulunmuştur. Ayrıca bu makalede stokastik tahmin yönteminin deterministik hava durumu tahmin yöntemi ile hibrit kullanılmasının rüzgar hızı tahminin belirsizliğini büyük ölçüde gidereceği önerisinde bulunulmuştur [32]. Çolak vd. farklı zaman ölçeklerinde yaptıkları çalışmalarında kısa dönem rüzgar hızı tahmininde zaman serilerinden hareketli ortalama modelinin daha başarılı olduğunu göstermişlerdir [33]. Leithon vd. hem yenilenebilir enerji hem geleneksel enerji ile çalışan hücresel baz istasyonlarının işletimindeki giderleri en aza indirmeyi tahmin tekniklerini baz alan bir enerji yönetim stratejisi önermişlerdir. Çalışmalarında ARIMA – MarkovChain modelini solar sistemler üzerinde kullanmışlar ve sonuçta tasarruf sağlanmasını sınırlayan bir pil boyutu olduğunu bulmuşlardır [34]. Carvalho vd., rüzgar hızının yanlış tahmin edildiği durumda güç sistemindeki enerji açığının kapatılabilmesi için operasyonel rezerv planlaması üzerine hazırladıkları makalede, Naive tahmin modeli ile ARIMA yöntemini kısa dönem rüzgar enerjisi tahmini yaparak belirli bir rüzgar santralinin operasyonel rezerv olarak kullanılması halindeki riskleri karşılaştırmışlardır. Sonuçta ARIMA modelinin hata oranının daha düşük olduğunu söylemiştir [35]. Chen ve arkadaşı, çok kısa dönem ve kısa dönem zaman aralıklarında ARIMA, yapay sinir ağları ve ANFIS (yapay sinir ağları - bulanık mantık hibrit yaklaşımı) olmak üzere üç ayrı tahmin yöntemini karşılaştırmışlardır. Çok kısa dönem tahmininde üç yöntemde benzer sonuçlar vermesine karşın, tahmin aralığı arttıkça ARIMA yönteminin diğer iki yöntemle kıyasla daha kötü sonuçlar verdiğini göstermişlerdir [36]. Kerem vd., verileri üzerinde 8 farklı model ile çalışmışlardır. Bu modeller rastgele yürüyüş, ikinci dereceli trend, doğrusal trend, basit hareketli ortalama, ARIMA ve NARX' dir. Sonuçta NARX ve ARIMA modellerinin kısa dönem rüzgar hızı tahmininde olumlu sonuçlar verdiğini, fakat en iyi

sonucu NARX modelinin verdiğini göstermişlerdir [37]. Karakuş ve arkadaşları, 12 saat ve üzeri rüzgar hızı tahmininde ARIMA modellerinin yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada polinom AR modeli- PAR 'ı kullanmışlar ve uzun dönem rüzgar hızı tahmininde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [38]. Prema ve arkadaşı zaman serilerini güneş ışınımını 1 gün önceden tahmin etmek üzerine farklı veri setleri ile çalışmışlardır. Bu çalışmada zaman serilerinin özellikleri yorumlanarak iki ayrı ayrışım modelinden (toplamsal ve çarpımsal) bahsedilmiştir. Çarpımsal ayrışım olarak adlandırılan modelin sonuçta daha verimli olduğu belirtilmiştir. 2 aylık veri seti ile Hindistan özelinde çalışılan makalede, bu sonuçların çalışma alanını ve veri setine göre değişeceği de belirtilmiştir [39]. Jiafu vd., ARIMA zaman serisi modelini bir fabrikanın yedek parça talebini tahmin etmek için kullanmışlardır. Tahmin etme sürecini 3 adımda açıklamışlardır. Bu adımlar, veri toplamak, model oluşturmak ve test etmek, tahmin yapmak şeklinde ifade etmişlerdir. Sonuçları gerçek verilerle oldukça iyi uyum sağlamıştır [40].

Bahsedilen bütün çalışmalar zaman serilerinin en verimli kullanım şekline odaklanmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışmamızda ise zaman serileri analizi ile ilgili 4 farklı sınıflandırma üzerinde durulmuş, bu farklılıkların ve sonuçların analiz edilmesi ile ARIMA yönteminin kullanışlı olup olmadığı üzerinde durulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışması ile daha çok iktisat alanına ait terminolojisi ve uygulamalarıyla literatürde yer edinmiş zaman serileri ile analiz yönteminin, rüzgar hızı tahmini ile çalışma performansı incelenmiştir. Zaman serilerine ait gerekli terminoloji ve yapılan uygulama çalışması sunulmuştur. Zaman serileri ile rüzgar hızı tahmininin verimli olduğu ve olmadığı durumlar hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Zaman serileri analizinin, mühendislik alanında kullanılmaya başlamasıyla birlikte rüzgar hızı tahmini ile ilgili çalışmalarda istatiki bir yaklaşım olarak yer bulmuştur. Rüzgar hızı güç üretimini tahmin edebilmenin yolu, rüzgar hızını tahmin etmekten geçmektedir. Fakat rüzgar hızı oldukça değişkendir ve doğa ile direkt olarak ilişkilidir.

Bu nedenle her bölgeye ait rüzgar davranışı farklıdır. Zaman serileri analizi ise farklı örnekleme kümelerinde, farklı tahmin aralıklarında birbirinden farklı sonuçlar üretmektedir.

Tez çalışmamızda farklı bölgeler üzerinde, farklı örnekleme aralıklarında zaman serileri kullanılarak tahminleme yapılması hedeflenmiştir. Gerçek bölgeler üzerinde yapılan analizler sonucundaen küçük örnekleme aralığında dalgalanmaların en az görüldüğü bölgelerde doğruya en yakın tahminlemelerin yapılacağı öngörülmüştür.



TAHMİN YÖNTEMLERİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının istenilen zaman içerisinde ne kadar üretim yapacağını tahmin edilebilmesi için geliştirilmiş birçok yöntem, yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Tahmin yapılarak, serinin sonraki değerlerinin doğruya en yakın biçimde bilinmesi hedeflenir. Elde edilen tahmin sonuçları, tahmin aralığına bağlı olarak bazı kolaylıklar sağlar. Örneğin uzun vadeli tahmin sonuçları kullanılarak rüzgar türbininin bakım ve onarım zamanına karar verilebilir. Ya da kısa dönem tahmini ile elektrik enerjisi yönetimi yapılır [41]. Ayrıca belirlenmiş güç çıkışları ile enerji piyasasını sağlam temeller üzerine oturtabilmek için rüzgar hızı tahmini son derece önemlidir. Yapılan literatür taraması sonucunda, rüzgar hızı tahmin yöntemlerinin beş başlık altında incelenebileceği görülmüştür [24,25]. Bu başlıklar şunlardır:

- 1-Süreklilik (Kalıcılık) Modeli
- 2-Fiziksel Yaklaşım
- 3-İstatiksel Yaklaşım
- 4-Sezgisel Yaklaşım ve Bazı Farklı Teknikler (HeuristicMethods)
- 5-Hibrit Modeller

2.1 Süreklilik (Kalıcılık) Modeli

Kalıcılık metodu olarak da bilinen bu metod, en basit tahmin yöntemi olarak kabul edilir. Bazı çalışmalarda Naive belirleyici adı ile anılır. Bu metodda yapılmış en son ölçüm değerleri toplanır. Rüzgar hızının gelecekteki bir değerinin ölçümü yapıldığı zamanki ile aynı olacağını varsaymak üzerine kurulmuştur [25]. Bu model iyi bir tahmin

yapmaktan çok, diğer tahmin yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırma yapmak için kullanılır. Tercih edilen tahmin yönteminin sonucu süreklilik modelinin sonucundan iyi ise kullanılmaya değer olduğuna karar verilir. Gelişmiş tahmin yöntemleri için bir basamak görevi görür [41]. Süreklilik modeli, 3 saatten kısa tahmin aralığında kullanılır, daha ileri zaman ölçeğinde dikkate alınmaz [3].

2.2 Fiziksel Yaklaşım

Bu yöntemde Sayısal Hava Tahmini (NumericWeatherPredictors/ NWP) kullanılır. Tahmin yöntemlerinin temelinde yer alır. Rüzgar hızını tahmin edebilmek için atmosfer, yeryüzünün bizim ilgilendiğimiz kısmının fiziksel koşulları bu yaklaşımın hareket noktalarıdır. Rüzgar hızını etkileyen basınç, sıcaklık, yüzeyin pürüzlülüğü, bölgedeki genel doğa koşulları vb. göz önünde bulundurulur. Sayısal hava tahmini, çok güçlü bilgisayarlar ile çalışmayı gerektirir. Bu nedenle çok kısa aralıklarla kullanmak maliyetlidir. Genellikle orta dönem rüzgar hızı tahmininde kullanılırlar [24]. Bu yaklaşım ile çalışıldığında hava koşullarının en az değişkenlik gösterdiği durumlarda daha doğru tahmin sonuçları elde edilir [24,25].

2.3 İstatiksel Yaklaşım

İstatiksel yaklaşımda, tahmini yapılmak istenen büyüklüğün yalnızca geçmiş değerleri kullanılarak modeller oluşturulur. Rüzgar hızına ait geçmiş veriler SCADA sistemi ile toplanır, zaman serisi denklemlerinde kullanılmak üzere işlenir. Zaman serileri için 'doğrusal filtreleme tekniği' de denir. Bu tahmin yaklaşımı diğer metotlara göre daha ekonomiktir. Bazı çalışmalarda hata oranının diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiş olsa da özellikle kısa dönem rüzgar hızı tahmininde uygun zaman serisi modeli ile modellendiğinde oldukça tatmin edici sonuçlar alınmıştır. Özellikle 3-6 saat arası rüzgar hızı tahmininde süreklilik modeline göre daha iyi sonuç verir [3]. İstatiksel yaklaşım, zaman serileri yöntemlerini içerir. Zaman serileri ise kendi içerisinde pek çok farklı model barındırır. Bunlardan bazıları; AR, MA, ARMA, ARIMA, ARX, ARIMAX, SARIMA, üstel düzeltme olarak sayılabilir. Rüzgar hızının doğasına uygun olan zaman serisi yöntemi en doğru biçimde tespit edilmeye çalışılır.

Çalışmamızın konusu olan Zaman serisi modellerine Bölüm 3' te ayrıntılı olarak değinilmiştir.

2.4 Sezgisel Yaklaşım ve Bazı Farklı Teknikler (Heuristic Methods)

Sezgisel yaklaşımda daha çok yapay sinir ağları (Artificial Neural Network) modeli kullanılır. Yapay sinir ağları doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, farklı problemler için kullanılabilmesi, öğrenme yeteneğine dayanması nedeniyle geliştirilmeye açık olması, genelleme yapılabilmesi gibi öne çıkan özellikleri ile son yıllarda pek çok çalışmanın konusu olmuştur. Bu yaklaşımdan sayısal zeka tekniği (Computational Intelligence Technique) olarak da bahseden, literatürde yapay sinir ağlarının istatistiksel yaklaşım adı altında gruplandırıldığı çalışmalar da mevcuttur [36].

Yapay sinir ağları katmanlardan oluşur. İlk katmanda geçmiş veriler YSA' yı eğitmek için kullanılır. YSA, uzun süreli bir eğitim seti kullanılarak giriş- çıkış değerleri arasındaki ilişkiyi öğrenir. Veri seti zenginleştikçe YSA daha iyi sonuçlar verebilir[24]. Daha sonra gizli katman ya da katmanlar ve çıkış katmanı tahmin yapmak için kullanılır. Yapay sinir ağlarından başka Bulanık mantık (Fuzzy Logic), Dalgacık dönüşümü (Wavelet Transform), Entropi temelli eğitim (Entropi Based Training) vb. yöntemlerde tahminleme amaçlı kullanılmaktadır.

2.5 Hibrit Modeller

Hibrit Modeller, genellikle iki farklı tahmin yönteminin bir arada kullanılmasıyla oluşur. Bu yöntemlerin zaman ölçekleri de farklı olabilir. Bu hibrit çalışmalardan bazıları şöyledir; fiziksel yaklaşım olan sayısal hava tahmininin yapay sinir ağları ile birlikte kullanılması orta dönem rüzgar hızı tahmininde iyi sonuçlar verir. Yine sayısal hava tahmini, zaman serileri ile birlikte de kullanılabilir. Yapay sinir ağları ile birlikte Bulanık mantık yönteminin bir arada kullanılması ANFIS adı ile anılır. ANFIS çok kısa dönem rüzgar hızı tahmininde iyi sonuçlar verir. Çalışmalarda zaman serileri ile yapay sinir ağlarının hibrit kullanımına sıklıkla rastlanmıştır. Ayrıca zaman serilerinin pek çok türetilmiş yöntemleri vardır. Örneğin üstel düzeltme, ARMAX... gibi [24]. Zaman serileri yöntemi çok kısa dönem tahmininde diğer yöntemlere oranla daha iyi sonuç vermektedir. Tahmin süresi uzadığında ise başarı oranı düşmektedir [36].

ZAMAN SERİSİ MODELLERİ

Mühendislikte ve diğer sayısal bilimlerde bir çalışmanın temelinde matematiksel ifadeler yer alır. Eğer sistem matematiksel denklemler ile bir bütün olarak ifade edilebilirse sonuç kesin doğrulukta olacaktır. Çalışılan büyüklüğün gelecekteki durumunun hesaplanan değerlerden farklı olması beklenmez. Böyle sistemlere 'deterministik sistem' veya 'deterministik süreç' denir. Ancak her durumda, sisteme ait bütün bilgiler elde edilememiş olabilir veya bu bilgilerin matematiksel olarak tanımlanabilmesi mümkün olmayabilir [42]. Zamana bağlı süreçler içinde bilinmezlikleri barındırır. Dolayısıyla bir süreci matematiksel olarak ifade edebilmek için farklı bir bakış açısı geliştirmek gerekir. Zaman serisi, ilgilenilen bir büyüklüğün zaman içinde sıralı ölçümlerinin veri seti haline getirilmesiyle oluşturulur [11]. Zaman serileri ile tahmin ise, bir büyüklüğün geçmiş değerlerine bakılarak analiz edilmesi ile model kurularak, geleceğe dönük değerlerinin tahmin edilmesidir. Böyle sistemlere 'stokastik yöntemler' ya da 'rassal süreç' denir. Bu yöntem, diğer tahmin yöntemleri arasında İstatistiksel Yaklaşım sınıfında yer almaktadır. Zaman serileri analizi ile gerçekleşmiş olan serinin stokastik sürece ait içerdiği ilişkileri en iyi biçimde ortaya çıkararak gelecek verileri en iyi doğrulukla tahmin etmek amaçlanır. Tahmin yapmak için oluşturulan modeller stokastik modellerdir [4]. Ortaya çıkarılan modelin, serinin yapısına benzemesi beklenir [12]. Zaman serileri;

$$Y_t = f(Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, e_t, e_{t-1}, e_{t-2}, \dots) \quad (3.1)$$

genel ifadesinden hareketle, serinin geçmiş değerlerini ve hata terimlerini içerir. Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots değişkenleri seriye ait geçmiş değerleri ve e_t, e_{t-1}, \dots değişkenleri ise hata terimlerini ifade etmektedir.

