



**FARKLI REGRESYON MODELLERİ KULLANARAK ETKİN
PARAMETRELERE GÖRE RÜZGAR HIZI TAHMİNLEMESİ**

İLKNUR DEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DR. ÖĞR. ÜYESİ CEM EMEKSİZ**

**Nisan - 2019
Her hakkı saklıdır**

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI REGRESYON MODELLERİ KULLANARAK ETKİN PARAMETRELERE
GÖRE RÜZGAR HIZI TAHMİNLEMESİ

İLKNUR DEMİR

TOKAT
Nisan - 2019

Her hakkı saklıdır

İlknur DEMİR tarafından hazırlanan “**Farklı Regresyon Modelleri Kullanarak Etkin Parametrelere Göre Rüzgar Hızı Tahminlemesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 25/04/2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Cem EMEKSİZ

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Canan ORAL
Amasya Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Serhat CAN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

ONAY

Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

İLKNUR DEMİR

Nisan 2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

“FARKLI REGRESYON MODELLERİ KULLANARAK ETKİN PARAMETRELERE GÖRE RÜZGAR HIZI TAHMİNLEMESİ”

İLKNUR DEMİR

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ CEM EMEKSİZ)

Rüzgar enerjisi, rüzgar enerji santrallerinin kurulumunun hızlı ve kurulum maliyetinin düşük olması, doğal çevreye olan olumsuz etkilerinin bulunmayışı dolayısıyla gelişmekte olan ülkeler tarafından en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinde en önemli girdi rüzgar hızıdır. Bu nedenle rüzgar enerjisinden maksimum düzeyde verim elde edebilmek için rüzgar hızının doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Rüzgar hızı, değişimine etkiyen birçok çevresel faktör olduğundan tahminlemesi zor bir parametredir. Bu sebeple, kurulan ölçüm istasyonları vasıtasıyla toplanan meteorolojik veriler işlenerek rüzgar hızı tahminlemesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi yerleşkesinde kurulan ölçüm istasyonundan temin edilmiştir. Ölçüm istasyonunda bulunan sensörler vasıtasıyla onar dakika aralıklarla ölçülen rüzgar hızı, nem, basınç ve sıcaklık bilgileri analizler için kullanılmak üzere aylık, mevsimsel ve yıllık olarak gruplanmıştır. Bu çalışmada, toplanan meteorolojik veriler ile rüzgar hızı arasında matematiksel bir bağlantı kurularak tahminleme yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılan analizlerle aylık, mevsimsel ve yıllık denklem takımları oluşturulmuştur. Denklem takımları belirlenirken rüzgar hızı tahminlemesi sıcaklık, basınç ve nem parametrelerinin oluşturduğu 6 farklı kombinasyonla yapılmıştır. Tahminleme için yapılan analizlerde ise genel regresyon yöntemlerinden Basit Lineer Regresyon, Çoklu Lineer Regresyon ve Çoklu Non-lineer Regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Ortalama karesel hatanın karekökü ve determinasyon katsayısı dikkate alındığında bu yöntemlerden çoklu non-lineer regresyon yönteminin ön plana çıktığı ve daha düşük hata ile tahminleme yaptığı görülmüştür. Sıcaklık ve nem parametrelerinin rüzgar hızı tahmini için birlikte girdi olarak kullanıldığı modelin ise en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

2019, 81 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Yenilenebilir Enerji, Rüzgar Hızı Tahmini, Regresyon Analizi

ABSTRACT

MASTER THESIS

“WIND SPEED ESTIMATION BY EFFECTIVE PARAMETERS USING DIFFERENT REGRESSION MODELS”

İLKNUR DEMİR

TOKAT GAZIOSMANPAŞA UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. CEM EMEKSİZ

Wind energy is the most preferred renewable energy source by developing countries due to the fact that the installation of wind power plants is fast and the costs are low and they do not have negative effects on the natural environment. The most important input in wind energy conversion systems is wind speed. Therefore, it is necessary to determine the wind speed accurately and reliably in order to obtain maximum efficiency from the wind energy. Wind speed is a difficult parameter to predict as it has many environmental factors affecting its change. For this reason, meteorological data collected through established measuring stations are used for wind speed estimation. The data used in this study was obtained from the measurement station established in the campus of the Faculty of Engineering and Natural Sciences of Tokat Gaziosmanpaşa University. The wind speed, humidity, pressure and temperature information measured by the sensors in the measuring station at intervals of ten minute are grouped monthly, seasonal and annual to be used for analysis. In this study, it is aimed to estimation by making a mathematical connection between meteorological data and wind speed. For this purpose, monthly, seasonal and annual equation sets were formed by the analysis. While determining the equation sets, wind speed estimation is made with six different combinations of temperature, pressure and humidity parameters. Simple Linear Regression, Multiple Linear Regression and Multiple Non-linear Regression methods were used in the analyzes for estimation. When the root of the mean squared error and the coefficient of determination were taken into consideration, it was observed that multiple non-linear regression methods were prominent and estimated with lower error. It was determined that the temperature and humidity parameters were used together as an input for best wind speed estimation.

2019, 81 PAGES

KEYWORDS: Renewable Energy, Wind Speed Estimation, Regression Analysis

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince danışmanlığımı yapan, tez çalışmamın planlanmasında ve yürütülmesinde yardımcı olan, tecrübesini ve tavsiyelerini sabırla benimle paylaşan, akademik bilgisini ve sonsuz desteğini esirgemeyen çok değerli ve saygıdeğer hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cem EMEKSİZ'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Eğitim hayatım süresince her koşulda yanımda olan, moral veren, desteklerini ve sevgilerini her zaman üzerimde hissettiğim annem Aysel DEMİR ve babam Ali Rıza DEMİR'e, aileme teşekkür ederim.

İLKNUR DEMİR

Nisan 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	12
3.1. Güneş (Solar) Enerjisi.....	12
3.2. Rüzgar Enerjisi	14
3.3. Hidrolik Enerji	15
3.4. Jeotermal Enerji	17
3.5. Biyo-kütle Enerjisi.....	17
3.6. Dalga enerjisi	18
4. DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ	19
5. RÜZGAR OLUŞUMU İLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR.....	24
5.1. Rüzgar Oluşumunda Kuvvet Faktörü	26
5.2. Rüzgar Türleri.....	27
5.3. Rüzgar Gücü	29
6. RÜZGAR HIZI TAHMİNLEME YÖNTEMLERİ.....	33
7. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
7.1. Regresyon Analizi.....	37
7.2. Min-Max Normalizasyonu.....	41
7.3. Performans Belirleyicileri.....	41
7.3.1. Determinasyon katsayısı (R^2 -R Square)	42
7.3.2. Ortalama karesel hatanın karekökü (Root Mean Square Error).....	42
8. BULGULAR.....	43

9. TARTIŞMA VE SONUÇ	73
10. KAYNAKLAR	77
11. ÖZGEÇMİŞ	81



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
A	Türbinin taradığı alan
atm	Atmosfer
β	Regresyon Katsayıları
c	Hata terimi
C_p	Türbin verimi
cos	Cosinüs fonksiyonu
°C	Derece santigrat
d_m/d_t	Gravitenin zamana göre türevi
e^x	Eksponansiyel
ϵ_i	Hata
E_k	Rüzgar enerjisi
$E_{kinetik}$	Değişen kinetik enerji ifadesi
$F(x,y)$	x ve y cinsinden denklem ifadesi
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-saat
kg/m^3	Kilogram/metreküp
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-saat
$kWh/m^2\text{-yıl}$	Kilowatt-saat/metrekare-yıl
m	Havanın kütlesi
\dot{m}	Pervaneye etkiyen kütleli akım
m^3	Metreküp
mb	Milibar
$MW(\rho_h)$	Havanın gravite ifadesi
MW	Megawatt
n	Atom sayısı (mol)
n	Değişken dönüşümü sabiti
NM	Newton-Metre
P	Mutlak basınç (atm)

$P_{\text{rüzgar}}$	Rüzgar giriş güç değeri
P_t	Türbin gücü
π	Pi sayısı
R	İdeal gaz sabiti
R^2 -R Square	Determinasyon katsayısı
S	Pervaneye uygulanan basınç
\sin	Sinüs fonksiyonu
t	Zaman (Saniye)
T	Mutlak sıcaklık (Kelvin)
V	Hacim (m^3)
V	Havanın ortalama hızı
V_1	Türbine gelen havanın hızı
V_2	Türbinden çıkan havanın hızı
\hat{x}	Normalize veri
$x_{\min} - x_{\max}$	Minimum ve maksimum değer
\bar{X}	Bağımsız değişken
y	Fonksiyon ifadesi
Y_i	Gözlemlenen değer
\bar{Y}	Bağımlı değişken
\forall_i	Beklenen değer

Kısaltmalar

Açıklama

ANFIS	Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive–Network Based Fuzzy Inference Systems)
AR-GE	Araştırma-Geliştirme
ARIMA	Birleştirilmiş Otoregresif Hareketli Ortalama Modeli (Auto-Regressive Integrated Moving-Average)
ÇLR	Çoklu Lineer Regresyon
E-B	Enlem-Boylam
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GSM	Mobil İletişim İçin Küresel Sistem

	(Global System for Mobile Communications)
HES	Hidroelektrik Santral
ISA	Uluslararası Standart Atmosfer (International Standard Atmosphere)
LNG	Sıvılaştırılmış Doğalgaz (Liquid Natural Gas)
MATLAB	Çok Paradigmali Sayısal Hesap Yazılımı (Matrix Laboratory)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
REN21	21.Yüzyıl Yenilenebilir Enerji Politika Ağı (Renewable Energy Policy Network for 21 st Century)
RES	Rüzgar Enerji Santrali
RETScreen	Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Analiz Yazılımı (Renewable Energy Technology Screen)
RİTM	Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi
RMSE	Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (Root Mean Squared Error)
SCADA	Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi (Supervisory Control And Data Acquisition)
SPSS	Sosyal Bilimler için İstatistik Programı (Statistical Package for the Social Sciences)
SSE	Açıklanamayan Sapma (Sum of Squares Error)
SSR	Açıklanan Sapma (Sum of Squares Residuals)
SST	Toplam Sapma (Sum of Squares Total)
TÇV	Türkiye Çevre Vakfı
TM	Trafo Merkezi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜREB	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
WEKA	Waikato Environment for Knowledge Analysis
WWEA	Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği (World Wind Energy Association)
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Türkiye’deki toplam kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı ...	3
Şekil 1.2. Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin şebekeye katkısı	4
Şekil 1.3. Rüzgar Enerji Santralleri’nin bölge bazında dağılımı	4
Şekil 3.1. Türkiye için yıllık güneşlenme süreleri	13
Şekil 3.2. Tokat ili için yıllık güneşlenme saatleri	14
Şekil 3.3. 2018 Kasım ayı için enerji yatırım payları	15
Şekil 4.1. Dünyada 2007-2017 yılları arasında rüzgar enerjisi kapasite değişimi.	20
Şekil 4.2. Rüzgar Enerjisi Santralleri için toplu kurulum değişimi	22
Şekil 4.3. Rüzgar enerjisinin santraller aracılığıyla genel üretime sağladığı katkı.	23
Şekil 5.1. Rüzgar oluşumunun hareket yönü	24
Şekil 5.2. Kuzey ve Güney Yarıküre’de basınç merkezlerine göre yön değişimi.	25
Şekil 5.3. Rüzgar Çeşitleri	28
Şekil 5.4. Betz Teoremi	31
Şekil 6.1. Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi şematik işleyişi	34
Şekil 6.2. 25 Şubat 2019 günü için bir günlük üretim miktarı tahmini	35
Şekil 8.1. Rüzgar Ölçüm İstasyonu	43
Şekil 8.2. (a) Ocak ayına ait rüzgar hızı verileri	44
(b) Ocak ayına ait sıcaklık verileri.....	45
(c) Ocak ayına ait basınç verileri	45
(d) Ocak ayına ait nem verileri	45
Şekil 8.3. Üç boyutlu nem-basınç girdilerine bağlı olarak Ocak ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	48
Şekil 8.4. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Şubat ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	49
Şekil 8.5. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Mart ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	51
Şekil 8.6. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Nisan ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	52
Şekil 8.7. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Mayıs ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	53

Şekil 8.8. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Haziran ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	55
Şekil 8.9. Üç boyutlu nem-basınç girdilerine bağlı olarak Temmuz ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	56
Şekil 8.10. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Ağustos ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi	57
Şekil 8.11. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Eylül ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	59
Şekil 8.12. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Ekim ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	60
Şekil 8.13. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Kasım ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi.....	61
Şekil 8.14. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Aralık ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi	62
Şekil 8.15.(a) İlkbahar mevsimine ait rüzgar hızı verileri	63
(b) İlkbahar mevsimine ait sıcaklık verileri.....	63
(c) İlkbahar mevsimine ait basınç verileri	64
(d) İlkbahar mevsimine ait nem verileri	64
Şekil 8.16. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak İlkbahar mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi	65
Şekil 8.17. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Yaz mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi	67
Şekil 8.18. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Sonbahar mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi	68
Şekil 8.19. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Kış mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi	69
Şekil 8.20.(a) Yıllık verilere ait rüzgar hızı değerleri.....	70
(b) Yıllık verilere ait sıcaklık değerleri	70
(c) Yıllık verilere ait basınç değerleri.....	71
(d) Yıllık verilere ait nem değerleri.....	71
Şekil 8.21. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak yıllık veriler için rüzgar hızı tahmin değişimi	72

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.1. RİTM'in yaptığı tahminlemeler ve özellikleri.....	33
Çizelge 6.2. Rüzgar tahminlemesi için kullanılan modeller.....	36
Çizelge 8.1. Rüzgar hızı tahmini için oluşturulan gruplar	44
Çizelge 8.2. Ocak ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	46
Çizelge 8.3. Ocak ayına ait verilerin doğrusal ve doğrusal olmayan model karşılaştırmasına ait istatiksel veriler	47
Çizelge 8.4. Şubat ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	48
Çizelge 8.5. Mart ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	50
Çizelge 8.6. Nisan ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	51
Çizelge 8.7. Mayıs ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	53
Çizelge 8.8. Haziran ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	54
Çizelge 8.9. Temmuz ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	55
Çizelge 8.10. Ağustos ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	57
Çizelge 8.11. Eylül ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	58
Çizelge 8.12. Ekim ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	59
Çizelge 8.13. Kasım ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	60
Çizelge 8.14. Aralık ayına ait verilerin istatiksel sonuçları	62
Çizelge 8.15. İlkbahar mevsimine ait verilerin istatiksel sonuçları	65
Çizelge 8.16. Yaz mevsimine ait verilerin istatiksel sonuçları	66
Çizelge 8.17. Sonbahar mevsimine ait verilerin istatiksel sonuçları	67
Çizelge 8.18. Kış mevsimine ait verilerin istatiksel sonuçları	69
Çizelge 8.19. Yıllık verilerin istatiksel sonuçları	72
Çizelge 9.1. İllere göre aylık tahminlerin istatiksel sonuçları	74
Çizelge 9.2. İllere göre mevsimsel tahminlerin istatiksel sonuçları	75
Çizelge 9.3. İllere göre yıllık tahminlerin istatiksel sonuçları	75

1. GİRİŞ

Geçmiş yıllara göre son yıllarda daha da artan sanayileşme faaliyetleri, teknolojik gelişmelere dayalı endüstrileşme enerjiye olan ihtiyacı arttırmıştır. Dünya genelinde enerji talebini karşılamak için ilk etapta konvansiyonel enerji kaynaklarına yönelme olmuştur. Ancak bu kaynakların sınırlı olması, buna bağlı olarak işlenmiş petrol ya da gaz bedellerinin orantısız artışı, yenilenebilir kaynakların üretim tesisi kuruluş masraflarının petrol veya gaz kullanılarak elde edilen enerji maliyetiyle yarışacak hale gelmesi ve malzeme bilimindeki gelişmelerden ötürü tükenebilir enerji kaynaklarının kullanımı enerji krizinin ilk ortaya çıktığı zamana oranla son yıllarda azalmıştır (Demir ve Emeksiz, 2016).