Zaman serisi modelleri iktisat ve ekonomi alanında, 1970' lerin başından itibaren sıklıkla çalışılmıştır. Zamanla mühendislik alanında yapılan çalışmalarda da kullanılmaya başlanmıştır.

Rassal süreçler için analiz yapabilmek, serinin durağan olması ile mümkündür. Zaman serisinin varyansında ve ortalamasında istatistiksel olarak anlam ifade eden bir değişme yoksa bu zaman serisi durağan olarak adlandırılır. Durağan olma koşulları;

$$E(Y_t) = \mu \quad (3.2)$$

$$var(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma^2 \quad (3.3)$$

$$E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)] = cov(Y_t, Y_{t+k}) = \gamma_k \quad (k \neq 0) \quad (3.4)$$

olarak kabul edilmiştir. Eşitlik 3.2' de serinin ortalamasının sabit olduğunu, Eşitlik 3.3' de ise serinin varyansının zamandan bağımsız, belirli bir değerinin olduğunu göstermektedir. Diğer eşitlik 3.4' de ise serinin iki değeri arasındaki kovaryansın sadece bu değerlerin seri içindeki uzaklıklarına bağlı olması durumu ifade edilmiştir [43]. Bir serinin, baz alınan örnekleme süresi boyunca ortalaması, varyansı ve kovaryansı sabit kalıyorsa sözkonusu serinin durağan olduğu söylenebilir [6]. Ancak gerek iktisadi verilerde gerekse doğa olaylarında durağanlığa pek sık rastlanmaz. Serinin içerdiği durağanlık dışı etkilerden arındırılması ile seri durağan hale getirilir. Böylelikle analiz edilebilir.

Zaman serisi modelleri 4 başlıkta incelenirler. Serinin durağan olup olmamasına ve karakterinin analizine göre hangi yöntemin kullanılacağına karar verilir. Amaç seriye en çok uyan ve en basit şekilde çözüme ulaştıran lineer stokastik (rastlantısal) modeli belirleyebilmektir [13].

3.1 AR(OTOREGRESİF MODEL- ÖZBAĞLANIMSAL SÜREÇ, AUTOREGRESSIVE)

Otoregresif modeller zaman serisinin gelecek değerinin, serinin geçmiş değerlerini ve hata terimini içeren modellerdir. AR(p) şeklinde gösterilir. p katsayısı AR sürecinin

kaçıncı dereceden olduğunu belirtir. Aynı zamanda p katsayısı ile gelecek değerin, geçmişteki kaç veri ile bağlantılı olduğu ifade edilmiş olur. AR sürecinin genel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$Y_t = a_1Y_{t-1} + a_2Y_{t-2} + \dots + a_pY_{t-p} + e_t \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5' de verilen AR ifadesinde a değerleri modelin katsayılarıdır. Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots değişkenleri seriyeye ait geçmiş değerler ve e_t ise normal dağılmış hata değişkenidir [42].

3.2 MA (HAREKETLİ ORTALAMA, MOVING AVERAGE)

Zaman serisi süreci yalnızca otoregresif model ile açıklanamıyorsa, yani serinin geçmiş değerlerinin dışında da süreci etkileyen girdiler mevcutsa hareketli ortalama süreci değerlendirilir. Hareketli ortalama serinin geçmiş değerleri arasındaki belirli bir sayıdaki hata terimlerini içerir. Gösterimi ise aşağıdaki gibidir:

$$Y_t = \mu + e_t + \beta_1e_{t-1} + \beta_2e_{t-2} + \dots + \beta_qe_{t-q} \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6' da β değerleri hareketli ortalama denkleminin katsayılarını, e değerleri ise hata terimlerini gösterir. μ değeri sabit bir bileşen olarak serinin ortalamasını ifade eder[13].

3.3 ARMA (OTOREGRESİF HAREKETLİ ORTALAMA, AUTOREGRESSIVE MOVING AVERAGE)

Zaman serisi hem otoregresif özellik hem de hareketli ortalama özelliği taşıyorsa bu durumda seriyeye ARMA demek uygun olacaktır. Yani seride hem Y'nin hem de e' nin bir önceki değerlerini içerdiği modeldir. Şu şekilde gösterilir:

$$Y_t = \vartheta + a_1Y_{t-1} + a_2Y_{t-2} + \dots + a_pY_{t-p} + e_t + \beta_1e_{t-1} + \beta_2e_{t-2} + \dots + \beta_qe_{t-q} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7' de görüleceği üzere ARMA modeli hem AR hem de MA denkleminin değerlerini içerir. ARMA ifadesinde ϑ değeri ise Y_t ' lerin ortalaması ile ilgili sabit kabul edilen bir değerdir [33].

Yukarıda sözü geçen AR(p), MA(q), ARMA(p,q) modelleri durağan seriler için kullanılmaktadır.

3.4 ARIMA (OTOREGRESİF TÜMLEŞİK HAREKETLİ ORTALAMA, AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE)

Bir seri durağan değil ise bu seriyi analiz ederek gelecek değerlerinin tahmin edilebilmesi için serinin durağanlaştırılması gerekir. Eğer seri farkı alınarak durağanlaştırılabilirse bu seri ARIMA(p,d,q) süreci ile modellenir. ARIMA sürecinde, serinin kaç kere farkı alınarak durağanlaştırılmış ise bu fark sayısı, d katsayısı olarak modele eklenir. ARIMA süreci, AR(p), MA(q), ARMA(p,q) modellerini kapsamaktadır [36]. ARIMA denklemini oluşturmak için fark alma işlemi aşağıdaki ifade ile sağlanır.

$$\Delta^d Y_t = w_t \quad (3.8)$$

Denklem 3.8' de, Δ ifadesi fark alma operatörünü, d katsayısı fark alma işleminin sayısını, Y_t seriye ait gerçek değerleri, w_t ise fark alma işlemi sonucunda seriye ait yeni, ingirgenmiş değerleri temsil eder. Bu denklemden elde edilen w_t verileri ARMA(p,q) denkleminde Y_t değerleri yerine yazılarak kullanılır [18].

3.5 BOX – JENKINS Metodolojisi

Zaman serileri analizi ile verimli bir çalışma yapmak için Box- Jenkins metodolojisi hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekir. Daha önce de bahsedildiği üzere, Box- Jenkins isimli bilim adamlarının çalışmaları ile durağan olmayan serilerde zaman serileri analizi yapmak kolaylaşmıştır. Bu yaklaşım ile birlikte zaman serilerinin mühendislik alanında kullanılması günden güne yaygınlaşmıştır. Box – Jenkins metodolojisinden bahsetmeden önce Otokorelasyon ve kısmi Otokorelasyon fonksiyonları hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

3.5.1 Otokorelasyon Fonksiyonu (Auto Correlation -ACF)

Otokorelasyon fonksiyonu ile serinin gözlem değerlerinin birbirleri ile olan ilişkileri standart sapma değişme bazında tanımlanmaya çalışılır. Bu fonksiyon her bir gecikme sayısı için hesaplanır [12]. Otokorelasyon fonksiyonu serinin AR süreci hakkında bilgi verir. ACF Fonksiyonuna ait katsayıların hesaplanacağı denklem Eşitlik 3.9' de gösterilmiştir.

$$\rho(k) = \frac{\sum_{t=1+k}^T (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki denklemde ; Y_t zaman serisinin zamana bağlı değerlerini, \bar{Y} serinin ortalamasını, k gecikme sayısı olarak tanımlanmıştır. Gecikme sayısı k , hesaplanması istenen katsayı sayısıdır [11].

3.5.2 Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu(Partial Auto Correlation -PACF)

Seriye ait iki değer birbirini ile olan ilişkilerinin, serinin diğer değerlerinden arındırılmış haline kısmi otokorelasyon denir. Kısmi otokorelasyon fonksiyonu serinin MA süreci ile ilgilidir. PACF Fonksiyonuna ait katsayıların nasıl elde edildiği sırası ile Eşitlik 3.10, 3.11., 3.12 ve 3.13’de gösterilmiştir.

$$\phi_{11} = \rho_1 \quad (3.10)$$

$$\phi_{22} = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2} \quad (3.11)$$

$$\phi_{kk} = \frac{\rho_k - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} \rho_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} \rho_j} \quad k = 3,4,5 \dots \quad (3.12)$$

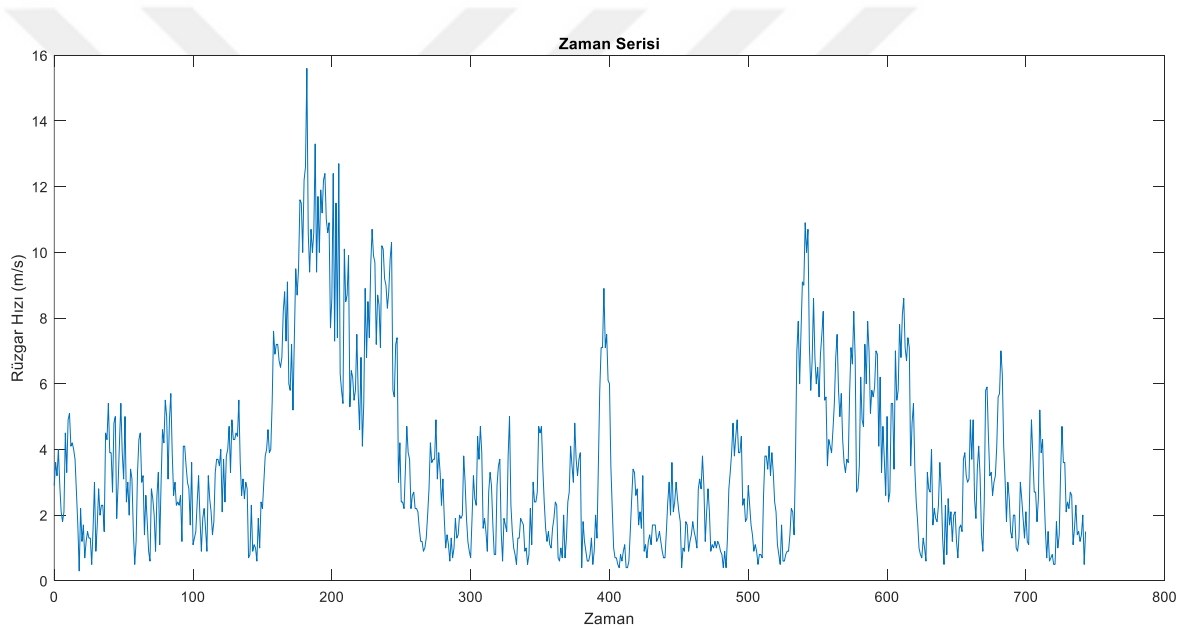
$$\phi_{kj} = \phi_{k-1,j} - \phi_{kk} \phi_{k-1,k-j} \quad j = 1,2,3, \dots k-1 \quad (3.13)$$

PACF fonksiyonu bir matris olarak düşünülür. Denklem 3.10’ dan anlaşılacağı üzere PACF fonksiyonun ilk katsayısı ACF fonksiyonun ilk katsayısına eşit kabul edilir. Daha sonra bu kabule bağlı olarak denklem 3.11’ da gösterildiği gibi ϕ_{22} hesaplanır. Denklem 3.12 PACF matrisinin köşegen katsayılarının nasıl hesaplanacağını ifade eder. Ayrıca k katsayısı gecikme sayısını göstermektedir. 3.13’ deki denklem ise matrisin diğer değerlerini bulmaya yönelik ifadedir [12].

Hesaplanan otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerinin dikkate değer olup olmadığına karar verirken istatistik güven aralığında olup olmadığına bakılır. T gözlem sayılı bir seri için standart sapma $1/\sqrt{T}$ ’ dir. Yaygın olarak kabul edilen %95 (0.05 anlamlılık düzeyi) güven aralığında, Otokorelasyon katsayılarının $\pm 1.96(1/\sqrt{T})$ aralığının dışında olması durumunda anlamlı kabul edilir. Aynı anlamlılık testi kısmi otokorelasyon katsayıları için de geçerlidir [6].

Box-Jenkins yönteminde model kurma stratejisi 4 aşamalıdır ve cimrilik prensibine dayanır. Cimrilik prensibi, mümkün olan en az parametre ile verinin özelliklerini en iyi şekilde yansıtan modelin bulunması düşüncesidir [13,43]. Bu aşamalar şunlardır:

Belirleme: Bu aşamada ile olarak seriye ait zaman grafiği çizdirilir. Zaman serileri analizi konusunda uzman bir bilim insanı, serinin durağan olup olmadığına serinin zaman grafiğine bakarak karar verebilir. Fakat her zaman bu yaklaşım doğru sonuç vermez. Ayrıca, aynı grafik üzerinde farklı tanımlama yapan araştırmacılar olabilir. Bu nedenle otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları da çizdirilir ve değerleri hesaplanır. Bu fonksiyonlara bakılarak serinin durağan olup olmadığına karar verilir. Eğer gerekli ise fark alma işlemi gerçekleştirilir ve hangi modelin kullanılacağı kararlaştırılır.



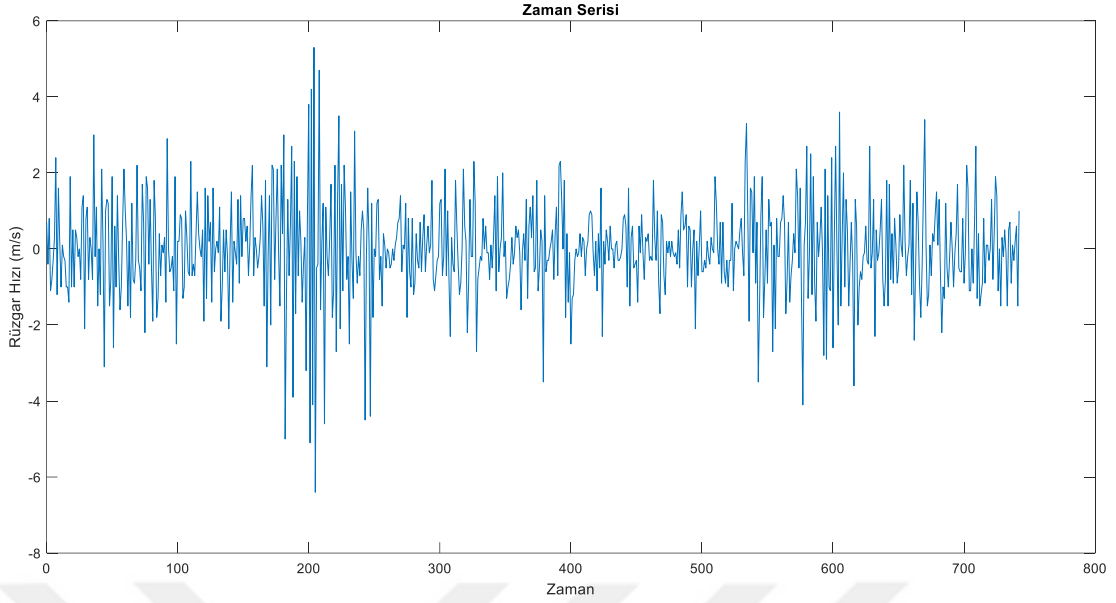
Şekil 3. 1 Rüzgar hızına ait zaman serisi grafiği

Şekil 3.1' de rüzgar hızının zaman grafiği gösterilmektedir. Bu grafiğe bakılarak serinin durağan olup olmadığına karar vermek oldukça zordur ve araştırmacıyı doğru sonuca ulaştırmayabilir. Bu nedenle otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarından yararlanılmalıdır.

Çizelge 3. 1 Seriyeye ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.895	0.895	405.81	0.000
		2	0.861	0.306	782.81	0.000
		3	0.821	0.067	1125.7	0.000
		4	0.788	0.044	1442.8	0.000
		5	0.752	-0.004	1731.9	0.000
		6	0.728	0.050	2003.6	0.000
		7	0.690	-0.045	2248.1	0.000
		8	0.661	-0.008	2472.5	0.000
		9	0.638	0.040	2682.1	0.000
		10	0.606	-0.032	2871.7	0.000
		11	0.592	0.068	3053.2	0.000
		12	0.582	0.071	3229.0	0.000
		13	0.585	0.111	3406.6	0.000
		14	0.570	-0.013	3576.0	0.000
		15	0.565	0.012	3742.5	0.000
		16	0.555	0.010	3903.6	0.000
		17	0.553	0.029	4063.5	0.000
		18	0.544	-0.001	4218.8	0.000
		19	0.542	0.027	4373.5	0.000
		20	0.524	-0.053	4518.4	0.000
		21	0.528	0.076	4665.6	0.000
		22	0.520	0.012	4808.6	0.000
		23	0.525	0.078	4954.6	0.000
		24	0.510	-0.045	5092.9	0.000
		25	0.482	-0.137	5216.6	0.000
		26	0.459	-0.058	5328.9	0.000
		27	0.457	0.093	5440.8	0.000
		28	0.444	0.012	5546.3	0.000
		29	0.431	-0.010	5646.1	0.000
		30	0.420	-0.014	5741.0	0.000
		31	0.407	0.014	5830.4	0.000
		32	0.404	0.044	5918.5	0.000
		33	0.397	0.025	6003.7	0.000
		34	0.381	-0.064	6082.6	0.000
		35	0.376	-0.004	6159.4	0.000
		36	0.367	-0.050	6232.6	0.000

Çizelge 3.1' de ele alınan seriyeye ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının katsayıları gösterilmiştir. Serinin durağan olmadığına karar verilirse fark alma işlemi uygulanacak ve aynı grafiklerin tekrar çizdirilmesi gerekecektir. Serinin durağan olup olmadığına karar verirken bazı testlerden yararlanır. Bu testlerden en çok kullanılanları; Birim kök testi, Dickey- Fuller birim kök testi, Arttırılmış Dickey- Fuller birim kök testi, normal dağılım testi, Philips- Perron Birim kök testi... gibi testlerdir.











































































Şekil 3. 2 Rüzgar hızının birinci farkına ait zaman serisi grafiği

Şekil 3.2' de örnek olarak alınan rüzgar hızının birinci dereceden farkına ait zaman serisi gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere serinin farkı alındıktan sonraki değerleri belirli bir ortalama etrafında dağılmaya başlamışlardır. Buna göre serinin durağan olduğu ya da durağan olmaya yaklaştığı söylenebilmektedir. Bu durumda ya serinin tekrar farkı alınmalı ya da bu fark alma işleminin yeterli olduğuna karar verilmelidir. Yukarıda da bahsedildiği gibi bu kararı verebilmek için serinin birinci farkının da otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonu değerlerine bakılarak durağanlık testlerinden biri veya birkaçı uygulanmalıdır.

Çizelge 3.2' de örnek serinin birinci derece farkı alınmış halinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları verilmiştir. Çizelge 3.1 ile Çizelge 3.2'te gösterilen değerler birbirlerinden oldukça farklıdır. Farkı alınan serinin otokorelasyon katsayıları, yalnızca ilk değerlerinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu fonksiyonlara bakılarak serinin birinci dereceden farkının alınması yeterlidir denilebilir. Yapılan işlemler sonucunda oluşan yeni seriyi durağan kabul etmek makuldür.

Çizelge 3. 2 Serinin birinci farkının otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
			1	-0.343	-0.343	59.587	0.000
			2	0.037	-0.092	60.277	0.000
			3	-0.038	-0.063	61.003	0.000
			4	0.016	-0.018	61.133	0.000
			5	-0.062	-0.073	63.063	0.000
			6	0.071	0.026	65.620	0.000
			7	-0.041	-0.012	66.465	0.000
			8	-0.026	-0.051	66.822	0.000
			9	0.042	0.017	67.720	0.000
			10	-0.086	-0.083	71.569	0.000
			11	-0.014	-0.081	71.670	0.000
			12	-0.061	-0.123	73.623	0.000
			13	0.078	0.002	76.775	0.000
			14	-0.040	-0.020	77.608	0.000
			15	0.019	-0.022	77.794	0.000
			16	-0.036	-0.043	78.482	0.000
			17	0.026	-0.013	78.831	0.000
			18	-0.037	-0.043	79.566	0.000
			19	0.077	0.040	82.717	0.000
			20	-0.103	-0.087	88.336	0.000
			21	0.055	-0.023	89.954	0.000
			22	-0.061	-0.087	91.924	0.000
			23	0.092	0.038	96.442	0.000
			24	0.066	0.130	98.760	0.000
			25	-0.024	0.047	99.074	0.000
			26	-0.103	-0.107	104.75	0.000
			27	0.057	-0.026	106.50	0.000
			28	-0.003	0.000	106.51	0.000
			29	-0.006	0.005	106.53	0.000
			30	0.005	-0.027	106.54	0.000
			31	-0.039	-0.053	107.36	0.000
			32	0.018	-0.031	107.55	0.000
			33	0.038	0.055	108.32	0.000
			34	-0.049	-0.007	109.63	0.000
			35	0.022	0.042	109.90	0.000
			36	0.020	0.013	110.12	0.000

Tahmin: Bu aşamada belirlenen model için uygun olabilecek p,d,qdeğerleri grafiklerin yorumlanması ile tahmin edilir.

Ayrt Edici Kontrol- Büyük Ayırım: Bu aşadama ARIMA modelinin örnekleme içerisindeki tahmin sonuçları ile serinin gerçek değerleri karşılaştırılarak, bu modelin seri ile ne kadar uyumlu olduğu kontrol edilir. Eğer sonuç olumlu değil ise geriye dönülerek başka bir ARIMA modeli belirlenir.

Öngörü- İleriye Dönük Tahmin: Bu aşadama ayırt edici kontrolden geçen model, ileriye dönük olarak işleme alınır ve örneklem dışında tahmin sonuçları üretilir [44,12].

Box – Jenkins yöntemi ile ayırt edici kontrol aşamasında sonuca ulaşmadan önce modeli değiştirme imkanınıdır. Ayrıca bu yöntem her zaman en az parametre sayısı ile çalışmaya odaklanmıştır. Serinin değerlerinin birbirleri ile olan ilişkisini analiz etmede oldukça iyidir. Fakat diğer taraftan bakılacak olursa bu yöntem uzmanlık isteyen bir yöntemdir ve farklı çalışmalarda aynı seri için farklı model belirleme olasılığı vardır. Ayrıca bu yöntemin aşamaları verinin büyüklüğüne, karmaşıklığına da bağlı olarak uzun sürebilmektedir [14].

Rüzgar hızı; içerisinde hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkiler içermektedir. Bu nedenle sadece geçmiş değerlere bakılarak tahmin etme işlemi yetersiz kalacak, doğru olmayacaktır. Rüzgar hızını, doğrusal olmayan doğası gereği ARIMA(p,d,q) ile modellemek doğruluğu arttırmaktadır. Barındırdığı ilişkileri en iyi biçimde yansıtan, en doğru biçimde matematiksel ifadeye döken (p,d,q) değerleri seçilmelidir.

Bir rüzgar türbininden elde edilecek güç öncelikli olarak rüzgar hızına bağlıdır. Dolayısıyla tahmini yapılacak unsur rüzgar hızıdır. Rüzgar hızı zamana bağlı olarak değişen değerlerin bir listesidir.

ARIMA yöntemi kullanılmaya başlandığında atılacak ilk adım zaman serisinin grafiğini çizdirmektir. Bu iş için kullanılan çeşitli paket programlar mevcuttur (E-Views, STATA gibi...).

Serinin durağan olup olmamasına karar verebilmek için bazı nitel sonuçlara ihtiyaç duyulur. Bunun için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlardan yararlanır. Bu fonksiyonların anlamlılıkları değerlendirilerek serinin durağanlığı tartışılır. ARMA(p,q) modelinde p ve q değerleri sırasıyla AR ve MA modellerinin katsayıları olmakla birlikte aynı zamandan otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonlarının sonucunu yansıtır. p ve q sayıları otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon değerlerinin azalmaya başladığı noktalardır. Bu grafikler yorumlanırken birden fazla sonuç üzerinde durulabilir. Seriyi en iyi yansıtan modelin belirlenebilmesi için bilgi ölçütleri ile karşılaştırma yapılır [45]. Bu bilgi ölçütlerinden en çok kullanılanları Akaike bilgi ölçütü ve Schwarz bilgi ölçütüdür. Akaike bilgi ölçütünün matematiksel ifadesi aşağıdadır:

$$AIC = -2 \log(L) + 2K \quad (3.14)$$

Yukarıdaki denklemde L olasılık, $K = p+q'$ dur. Diğer bilgi ölçütü Schwarz bilgi ölçütü, Bayes bilgi ölçütü olarak da adlandırılır ve Eşitlik 3.14 ile ifade edilir.

$$BIC = -2 \log(L) + K \log(n) \quad (3.15)$$

Burada n katsayısı gözlem değerini ifade etmektedir. Bu denklemler ile elde edilen sonuçlar içinden en küçük değere sahip olan model, gerçek seriye en iyi derecede uyum sağlayan model olarak kabul edilir [12,15].

Model belirlendikten sonraki aşama tahmin yapma aşamasıdır. Yapılan tahmin değerlerinin başarısını değerlendirmek için de bazı matematiksel ifadelerden yararlanılır. İyi bir tahmin yapılıp yapılmadığı, tahminin doğruluğu ile ölçülür [41]. Yapılan tahminin doğruluğunun belirlenmesi amacıyla birçok yöntemden faydalanılmaktadır. Bunların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır;

- Ortalama mutlak hata (MeanAbsoluteError – MAE):

Ortalama mutlak hata ifadesi Eşitlik 3.15'te gösterilmiştir. Bu ifadede n gözlem sayısını, e_j ise serinin gerçek değerleri ile tahmin edilen değerleri arasındaki farktır [44]. e_j ifadesi tahmindeki hata olarakta isimlendirilir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |e_j| \quad (3.16)$$

Buna göre ortalama mutlak hata değeri serinin gerçek değerleri ile tahmin değerleri arasındaki farkların mutlak değerlerinin toplamının, n gözlem sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir.

- Normalleştirilmiş ortalama mutlak hata (NormalizedMeanAbsoluteError – NMAE), Ortalama kareli hata (MeanSquaredError – MSE):

Eşitlik 3.16' da normalleştirilmiş ortalama mutlak hata değeri verilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2 \quad (3.17)$$

Yukarıdaki ifadeye göre normalleştirilmiş ortalama mutlak hata değeri serinin gerçek değerleri ile tahmin değerleri arasındaki farkların karesinin n gözlem sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır [44].

- Ortalama mutlak hata yüzdesi (MeanAbsolutePercentageError – MAPE):

Ortalama mutlak hata yüzdesi denklem 3.17' de gösterilmiştir. Bu denkleme göre A_j ifadesi seriye ait gerçek değerleri ifade eder.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_j^n \frac{|e_j|}{|A_j|} \quad (3.18)$$

Serinin gerçek değerleri ile tahmin değerleri arasındaki farkların mutlak değerlerinin, serinin gerçek değerlerine bölümlerinin toplamının, n gözlem sayısına bölünmesi ve 100 ile çarpılması ile hesaplanır [44].

- Kök ortalama mutlak hata (RootMeanSquaredError – RMSE):

Kök ortalama mutlak hata ifadesi, normalleştirilmiş ortalama mutlak hata değerinin karekökü olacak şekilde hesaplanır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n e_j^2}{n}} \quad (3.19)$$

Denklem 3.18' de kök ortalama mutlak hata denklemi verilmiştir. Bu denklemde e_j ifadesi tahmindeki hatayı göstermektedir [44].

Yukarıda sıralanan yöntemler arasından seçilen bir ya da bir kaç ile ARIMA modellerinin doğrulukları yüzde olarak karşılaştırılır [28]. Bu yöntemler arasından en çok kullanılanları Ortalama mutlak hata ve Kök ortalama mutlak hata ifadeleridir. Eğer doğru tahmin modeli seçilebilirse, doğru tahmin yapılabilir. Tahmin modelinin zaman serisine uygunluğu tahmin sonucunun gerçeğe ne kadar yakın olacağının bir ölçütüdür [36].