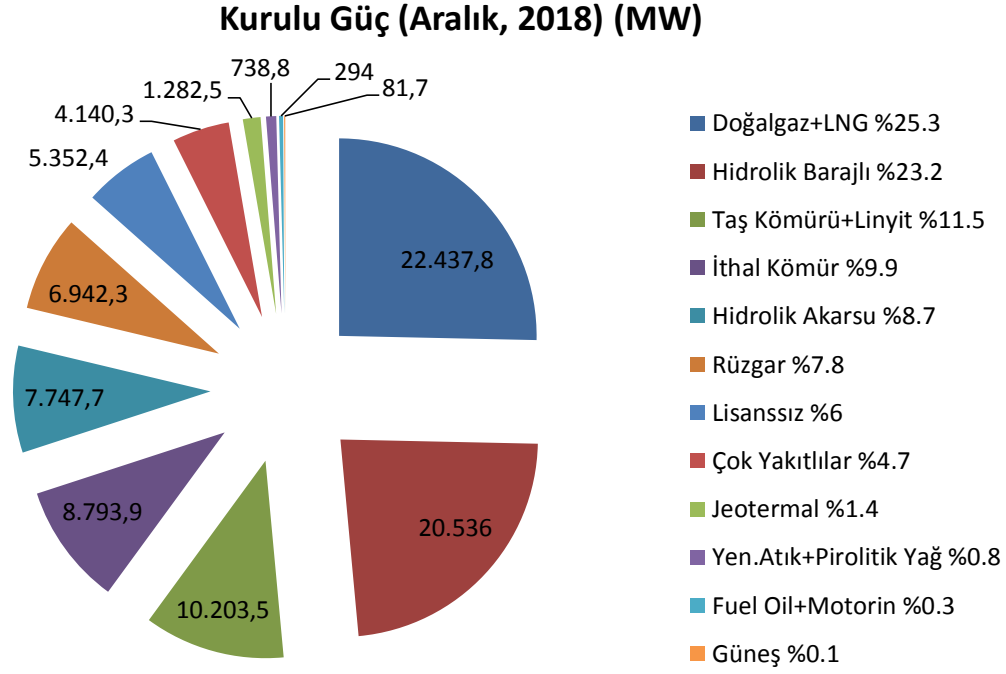
Yenilenebilir enerji kaynakları, artan enerji ihtiyacının karşılanması ve fosil yakıtların çevreye verdikleri zararı minimize etmek açısından dünya ülkelerinin üzerine yatırım yaptıkları bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kaynakların başında güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyogaz-biokütle enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji ve hidrolik enerji gelmektedir. Rüzgar enerjisi, rüzgar santrallerinin kurulum maliyetinin düşük ve hızlı olması, doğal çevreye olan olumsuz etkilerinin bulunmayışı dolayısıyla gelişmekte olan ülkeler tarafından en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş sistemi ve dünya ekosistemi var oldukça yenilenebilen, enerji yakıtı olarak kullanıldıklarında çevre dostu olan enerji kaynaklarıdır. Ülkelerin enerji politikalarını geliştirmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiği, yenilenebilir kaynakları değerlendirmek amacıyla çeşitli Ar-Ge komisyonları kurdukları ve bu alanda gelişmeye öncelik verdikleri görülmektedir. Yenilenebilir Enerji Politikaları Ağı'nın 2018 Global Durum Raporu'na göre 2017 yılında dünya çapında, geçmiş yıllara göre yenilenebilir enerjiden üretim yapılan modern tesislerin sayısı %5.4 artmıştır. Toplam kapasite ise bir önceki yıla kıyasla %8.8 artarak hidrolik güç dahil 2 195 GW'a yükselmiştir. Toplam kapasite değeri hidrolik güç değeri hariç 1 081 GW olmaktadır. 2017 yılı için hidrolik güç kapasitesi 1 114 GW iken solar kapasite 402 GW, rüzgar gücü kapasitesi ise 539 GW olmuştur. Bunları 122 GW ile biyoenerji kapasitesi takip etmektedir (REN21, 2018).

Dünya çapında dalga enerjisi kullanım kapasitesi ise 0.5 GW olmuştur. Bu kullanım oranlarının enerji üretimine katkısı global çapta yaklaşık %69'a denk gelmektedir. Biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, solar enerji ve rüzgar gücü enerji tesislerinin (1

MW'tan büyük olanları), hidroelektrik enerji tesislerinin, dalga ve biyoyakıt enerjisi tesislerinin (kapasitesi 1 milyon litre veya daha fazlası olan) tümünün yapımı için dünya çapında harcanan miktar REN21 2018 Enerji Raporu'na göre toplam 279.8 milyar dolar olmuştur. 2017 yılında dünya çapında yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi açısından ilk üç sıradaki ülkeyi Danimarka, Uruguay ve Almanya oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi alanında Danimarka 14 777 GWh ile ilk sırada yer almaktadır. Bu değer yüzde olarak ifade edilirse toplam üretimin %55 civarına denk gelmektedir. Solar enerjiden yani güneş enerjisinden elektrik üretim miktarı ise 789 GW ile %3 civarındadır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde Uruguay %28, Almanya ise %20 paya sahiptir. Güneş enerjisinden elektrik üretimine ise Uruguay %2, Almanya ise %8 katkı oluşturmaktadır. Bunları takiben Çin rüzgar enerjisinde var olan 200 GW'a yakın kapasitesini %19.7 oranında arttırmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 100 GW'a yakın kapasitesini %7, Almanya ise 50 GW'a yakın kapasitesini %6.1 oranında arttıracak ek tesisler eklemiştir (REN21, 2018).

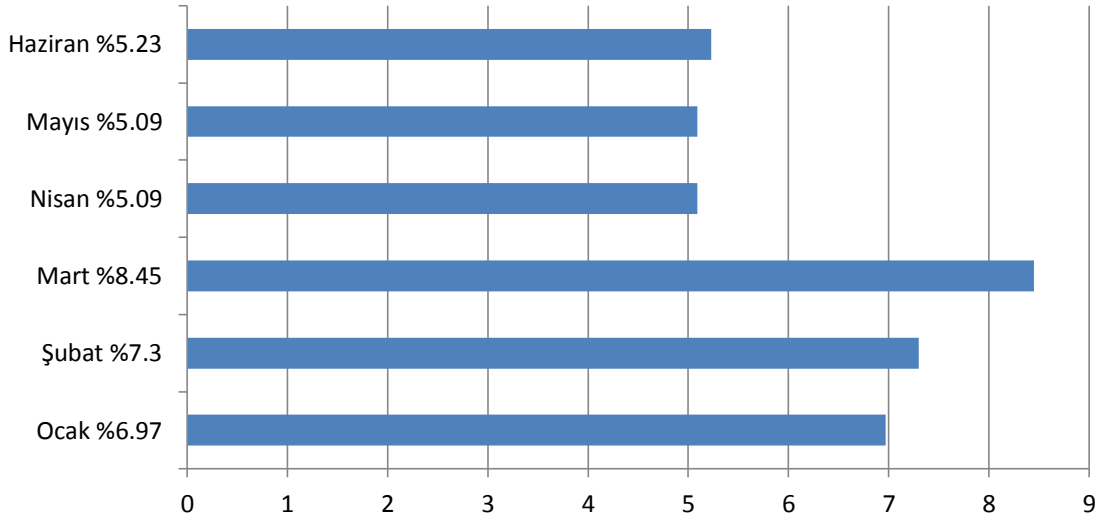
Son yıllarda genişleyen sanayi kolları, nüfus artışı ve şehirleşme, hibrit sistemlere yönelim, kullanılacak cihazlar için gereken enerjiyi şebekeden bağımsız üretmeyi gündeme getirmiştir. Tükenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji başta hava kirliliği olmak üzere su kirliliği, gürültü kirliliği ve elektromanyetik kirlilik oluşturarak büyük bir çevresel ve kitlesel soruna neden olmaktadır. Bu gibi sorunlar arttıkça da yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış, oluşturulan projeler destek görmeye başlamış, enerji talebini karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi gerekliliği ön plana çıkmıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının neredeyse tamamı kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik enerjinin yanı sıra jeotermal enerji ve biyogaz-biyokütle enerjisi de kullanılmaktadır. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin sağladığı kaynakla, Elektrik Mühendisleri Odası tarafından hazırlanan verilere göre ülkemizdeki kurulu güç Aralık 2018 sonu itibarıyla 88 550.8 MW'tır. Şekil 1.1'de Türkiye'de bulunan kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı görülmektedir. Ocak (2019) ayı sonunda toplam üretim ise 25 478 142 590 kWh olmuştur (Anonim-1, 2019).



Şekil 1.1. Türkiye'deki toplam kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı (Anonim-1, 2019)

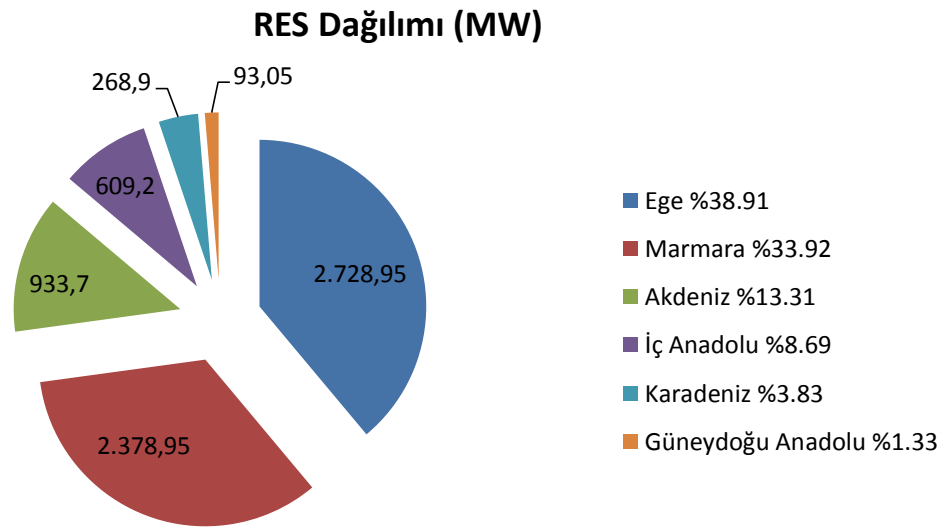
Ülkemizdeki kullanım oranları düşük olsa da dünya çapında rüzgar enerjisinden elektrik üretimi, tesislerin kurulum maliyetine oranla, tesisten alınan verim kıyaslandığında en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesidir. Türkiye ise rüzgar gücü kapasitesi bakımından dünyada 8. sırada yer almaktadır. Ülkemiz var olan enerji tesislerine her yıl yeni yapılar ekleyerek kapasitesini giderek arttırmaktadır. Türkiye'nin açıkladığı, 2023 yılı için hedeflenen toplam elektrik enerjisi üretiminin %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlama amacı için planlanan kaynak hedefleri; biyokütle enerjisi için 1 GW, jeotermal enerji için 1 GW, güneş enerjisi için 5 GW, hidroelektrik enerji için 34 GW, rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için 20 GW'tır (REN21, 2018). Bu amaç doğrultusunda geçtiğimiz yıl içerisinde ülkemiz destekli 1 GW üretim hacimli rüzgar enerjisinden elektrik üretecek kıyı tesisleri ihale edilmiştir (ETKB, 2018). Elde edilen bu veriler ışığında ülkemizde rüzgar enerjisinin kullanımına ne kadar önem verildiğini görebilmek mümkündür. Önceki dönemlerde yalnızca soğutma veya denizcilikte kullanılan rüzgar enerjisi artık rüzgar bacaları, rüzgar gülleri, rüzgar türbinleri gibi rüzgar toplayıcılarıyla etkin bir biçimde elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu'na göre 2018 yılının ilk altı ayına ait, rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin mevcut elektrik üretim şebekesine katkısı yüzdeli olarak Şekil 1.2'de verilmiştir (TÜREB, 2018).

Üretimin Şebekeye Katkısı (%)



Şekil 1.2. Rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin şebekeye katkısı (TÜREB, 2018)

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği'nin hazırlamış olduğu Temmuz 2018'de yayınlanan rapora göre işletmeye alınmış olan ve halihazırda çalıştırılan Rüzgar Enerji Santralleri'nin (RES) bölge bazında dağılımı Şekil 1.3'te bulunan grafikte gösterilmiştir. Buna göre en fazla Rüzgar Enerjisi Santrali Ege Bölgesi'nde bulunurken, Marmara ve Akdeniz Bölgesi Ege'yi takip etmektedir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise Rüzgar Enerjisi Santrali bulunmamaktadır (TÜREB, 2018).



Şekil 1.3. Rüzgar Enerji Santralleri'nin bölge bazında dağılımı (TÜREB, 2018)

İl bazında elektrik üretim kapasitesi olarak bakıldığında İzmir, Balıkesir ve Manisa ilk üç sırada yer alırken Tokat 140.70 MW kapasite ile 17. sırada yer almaktadır. Rüzgar Enerji Santrali'ne sahip tüm iller göz önüne alındığında Tokat toplam üretimin %2.01'lik payına sahiptir (TÜREB, 2018).

Rüzgar enerjisinden elektrik üretilecek santraller, kurulum aşamasında geniş Ar-Ge faaliyetlerine gereksinim duyar. Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi yapılacak arazi seçimi belli kriterlere göre yapılır. Bunlara ek olarak, rüzgar enerjisinden yararlanma imkanlarının bilinmesi, yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahip bölgelerin belirlenmesi, rüzgar hızı karakteristiklerinin oluşturulması, bölgede yıl boyunca değişen rüzgar hızının ve buna etki eden diğer meteorolojik parametrelerin tahmin edilebilir olması gerekmektedir. Çalışma koşullarına karşı sistem dayanıklılığının tespiti için bu kriterler göz önünde tutulmalıdır. Özellikle santralin kurulacağı bölgedeki fizibilite çalışmalarının hızlı ve doğru bir şekilde sonuçlandırılması çok önemlidir. Teorik açıdan çeşitli meteorolojik yazılım programları hesaplamalarda kolaylık sağlasa da her bölge için erişimin sağlanması oldukça güç olmaktadır.

Bu çalışmada, rüzgar hızı ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkilerin regresyon yöntemleri kullanılarak oluşturulan denklem takımları ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede sistemin ölçüm maliyetlerinin minimum seviyeye çekilmesi beklenmektedir. Tahminlemede Basit Lineer Regresyon, Çoklu Lineer Regresyon ve Çoklu Non-lineer Regresyon yöntemleri kullanılarak denklem takımları oluşturulmuştur. Buna göre en düşük hata ve en iyi determinasyon katsayısıyla tahmin yapan yöntemin Çok Değişkenli Polinom Regresyon yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu yöntem, rüzgar hızı tahmininde bağımsız iki değişkenin, hız tahminine olan etkisinin görülmesi açısından da faydalı olmuştur. Basit Lineer Regresyon ve Tek Değişkenli Polinom Regresyon denklem takımları hata oranlarının yüksek oluşu ve uyum değerlerinin düşük olması sebebiyle tercih edilmemiştir. Denklem takımlarının performansının belirlenmesi için RETScreen temiz enerji yönetim yazılımının sağladığı Ankara, Trabzon, Amasya ve Muş illerine ait veriler kullanılarak test işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde basınç, sıcaklık ve nem gibi parametreler ile rüzgar hızı arasında kullanılabilecek tarzda eşitliklere rastlanmamıştır. Yapılacak olan çalışmanın özgünlüğü açısından da bu çok önemlidir. Bu sayede rüzgar hızının tahminlenmesinde hangi parametrenin daha baskın olduğunun belirlenecek olması ve

buna dayanarak hangi meteorolojik parametrelere ait denklem takımlarının daha iyi sonuç verdiğinin belirlenmesi de ayrı bir önem taşımaktadır. Çalışmada kullanılan gerçek zamanlı veriler 2017-2018 yılları süresince Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi yerleşkesinde kurulmuş olan ölçüm istasyonundan toplanmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Akpınar ve ark. (2005), Lineer ve Non-lineer Regresyon modellerini kullanarak Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Erzincan, Kars ve Van illeri için sıcaklık, relatif nem, rüzgar ve basınç gibi hava parametrelerini yıllık olarak modellemişlerdir. Regresyon Analizi'nde en küçük kareler metodunu da kullanarak deneysel verilere eğri uydurup istatistiksel bir analiz yapmışlardır. Geliştirdikleri bu modelle hava şartları ve bunların çevreye etkisinin görülebilmelerini amaçlamışlardır.