Tahmin yaparken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir ölçüt daha vardır. Bu ölçüt, tahmin aralığı seçimidir. Literatürde ne kadar zaman sonrasında tahmin edileceği tahmin aralığı ile ifade edilir. Ayrıca tahmin yöntemleri hakkında geniş bilgisi olan bir araştırmacı, hangi tahmin aralığında hangi tahmin metodunun daha iyi sonuç vereceğini öngörerek metod seçimi yapar. Literatürde sıkça kullanılan tahmin aralıkları Çizelge 3.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 3 Tahmin aralığı değerlendirmesi[25]

Zaman	Aralık
Çok kısa dönem	Birkaç dk- 30 dk
Kısa dönem	30 dk – 6 saat
Orta dönem	6 saat- 1 gün
Uzun dönem	1 gün – 1 hafta



ZAMAN SERİLERİ İLE RÜZGAR HIZI VE RÜZGAR GÜCÜ TAHMİNİ

Gerçekleştirilen tez çalışmasında Marmara Bölgesi'nde bulunan 5 farklı noktaya ait rüzgar hızı değerleri ARIMA zaman serisi modeli kullanılarak tahminlenmiş ve elde edilen sonuçların doğruluğu gerçek veriler ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında 3 farklı mevsim tipinin dikkate alınması amacıyla Şubat, Mart ve Haziran aylarına ait değerler üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. İncelenen bölgelere ait söz konusu aylara ait rüzgar hızı karakteristikleri sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 Şubat ayına ait rüzgar hızı değerleri

	Ortalama	Maks.Rüzgar Hızı(m/s)	Min.Rüzgar Hızı(m/s)	Std.Sapma
Çerkezköy	3,67	12,7	0,2	2,4
Çatalca	6,67	20,3	0	3,95
Çorlu	2,2	8,6	0,3	1,52
Malkara	2,96	10,1	0	1,97
Tekirdağ	2,82	10,9	0,2	2,1

Çizelge 4. 2 Mart ayına ait rüzgar hızı değerleri

	Ortalama	Maks.Rüzgar Hızı(m/s)	Min.Rüzgar Hızı(m/s)	Std.Sapma
Çerkezköy	3,56	15,6	0,3	2,88
Çatalca	7,06	20,5	0,9	3,88
Çorlu	2,64	11,4	0,1	2,18
Malkara	3,01	8,3	0	1,91
Tekirdağ	2,59	9,6	0,2	1,81

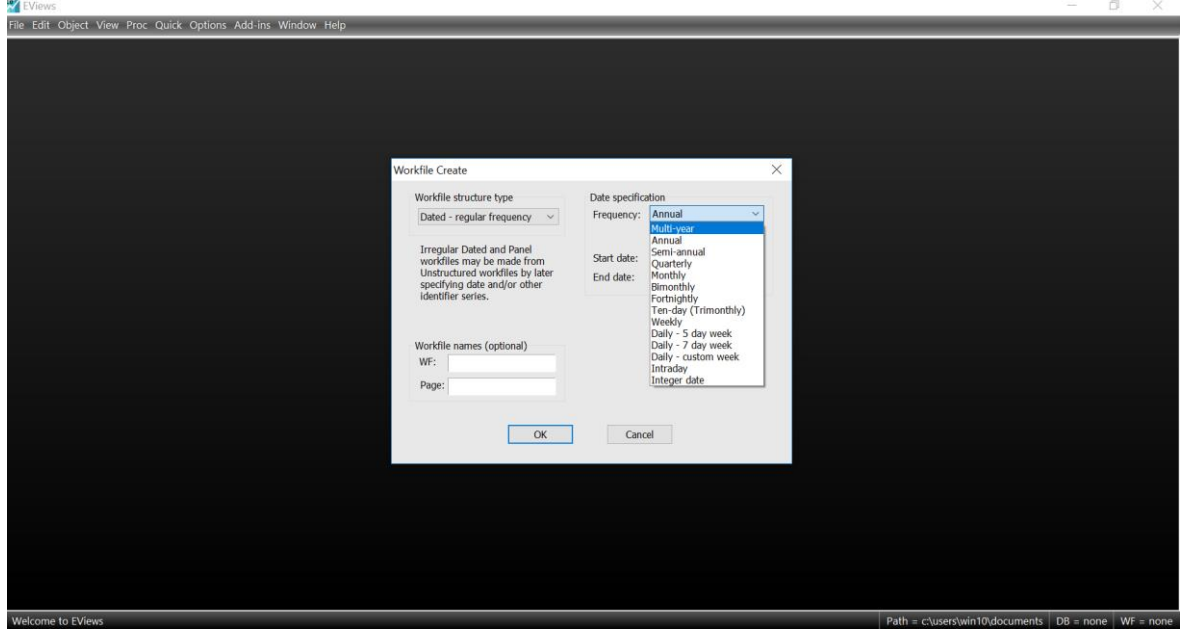
Çizelge 4. 3 Haziran ayına ait rüzgar hızı değerleri

	Ortalama	Maks.Rüzgar Hızı(m/s)	Min.Rüzgar Hızı(m/s)	Std.Sapma
Çerkezköy	3,41	9,4	0,4	1,91
Çatalca	5,94	13,6	0	2,42
Çorlu	2,43	7,1	0,1	1,36
Malkara	2,35	7,1	0	1,28
Tekirdağ	2,52	8,5	0,4	1,47

Ele alınan bölgeler içinde en yüksek rüzgar hızı potansiyeline sahip bölge Çatalca bölgesidir. Çizelgeler incelendiğinde rüzgar hızının en yüksek olduğu dönem Mart ayı olarak görülmektedir Ayrıca standart sapma değerleri incelendiğinde en düşük değer haziran ayında Malkara bölgesinde olduğu görülmüştür.

Tez çalışması kapsamında E-views programı kullanılarak kısa dönem, orta dönem ve uzun dönemde rüzgar hızı tahminleri yapılmıştır.

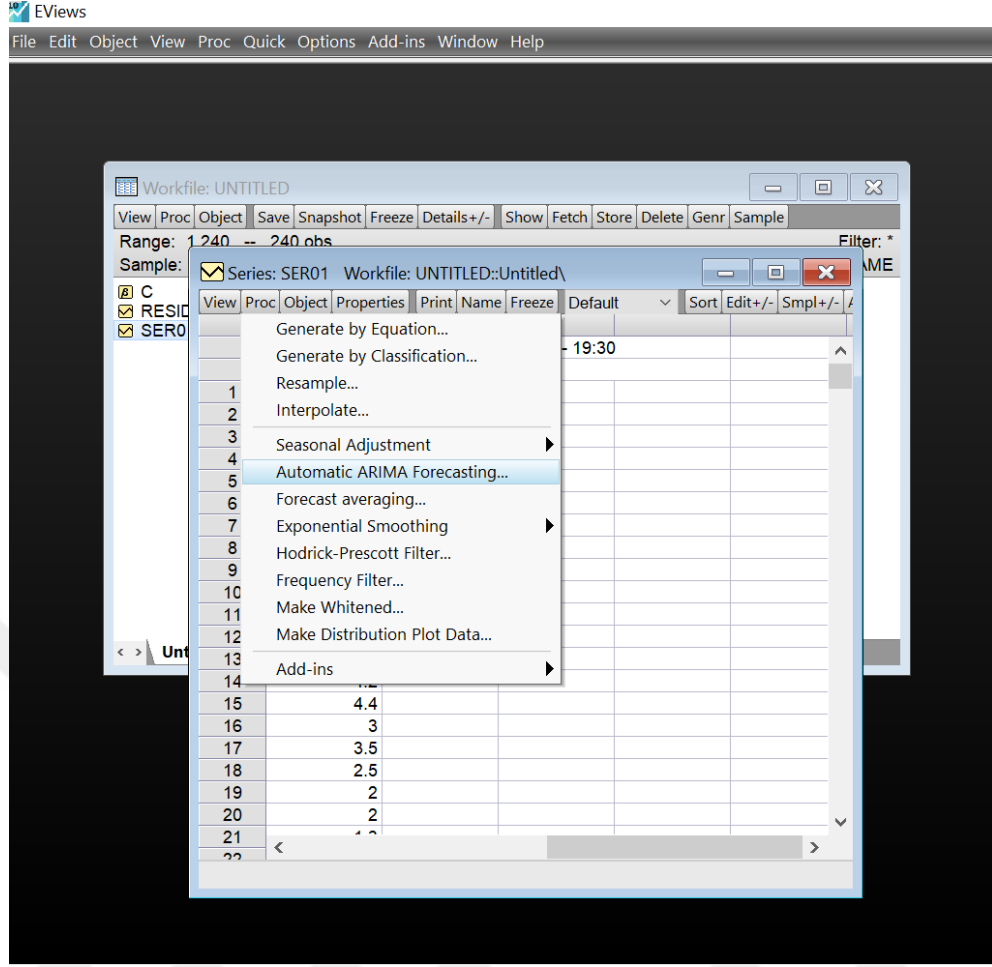
EViews programı, istatistiksel hesaplamalar yapmak, elde bulunan seriler üzerinde işlemler yaparak yeni seriler üretmek vb. amaçlarla, özellikle ekonometri alanında yaygın kullanıma sahip bir programdır. EViews programının arayüzü Şekil 4.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 EViews programı arayüzü görünümü

EViews programı zamanserileri oluştururken; yıllık, yarım yıllık, çeyrek yıllık,..., haftalık, günlük ,saatlik, tarihsiz seri gibi geniş seçenek bulundurması nedeniyle kullanıcı açısından uygulama yapmayı kolaylaştırmaktadır.

EViews yazılımı ilerüzgar hızı tahmini yapmak için öncelikle zaman serisi oluşturulmaktadır. Serinin durağan olup olmadığını görmek amacıyla, program içerisinde bulunan testlerden bazılarından faydalanılabilmektedir. Daha sonra seriye ait pencereden 'Automatic ARIMA Forecasting' seçeneği ile tahmin sonuçlarına ulaşımaktadır. Şekil 4.2’ de analiz görünümü sunulmuştur. Gerçekleştirilen tez çalışmasında ayrıca Matlab programından bazı ara hesaplamalar yapma ve güç üretim tahmini uygulaması sırasında yararlanılmıştır.



Şekil 4.2 EViews programı kullanıma ait görünüm

4.1. Rüzgar Hızı Tahmini

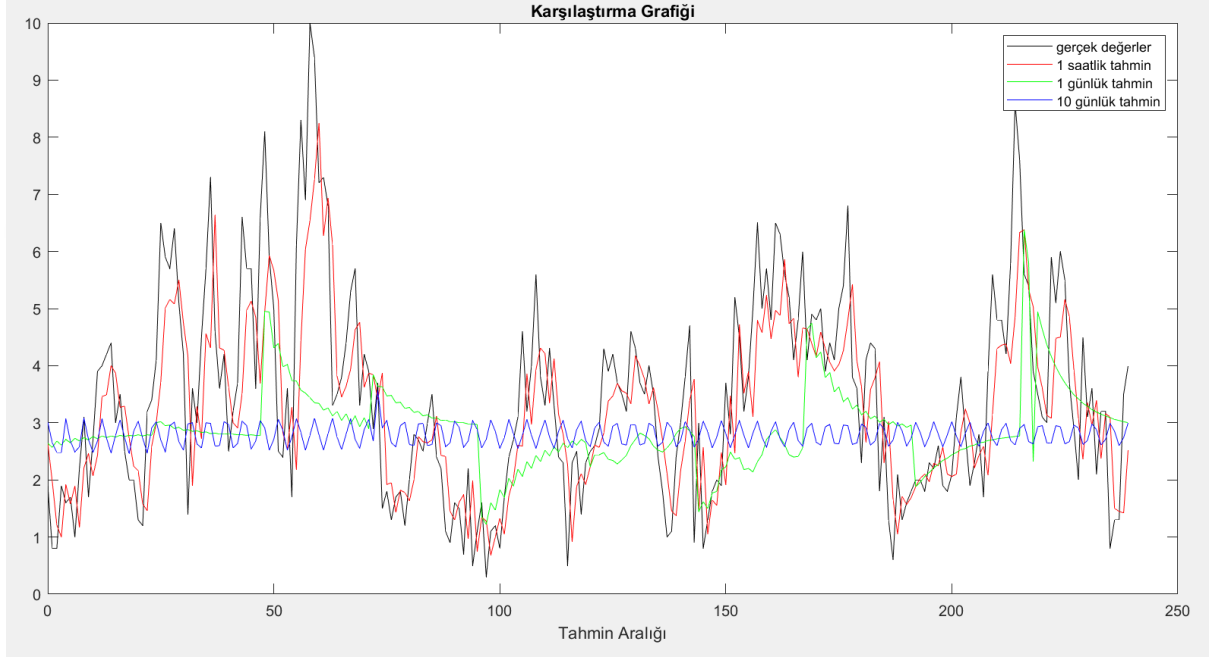
Tez çalışması kapsamında 1 saatlik kısa dönem, 1 günlük orta dönem ve 10 günlük uzun dönemde rüzgar hızı tahminleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle,

- farklı bölgeler
- farklı zaman dilimleri
- farklı tahmin ölçekleri

değerlendirilmiş ve sonuçları sunulmuştur. Bunun yanında ele alınan ayların farklı gün sayılarına sahip olmaları da analizde örnekleme sayılarının farklılığının da etkisinin görülmesini sağlamıştır. Her bir tahmin seçeneğinde 240 saatlik zaman dilimi tahminlenmiş bunun öncesinde kalan veriler ise eğitim amaçlı kullanılmıştır. Ele alınan aylara göre elde edilen tahmin sonuçları sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

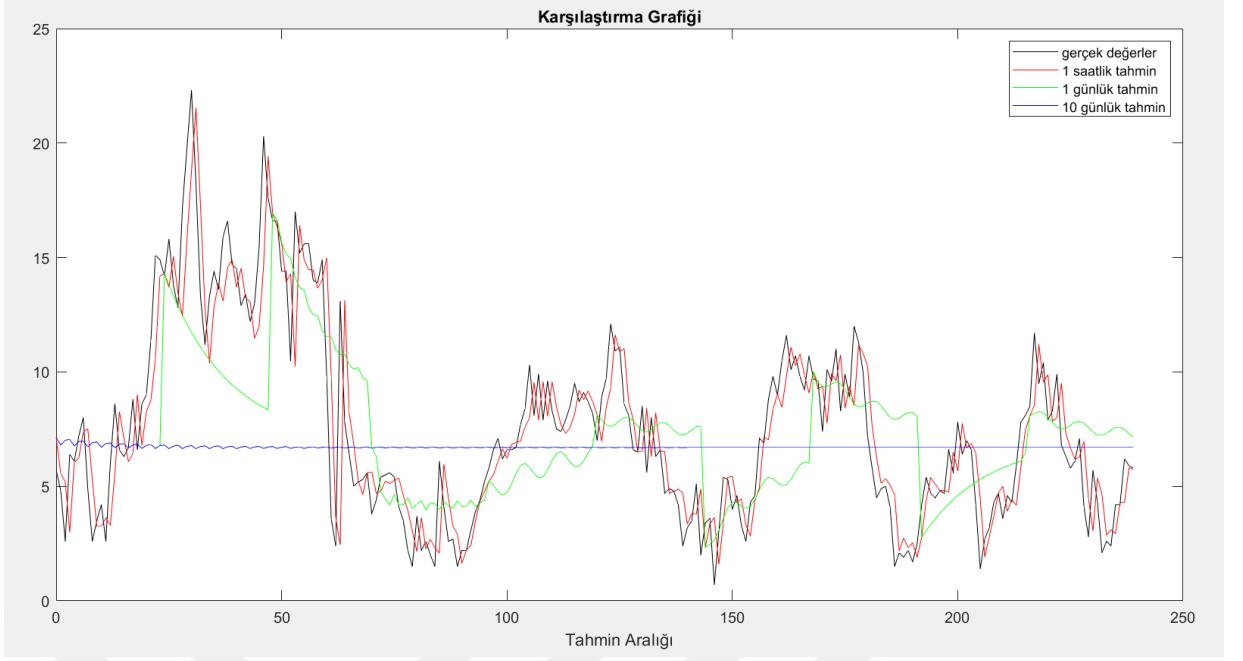
4.1.1 Şubat Ayına ait Rüzgar Hızı Tahminleri

Ele alınan bölgeler için Şubat ayına ait rüzgar hızı tahminleri sırası ile Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Aşağıda verilen grafiklerde, gerçek ölçüm değerleri ile birlikte kısa dönem rüzgar tahmini sonuçları, orta ve uzun dönem rüzgar tahmin sonuçları birlikte görülmektedir. Bu sayede tahmin sonuçları arasında görünür bir kıyas yapmak mümkündür.