Biçer ve ark. (2005), Elazığ ili için sıcaklık, relatif nem, rüzgar hızı, basınç, güneşlenme şiddeti ve güneşlenme süresi gibi hava şartlarını on yıllık bir zaman aralığında incelemiş ve modellemesini yapmışlardır. Modelleme için Lineer Regresyon Analizi kullanılmıştır. Bulunan sonuçların hava şartlarının çevre ve enerjiye etkisinin araştırılacağı bir çalışmada kullanılabileceği öngörülmüştür.

Vupa (2006), Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü Sempozyumu için yazmış olduğu çalışmada, sel baskını ve kuraklık problemlerini önceden tahmin etmek için, TÜİK verileriyle mevsim yağışlarını baz alıp, regresyon modellerini kullanmıştır. Kuraklık ve sel gibi sorunları önceden tahmin edip önlem almayı ve bazı bölgelerin ortalama yağış değerlerini regresyon modelleriyle en iyi şekilde bulmayı amaçlamıştır. Belirlediği bağımsız değişkenlerle değişimi açıklamış, modelinin iyi olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca diğer farklı değişkenlerin eklenmesi halinde, bu değişkenler arasında da çoklu bağlantı olduğu durumlarda Ridge Regresyon Analizi kullanılmasını önermiştir.

Kurban ve ark. (2007), Anadolu Üniversitesi kampüsünde ölçülen dört aylık rüzgar hızı verilerine dayanarak rüzgar hızı, rüzgar gücü değerlerinin değişimini ve rüzgar enerjisi gücü tahminini iki parametrelili Weibull olasılık dağılımı yardımıyla incelemişlerdir. Dağılımın parametrelerini bulmak için moment metodunu kullanmış, standart sapma değerlerini karşılaştırmışlardır. Böylece Eskişehir bölgesinin enerji potansiyelinin belirlendiği ön çalışma ile ortalama rüzgar hızının ve ortalama rüzgar gücü yoğunluğunun hesaplaması yapılmıştır.

Çerçi (2010), yüksek lisans tezinde Çok Değişkenli Regresyon Analizi kullanarak GSM sektöründe bir uygulama yapmıştır. Fatura gelirini, abone sayısı, haberleşme trafik yoğunluğu, tarife birim fiyat ortalaması ve baz istasyonu sayısı aracılığı ile Çok Değişkenli Regresyon Analizi yöntemiyle SPSS istatistik programını kullanarak açıklamak istemiştir. Bunu yaparken geliri bağımlı değişken olarak seçip çok değişkenli olarak çeşitli modeller oluşturmuştur.

Taşcıkaraoğlu ve Uzunoğlu (2011), değişken olan rüzgar hızı değerlerinin daha kararlı bir yapıya sahip olması için dalgacık dönüşümü yardımı kullanmışlardır. Bileşenlere ayırdıkları rüzgar hızı değerlerini ayrı ayrı tahminlemeye çalışmışlardır. Tahminleme için rüzgar hızları gibi doğrusal olmayan dizi modellemesini gerçekleştirebilen yöntemlerden biri olan yapay sinir ağları kullanılmıştır.

Atlı (2012), Orta Karadeniz Bölgesi'nde Rüzgar Hızının Panel Verili Regresyon Modeli Yardımıyla Tahmin Edilmesi adlı yüksek lisans tezinde, özellikle iktisat alanında ekonomik ilişkilerin tahminlemede kullanılan panel veri analizini rüzgar hızını tahmin etmek için uyarlamıştır. Rüzgar hızını açıklanan değişken, sıcaklık ve nem gibi değerleri açıklayıcı değişkenler olarak seçmiştir. Sabit etkili ve rastgele etkili modeli karşılaştırarak baz aldığı veriler için en uygun modeli bulmayı amaçlamış, sabit etkili modelin tahminlemede daha uygun olduğunu belirlemiştir.

Minaz ve ark. (2013), rüzgar hızı ve bununla doğrudan etkili olan basınç ve sıcaklık verilerini tahmin etmek için Uyarlanabilir Sinir Bulanık Sistemi (ANFIS) ve Doğrusal Çoklu Regresyon Analizi yöntemini kullanmışlardır. Bilecik ili için yapılan bu çalışmada, rüzgar hızı ve sıcaklık değerlerini tahminlemede Bulanık Sistem'in, basınç tahmininde ise Doğrusal Çoklu Regresyon Analizi'nin daha etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmayı Bilecik ili ve çevresi için rüzgar enerjisi alanında yatırım yapmak isteyenlere referans olacak biçimde hazırlamışlardır.

Berber ve ark. (2013), hava sıcaklığı tahminleme çalışması için Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemleri'ni kullanmışlardır. Gaziantep ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet adresinden on yıllık bir periyot için günlük ortalama sıcaklık değerleri alınmış ve bu veriler işleme sokulmuştur. ANFIS kullanarak elde edilen sonuçların etkin bir şekilde istenileni sağladığı görülmüştür.

Emeksiz ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada Tokat iline ait rüzgar hızı verilerini kullanarak yapay sinir ağlarıyla tahminleme yapmışlardır. MATLAB araç kutusunu kullanarak geri beslemeli bir ağ tasarlamışlardır. Analiz verilerini meteoroloji istasyonundan almış ve tahminleme yapmak için kullanmışlardır. Çalışmalarında 2010 yılına ait Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki rüzgar hızları için tahminleme yapmışlardır. Bu tahminleme için de 2005-2009 yılları arasında toplanan ortalama rüzgar hızı, sıcaklık ve nem verisi değerlerini kullanılmışlardır. Tahmin başarısını gösterebilmek için üç ayrı grafikte birlikte ortalama karekök hatası değerlerini hesaplamışlardır.

Güngör ve Sevindir (2013), yaptıkları çalışmada Isparta ilinin atmosferinde bulunan iki zararlı gaz konsantrasyonunun modellenmesi için Çoklu Doğrusal Regresyon yöntemini kullanmışlardır. Beş yıllık bir dönem için gözlenen, meteorolojik ve hava kalitesine ait değerleri kullanarak Çoklu Regresyon modellemeleri yapmışlardır. Denklemlerinin başarısını ortalama hatanın karesinin karekökü, uyum endeksi ve korelasyon katsayısı değerlerini karşılaştırarak belirlemişlerdir. Buna göre kükürt dioksit ve partikül madde konsantrasyonunu veren en iyi denklem takımını oluşturmuşlardır.

Özcan ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada Isparta ilinin rüzgar hızı değerlerini belirlerken Adaptif ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri ve Yapay Sinir Ağları'nı kullanmışlardır. Farklı yıllar ve aylardaki rüzgar hızlarını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Bulanık Sistem ile YSA'yı karşılaştırıp hangi metodun daha etkili olduğuna karar vermişlerdir. Buna göre değerlendirmeye aldıkları potansiyeli işlemede Bulanık Sistem'in rüzgar hızı tahmininde, YSA'ya karşı daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

Emeksiz ve ark. (2016), meteoroloji istasyonundan aldıkları Tokat iline ait on yıllık günlük ortalama rüzgar hızı verilerini derleyerek, yine Tokat bölgesi için rüzgar enerjisi potansiyeli belirleme çalışması yapmışlardır. Bunun için bölgede daha önce çalışması yapılmayan Weibull, Rayleigh, Log-normal ve Gama Dağılımlarını kullanmışlardır. İstatistiksel ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunluklarını hesaplamış, dağılımların parametre belirlemede en küçük kareler yöntemi kullanmışlardır. Çalışmada dağılımlar birbiri ile kıyaslanmış, en düşük hata oranıyla tahmin yapılan dağılım ve ay belirlenmiştir.

Karaca ve Karacan (2016), elektrik tüketim talebini etkileyen faktörleri sayısal olarak ifade etmek için yaptıkları çalışmada Çoklu Regresyon metodunu kullanmışlardır. Talep tahmini için kullanılan veri analizi yöntemleri Yapay Sinir Ağları, Otoregresif Hareketli Ortalamalar ve Basit/Çoklu Regresyon arasından seçilmiştir. Basit Regresyon ve Çoklu Regresyon ile yaptıkları tahminleri karşılaştırmış, tek bir değişken yerine veri ile ilişkisi olan diğer değişkenlerin de kullanımıyla daha sağlıklı sonuçlar aldıklarını ifade etmişlerdir. Tahmin değerlerini gerçek değerlerle de karşılaştırmış ve çalışmalarının geçerli sonuç elde edebildiği kanısına varmışlardır.

Güleç ve Demirel (2017), Kastamonu ili güneşlenme şiddetini Yapay Sinir Ağları metodu ile tahmin etmişlerdir. Çalışmalarında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden derledikleri 2009-2016 yıllarına ait aylık değerleri işleme almışlardır. Açık gün sayısı, ortalama nem, ortalama hava basıncı, ortalama sıcaklık gibi değişkenlerle Yapay Sinir Ağları'nda aylık toplam güneş ışınım şiddeti tahminlemesi yapmışlardır.

Kırbaç (2018), İstatiksel Metotlar ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kısa Dönem Çok Adımlı Rüzgar Hızı Tahmini isimli çalışmasında TÜBİTAK T60 gözlemevinin Nisan ayı için bir aylık yaptığı gözlem sonuçlarını derleyerek rüzgar hızı verilerini İstatiksel Tahmin Metodu (ARIMA) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) metotlarını kullanarak incelemiş ve sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Akın (2018), Ekstrem Rüzgarların Yapay Sinir Ağları Ve Çoklu Lineer Regresyon Kullanılarak Kısa Süreli Tahmini isimli yüksek lisans tezinde, Marmara, Ege, Güneydoğu ve Akdeniz Bölgeleri'nde bulunan 18 farklı rüzgar tarlasından sağladığı maksimum rüzgar şiddeti verilerini saatlik olarak işleme almış ve çalışmasında yöntem olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) metotlarını kullanmıştır. Her iki yöntemde de girdi olarak aynı girişleri vermiş, daha sonra ise hem maksimum rüzgar şiddetleri için hem de uç rüzgar şiddeti olarak belirlenen rüzgar hızı değerleri için analiz yapmıştır. YSA sonuçları Çoklu Lineer Regresyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kullanım kolaylığı açısından ÇLR, YSA'dan daha pratiktir. Çünkü ÇLR bir denklemden oluşmaktadır. Buna karşın YSA yapısı açısından çok karmaşıktır.

Farklı mimariler üzerinden YSA'nın geliştirilebilmesi imkânı olması da YSA'nın avantajıdır. Bu çalışmada, YSA ve ÇLR sonuçları genel olarak birbirine yakın olarak elde edilmiştir.

Demir ve Emeksiz (2018), ölçüm istasyonları vasıtasıyla toplanıp, veri madenciliği ile işlenen rüzgar hızı verilerini tahmin etmek için WEKA yazılımını kullanmışlardır. Topladıkları meteorolojik parametreleri belirledikleri yedi ayrı kombinasyona ayırmış ve bunları kullandıkları yazılımda 12 farklı algoritma ile denemişlerdir. Hata ve uyum değerlerini karşılaştırıp rüzgar hızı tahminlemede hangi algoritmanın daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.



3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Geçmiş yıllara göre son yıllarda daha da artan sanayileşme faaliyetleri ve teknolojik gelişmelere dayanarak büyüyen endüstrileşme elektrik enerjisinin arz-talep dengesini bozmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi, artan enerji ihtiyacının alternatif yollarla karşılanmak istenmesi, enerji üretimi yapılacak santral masraflarının tolere edilecek düzeye gelmesi ve artık yeni yeni kazanılmaya başlanan çevre koruma bilinci gibi sebeplerin etkisiyle dünya ülkelerinin önem verip üzerine yatırım yaptıkları bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş sistemi ve dünya ekosistemi var oldukça yenilenebilen, enerji yakıtı olarak kullanıldıklarında konvansiyonel yakıtlara göre çevre dostu enerji kaynaklarıdır. Çünkü bu kaynakların esası çevrenin, doğal düzenin, ekosistemin kendisinden gelmektedir. Bunu kavrayan ülkelerin enerji politikalarını değiştirerek yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmek amacıyla çeşitli Ar-Ge komisyonları kurduklarını ve bu alanda gelişmeye öncelik verdikleri görülmektedir.

Enerji üretilecek tesislerdeki en önemli sorunlar yakıt olarak kullanılacak madde temini, tesis kuruluş masrafları, iş gücü masrafları, yakıtların kullanımından elde edilen atıklar, atıkların depolanması ve bu atıkların imhasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları için bu gibi problemler söz konusu değildir. Öncelikle enerji yakıtı olarak kullanılan rüzgar, güneş veya suyun enerji dönüşümünden sonra herhangi bir atık oluşturması söz konusu değildir. Enerji için kullanılacak ham madde temini konusunda ise ülkemiz yeterince zengin ve farklı kaynak potansiyellerine sahiptir. Yenilenebilir enerjiden elektrik üretecek tesisler için ise kuruluş masrafları ve fizibilite çalışmaları da giderek azalmaktadır (Demir ve Emeksiz, 2016).

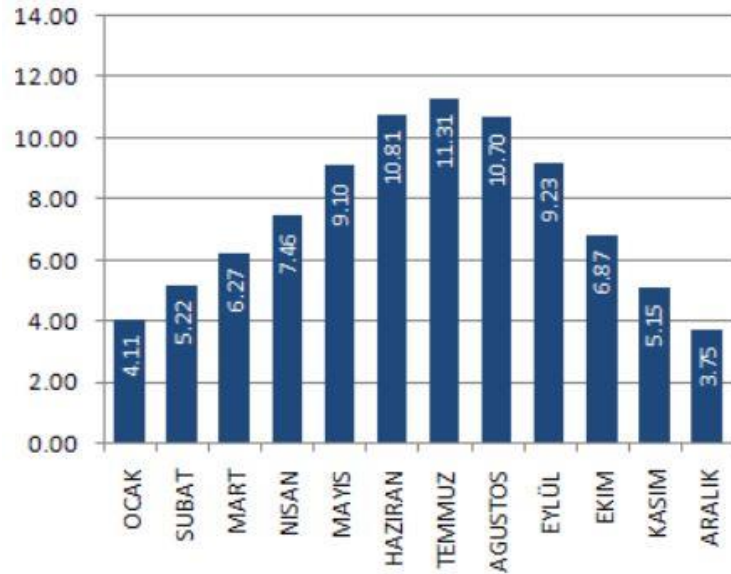
3.1. Güneş (Solar) Enerjisi

Güneş Dünya'nın 110 katı büyüklüğünde, çapı 1.4 milyon kilometre, yüksek sıcaklık ve basınca sahip, Dünya'dan ise 1.5×10^{11} metre uzaklıkta olan bir yıldızdır (Varınca ve Gönüllü, 2006). Güneş enerjisi yıldızın kendi çekirdeğinde saklı enerjinin kimyasal ve nükleer bir süreç sonucunda ısı enerjisi ve ışınım olarak dışarıya çıkmasıdır. Hidrojen tepkimesi olarak da adlandırılabilen bu durum sonucunda açığa çıkan ısı ve ışık enerjisi,

Güneş ve Dünya arasındaki çok çok büyük mesafeye rağmen dakikalar içerisinde yeryüzüne ulaşmaktadır. Güneşten yayılan bu enerjinin tamamı yerküreye ulaşamaz. Yani uzay boşluğundan yerküreye ulaşana kadar, dünyanın çevresinde bulunan yedi katmandan geçen güneş ışınımında yansıma şekliyle mutlaka bir kayıp meydana gelmektedir (TÇV, 2006).

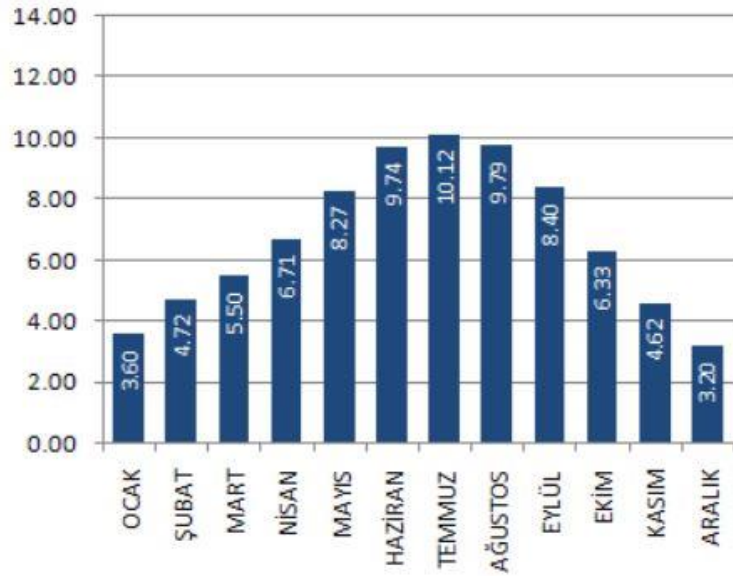
Dünya'ya ulaşan güneş enerjisini toplayıp elektrik enerjisine çevirecek panellerin ve fotovoltaik pillerin üretimine ülkemiz de önem vermektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretmeye yarayan fotovoltaik panellerin kapasite arttırımında, mevcut olan kapasiteye yapılan 3.4 GW'lık ekleme ile dünya genelinde kapasite arttırımı yapan ülkeler arasında 5. sırada yer almaktayız. Güneş enerjisi kaynağıyla su ısıtmak için kullanılan toplayıcı panellerin kapasitesi alanında ise Çin'den sonra dünya genelinde 2. sırada gelmekteyiz. 2017 yılında solar güç üretim kapasitemiz toplamda 402 GW'a yükselmiştir (REN21, 2018).

Türkiye coğrafi konumunun güzelliği sebebiyle dört mevsim güneş alabilen bir ülkedir. Şekil 3.1'de Türkiye için yıllık güneşlenme saati verileri aylara göre değişen miktarlarıyla gösterilmektedir (YEGM, 2019).



Şekil 3.1. Türkiye için yıllık güneşlenme süreleri (YEGM, 2019)

Buna göre Türkiye genelinde güneşlenme süresi yıl içerisinde Aralık ayında minimum olmak üzere 3.75 saat, Temmuz ayında ise maksimum 11.31 saat arasında değişmektedir. Ülkemizde görülen minimum güneşlenme süresi bile çoğu dünya ülkesinin yıl ortalamasından bile daha yüksektir. Bu bilgilerin ışığında Türkiye'nin eşsiz potansiyeli öne çıkmaktadır. Yapılan güneş enerjisi potansiyeli araştırmalarına göre Türkiye'de yıllık toplam güneş radyasyonu değeri 1 400 ila 2 000 kWh/m²-yıl olarak değişmektedir. Şekil 3.2'de ise Tokat ili için belirlenen yıllık güneşlenme saatleri görülmektedir (YEGM, 2019).



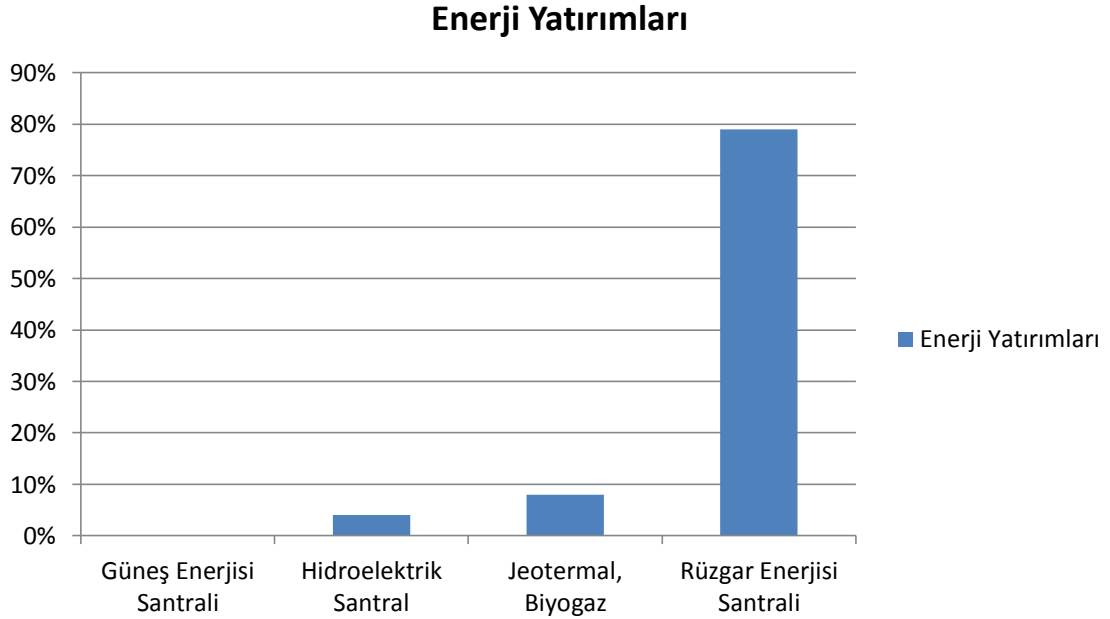
Şekil 3.2. Tokat ili için yıllık güneşlenme saatleri (YEGM, 2019)

Şekil 3.2'ye göre Tokat ili en düşük güneşlenme süresi 3.20 saat ile Aralık ayında olmuştur. Yıllık en yüksek güneşlenme süresi ise Temmuz ayında 10.12 saat olmuştur. Yıl içerisindeki toplam güneş radyasyonu değeri ise 1 400 ila 1 550 kWh/m²-yıl olarak değişmektedir. Ancak il içerisinde lokal olarak toplam güneş radyasyonunun 1 550 ila 1 600 kWh/m²-yıl'a çıktığı yerlerde mevcuttur. Buradaki güneş radyasyonu değerleri de Türkiye ortalamasından yüksektir (YEGM, 2019).

3.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi yerkürenin atmosferinde bağımsız olarak hareket eden daimi ve güvenilir bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesi için belirli bir rüzgar hızı potansiyelinin var olması gerekmektedir. Rüzgar enerjisi, dört

mevsimi yaşıyan ülkemiz için potansiyeli çok ve etkin değerlendirilen bir alandır. Bu sebeple ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için kullanılacak santral sayısı ve bu sektöre ayrılan pay giderek artmaktadır. Şekil 3.3'te Kasım 2018 için ülkemizdeki enerji yatırım payları görülmektedir (Anonim-2, 2019).



Şekil 3.3. 2018 Kasım ayı için enerji yatırım payları (Anonim-2, 2019)

Şekil 3.3.'e göre Kasım ayında Güneş Enerjisi Santrali'ne yatırım olmazken Hidroelektrik Santral'e %4, Jeotermal Enerji ve Biyogaz Tesisleri'ne %8, Rüzgar Enerjisi Santrali'ne ise %79 yatırım yapılmıştır. Buradan hareketle rüzgar enerjisinin elektrik üretimi için kullanım yüzdesinin de paralel olarak arttığını söyleyebilmek mümkündür. Rüzgar enerjisini değerlendirmek için dünya çapında 52.4 milyar dolarlık bir yatırım olmuştur. Bu yatırımın bir önceki yıla oranla değişimi rüzgar enerjisi alanında %12 olmuştur (REN21, 2018).

3.3. Hidrolik Enerji

Dünyamızı oluşturan bütünün $\frac{3}{4}$ 'ü sularla kaplıdır. Hayat kaynağı olarak kullanılan başlıca ihtiyaçlardan biri sudur. Su sadece biyolojik ihtiyaçların karşılanması için kullanılan bir kaynak değildir. Yaşam kaynağı olan bu madde elektrik enerjisi üretiminde etkin olarak kullanılan bir araca dönüşmüştür.

Hidroelektrik enerji santrallerinde suyun sahip olduğu kinetik enerji türbinler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Büyük baraj gölleri ve su toplama alanları oluşturularak daimi bir enerji akışı için su depolanarak bir nevi potansiyel enerji depolanmış olur. Su burada ham madde olmaktadır. Ayrıca depolanan su kuraklık dönemleri için sulama alanında, büyük göllerde su ürünleri ıslahı, araştırması ve yetiştiriciliğinde, Atatürk baraj gölü gibi kapsadığı alan kilometrekareleri bulan yerlerde turizm ve taşımacılıkta da kullanılabilir. Bütün bunların dışında dünyadaki baraj göllerinin bir faydası da denizler ve okyanusların dışında küresel sıcaklığı 1 ila 3°C arasında düşürmektir. Yüksek bir yere depolanan su, yüksek debili bir akarsu ya da cebri borularla taşınan bir su kaynağından da elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Elektro-mekanik aksamla üretilen elektrik enerjisi ulusal şebekeye trafolar ve enerji nakil hatlarıyla aktarılmaktadır. Bunun için gerekli açık ve kapalı şalt sahaları hidroelektrik santrallerin kuruluşunda inşa edilmektedir. Kuruluş maliyeti ilk bakışta yatırımcılara cazip gelmese de üretime başlanılan zamandan kısa bir süre sonra hidroelektrik santraller kuruluş masraflarını amorti etmektedir.

Hidrolik enerji yatırımında ülke genelinde var olan hidroelektrik kapasiteyi 0.6 GW arttırarak 28.358 GW'a ulaşmış bulunmaktayız. Hidroelektrik kapasiteye yapılan bu ekleme oranı ile dünyada 5., toplam sahip olunan hidroelektrik tesis kapasitesi bazında dünyada 8. sırada yer almaktayız (REN21, 2018). Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun (EPDK) oluşturduğu Enerji Atlası'na göre ülkemizde kayıtlı hidroelektrik santralleri sayısı 640, kurulu gücün miktarı 28.358 GW ve bu kurulu güç değerinin toplam kurulu güce oranı ise %32.01'dir (Enerji Atlası, 2019). Tokat ili de su kaynakları açısından zengin bir yerdir. Tokat ili sınırları içerisinde birçok hidroelektrik santral ve baraj gölü bulunmaktadır. Akıncı HES 99 MW kurulu gücü ile Türkiye'de 145. sırada yer almaktadır. Büyüklüğü bakımından kıyaslandığında ise Türkiye'de 57., Tokat ilinde ise 1. sırada gelmektedir. Akıncı HES tek başına ürettiği elektrik enerjisi ile yaklaşık 140 000 hanenin elektrik ihtiyacını karşılayacak kapasitededir. 50 MW üzerinde dört adet HES bulunduran Tokat'ta toplamda 15 adet HES bulunmaktadır. Kurulu gücü 50 MW'ın üzerinde olan HES'ler; Akıncı HES (99 MW), Köklüce HES (90 MW), Tepekışla HES (70 MW) ve Reşadiye HES (64 MW)'tir (Enerji Atlası, 2019).

3.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yerkürenin iç çekirdeğinin sıcaklığından kaynaklanan, bu iç kabukta biriken ısının yeraltı sularına ulaşır yer şekillerinin ve arazi yapısının müsait olduğu yerlerden yeryüzüne çıkmakta olan sıcak su ve sıcak su buharı olarak tanımlanabilmektedir. Dünya ekosisteminde su devrimi sona erip yerküre çekirdeği kendi iç sıcaklığını kaybetmediği sürece jeotermal enerji kaynağı da tükenmeyecektir. Günümüze kadar sıcak su, içerdiği mineraller sebebiyle sağlık turizminde kullanılsa da son yıllarda jeotermal kaynaklar buhar türbinleri yardımıyla enerji üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Jeotermal enerji yerkürenin iç çekirdeğinde bulunan sıcaklık nedeniyle oluştuğu için çevresel faktörlerden etkilenmeyen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Türkiye'nin büyük bir bölümü volkanik faaliyetlerin görüldüğü 3. Jeolojik Zaman'da oluşmuştur (Ateş, 2017). Bu bilgiye göre hala aktif fay hatları ve volkanik özelliklerin görüldüğü ülkemizde jeotermal potansiyel çok yüksektir. Türkiye 2017 yılında mevcut jeotermal enerji kurulu güç kapasitesine eklenen %34.4'lük pay ile jeotermal enerji kurulu gücünde Endonezya'dan sonra dünyada ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye jeotermal enerjide var olan 243 MW kurulu gücüne eklediği kapasiteyle toplamda 1.1 GW'a ulaşmış, bu güç değeriyle Amerika Birleşik Devletleri, Filipinler ve Endonezya'dan sonra dünyada dördüncü sırada yer almaktadır (REN21, 2018).

3.5. Biyo-kütle Enerjisi

Biyokütle, bir türün veya çeşitli türlerin özelliğini taşıyan canlı yapılarının bir zaman süreci sonunda sahip olduğu toplam ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul edilmektedir (Anonim-3, 2019). Biyogaz, biyokütle, atık ısı ve Pirolitik yağ enerji santralleri yakıt olarak bitkisel, hayvansal, orman kaynaklı ürünler, organik çöpler ve endüstriyel atıkları kullanmaktadırlar. Ülkemizde toplam kurulu gücü 646 MW olan 100 adet kayıtlı biyo-kütleden enerji üreten santral vardır (Enerji Atlası, 2019).

3.6. Dalga Enerjisi

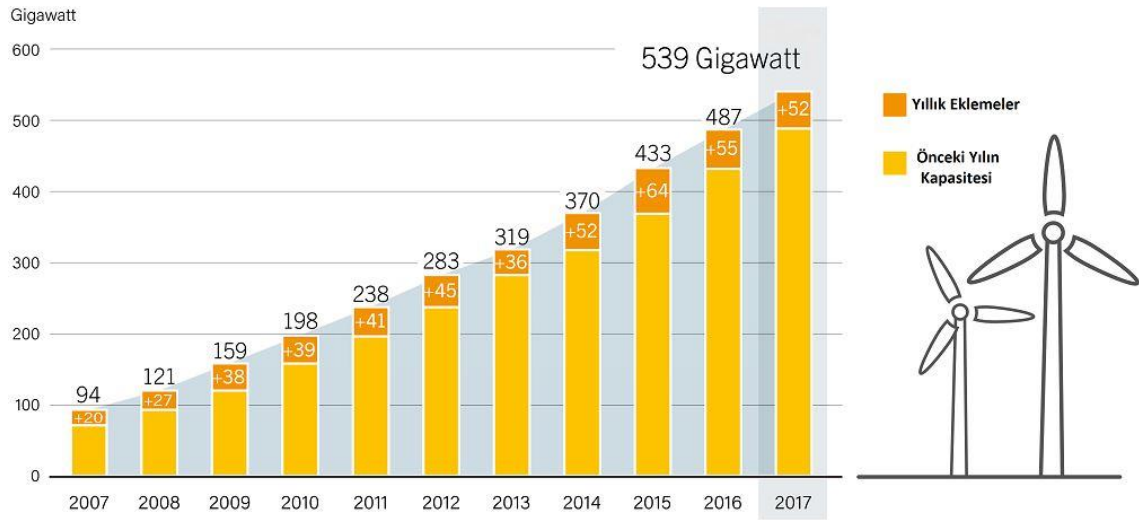
Dalgalar Dünya'nın uydusu Ay'ın yarattığı medcezir çekim alanı ve Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönüşüyle yaptığı günlük hareket sonucunda oluşan su yüzeyindeki kabarmalardır. Dalga enerjisi ise bu hareketin yarattığı gel-git şeklinde oluşan mekanik etkinin elektrik enerjisine çevrilerek kullanılmasıdır. Dalga enerjisi ve rüzgar prensipte birbirine bağlantılı iki parametredir. Deniz veya okyanus yüzeyinde oluşan dalgalar, rüzgarlar vasıtasıyla oluşan hava akışının su yüzeyinin dengesini bozmasıyla oluşur. Rüzgarın esiş yönüne paralel olarak bozulan bu denge, mekanik devreleri harekete geçirerek enerji üretilmesine yardımcı olur. Yani şiddetli bir rüzgarın var olduğu bir gündeki elektrik üretimi ile, sakin, rüzgarsız hava görülen bir günde dalga enerjisi kullanılarak üretilen elektriğin arasında büyük bir farklılık olmaktadır. Dalga sayısında ve gel-git sıklığındaki artış üretimin artmasında en büyük etkenlerdendir. Dalga enerjisi büyük ve açık denizlerde yani okyanuslarda daha çok değerlendirilebilen bir enerji çeşididir. Dünya genelinde Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Kanada gibi ülkelerde ve Atlas Okyanusu kıyılarında dalga potansiyelinin daha çok değerlendirildiği görülmektedir (REN21, 2018). Bu ülkelerin ortak özelliklerinden bir tanesi büyük su kütlelerine yani okyanusa kıyıları olmasıdır. Kaynağını sudan alan bir enerji çeşidi olan dalga enerjisi, üç tarafı denizlerle çevrili olan yarımada şeklindeki ülkemiz için değerlendirilmeyi bekleyen yenilenebilir bir enerji çeşididir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ile dünyadaki sayılı ülkelere bir tanesidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretebilen kuruluşlara sahip olan 75 ülkeden birisi olan Türkiye'nin, dalga enerjisi ile ilgili potansiyelinin belirlenerek, bu enerji çeşidini üretime katmak için gerekli olan mekanik üreteçlerin denizlerimizde kullanılmasıyla, ucuz ve temiz enerji üretimi konusunda gelecek vaadeden bu kaynak değerlendirilmiş olacak ve ülke ekonomimize fayda sağlayacaktır.