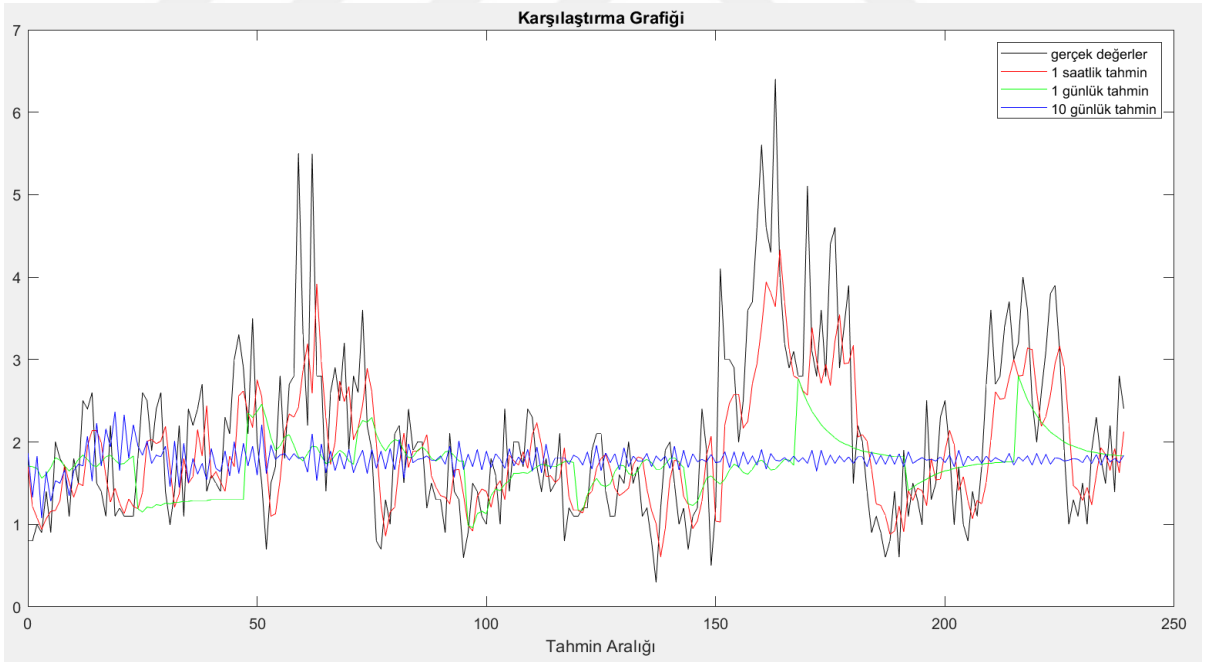
Şekil 4.3 Çerkezköy bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Çerkezköy bölgesi, şubat ayında ortalama 3,67 m/sn hıza sahip oldukça değişken bir profil çizmektedir.



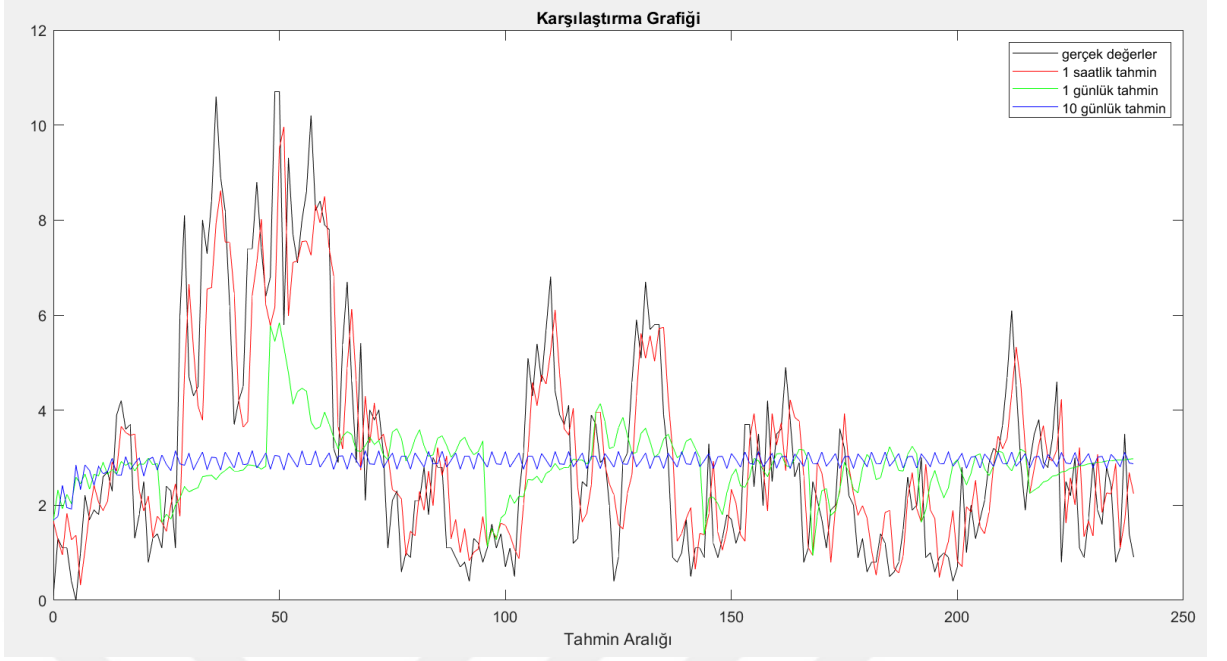
Şekil 4.4 Çatalca bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Şekil 4.4' da yüksek rüzgar hızı ölçülen çatalca bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları görülmektedir.



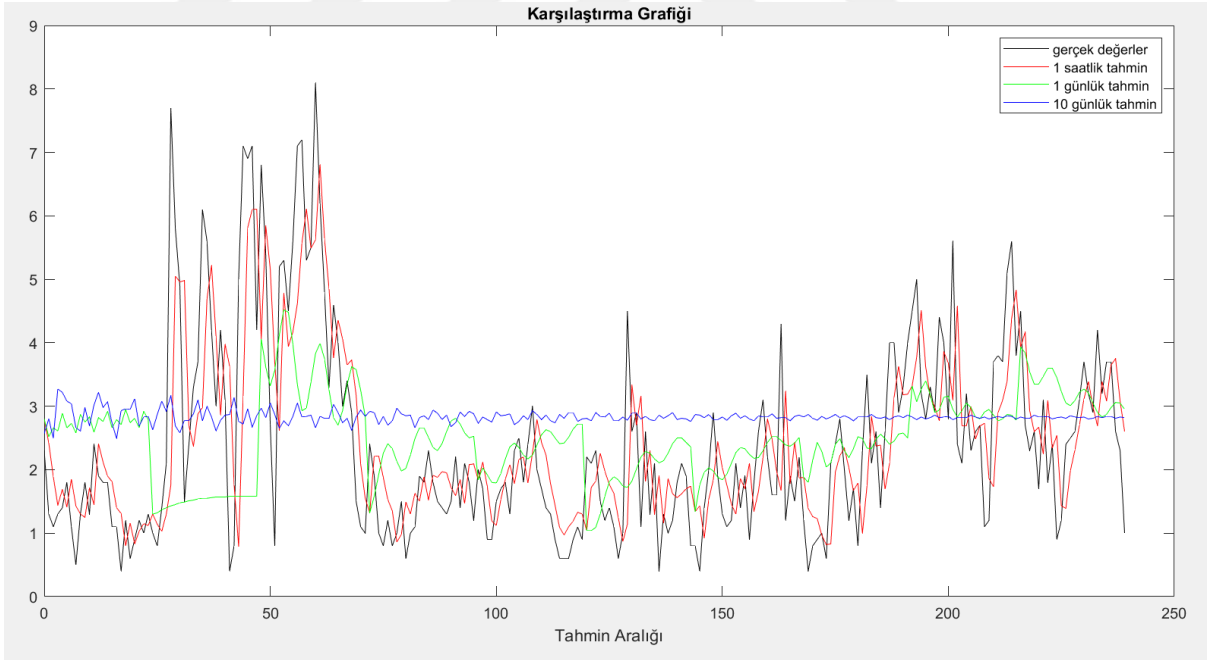
Şekil 4.5 Çorlu bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Çorlu bölgesi şubat ayında ortalama 2,2 m/sn ile diğer bölgelere ve diğer aylara göre en düşük rüzgar hızına sahiptir.



Şekil 4.6 Malkara bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Şekil 4.6' da görülen grafikte şubat ayında Malkara bölgesinin ortalama rüzgar hızı değeri 2,96 m/sn'dir.

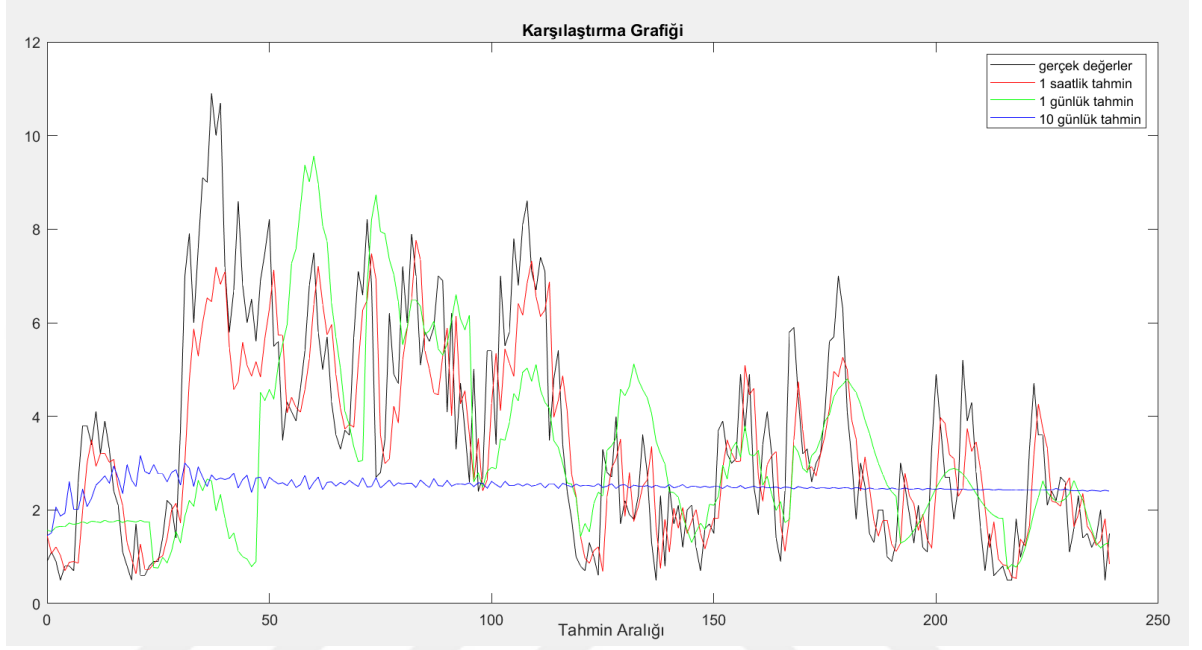


Şekil 4.7 Tekirdağ bölgesinin şubat ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Şubat ayında Tekirdağ bölgesinin ortalama rüzgar hızı 2,82 m/sn'dir.

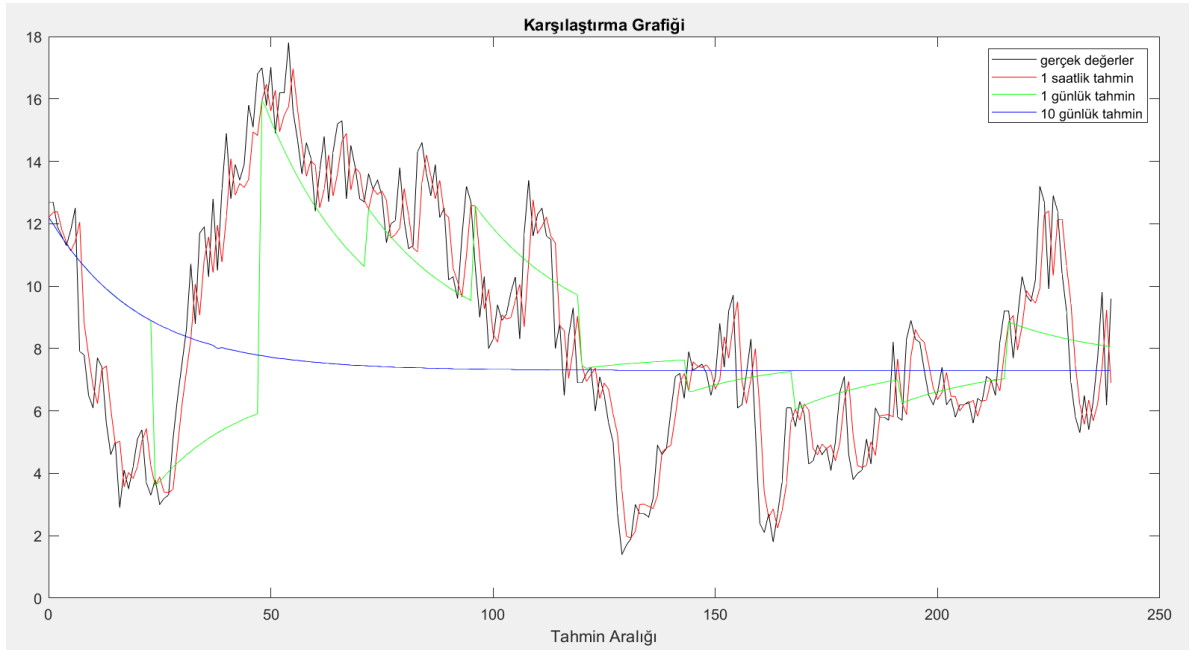
4.1.2. Mart Ayına ait Rüzgar Hızı Tahminleri

Çalışılan bölgeler için Mart ayına ait rüzgar hızı tahminleri Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sunulmuştur. Tahmin sonuçları gerçek değerler ile birlikte verilmiştir.