4. DÜNYA VE TÜRKİYE'DEKİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Enerji kullanımı ve üretilmesi itibariyle ekonomik durumun ve gelişmişlik seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır. Rüzgar enerjisini dönüştürecek ilk aletlerin geçmişi ise milattan öncesine kadar dayanmaktadır. Eski dönemlerde sadece yel değirmeni ve yelkenli gemilerde kullanılan rüzgar gücü yıllar içerisinde kullanım alanını arttırmıştır (Ahmed, 2010). Önceleri insanlar rüzgar enerjisini gemilerin hareket etmesi, sulama, değirmenlerle tahıl öğütülmesi gibi işlerde kullanırken yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte günümüzde daha çok elektrik enerjisi üretmekte kullanılmaktadır. Dünyada rüzgar türbini gelişiminin dönüm noktası 1939 yılında 53 metre çapında olan 1.25 MW'lık Smith Putnam rüzgar türbininin Vermont, Granpa's Knob' yerleşim biriminde (Amerika Birleşik Devletleri) kurulmasıyla olmuştur. Rüzgar türbini gelişiminin bir sonraki aşamaya geçmesi ise 1957 yılında Gedser rüzgar türbininin inşası ile olmuştur. Gedser rüzgar türbini adını taşıdığı Gedser Adası (Danimarka)'na kurulmuştur. Türbinin inşası için gereken para savaş sonrası alınan finansmanlardan oluşmuştur. 200 kW'lık bir kapasiteye ve 24 metre çapa sahip Gedser rüzgar türbini 1958'de çalışmaya başlamış ve 1967 yılına kadar kapasitesinin %20'si ile üretim yapmıştır (Hau, 2006).

1970'li yıllarda baş gösteren enerji krizi ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmış, rüzgar türbini geliştirimine ve temiz enerji üretilecek santrallerin kurulmasına öncelik verilmeye başlanmıştır. 1990'lı yıllara gelindiğinde Almanya'nın yılda 200 MW civarı kapasite ile üretim yapacak elektrik tesisini devreye alması önemli bir gelişme olarak sayılmıştır. Birçok rüzgar türbininden toplamda elde edilen megawattlık elektrik üretimi gelişmelerini önemli kaydeden rüzgar enerjisinden elektrik üretimi sektörü, günümüzde tek bir rüzgar türbininden elde edilen megawattlarca elektrik enerjisi üretimi seviyelerine yükselmiştir ve teknoloji de giderek gelişmektedir. Teknolojik gelişime bağlı olarak bu üretim değerlerinin de artacağı öngörülmektedir. 2007-2017 yılları arasında yenilenebilir enerjide, özellikle rüzgar gücü enerjisinde olan gelişmeler ele alınırsa, dünyada yenilenebilir enerjiye yapılan toplam yatırım 279.8 milyar doları bulmuş; bunun 52.4 milyar dolarlık bir kısmı ise yalnızca rüzgar enerjisi üzerine yapılan bir yatırım olmuştur. Yapılan bu yatırımın da 36.1 milyar dolarlık bölümü Çin'in yaptığı enerji tesislerine aittir. Dünya genelinde enerjiye yapılan yatırımın bir önceki

yıla oranla değişimi güneş enerjisinde %18 iken, rüzgar enerjisinde %12 olmuştur. Dünya çapında rüzgar enerjisi üretim kapasitesi 539 GW'a kadar yükselmiş, son üç yılda bir önceki yıla göre rüzgar enerjisi kapasitesi en az 52 GW artmıştır. Rüzgar gücünün 2007-2017 yılları arasında dünya çapındaki rüzgar enerjisi tesisi kapasite değişimi ve her yıl artan ekleme oranları Şekil 4.1'de gösterilmiştir (REN21, 2018).



Şekil 4.1. Dünyada 2007-2017 yılları arasında rüzgar enerji tesisi kapasite değişimi (REN21, 2018)

Dünya çapında rüzgar enerjisinden elektrik üretimine bakılacak olursa ilk üç ülkeyi Danimarka, Uruguay ve Almanya oluşturur. Dünya üzerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesisleri olan 75 ülke vardır. Türkiye de bu ülkelerden bir tanesidir. Sektör bazında yenilenebilir enerjiden elektrik enerjisi üretim payı, 2017 yılında açıklanan enerji hedeflerine göre; Danimarka için 2020 yılında %100, Almanya için 2025 yılında %45, Kazakistan için 2030 yılında %50, Bulgaristan için 2020 yılında %20.6, Japonya için 2030 yılında %24, Azerbaycan için 2020 yılında %20 ve Türkiye için 2023 yılında %30 payı kapsamaktadır (REN21, 2018). Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği (WWEA)'nin 2012 yılında hazırladığı Dünya Rüzgar Enerjisi Raporu'na göre rüzgar türbini güç kapasitesi sıralamasında ilk üç sırayı alan ülkeler yine Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya olmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde rüzgar türbini kurulu gücü sıralamasında ise ilk üç Avrupa ülkesi, Almanya, İspanya ve İtalya'dır. Türkiye bu sıralamada 17. sırada yer almaktadır (WWEA, 2012). Ayrıca offshore (açık deniz) rüzgar kapasitesinin en yüksek olduğu ülkeler İngiltere, Danimarka ve

Hollanda'dır. Bu ülkelerin rüzgar enerjisine verdikleri öneme binaen geliştirdikleri türbin markaları sırasıyla Nordex (Almanya), Vestas (Danimarka) ve Enercon (Almanya) ülkemizdeki RES'lerde en çok kullanılan rüzgar türbini markalarıdır (Enerji Atlası, 2019). Türkiye ise ürettiği Northel, Ayetek ve Milres isimli rüzgar türbinleriyle bu pazarda yer almaya çalışmaktadır.

Türkiye üç kıtanın kesişimindeki göz alıcı konumu ve sınırları içerisinde bulundurduğu potansiyel ile hayli önemli bir stratejik konuma sahiptir. Orta Doğu'dan gelip Avrupa kıtasına doğru geçen petrol-doğalgaz boru hattı yolları ve iki kıtayı birbirine bağlayan konumuyla bir nevi enerji köprüsü olma durumundadır. Gün geçtikçe artan şehirleşme, sanayileşme ve yapılaşma ile ülkemizde enerjiye olan talep de buna paralel olarak artmaktadır. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir potansiyele sahiptir. Son yıllarda büyük önem kazanan yenilenebilir enerji kaynaklarının, aktif olarak değerlendirilmesiyle ülkemizdeki enerji açığında yaşanan sorunlar minimuma indirgenecektir. Böylece ülkemizde var olan enerji sorunu nispeten çözülecek ve enerji konusunda dışa bağımlılık azalmış olacaktır (Demir ve Emeksiz, 2016).

Ülkemiz genelinde rüzgar enerjisinden elektrik üreten santrallerinin dağılımına bakıldığında genellikle Ege, Marmara ve Akdeniz Bölgeleri'nde toplandığı görülmektedir. Lisanslı RES'lerin durumuna bakıldığında sıralama Marmara, Ege, İç Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi olarak değişmektedir. Bu yoğunluğun sebebi enerji potansiyelinin bu bölgelerde daha yüksek seviyelerde olmasından kaynaklanmaktadır. Rüzgar Enerjisi Santralleri Ege Bölgesi çevresinde yoğunlaşmakta olup geri kalan kısmı ise Balıkesir, Hatay, Çanakkale ve Osmaniye civarında toplanır. Tokat ise ülkemiz sıralamasında 17. sırada yer almaktadır. Ülkemiz genelinde RES'ler için toplu kurulumun grafiksel ifadesi TÜREB 2018 raporuna göre Şekil 4.2'de aşağıda verilmiştir (TÜREB, 2018).



* Temmuz 2018 itibarıyla
*As of the month July 2018

Şekil 4.2. Rüzgar Enerjisi Santralleri için toplu kurulum değişimi (TÜREB, 2018)

Ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin 2019 yılı için ne kadarlık bir gelişim göstereceği 2018 yılının sadece ilk altı ayında yaptığı üretim artış değeri ile de anlaşılabilir. Türkiye teknolojik alanda inovatif düşünceleri değerlendiren, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemini kavrayan, genç nesillere bu değerli mirası bırakmak isteyen bir ülkedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisinin, santraller aracılığıyla genel üretime sağladığı katkı Şekil 4.3'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

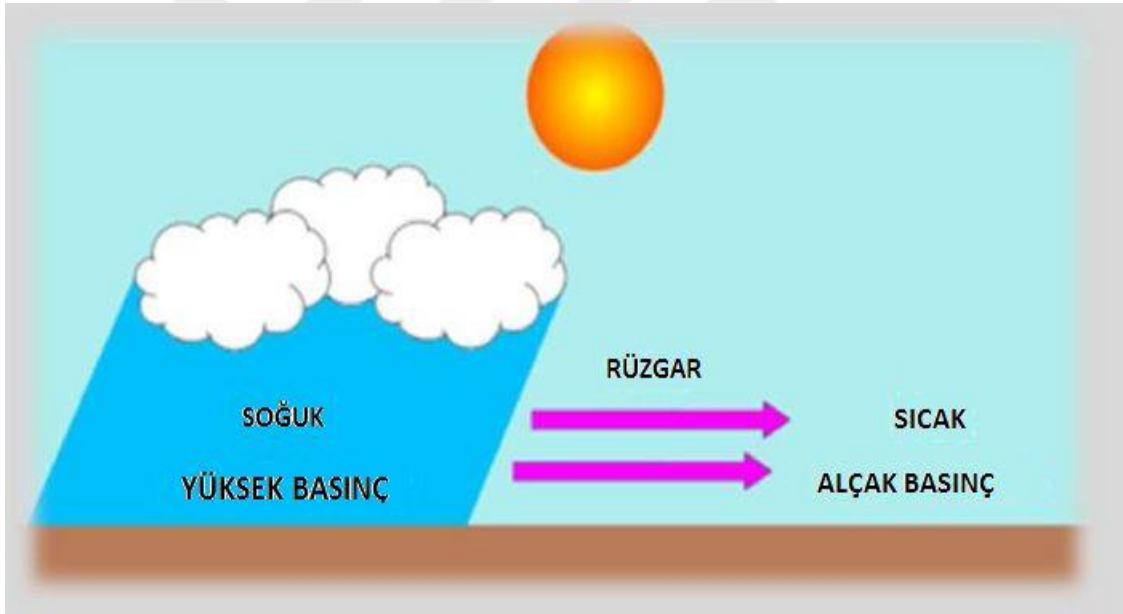


Şekil 4.3. Rüzgar enerjisinin santraller aracılığıyla genel üretime sağladığı katkı (TÜREB, 2018)

Şekil 4.3'e göre 2018 yılı başından Temmuz ayına kadar geçen sürede toplam elektrik üretimine rüzgar enerji santrallerinin katkısı %5.09 ile %8.45 arasında değişmiştir. Tokat ilinde ise hâlihazırda işletmede olan Tokat RES (2017) 94 MW, Killik RES 85 MW, Bereketli RES (2016) 32 MW, Akyurt RES (2016) 14.70 MW, Tokat OSB Yalçın RES 0.1 MW kurulu güce katkı sağlamaktadır. Yapım aşamasında olan Reşadiye Kaymakamlık RES (1 MW) ve ön lisansı alınmış, üretime geçtiği takdirde kurulu güce 40 MW'lık bir katkı daha sağlayacak olan GRGN RES de Tokat ili sınırları içerisinde bulunmaktadır (Enerji Atlası, 2019). Kurulu rüzgar gücü tesislerinin yanı sıra, Tokat ili de Türkiye'de rüzgar gücünden sağlanan elektrik üretimine katkıda bulunmaktadır. Sağlanan bu katkı TÜREB 2018 raporuna göre işletmedeki rüzgar enerji santrallerinin toplamının sadece %2.01'ini oluşturmasına rağmen 140.70 MW olmuştur. Yüzde olarak az bir pay gibi görünen bu katılım payıyla Tokat ili Gaziantep, Kahramanmaraş, Konya ve Kocaeli gibi büyükşehirleri de geride bırakmıştır (TÜREB, 2018).

5. RÜZGAR OLUŞUMU İLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR

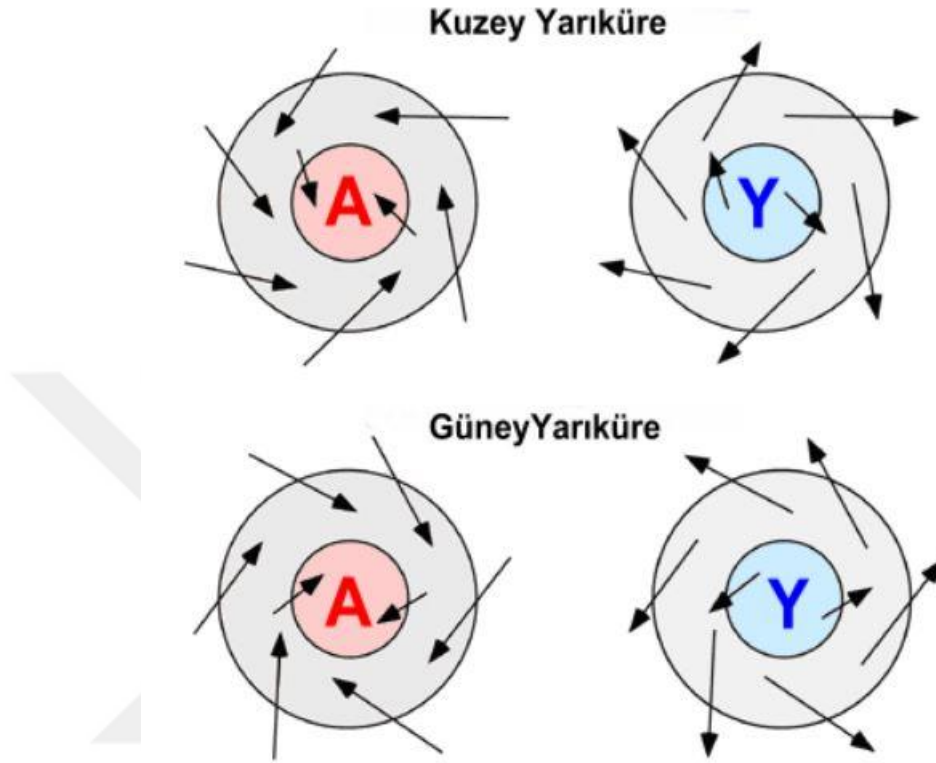
Yerkürede rüzgar oluşumunu açıklayan temel prensipler vardır. Isısı artan hava yükselip yerini soğuk havaya bırakmakta, bu sürekli döngü ise alçak ve yüksek basınç noktaları meydana getirmektedir. Burada alçak ve yüksek basınç kavramları görecelidir. Sıcaklık ve basınç farklılıkları sebebiyle, yüksek basınç noktalarından alçak basınç noktalarına sürekli yer değişimi eğiliminde olan hava hareketlerine rüzgar adı verilmektedir. Şekil 5.1’de rüzgar oluşumunun hareket yönü gösterilmektedir. Burada rüzgarın esiş yönü yüksek basınç noktalarından alçak basınç noktalarına doğrudur. Isı enerjisi bu şekilde kinetik enerjiye dönüşmektedir. Rüzgar, atmosferde serbest olarak dolaşan, kararlı, güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi, kinetik bir enerjidir. Kinetik rüzgar gücü potansiyelinin çeşitli nedenlerden dolayı yalnızca üçte birinin kullanılabilceği düşünülmektedir (Kurban ve ark., 2007).



Şekil 5.1. Rüzgar oluşumunun hareket yönü

Hava hareketleri yarımkürelere göre farklılık göstermektedir. Alçak ve yüksek basınç merkezlerinin görece olması sebebi böyle açıklanabilmektedir. Ekvator çevresinde ısınan hava yükselir ve kutuplardaki soğuk hava kütlesi, dünyanın dönüş hızıyla orantılı olarak yer değiştirir. Bu hava hareketinin yönü, Kuzey Yarımküre’de, yüksek basınç merkezinde saat yönünde bir yer değiştirme yaparken, alçak basınç merkezinde, saat yönünün tersine bir yer değiştirme yapmaktadır. Güney Yarımküre’de ise yüksek basınç

merkezinde saat yönünün tersine bir yer değiştirme yaparken, alçak basınç merkezinde saat yönünde bir yer değiştirme yapmaktadır (MGM, 2019). Şekil 5.2’de Kuzey ve Güney Yarıküre’de basınç merkezlerine göre hava hareketi yönü değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Kuzey ve Güney Yarıküre’de basınç merkezlerine göre yön değişimi (MGM, 2019)

Türkiye orta kuşakta yer aldığından, kış mevsiminde Sibirya Yüksek Basıncı’nın etkisiyle yüksek basınç, Akdeniz ve Karadeniz Bölgesi ise alçak basınç alanı oluşturur. Yüksek basınçtan alçak basınç noktasına doğru hareket eden rüzgar prensibine dayanarak, kışın esen rüzgarlar kara parçasından denizlere doğru yönelir. Yazın ise tropikal iklim kuşağının etkisiyle bunun tam tersi olmaktadır. Ancak basınç alanlarının ve diğer faktörlerin etkisiyle her zaman beklenen sonucu almak mümkün değildir.

5.1. Rüzgar Oluşumunda Kuvvet Faktörü

Eylemsizlik prensibine göre cisme etkiyen kuvvetlerin vektörel toplamının sıfır olması durumunda cisim hareketsizliğini korumaya devam ediyorsa, rüzgar kuvvetinin oluşması ve hareketi için de birtakım kuvvetler dizisi gerekmektedir.

Rüzgarı oluşturan ve rüzgar hızını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen kuvvetler şu şekilde sıralanabilir; Merkezkaç Kuvveti, Sürtünme Kuvveti, Coriolis Kuvveti ve Basınç-Gradyan Kuvveti. Rüzgarların esme hızını, basınç noktalarının birbirine uzaklığı ve bu noktaların kuvvet farklılığı belirler. Rüzgarların esme yönünü ise basınç noktalarının birbirine göre konumu ve Coriolis Kuvveti (Saptırıcı Kuvvet) belirler (MGM, 2019).

Merkezkaç Kuvveti, dönme hareketi yapan düzeneklerde, dönen cisim dönme çizgisinin dışına doğru iten kuvvettir. Merkezkaç Kuvveti ekvatora doğru gidildikçe artar ve bire ulaşır, kutuplara gidildikçe ise azalır ve tam kutup noktasında sıfır olur. Merkezkaç Kuvveti atmosfer içinde hareket eden hava kütesinin yönünü etkileyen kuvvetlerden birisidir. Merkezkaç Kuvveti'nin tersi yönünde etkiyen Basınç-Gradyan Kuvveti vardır (MGM, 2019).

Basınç-Gradyan Kuvveti, hava hareketinin yönünü yüksek basınç noktasından alçak basınç noktasına doğru çevirmeye çalışan bir kuvvettir. Havanın yerküre üzerindeki devinimini sağlayarak rüzgar hızını etkileyen bir faktördür. Hareketin olduğu iki nokta arasındaki basınç ayrımı arttıkça Basınç-Gradyan Kuvveti'nin etkisi ve buna bağlı olan rüzgar hızı değeri de artar (MGM, 2019).

Sürtünme Kuvveti, fiziğin temel prensiplerinden aşına olunduğu üzere etki ettiği yüzeydeki hızı azaltan bir faktördür. Rüzgar oluşumunda bir rolü olmamasına rağmen rüzgarın yerküreye yakın kesimlerindeki hızını düşürmektedir. Sürtünme Kuvveti, yer yakınında en büyüktür ve yer üstünden 450 ila 600 metreye kadar da rüzgarı yavaşlatmaktadır (Özgener, 2002).

Coriolis Kuvveti, Dünya'nın günlük hareketi yani batıdan doğuya doğru kendi etrafında dönmesi sonucuyla oluşur. Rüzgarın esme doğrultusuna ve bulunulan yarımküreye göre etkisi değişmektedir. Güney Yarımküre'de rüzgarları sola saptırırken, Kuzey Yarımküre'de ise tam tersi olan yöne yani sağa saptırmaktadır (MGM, 2019).

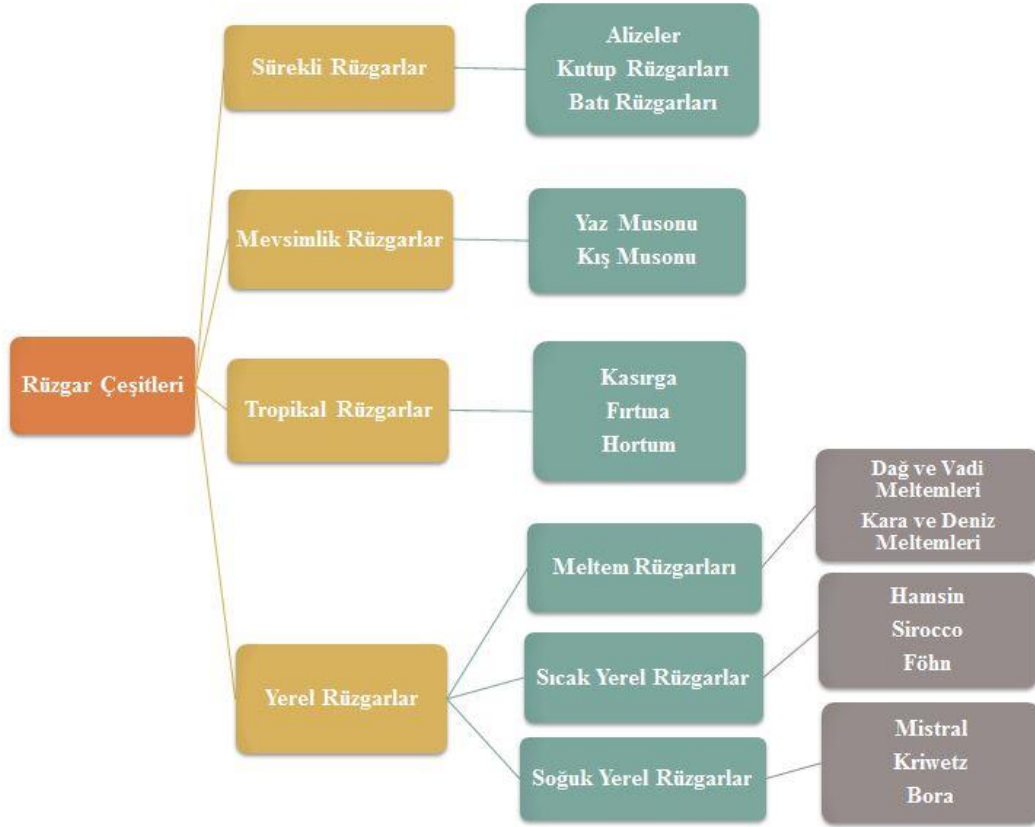
5.2. Rüzgar Türleri

Oluşum tiplerine göre rüzgarlar dört gruba ayrılmaktadır; Sürekli Rüzgarlar, Mevsimsel Rüzgarlar, Tropikal Rüzgarlar ve Yerel Rüzgarlar. Sürekli Rüzgarlar (Yıllık Rüzgarlar); Alize Rüzgarları, Batı Rüzgarları ve Kutup Rüzgarları olarak isimlendirilirler. Yerküre üzerinde bulunan termal ve dinamik alçak ve yüksek basınç noktalarından kaynaklanan, ismini aldığı şekilde sürekli esen rüzgar tipleridir.

Mevsimsel Rüzgarlar ise çoğunlukla Güneydoğu Asya'da özellikle Hindistan'da görülen diğer bir adı Devirli Rüzgarlar olan Muson Rüzgarları'dır. Kara parçaları ve okyanusların ısınma, soğuma devri sırasında oluşan basınç farklılıklarının sebep olduğu rüzgarlardır. Bu tip rüzgarlar mevsimsel olmakla beraber hayli güçlü ve denizden karaya estikleri takdirde yağış getirme olasılığı yüksek olan rüzgarlardır (Baranaydın ve Aydın, 2016).

Yerel Rüzgarlar ise Meltem Rüzgarları, Sıcak Yerel Rüzgarlar ve Soğuk Yerel Rüzgarlar olmak üzere üçe ayrılırlar. Bu tip rüzgarlar ise günlük harekette meydana gelen basınç farklılıklarından oluşur. Deniz ve Vadi Meltemleri gündüzleri eserken Dağ ve Kara Meltemleri gece olduğunda esmektedir. Sıcak Yerel Rüzgarlar'a ise Föhn, Hamsin, Sirocco, Kible, Lodos, Keşişleme ve Samyeli sayılabilmektedir. Föhn Rüzgarları İsviçre'de görülürken, Hamsin Mısır'da, Sirocco ise Fas, Cezayir ve Tunus çevresinde görülmektedir. Kible, Lodos ve Keşişleme ise Türkiye'de görülen rüzgar tipleridir. Samyeli, Irak-Suriye çöllerinde görülmektedir. Soğuk Yerel Rüzgarlar'a ise Bora, Mistral, Kriwetz, Poyraz, Karayel ve Yıldız sayılabilmektedir. Bora, Dalmaçya kıyılarında görülürken, Mistral Fransa'da, Kriwetz Romanya'da, Poyraz, Karayel ve Yıldız ise ülkemizde görülmektedir (Baranaydın ve Aydın, 2016).

Tropikal Rüzgarlar'ı -Tropikal Siklonlar da denilmektedir- Tayfun, Hurrigan-Kasırğa ve Tornado oluşturmaktadır. Tayfun daha çok Asya denizlerinde görülürken, Hurrigan Orta Amerika kıtasında, Meksika Körfezi kıyılarında görülmektedir. Tornado, Afrika kıyılarında ve Brezilya'da, Kasırğa ise Büyük Okyanus ve Orta Amerika kıtasında görülen güçlü rüzgar çeşitleridir (Ateş, 2017). Rüzgar çeşitlerinin ifadesi Şekil 5.3'te verilmektedir.



Şekil 5.3. Rüzgar Çeşitleri

Bunların dışında ülkemizde görülen rüzgar tipleri estikleri yönlerine göre ayrılırsa; kuzeyden Yıldız, kuzeydoğudan Poyraz, güneydoğudan Keşişleme, güneyden Kible, güneybatıdan Lodos ve kuzeybatıdan Karayel rüzgarı esmektedir.

5.3. Rüzgar Gücü

Belli bir bölgedeki rüzgar potansiyelini belirlemek için, ilk etapta bölgede var olan rüzgar gücünün potansiyeli belirlenmelidir. Bu potansiyeli belirlemek içinse rüzgar gücünün bağıntılarını oluşturmak gerekir. Rüzgarın sahip olduğu enerji de kinetik enerji grubuna girmektedir. Rüzgar güç denklemini hesaplamak için temel enerji denkleminde yola çıkarak, değişkenleri farklı ifade edilmiş şekilleriyle yeniden yazarak, güç eşitliği elde edilebilmektedir. Rüzgarın güç değeri, havanın gravitesi ile aynı oranda değişmektedir. Uluslararası Standart Atmosfer (ISA) koşullarında, +15°C sıcaklık ve 1013.25 mb atmosfer basıncında gravite 1.225 kg/m³'tür. İdeal gaz denkleminin ifadesi Eşitlik 5.1.'de verilmiştir (Emeksiz, 2014).

$$P.V = n.R.T \quad (5.1)$$

En genel ifadesi ile hava gravitesi Eşitlik 5.2.'de verilmiştir.

$$\rho = \frac{P.MW.10^{-3}}{R.T} \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.1. ve Eşitlik 5.2.'de verilen denklemlerde P mutlak basıncı (atm), V hacim (m³), n atom sayısı (mol), R ideal gaz sabiti, T Kelvin cinsinden mutlak sıcaklık, MW havanın moleküler ağırlığını temsil etmektedir. Rüzgar türbininin oluşturduğu güç, rüzgar türbininin kanatlarıyla taradığı alanın büyüklüğüyle doğru orantılıdır. Türbin kanatlarının taradığı alan Eşitlik 5.3.'te verilmiştir. R türbin kanatlarının çapını ifade eder ve kanatların taradığı bu alan denklemden de görüleceği üzere kanat çapının karesiyle orantılı olarak değişmektedir.

$$A = \frac{\pi}{4} R^2 \quad (5.3)$$

Rüzgarın sahip olduğu enerji kinetik enerji grubuna girdiğinden, denklem olarak ifade edildiğinde rüzgar türbininin kanatlarıyla taradığı alan içerisindeki havanın kütesine (m) ve havanın gravitesine bağlıdır. Eşitlik 5.4.'te V₁ hızıyla yer değiştiren havanın enerjisi Newton-Metre (NM) cinsinden ifade edilmektedir.

$$E_{kinetik} = \frac{1}{2} . m . V_1^2 \quad (5.4)$$

Yer değiştiren hava kütlesi, rüzgar türbininin kanatlarıyla taradığı alanla keşiştiğinde sahip olduğu enerjinin bir kısmını kaybeder. Rüzgar türbininin kanatlarının karşıladığı havanın kütleli akımının ifadesi Eşişlik 5.5.'te gösterilmiştir.

$$\dot{m} = \rho_h \cdot V_1 \cdot A \quad (5.5)$$

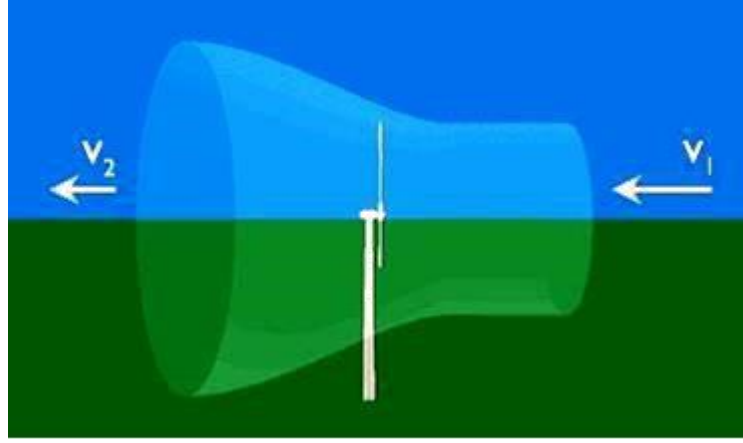
Gücün fiziksel tanımından yola çıkarak, Eşişlik 5.6.'da rüzgarın sahip olduğu kinetik enerji birim zamana oranlanır ise rüzgarın güç eşişliği elde edilebilmektedir.

$$P_r = \left(\frac{\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2}{t} \right) \quad (5.6)$$