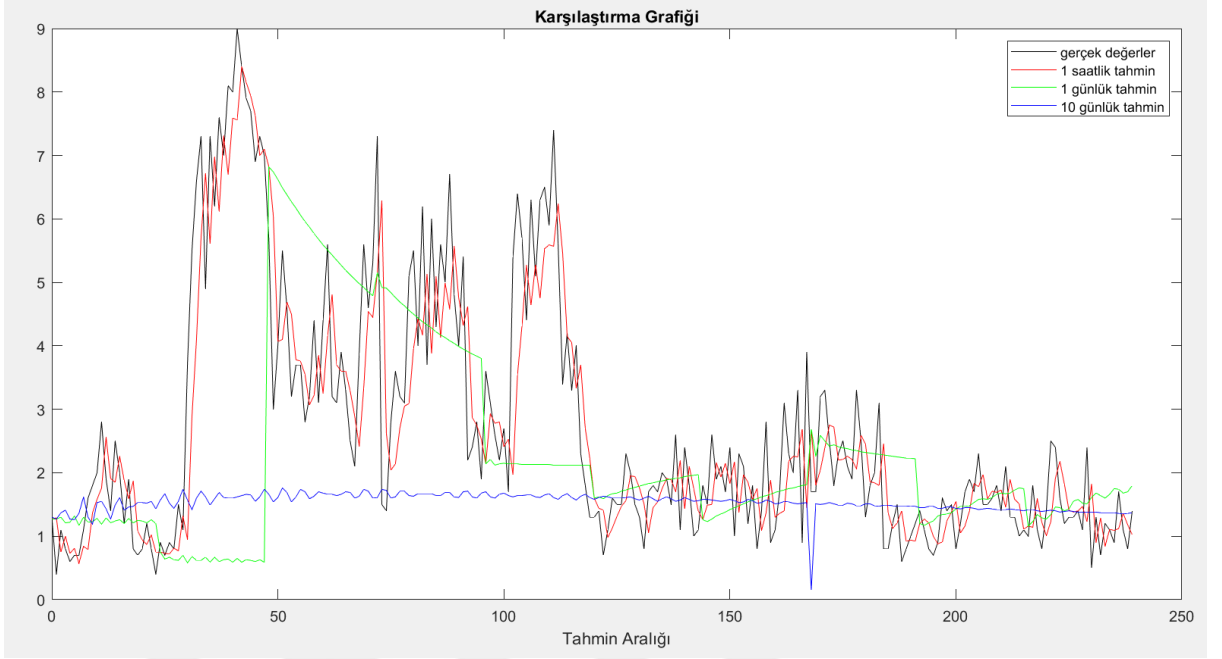
Şekil 4.8 Çerkezköy bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Şekil 4.8’ de gösterilen mart ayının rüzgar hızı ortalama 3,56 m/sn’ dir.



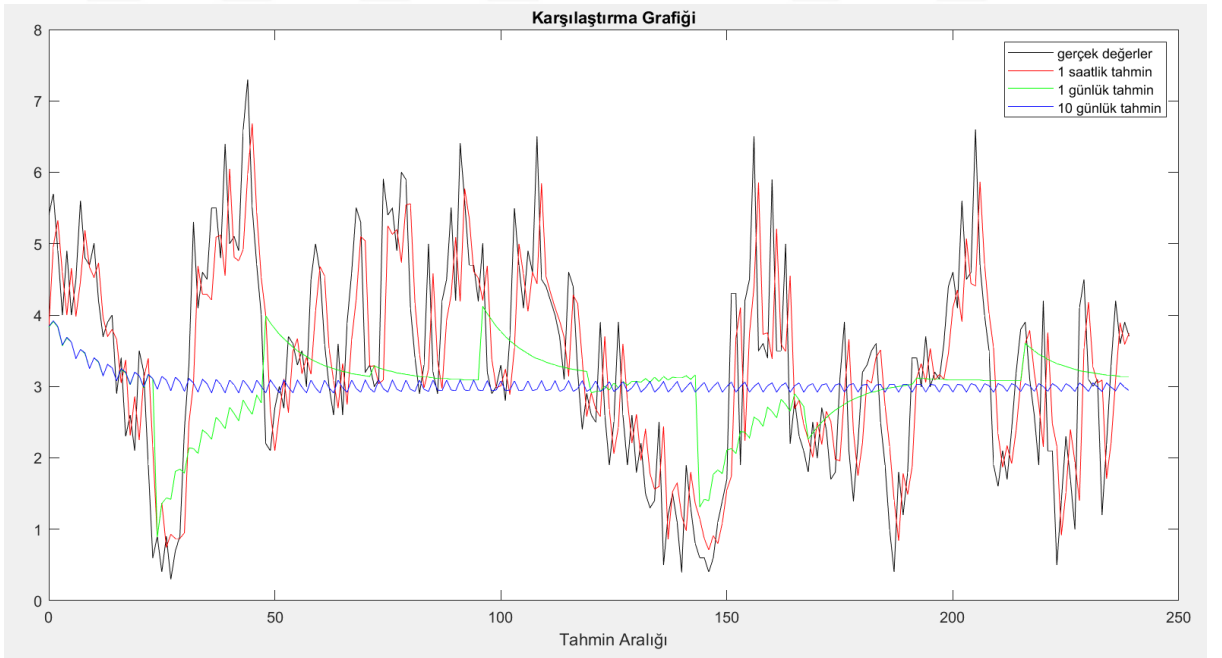
Şekil 4.9 Çatalca bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Şekil 4.9'da verilen çatalca bölgesinin mart ayında rüzgar hızı ortalama 7,06 m/sn' dir.



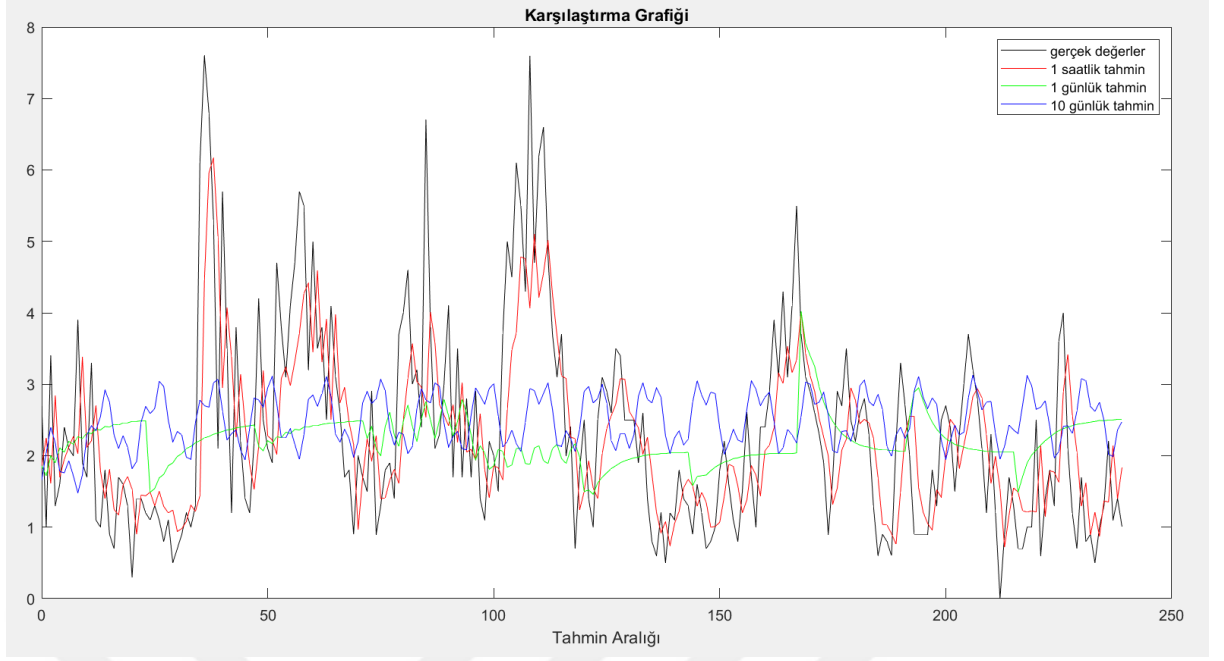
Şekil 4.10 Çorlu bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Mart ayında çorlu bölgesi oldukça değişken bir rüzgar potansiyeline sahiptir. Ortalama rüzgar hızı ise 2,64 m/sn'dir.



Şekil 4.11 Malkara bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Malkara bölgesinin mart ayına ait verilerde ortalama rüzgar hızı 3,01 m/sn'dir.

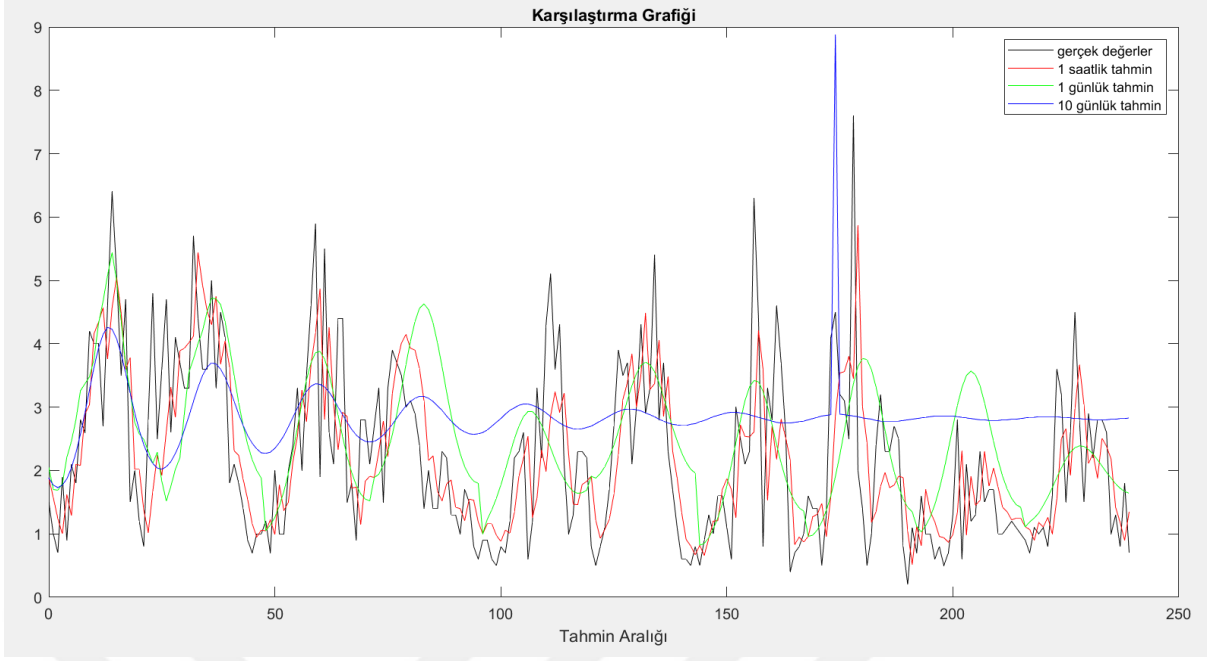


Şekil 4.12 Tekirdağ bölgesinin mart ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Şekil 4.12' de görülen mart ayı Tekirdağ bölgesinde ortalama rüzgar hızı değeri 2,59 m/sn'dir.

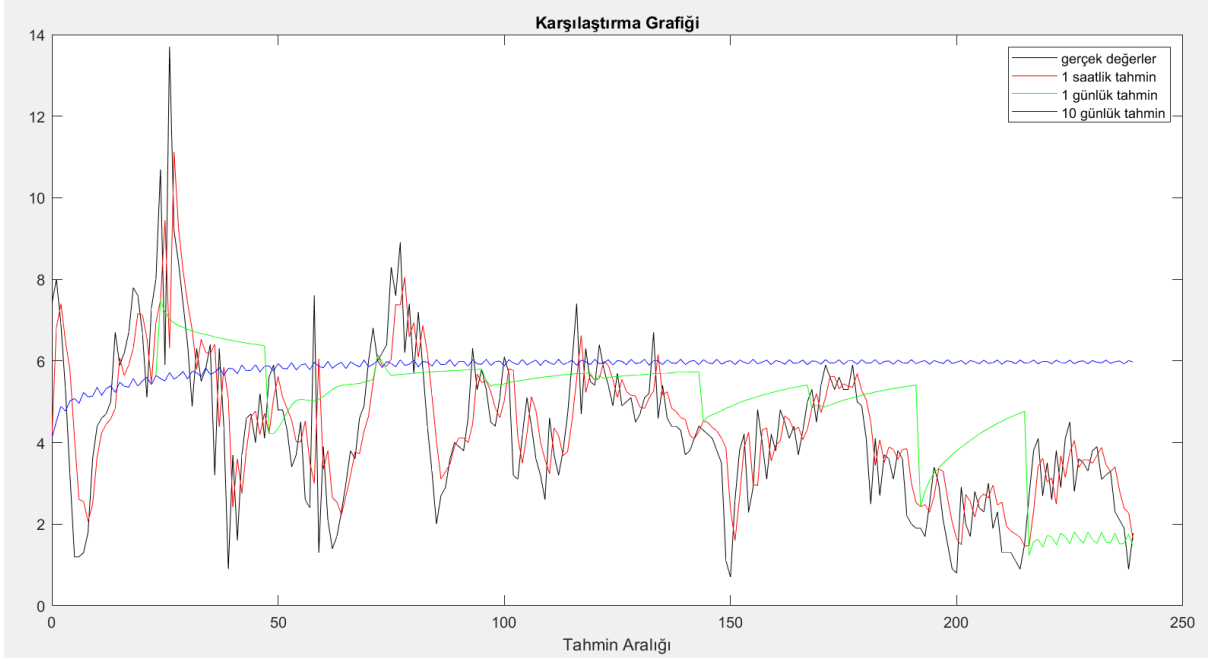
4.1.3. Haziran Ayına ait Rüzgar Hızı Tahminleri

Ele alınan bölgeler için Mart ayına ait rüzgar hızı tahminleri sırası ile Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Şekillerde kısa, orta ve uzun dönemlik tahmin sonuçları ile gerçek ölçüm değerleri bir arada sunulmuştur.