Havanın kütleli akımı $\dot{m} = dm/dt$ şeklinde ifade edilip Eşişlik 5.5.'te yerine yazılırsa rüzgarın sahip olduğu teorik güç ifadesi Eşişlik 5.7.'de görüldüğü gibi olmaktadır.

$$P_r = \frac{1}{2} \rho_h \cdot A \cdot V_1^3 \quad (5.7)$$

Rüzgar türbinleri diğer bir deyişle rüzgar gülleri basıncın yüksek olduğu noktalardan az olduğu noktalar arasındaki rüzgar devriminin yani oluşan kinetik enerjinin, elektromekanik düzeneklerle enerji dönüşümüne uğratıldığı yerlerdir. Enerji dönüşümüne uğrayan kinetik enerji ilk olarak mekanik enerjiye dönüşür. Rüzgar türbinini oluşturan düzeneğin sahip olduğu tasarım ve mühendislik sayesinde de elektrik enerjisine dönüşür. Bu dönüşümün başarısı türbinin karşıladığı hava hızının küpü ve rüzgar türbininin kanatçıklarıyla taradığı alana bağlıdır. Ancak bunun da bir sınırı vardır. Her ne kadar başarılı bir mühendislik düzeneği kurulursa kurulsun Betz Teoremi'ne göre enerji dönüşümü ile mevcut kinetik enerjinin yalnızca %59'u mekanik enerjiye dönüşürülebilir (Emeksiz, 2014). Bu teorem tüm türbin düzenekleri için geçerlidir. Ancak pratikte bu oran dış çevresel faktörler ile daha da düşebilmektedir. Değişen rüzgar hızının ifadesi Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Betz Teoremi (Emeksiz, 2014)

Türbinin V_1 hızı ile karşıladığı hava, hızını değiştirerek V_2 hızı ile türbinden çıkmaktadır. Türbinden geçişi sırasında V_1 ve V_2 hızlarına bağlı olarak değişen kinetik enerji ifadesi Eşitlik 5.8.'de verilmiştir.

$$E_k = E_{k1} - E_{k2} \quad (5.8)$$

Kinetik enerjinin genel denkleminde göre Eşitlik 5.8. yeniden düzenlenip hız değişimi denkleminde yerine yazılırsa Eşitlik 5.9. elde edilmektedir.

$$E_k = \frac{1}{2} m. (V_1^2 - V_2^2) \quad (5.9)$$

Gücün fiziksel tanımına göre rüzgar türbininden elde edilecek güç, yeni kinetik enerji değişim denkleminin birim zamana oranlanmasıyla elde edilir. Bunu veren ifade ise Eşitlik 5.10.'da verilmektedir. $\dot{m} = dm/dt$ şeklinde yazılabildiğinden yeniden düzenlenen denklem Eşitlik 5.11.'de verilmiştir.

$$P_t = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} (V_1^2 - V_2^2) \quad (5.10)$$

$$P_t = \frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_2^2) \quad (5.11)$$

Rüzgardan türbinler vasıtasıyla elde edilen güç, rüzgarın pervane uçlarına uyguladığı kuvvete de bağlıdır. Rüzgarın pervanelere uyguladığı basınç ifadesi iki farklı denklemle Eşitlik 5.12. ve Eşitlik 5.13.'te verilmiştir.

$$P_t = S.V \quad (5.12)$$

$$S = \dot{m} (V_1 - V_2) \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.12. ve Eşitlik 5.13.'teki denklemler birbirine eşitlenip değişkenler yeniden yazılırsa Eşitlik 5.14. elde edilir.

$$m \cdot V \cdot (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_2^2) \quad (5.14)$$

Matematiksel olarak sadeleştirme yapılırsa denklem Eşitlik 5.15. halini almaktadır.

$$V = \frac{1}{2} (V_1 + V_2) \quad (5.15)$$

Buradan elde edilen bilgiye göre rüzgarın türbine giriş ve çıkış hızlarının ortalama değeri türbine gelen hız ifadesi V 'yi oluşturmaktadır. Havanın kütleli akım ifadesi Eşitlik 5.11.'de yerine yazılırsa Eşitlik 5.16. elde edilmiş olur.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho_h \cdot A \cdot V \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (5.16)$$

Eşitlik 5.14., Eşitlik 5.15.'deki değerlerin yerine yazılırsa Eşitlik 5.17. elde edilmiş olur.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho_h \cdot A \cdot (V_1 + V_2) \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (5.17)$$

P_t ve P_r değerleri türbin pervanelerine uygulanan toplam basınç ve rüzgar giriş güç değerleri olarak oranlanırsa verimin ifadesi Eşitlik 5.18. elde edilir.

$$C_p = \frac{P_t}{P_{rüzgar}} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right] \quad (5.18)$$

Değişken dönüşümü ile V_2/V_1 ifadesi yerine n yazılırsa verim katsayısının ifadesi Eşitlik 5.19.'da gösterildiği gibi olur. Buradaki ifadenin türevi alınıp denklem sıfıra eşitlenirse fonksiyonu maksimum yapan değer $1/3$ olduğu görülür. Alınan verimin maksimum olabilmesi için türbin tasarımının bu değeri göz önüne alarak çıkış hızının giriş hızının üçte biri olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir.

$$C_p = \frac{1}{2} [(1 - n^2) (1 + n)] \quad (5.19)$$

6. RÜZGAR HIZI TAHMİNLEME YÖNTEMLERİ

Rüzgar enerjisinden elektrik üretilmesi için belirli bir rüzgar hızı potansiyelinin var olması gerekmektedir. Bu potansiyeli belirlemek için yapılacak araştırma faaliyetleri kurulacak sistemin mevcut maliyetlerine bir yenisini eklemekte ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca sistem kurulumundan önce rüzgar hızına etkiyen meteorolojik girdileri ve bunların var olan potansiyellerini belirlemek de gerekmektedir. Bu nedenle araştırmacılar geliştirdikleri yazılım algoritmaları ve istatistiksel yöntemleri kullanmak suretiyle gerçek ölçüm değerlerine yakın tahminlemeler gerçekleştirmektedir.

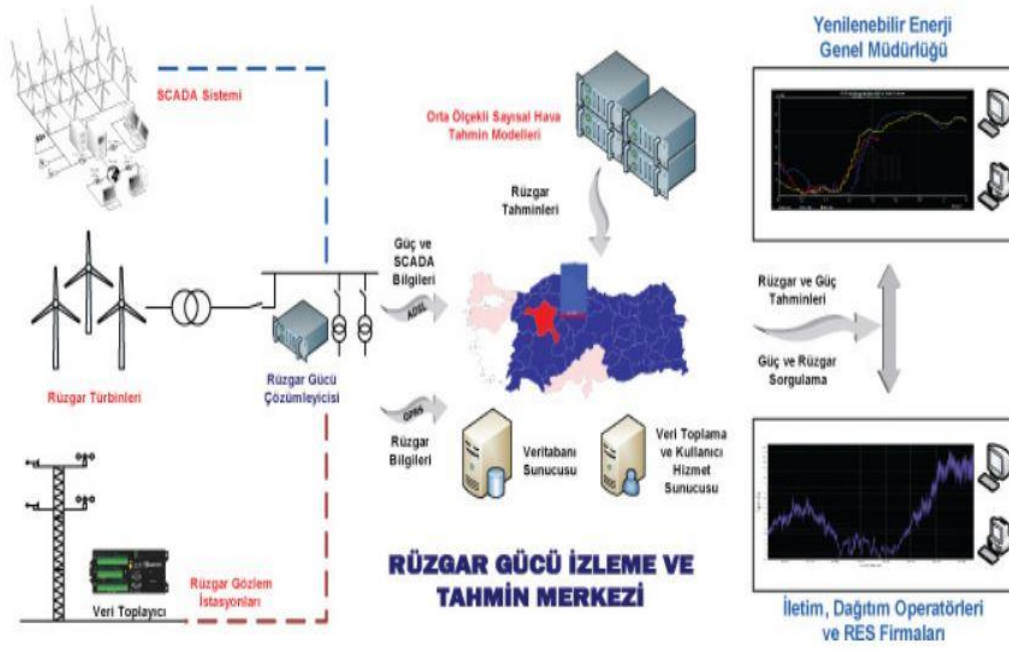
Rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinde sistem verimliliğinin belirlenmesi ve artırılmasında rüzgar hızının en önemli girdi olmasının yanı sıra; sıcaklık, basınç ve nem parametreleri de bu sistemlerin çalışmasına etkiyen diğer dış çevresel faktörlerdendir. Bu nedenle yatırımcılar rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinin kurulacağı bölgede gerekli olan ölçümleri gerçekleştirmek, bu ölçümlerin gerçekleştirilmesinde de, rüzgar hızı ve buna etkiyen birçok meteorolojik parametrelere (sıcaklık, basınç, nem vb.) ait verileri toplayan ölçüm sistemleri kurmak zorundadır. Kurulan bu sistemlerle yapılan tahminlemeler anlık, çok kısa süreli, kısa süreli ve orta süreli olmak üzere gruplandırılır. Çizelge 6.1’de bu gruplandırmalar açıklanmıştır (RİTM, 2019).

Çizelge 6.1. RİTM’in yaptığı tahminlemeler ve özellikleri (RİTM, 2019)

Tahminlemeler	Tahminleme Özellikleri	
Anlık Tahminler	Birkaç dakika için yapırlar	Türbin kontrolünü sağlarlar
Çok Kısa Süreli	0-6 saat için yapırlar	Güç sistemi yönetimini sağlarlar
Kısa Süreli	0-72 saat için yapırlar	Güç sistemi yönetimi ve enerji ticareti için kullanılırlar
Orta Süreli	0-7 gün için yapırlar	Bakım-onarım için kullanılırlar

Türkiye’de değişken rüzgar karakteristiklerini inceleyecek, güç potansiyelini tahmin edecek, tahmin sistemini enterkonnekte sisteme bağlayacak bir proje başlatılmış ve bu projeyi Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) üstlenmiştir. Üretilen elektrik enerjisi miktarını izlemek ve tahmin edebilmek için kurulan sistem beş alt gruptan oluşmaktadır. Bunlar Rüzgar Enerji Santrali (RES) Ölçüm Alt Sistemi, Rüzgar Tahmin Alt Sistemi, Rüzgardan Üretilen Elektriksel Gücü Tahmin Alt Sistemi, İzleme

ve Tahmin Merkezi Alt Sistemi ve Kullanıcı Alt Sistemi'dir (RİTM-2, 2019). Şekil 6.1'de sistemin işleyişini şematik olarak görülmektedir.

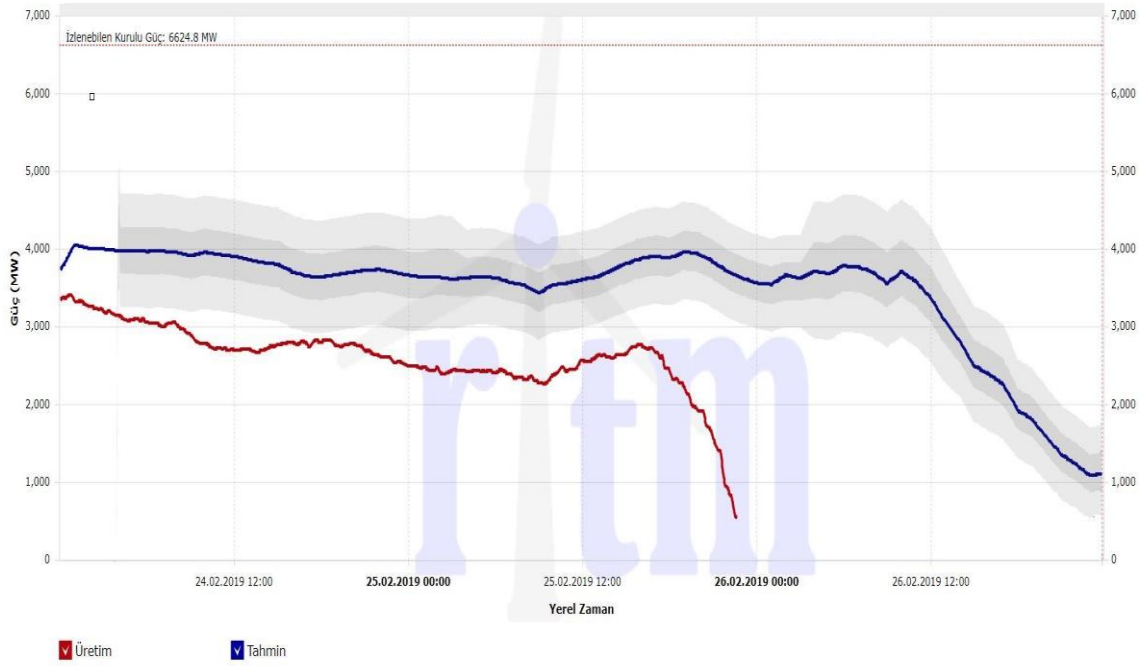


Şekil 6.1. Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi şematik işleyişi (RİTM-2, 2019)

İzleme ve Tahmin Merkezi'nin işleyişi RES'lerde bulunan ölçüm cihazlarından alınan rüzgar hızı, rüzgar yönü ve sıcaklık gibi meteorolojik değişkenlerin rüzgar gücü çözümleyici sistemlere aktarılmasıyla başlamaktadır. SCADA sistemleri ise rüzgar türbinlerinin çalışma durumlarını ve gözlem istasyonunda bulunan veri toplayıcılardan aldığı bilgileri anlık olarak çözümleyici sistemlere aktarmaktadır. Trafo Merkezlerinde (TM) bulunan ekranlarda da akım, gerilim, güç ve durum bilgileri izlenebilmektedir.

Çözümleyiciye aktarılan Türkiye'deki tüm rüzgar santrallerinin orta ölçekli sayısal hava tahminleri ve rüzgar bilgileri veri tabanına aktarılarak internet sunucuları yardımıyla kullanıcılara sunulmaktadır. Rüzgar ve güç tahminlerinin iki günlük elektriksel istatistiği, sorgulama sonuçları Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü vasıtasıyla herkese açıktır. Bu tahminlemeler enerji iletim, dağıtım şirketlerine ve rüzgar enerji santrali işleten özel firmalara da verilmektedir. Ayrıca sistemde sayısal hava tahmini, sinoptik grafiklerle tahmin, istatistiksel yöntemler ile hava tahmini gibi yöntemler de mevcuttur.

Türkiye’de bulunan rüzgar santralleri için RİTM’in yaptığı 25 Şubat 2019 gününe ait elektrik üretim miktarı sonuçlarını gösteren örnek tahminleme grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. 25 Şubat 2019 günü için bir günlük üretim miktarı tahmini (RİTM-3, 2019)

Yapılan tahminleme anında izlenebilen kurulu güç miktarı 6 624.8 MW’tır. 25 Şubat 2019 günü için yapılan tahminlemeler ve gerçek değerler şöyledir; saat 08.00 için elektrik üretim tahmini 3 529.85 MW, gerçek üretim 2 311.73 MW olmuştur. Saat 10.00 için üretim tahmini 3 535.79 MW, gerçek üretim ise 2 375.55 MW’ tır. Saat 12.00 için üretim tahmini 3 604.37 MW, gerçek üretim değeri ise 2 563.01 MW olmuştur. Saat 14.00 için tahmin 3 728.82 MW, üretim ise 2 596.84 MW’tır. Saat 16.00 için yapılan üretim tahmininde ise gerçek üretim değeri 2 762.7 MW iken bu saat için yapılan tahmin sonucu 3 873.05 MW’tır (RİTM-3, 2019).

Rüzgar enerjisini tahminlemede genel olarak fiziksel, istatistiksel ve hibrit yöntemler kullanılmaktadır. Fiziksel tahmin yönteminde yüzey şekilleri ve coğrafi engelleri dikkate alarak modelleme oluşturulurken mutlaka tahmin yapılacak yüzeye bir adaptasyon (model uyarlama) yapmak gereklidir. Bu yöntemlerle yapılacak tahminler uzun vadeli tahminler olmaktadır. İstatistiksel tahmin yönteminde ise meteorolojik parametre girdilerini kullanarak tahmin yapılacak yerdeki yerel rüzgarlar ve daha önceden yapılmış hava tahmin verileri arasında matematiksel ilişki kurulmaktadır. Bu

yöntem kullanımına nöro-bulanık mantık ve yapay sinir ağları tabanlı sistemler, Weibull dağılımı ve geleneksel regresyon analizi modelleri örnek verilebilir. Bu şekilde yapılan tahminlemeler genellikle kısa vadeli dönemler için yapılan tahminlerdir. Hibrit yöntem ise isminden de anlaşıldığı üzere fiziksel ve istatistiksel tahmin yöntemlerinin rüzgar hızı tahminlemesi için harmanlandığı bir yöntem sistematiğidir. Çizelge 6.1’de rüzgar enerjisi tahminlemesi için kullanılan yöntemlerin özelleşmiş modelleri ve hangi ülkelerde tercih edildiği verilmiştir. Enerji tahminlemesi için en önemli girdi olan rüzgar hızını belirlemek veri toplama, veri temizleme, birleştirme ve dönüştürme süreçlerinin de doğru uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 6.2. Rüzgar tahminlemesi için kullanılan modeller (Dündar ve ark., 2011)

Model	Geliştiren Kuruluş	Ülke	Yöntem
AleaWind	AleaSoft	İspanya	İstatistiksel
AWPPS	ARMINES	Fransa	İstatistiksel
EPREV	INESC Porto/INEGI/CEsA/ CGUL	Portekiz	İstatistiksel
GH Forecaster	Garrard Hassan	İngiltere	İstatistiksel
PowerSight	3TIER	ABD	İstatistiksel
Sipreólico	University Carlos III of Madrid	İspanya	İstatistiksel
Visionpoint	WindLogics Inc.	ABD	İstatistiksel
WPMS	ISET	Almanya	İstatistiksel
WPPT	IMM.DTU/ENFOR	Danimarka	İstatistiksel
Cassandra	University of Castilla-La Mancha/Gamesa	İspanya	Fiziksel
MeteoLógica	MeteoLógica	İspanya	Fiziksel
Precise Stream	Precision Wind	ABD	Fiziksel
Prediktor	Risø	Danimarka	Fiziksel
SOWIE	Eurowind GmbH	Almanya	Fiziksel
eWind	AWS Truwind Inc.	ABD	Hibrit
LocalPred/ RegioPred	CENER	İspanya	Hibrit
Previento	University Oldenburg/EMSYS	Almanya	Hibrit
Scirocco	Aeolis Forecasting Services	Hollanda	Hibrit
WEFS	AMI Environmental Inc.	ABD	Hibrit
WEPROG	WEPROG	Almanya	Hibrit
Zephyr	Risø and IMM.DTU	Danimarka	Hibrit

7. MATERYAL VE YÖNTEM

Rüzgar enerjisinden elektrik üretim miktarı gün geçtikçe arttığından tesis kurulumu için gerekli rüzgar hızı tahminleme çalışmaları da aynı ölçüde artmıştır. RES'ler için de üretim miktarını etkileyecek en önemli girdi rüzgar hızıdır. Rüzgar hızı, çalışma yapılacak yerin konumu, yüksekliği, bulunulan mevsim ve buna bağlı farklılık gösteren sıcaklık, nem, basınç gibi çeşitli çevresel faktörlere de bağlı bir değişkendir. Bu nedenle birbirine bağımlı olan değişkenler arasında ilişki kurularak bu değişkenlerin rüzgar hızı tahminlemede kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç ışığında çalışmada literatürde yaygın olarak tercih edilen regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır.

7.1. Regresyon Analizi

Mühendislik problemlerinin çoğunda ele alınan sorun incelendiğinde problemi meydana getiren değişkenlerin birbirinden bağımsız olmadığı görülür. Değişkenlerden biri istatistiksel olarak bir değişim gösterdiğinde diğer değişkenler aynı ölçüde değişim göstermez. Değişkenler arasındaki işlevsel olmayan bu sebep sonuç bağıntısının ortaya çıkarılması çok önemlidir. Bu bağıntıyı ifade eden matematiksel ifadeye ise regresyon denklemi denir (Bayazıt ve Yeğen, 2005). Bir rastgele değişkenin değerinin, değişimini etkileyecek diğer bir değişken veya değişkenlerin değerlerine bağlı olarak en doğru şekilde tahmin etmeye yarayan regresyon denkleminin oluşturulmasına da regresyon analizi denir (Bayazıt, 1981). Bu analiz tekniğinde değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklamak için matematiksel bir denklem kurulur ve regresyon fonksiyonları kullanılan değişkenlere göre seçilir. Regresyon, üzerinde durulan değişken ile ilişkili olan, araştırılan değişkenlerin bir fonksiyonu olarak da ifade edilebilir. Regresyon kelimesi ilk olarak Sir Galton tarafından, yaptığı araştırma sonuçlarını grafiksel olarak ifade etmek istemesi ve bu değerlere regression (regresyon) adını verdiği bir eğri bulmasıyla ortaya çıkmıştır (Akyıldız, 2008). 1886'da Mendel'in kullandığı istatistiksel dağılım terimini değiştirerek Regress (Dönüş) Yasasını oluşturan Sir Galton, birbirine bağımlı değişkenler için matematiksel bir ilişki kurulabileceğinin temelini atmış olur (Gujarati, 2001). Çalışmada regresyon analizi kullanılarak oluşturulan modellerde Polinom, Eksponansiyel, Fourier Serisi, Gauss, Lineer Uydurma (Fitting), Rasyonel, Sinüs Toplamı (Sum of Sine) denklem modelleri kullanılmıştır. Regresyon analizi Lineer ve Non-linear Regresyon olarak iki grupta incelenebilmektedir. Bir bağımlı, bir veya

birden fazla bağımsız değişken bulunan analizlerde regresyon çeşidi, bağımsız değişken sayısına göre Basit veya Çoklu Regresyon Analizi olarak değişir.

Basit Doğrusal Regresyon, bağımsız tek bir değişkenle bağımlı değişkenin aldığı değerleri açıklamak için kullanılır. Tahminleme amacıyla kullanılan regresyon denkleminin hata terimleri ile açıklayıcı değişkenler arasında ilişki bulunmaması gibi bazı varsayımların sağlanması gerekmektedir (Alma ve Vupa, 2008). Eşitlik 7.1.'de lineer model için kullanılan genel denklem verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + c \quad (7.1)$$

Eşitlik 7.1.'de verilen denklem sırasıyla bir bağımlı değişken (y), regresyon katsayıları (β_0, β_1), bir bağımsız değişken (x) ve c ile temsil edilen hata teriminden oluşmaktadır. Regresyon katsayıları (β_0, β_1) bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki matematiksel ilişkinin ifadesinde yer alan katsayılardır. Hata terimi ise dış ortamdan kaynaklanan denkleme dahil edilemeyen faktörlerin ifadesi için gereklidir.

Çoklu Doğrusal Regresyon'da ise Basit Doğrusal Regresyon'daki kabullere ek olarak açıklayıcı değişkenlerin birbirinden bağımsız olmasının sağlanması gerekmektedir (Vural, 2007). Çoklu Lineer Regresyon birden fazla bağımsız değişken (x_1, x_2, \dots, x_n) ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi verir. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle (y) doğrusal ilişkisi Eşitlik 7.2.'de verilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n \quad (7.2)$$

Her bir katsayı ifadedeki bağımsız değişkende meydana gelebilecek değişimin, bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmektedir. Basit Regresyon Analizi'nde olduğu gibi çoklu regresyon fonksiyonuna varmak için de en küçük kareler yöntemi kullanılabilir (Unver ve Gamgam, 2008). Eşitlik 7.3. ve 7.4.'te β regresyon katsayılarının hesaplanması verilmektedir. \bar{Y} bağımlı değişkeni ifade ederken, \bar{X} bağımsız değişkeni ifade eder.

$$\beta_0 = \frac{\sum d_x d_y}{\sum x^2} \quad (7.3)$$

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X} \quad (7.4)$$

Regresyon eğrisi işlenen verilere uygun değilse, eğrinin doğrusal olması gerekli değildir. Veriler arasında doğrusal olmayan bir ilişki olabilir. Doğrusal olmayan regresyon denklemi çeşitli regresyon fonksiyonlarıyla ifade edilebilir. Polinom regresyon modeli için kullanılan ifade Eşitlik 7.5.'te verilmektedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n \quad (7.5)$$

Burada n polinom derecesini ifade etmektedir. Bu model, y ve x arasındaki doğrusal olmayan bir ilişkiyi göstermesine rağmen regresyon katsayıları doğrusal olduğu için Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi'nde yapılan aynı analiz adımları uygulanır. Ekspansiyel model için kullanılan denklem, y bağımlı değişken, x bağımsız değişken, a ve b yapılan analize göre değişen rastgele bir katsayı olmak üzere Eşitlik 7.6.'da verilmektedir.

$$y = a. e^{bx} \quad (7.6)$$

Regresyon analizinde kullanılan Fourier Serisi genel denklem modeli Eşitlik 7.7.'de verilmiştir. Bu model sabit katsayılar (a_0, a_1, b_1), bağımlı değişken (y), bağımsız değişken (x) ve trigonometrik ifadeler içermektedir.

$$y = a_0 + a_1 \cos(xw) + b_1 \sin(xw) + \dots a_n \cos(xw) \quad (7.7)$$

Gauss denklem modeli ise üstel bir ifadeden oluşmaktadır. Bağımlı değişken (y), bağımsız değişken (x), a, b, c, sayıları analiz sonuçlarına göre değişen sabit katsayıları ifade etmektedir. Bu model Eşitlik 7.8.'de verilmektedir.

$$y = a. e^{-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2} \quad (7.8)$$

Lineer Fitting denklem modelinde, trigonometrik ve karesel ifadeler aynı anda bulunmaktadır. a , b , c , sayıları analiz sonuçlarına göre değişen sabit katsayılardır. Bağımlı değişken y ve bağımsız değişken x ile ifade edilmektedir. Eşitlik 7.9.'da bu denklem ifadesinin genel hali verilmektedir.

$$y = a \cdot \sin(x - \pi) + b(x - 10)^2 + c \quad (7.9)$$

Regresyon analizinde kullanılan Rasyonel denklem modelinin ifadesi Eşitlik 7.10.'da verilmiştir. Burada a , b , c , sayıları analiz sonuçlarına göre değişen sabit katsayıları, y bağımlı değişkeni, x bağımsız değişkeni ifade etmektedir.

$$y = \frac{ax+b}{x+c} \quad (7.10)$$

Sum of Sine modeli trigonometrik sinüs fonksiyonu içerisinde bir toplama işlemiyle ifade edilir. Bunu içeren denklem Eşitlik 7.11.'de gösterilmektedir. a , b , c , sayıları analiz sonuçlarına göre değişen sabit katsayılardır. y bağımlı değişkeni, x bağımsız değişkeni ifade etmektedir.

$$y = a \cdot \sin(b \cdot x + c) \quad (7.11)$$

En küçük kareler yöntemi, regresyon analizinde denklem doğrusunun belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanıldığında elde edilen regresyon doğrusu, verilere en uygun regresyon doğrusudur. En küçük kareler, değişkenlerin karesel fonksiyonudur. Bu nedenle bu fonksiyonun minimumu her zaman bulunabilir (Toprak, 2011). Regresyon analizinde hedeflenen amaç ilişki kurulan değişkenler için fonksiyonunun aldığı gerçek değere yakın bir şekilde tahmin etmektir. Yöntemin ana fikri analizdeki kalıntı karelerinin toplamını minimum yapmak ve bu yolla en iyi tahmin değerlerine ulaşmaktır (Türkay, 2004). Regresyon, düzgünleştirilmiş noktaları bozan etkenlerden korunmak için güçlü (robust) hale getirilebilir. Bu amaçla da sürece, en küçük kareler yöntemi adapte edilir (Cleveland, 1979). Regresyon denkleminde yer alan $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ katsayı değerlerini bulmak için kullanılan yöntemde, hata terimlerini (ϵ), gözlemlenen Y_i değerleri ile beklenen \hat{Y}_i değerleri arasındaki farklar oluşturmaktadır. Bu farkların ifadesi Eşitlik 7.12.'de verilmiştir.

$$\epsilon = Y_i - \hat{Y}_i \quad (7.12)$$

Eşitlikte verilen ifadeyle hesaplanan hata terimleri pozitif, negatif veya sıfır olabilmektedir (Ryan, 1997). Eşitlik 7.13.'te bu farkların ifadesi verilmiştir.

$$\sum_{i=1}^n \hat{\epsilon} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) = 0 \quad (7.13)$$

Bu yöntemle hata terimlerinin farkını en küçük yapacak şekilde ifade edilen denklem Eşitlik 7.14.'te verilmektedir (Ryan, 1997).

$$\sum_{i=1}^n \hat{\epsilon}_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (7.14)$$

7.2. Min-Max Normalizasyonu

Analiz yaparken veri aralıklarını doğru belirlemek regresyon başarısını sağlamak için çok önemlidir. Veriler işlenirken mühendislik uygulamalarının çoğunda arazide yaşanan problemlere kolaylıkla uyum sağlanabilmesi ve deneysel hataların minimuma indirilmesi için boyutsuzlaştırma gibi yöntemler kullanılır (Kömürcü ve ark., 2007). Regresyon analizinde ise buna benzer amaçlarla normalizasyon işlemi kullanılmaktadır. Normalizasyon işlemiyle verilerin daha düzenli bir forma dönüşmesi amaçlanır. Min-max normalizasyonu verileri doğrusal olarak normalize eder. Minimum, alınan en düşük değeri temsil ederken, maksimum en yüksek değeri temsil eder. Bu işlemi ifade eden denklem Eşitlik 7.15.'de verilmiştir (Yavuz ve Deveci, 2013).

$$x' = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (7.15)$$

x' burada normalize edilmiş veriyi temsil ederken x_i normalize edilecek veriyi temsil eder. x_{min} veri setinde bulunan en küçük sayıyı, x_{max} ise en büyük sayıyı göstermektedir.

7.3. Performans Belirleyicileri

Literatür çalışmalarında, çalışmanın başarısının test edilmesi için genellikle ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) ve determinasyon katsayısı (R^2) tercih edilmiştir (Demir ve Emeksiz, 2018). Bu sebeple yapılan çalışmada bu parametreler baz alınarak test işlemi gerçekleştirilmiştir.

7.3.1. Determinasyon katsayısı (R²-R Square)

Korelasyon katsayısı oluşturulan modeldeki değişkenlerin arasında olan ilişkinin anlaşılması için kullanılır. R ile gösterilir. Determinasyon katsayısı ise uyumu yüzde olarak açıklamaya yaramaktadır ve korelasyon katsayısının karesi (R²) ile ifade edilir. Determinasyon katsayısı (R²) Eşitlik 7.16. ve Eşitlik 7.17. kullanılarak elde edilir. Bu değer bire yaklaştıkça başarı oranı artmaktadır. Ayrıca determinasyon analizinde vektör yön problemleri de yoktur (Cohen, 1988).

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (7.16)$$



SST: Toplam Sapma (y_i değerlerinin ortalamadan farkının kareleri toplamı)

SSR: Açıklanan Sapma (y değerlerinin ortalamadan sapma değeri)

SSE: Açıklanamayan Sapma (hata karelerinin toplam değeri)

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (7.17)$$

Burada R² determinasyon katsayısını ifade etmektedir. Bu değer sıfır ile bir arasında değişmekte olup bire yaklaştıkça oluşturulan modelin başarı oranı artmaktadır. \bar{y} bağımlı değişkeni, \hat{y}_i analiz sonucu bağımlı değişkenin aldığı beklenen değerlerin ortalamasını, y_i gözlemlenen değerleri ifade etmektedir.

7.3.2. Ortalama karesel hatanın karekökü (Root Mean Square Error-RMSE)

Gerçek değerlerin tahmin edilen değerlere mutlak uzaklıklarının ortalamasının kareköküdür. Determinasyon katsayısı ve RMSE arasında ters orantı vardır. Determinasyon katsayısı bire yaklaştıkça model başarısı artar ve buna bağlı olarak RMSE düşer, sıfıra yaklaşır. RMSE değeri için verilen denklem