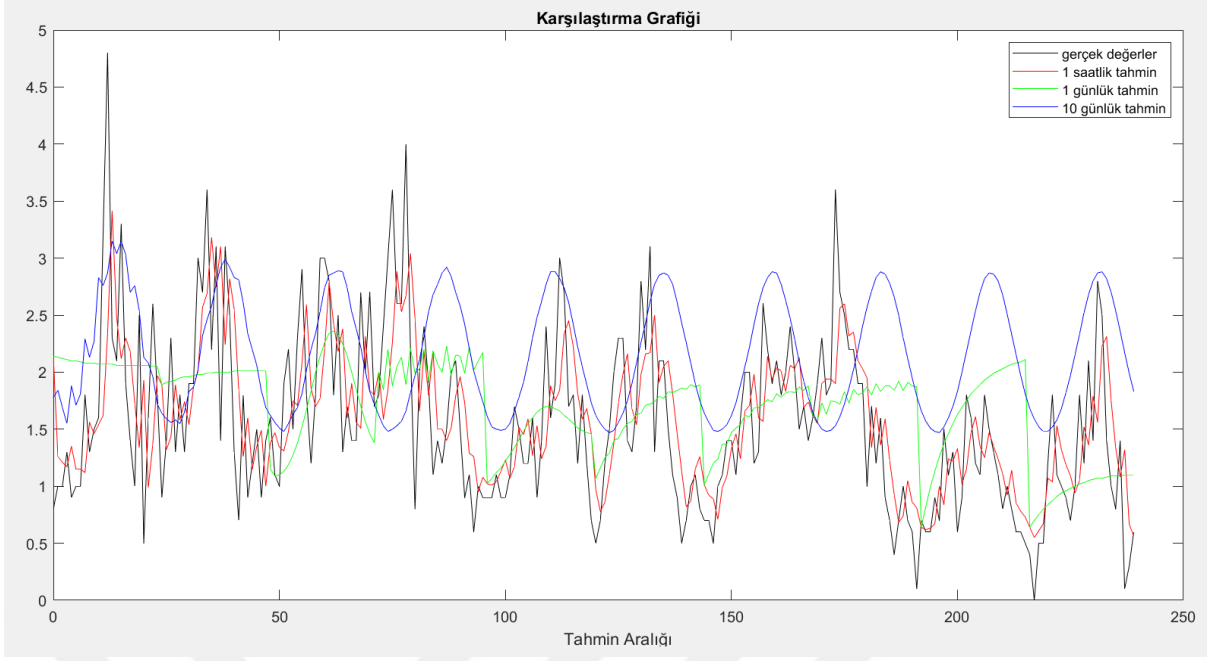
Şekil 4.13 Çerzekköy bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Haziran ayında Çerzekköy bölgesinin ortalama 3,41 m/sn 'dir. Bu bölgeye ait standart sapma değeri diğer aylara oranla daha düşüktür.



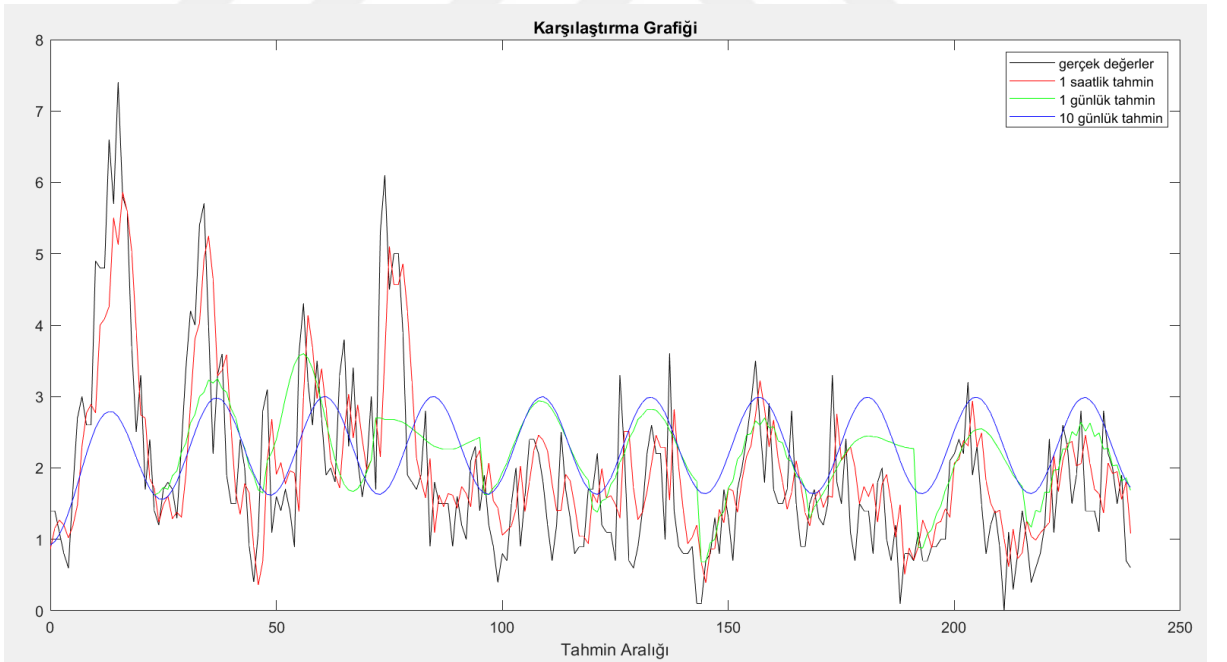
Şekil 4.14 Çatalca bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Çatalca bölgesi haziran ayında diğer iki aya oranla hem daha düşük ortalama rüzgar hızına hemde standart sapma değerine sahiptir.



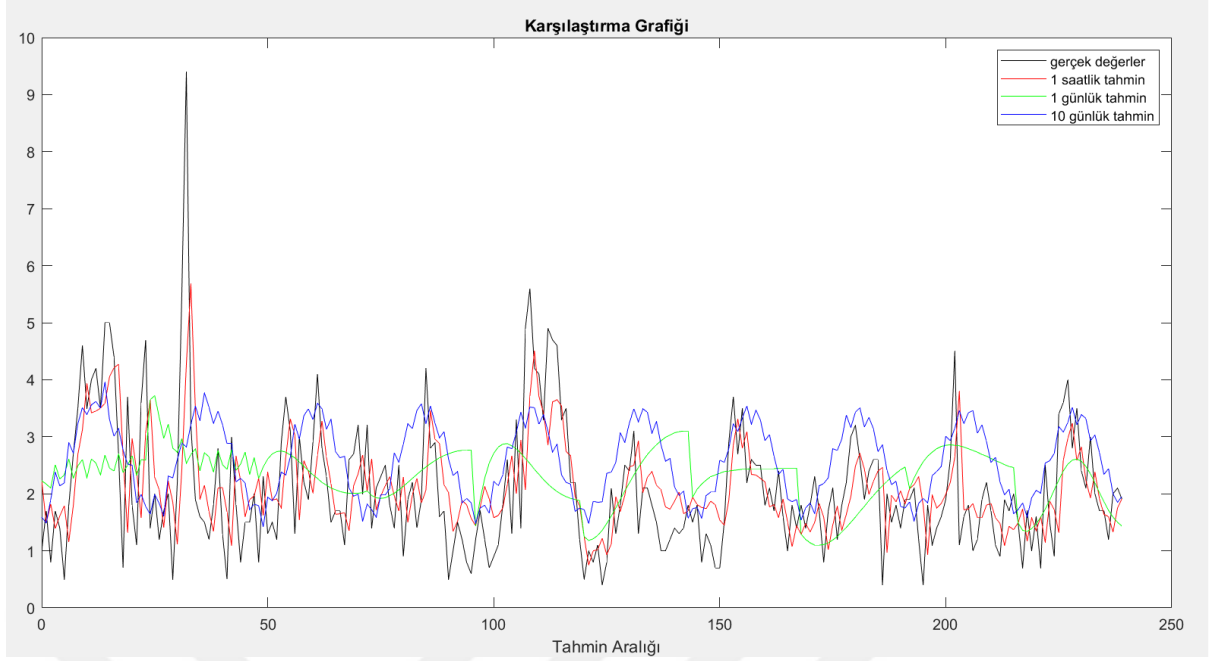
Şekil 4.15 Çorlu bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Çorlu bölgesi haziran ayında diğer aylara oranla daha düşük standart sapma değerine sahiptir.



Şekil 4.16 Malkara bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Şekil 4.16' da haziran ayında Malkara bölgesinin ortalama rüzgar hızı değeri 2,35 m/sn, standart sapma değeri ise bütün veriler içinde en düşük değer olan 1,28'dir.



Şekil 4.17 Tekirdağ bölgesinin haziran ayına ait tahmin sonuçları grafiği

Haziran ayında ise ortalama rüzgar hızı 2,52 m/sn değerindedir.

4.1.4. Bölgelere Ait Rüzgar Hızı Tahminlerinin Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında analizi gerçekleştirilen bölgeler için elde edilen tahmin sonuçları farklı hata oranı tespit yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Tahminleme aralığına bağlı olarak ele alınan bölgeler için rüzgar hızı tahmini hata oranları aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4. 4 Şubat ayı 10 günlük tahmin aralığı sonuçları

10 günlük tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,53	1,34	20,58	1,15
Çatalca	1,18	6,69	22,33	2,58
Çorlu	0,28	0,41	16,12	0,64
Malkara	0,63	1,94	37,03	1,39
Tekirdağ	0,49	0,98	34,74	0,99

Çizelge 4. 5 Şubat ayı 1 günlük tahmin aralığı sonuçları

1 günlük tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,5	1,18	18,83	1,08
Çatalca	0,91	3,83	18,46	1,95
Çorlu	0,27	0,39	14,92	0,62
Malkara	0,59	1,67	34,92	1,29
Tekirdağ	0,42	0,89	26,86	0,94

Çizelge 4. 6 Şubat ayı 1 saatlik tahmin aralığı sonuçları

1 saatlik tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,32	0,52	13	0,72
Çatalca	0,49	1,32	9,17	1,14
Çorlu	0,2	0,21	11,66	0,46
Malkara	0,34	0,6	20,39	0,77
Tekirdağ	0,29	0,47	17,44	0,68

Şubat ayına ait tahmin sonuçları arasında en iyi MAE, MSE ve RMSE değeri 1 saatlik tahmin ölçeğinde Çorlu bölgesine, en iyi MAPE değeri ise Çatalca bölgesine aittir.

Çizelge 4.7 Mart ayı 10 günlük tahmin aralığı sonuçları

10 günlük tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,62	2,07	23,15	1,43
Çatalca	1,03	5,16	15,1	2,27
Çorlu	0,47	1,63	15,32	1,27
Malkara	0,39	0,71	20,86	0,84
Tekirdağ	0,39	0,73	25,51	0,85

Çizelge 4.8 Mart ayı 1 günlük tahmin aralığı sonuçları

1 günlük tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,54	1,76	19,13	1,32
Çatalca	0,75	3,15	12,68	1,77
Çorlu	0,44	1,59	16,04	1,26
Malkara	0,37	0,69	17,39	0,83
Tekirdağ	0,36	0,69	21,1	0,83

Çizelge 4.9 Mart ayı 1 saatlik tahmin aralığı sonuçları

1 saatlik tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,33	0,6	11,87	0,78
Çatalca	0,35	0,65	5,4	0,81
Çorlu	0,22	0,32	10,87	0,56
Malkara	0,24	0,3	10,58	0,55
Tekirdağ	0,26	0,37	14,03	0,61

Mart ayına ait tahmin sonuçları arasında en iyi MAE değeri Çorlu bölgesine en iyi MSE ve RMSE değeri Malkara bölgesine, en iyi MAPE değeri ise Çatalca bölgesine aittir.

Çizelge 4.10 Haziran ayı 10 günlük tahmin aralığı sonuçları

10 günlük tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,4	0,7	35,71	0,84
Çatalca	0,7	2,14	28,85	1,46
Çorlu	0,28	0,34	31,35	0,58
Malkara	0,33	0,54	31,15	0,73
Tekirdağ	0,3	0,46	22,84	0,67

Çizelge 4.11 Haziran ayı 1 günlük tahmin aralığı sonuçları

1 günlük tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,33	0,51	23,7	0,71
Çatalca	0,52	1,25	20,43	1,11
Çorlu	0,2	0,19	21,01	0,44
Malkara	0,3	0,45	27,66	0,67
Tekirdağ	0,32	0,51	22,9	0,71

Çizelge 4.12 Haziran ayı 1 saatlik tahmin aralığı sonuçları

1 saatlik tahmin aralığı	MAE	MSE	MAPE	RMSE
Çerkezköy	0,27	0,4	16,41	0,63
Çatalca	0,3	0,53	10,18	0,73
Çorlu	0,15	0,12	13,89	0,35
Malkara	0,22	0,25	18,61	0,5
Tekirdağ	0,24	0,31	16,43	0,56

Haziran ayına ait tahmin sonuçları arasında en iyi MAE, MSE ve RMSE değeri Çorlu bölgesine, en iyi MAPE değeri ise Çatalca bölgesine aittir.

4.2 Rüzgar Türbini Güç Üretimi Tahmini

Gerçekleştirilen tez çalışmasında ele alınan bölgeler üzerinde yapılan tahminleme çalışmaları baz alınarak ilgili bölgelere kurulacak bir rüzgar türbini üzerinde güç üretim tahminleri gerçekleştirilmiştir.

Bir rüzgar türbini üzerinden elde edilebilecek güç değeri Eşitlik 4.1 ile tanımlanmaktadır.

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (4.1)$$

Denklem 4.1' de C_p değeri güç katsayısı, ρ hava yoğunluğunu, A türbinin kanatlarının çizdiği dairenin alanını ve V ise rüzgar hızını ifade etmektedir. Güç denkleminde rüzgar hızının küpü ile işlem yapılmaktadır. Bu nedenle tez çalışmamızda ele alınan rüzgar hızı tahmininin doğruluk derecesi, güç tahmini açısından bakıldığında çok daha önemli hale gelmektedir.

Tez kapsamında incelenen bölgeler üzerine Vestas V90-2MW rüzgar türbininin güç üretiminde bulunacağı öngörülmüştür. Ele alınan rüzgar türbinine ait teknik veriler Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 Türbine ait teknik veriler

Büyükük	Değer
Rotor Çapı	90m
Kanat uzunluğu	44m
Kule Yüksekliği	80m
Üretime başlama hızı	4m/s
Üretim sonlanma hızı	25m/s

Çalışma kapsamında ele alınan rüzgar hızları 10m'lik ölçüm direğinden elde edilmiştir. Buna karşın analizlerde kullanılan türbinin yüksekliği 80m'dir. Bu nedenle rüzgar hızı

değerlerinin türbin yüksekliğindeki değer ile ifade edilmesi gerekmektedir. Buna göre farklı yüksek değerleri için rüzgâr hızı değeri Eşitlik 4.2 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{V_h}{V} = \left(\frac{H_h}{H}\right)^\alpha \quad (4.2)$$

Burada, verilen V anemometrenin ölçüm yaptığı H yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s), V_h rüzgâr türbinin kurulum yapıldığı H_h yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s) ve α sürtünme katsayısını göstermektedir. Çalışma kapsamında sürtünme katsayısı 0,25 olarak kabul edilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda C_p katsayısı 0,4, ρ hava yoğunluğu ise 1,225 kg/m³ olarak kabul edilmiştir. Ele alınan aylar için tahmin aralığına göre 240 saatlik güç üretim değerleri sırasıyla Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 Şubat ayına ait güç üretim değerleri

GÜÇ ÜRETİMİ (MW)	1 saatlik tahmin aralığı	1 günlük tahmin aralığı	10 günlük tahmin aralığı
Çerkezköy	94,04	48,98	39,30
Çatalca	984,58	865,01	539,18
Çorlu	11,30	1,03	0
Malkara	127,21	46,89	44,25
Tekirdağ	45,06	28,75	40,70

Çizelge 4.14’ de 10 günlük tahmin aralığında Çorlu bölgesinde üretim değeri 0 MW olduğu görülmektedir. Bu değer 0 olmasının nedeni, rüzgâr türbinin 4 m/s altındaki değerlerde çalışmamasıdır.

Çizelge 4.15 Mart ayına ait güç üretim değerleri

GÜÇ ÜRETİMİ (MW)	1 saatlik tahmin aralığı	1 günlük tahmin aralığı	10 günlük tahmin aralığı
Çerkezköy	128,26	136,55	27,83
Çatalca	1431,59	1321,9	862,44
Çorlu	84,14	50,07	0
Malkara	89,08	51,13	49,99
Tekirdağ	28,98	9,54	21,11

Güç üretim değerlerinin verildiği çizelgelerde görüldüğü üzere tahmin aralıkları ve üretim sonuçları arasında doğrusal bir ilişki yoktur.

Çizelge 4.16 Haziran ayına ait güç üretim değerleri

GÜÇ ÜRETİMİ (MW)	1 saatlik tahmin aralığı	1 günlük tahmin aralığı	10 günlük tahmin aralığı
Çerkezköy	31,47	35,86	46,18
Çatalca	214,28	259,07	359,72
Çorlu	3,31	0	13,56
Malkara	22,80	14,79	17,23
Tekirdağ	16,64	18,55	30,52

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında daha önce de bahsedildiği üzere, rüzgar hızı tahmini yapmak güç çıkışı bilinmeyen üretim tesisinin enerji iletim ve dağıtım sistemine entegre olması açısından çok önemlidir. Elektrik üretiminin tahmin edilebilir olması ile güç sistemi daha güvenli, kararlı, işletme açısından daha kolay hale getirilmiş olur. Bu durum şüphesiz ülkelerin enerji sistemlerinin kalitesini olumlu yönde etkileyecektir. Enerji planlaması ve idaresini yapan kurumlar tarafından her üretim tesisinden, yakın gelecekte üretimi yapılacak elektrik büyüklüğü hakkında bilgi istenir. Bu nedenle rüzgar hızı tahmini yapmak rüzgar türbinleri işletmecileri açısından elzemdir. Rüzgar hızı tahmini yapmak, rüzgar enerjisinin diğer sabit üretim yapma özelliği olan enerji üretim sistemleri arasında elektrik piyasasında kendisine bir yer edinebilmesi açısından da ayrıca önemlidir.

Bu tez çalışmasında Marmara bölgesinde bulunan 5 ayrı bölgeden alınan gerçek rüzgar verileri ile çalışmıştır. Öncelikle rüzgar hızının kaotik yapısı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Rüzgar hakkında bilgi sahibi olmanın en verimli yolu onun grafiğini çizerek incelemek, en düşük – en yüksek değerlerine bakmak, standart sapmasını ve ortalaması hesaplamaktır.

Bu bölgeler üzerinden alınan ölçümlerde 3 ayrı zaman aralığında, farklı örneklem büyüklüklerinde ve farklı mevsimsel etkilerin görüldüğü zaman dilimlerinde çalışılarak çalışma kapsamı genişletilmiştir. Böylelikle zaman serilerinin farklı durumlara uyum sağlama becerisi irdelenmiştir. Öncelikle belirtmek gerekir ki, zaman aralığı arttıkça

tahmin kalitesi oldukça düşmüştür. En iyi tahmin sonuçları genel olarak Çorlu ve Çatalca bölgelerinde elde edilmiştir. Mart ayının hata oranları da diğer iki aya oranla daha düşük olduğu söylenebilir. Standart sapma değerleri incelendiğinde ise, zaman serilerinin en iyi uyum sağladığı durumlarda en düşük standart sapma değerinin olmadığı görülmektedir. Böylece, serinin standart sapma değerinin düşük olması ile tahmin sonuçlarının başarısı arasında direkt bir bağlantı olmadığı söylenebilir.

Sonuç olarak, zaman serileri ile rüzgar hızı tahmini çalışmalarında kısa dönem tahmin aralığında çalışılmalı, daha uzun tahmin aralıklarında çalışmak tercih edilmemelidir.

Rüzgar hızı değişimi görece daha az olan bölgelerde daha iyi tahmin sonuçları elde edilebilir.

Zaman serileri analizi ile rüzgar hızı ve rüzgar güç üretim tahmini hakkında bir fikir edinilebilir. Fakat eğer daha doğru, daha güçlü sonuç almaya ihtiyaç varsa bu yöntemler ile birlikte başka tahmin yöntemlerinin hibrit kullanılmasının daha verimli olacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda zaman serileri yöntemi kullanılırken, rüzgar hızının pik yaptığı bölgeler hakkında daha detaylı bir araştırma yapılarak bu bölgelerden önce tahmin sonuçlarına müdahale edilmesi gibi bir yaklaşım ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, 21 Mayıs 2019.
- [2] Boltürk, E.,(2013). Elektrik Talebi Tahmininde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Monteiro, C., Bessa, R., Miranda, V., Botterud, A., Wang, J., and Conzelmann, G., (2009).“Wind Power Forecasting : State-of-the-Art 2009”, U.S Department of Energy.
- [4] Box, E. P. G., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C., (1970). Time Series Analysis: Forecasting and Control, Wiley, Oxford.
- [5] Nelson, C. R.,(1972). The Prediction Performance of the FRB-MIT-PENN Model of the U.S. Economy, Am. Econ. Rev., vol. 62, no. 5, 902–917.
- [6] Gujarati, D. N. ,(2003). Basic Econometrics, Fourth Edition, Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- [7] Hill, D. C., McMillan, D., Bell, K. R. W. and Infield, D.,(2012). “Application of auto-regressive models to U.K. wind speed data for power system impact studies”, IEEE Trans. Sustain. Energy, vol. 3, no. 1, 134–141.
- [8] Perez-Mora, N., Martinez-Moll, V. and Canals, V.,(2017). “Spanish Renewable Energy Generation Short-Term Forecast”, Solar World Congress,08-12 November 2015, Daegu, Korea, 1–12.
- [9] Jiang, S., Yang, C., Guo, J., and Ding, Z.,(2018). “ ARIMA forecasting of China’s coal consumption, price and investment by 2030”, Energy Sources, Part B Econ. Plan. Policy, vol. 13, no. 3, 190–195.
- [10] Potter C. W., Negnevitsky, M.,(2006). “Very short-term wind forecasting for Tasmanian power generation”, IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 2, 965–972.
- [11] Akgül, I., (2003). Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri, Der Yayınları, İstanbul.
- [12] Sevüktekin, M., Nargeleçekenler, M.,(2007). Ekonometrik Zaman Serileri Analizi, Dora Yayıncılık, İstanbul.
- [13] Köse, B., Recebli, Z., and Özkaymak, M.,(2014), “Stokastik Modellerle Rüzgar Hızı

- Tahmini ; Karabük Örneği”, Int. Symp. Innov. Technol. Eng. Sci., vol. 3, 806–815.
- [14] Çiğdem, Ş.,(2009). Zaman Serileri Analizinde Mevsimsel Düzeltme Yöntemleri ve Aylık Sanayi Üretim İndeksine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] Zakeri, S. A. H.,(2015). Time Series Analysis And Forecasting Electricity Prices In Turkey, Yüksek Lisans Tezi,ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] July, M. A.,(2009). “Forecasting Natural Gas Consumption Forecasting Natural Gas Consumption”, Appl. Energy, vol. 92, no. July, 26–37.
- [17] Dönmez, S.,(2014). Sağlamcı ARIMA Modelleri ve Yapay Sinir Ağlarının Karşılaştırmalı İncelemesi: Turizm Örneği, Yüksek Lisans Tezi,Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [18] Bircan Yalçın, H. K.,(2003). “Box-Jenkins modelleri ile aylık döviz kuru tahmini üzerine bir uygulama”, Kocaeli Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg., vol. 6, no. 2003/2, 49–62.
- [19] Xu H., Kockar, I.,(2016). “Participation of customers in active demand side Participation programs under different pricing schemes”, IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet., vol. 2016-November, 0–4.
- [20] Yüksek, M. T. B.,(2014). Yapay Sinir Ağları ile Talep Tahmini Ve Gıda Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Turgut D., Temiz, İ.,(2015). “Time Series Analysis And Forecasting For Air Pollution In Ankara: A Box-Jenkins Approach”, Alphanumeric J., vol. 3, no. 2.
- [22] Çelik, Ş.,(2015). “Modelling of honey production by using time series in Turkey,” SAÜ Fen Bil Der, vol. 19, no. 3, 377–382.
- [23] Ertaç, M.,(2014). Forecasting Nonlinear Time Series Using Partial Least Squares Method Forecasting Nonlinear Time Series Using Partial Least Squares Method, Yüksek Lisans Tezi,Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [24] Soman, S. S., Zareipour, H., Member, S., Malik, O., Fellow, L.,(2010). “A Review of Wind Power and Wind Speed Forecasting Methods With Different Time Horizons”, North American Power Symposium 2010,04 November 2010,Arlington,USA.
- [25] Chandra, D. R., Kumari, M. S., Sydulu, M.,(2013). “A detailed literature review on wind forecasting”, International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 630–634.
- [26] Başaran Filik Ü., Filik, T.,(2017). “Kısa-Dönem Rüzgâr Hızının Tahmininde Otoregresif ve Yapay SinirAğları Tabanlı Yeni Bir Hibrit Yaklaşım”, Karaelmas Fen ve Mühendislik Derg., vol. 7, no. 2, 419–427.
- [27] Karthika, S. , Margaret, V., Balaraman, K.,(2018). “Hybrid short term load forecasting using ARIMA-SVM”, International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, 2017 January, 1–7.
- [28] Oprea, S. V., Bâra, A., Carutasu, G., Pirjan, A.,(2017). “Prosumers renewable

- small-size generation forecasting analyses with ARIMA models”, ECAI 2016-International Conference, 30 June - 02 July, Ploiesti, Romania.
- [29] Akcan, S., (2017). “Wind Speed Forecasting using Time Series Analysis Methods”, Çukurova Univ. J. Fac. Eng. Archit., vol. 32, no. 2, 161–172.
- [30] Kırbaş, İ.,(2017). “İstatistiksel Metotlar ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kısa Dönem Çok Adımlı Rüzgâr Hızı Tahmini” , SAÜ Fen Bilim. Enstitüsü Derg., vol. 22, no. 1, 1–1.
- [31] Mahmutoğlu M., Öztürk, F., (2015). “Türkiye Elektrik Tüketimi Öngörüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri” , EY International Congress on Economics II, 5-6 November, Ankara.
- [32] Hou, Z., Makarov, Y. V., Samaan, N. A., Etingov, P. V., (2013). “Standardized software for wind load forecast error analyses and predictions based on wavelet-ARIMA models - Applications at multiple geographically distributed wind farms”, 46th Hawaii International Conference on System Science, Hawaii, 5005–5011.
- [33] Çolak, İ., Sağıroğlu, Ş., Yeşilbudak, M., Kabalcı, E., Bülbül, H. İ. ,(2015). “Multi-Time Series and Time Scale Modeling for Wind Speed and Wind Power Forecasting”, 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, 22-25 November 2015, Palermo, Italy, 215–220.
- [34] Leithon, J., Lim, T. J., Sun, S., (2016). “Renewable energy management in cellular networks: An online strategy based on ARIMA forecasting and a Markov chain model”, IEEE Wireless Conference and Networking Conference, 3-6 April 2016,Doha, Qatar.
- [35] Carvalho, L. M., Teixeira, J., Matos, M.,(2016). “Modeling wind power uncertainty in the long-term operational reserve adequacy assessment: A comparative analysis between the Naïve and the ARIMA forecasting models”, 2016 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power System PMAAPS, 16-20 October 2016, Beijing, China, 1–6.
- [36] Chen Q., Folly, K. A., (2018). “Comparison of Three Methods for Short-Term Wind Power Forecasting”, 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 8-13 July 2018, Rio de Janeiro, Brazil, 1–8.
- [37] Kerem, A., Kırbaş, İ., Saygın, A., (2016). “Performance Analysis of Time Series Forecasting Models for Short Term Wind Speed Prediction”, International Conference on Engineering and Natural Sciences, 24-28 May 2016, Sarajevo.
- [38] Karakuş, O., Kuruoğlu, E. E., Altinkaya, M. A.,(2015). “Polinom Özbağlanımlı Model ile Uzun Süreli Rüzgar Hızı Öngörüsü”, 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference, 16-19 May 2015, Malatya.
- [39] Prema V., Uma Rao, K., (2015). “Development of statistical time series models for solar power prediction”, Renewable Energy, vol. 83, 100–109.
- [40] Ren, J., Zhou, Z., Zhang, F., (2009). “The forecasting models for spare parts based on ARMA”, 2009 WRI World Congress Computer Science and Information Engineering, 31 March-2 April, Los Angeles, USA, 499–503.

- [41] Lydia M., Suresh Kumar, S., (2010). "A comprehensive overview on wind power forecasting", 2010 9th International Power Energy Conference IPEC 2010, 27-29 October 2010, Singapore,268–273.
- [42] Duru, Ö., (2007). Zaman Serileri Analizinde ARIMA Modelleri ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [43] Erdoğan, E., (2006). Zaman Serilerinde ARIMA Modelleri, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [44] Kuzu S., Yıldırım, B. F., (2017). "Box-Jenkins ve Gri Tahmin Yöntemleri ile Türkiye’de Hava Yolu Ulaşım Talebinin Tahmini", Söke İşletme Fakültesi Priene Uluslar arası Sosyal Bilimler Dergisi,37-49.
- [45] Kökçen, A., (2010). Koşullu Varyans Modelleri:Finansal Zaman Serileri Üzerine Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Feyza TURAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.05.1992,Karabük
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : feyzaozcanf@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Tesisleri A.B.D.	YıldızTeknikÜniversitesi	2019
Lisans	ElektrikMühendisliği	YıldızTeknikÜniversitesi	2015
Lise	Matematik - Fen	Abdurrahmanpaşa Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	Armin Elektrik	ElektrikMühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Kekezoğlu, B., Turan, F., (2019). "Wind Speed Forecasting by Using time Series", International Journal of Advances in Computer and Electronics Engineering, Vol. 4, No. 6, 1-6.

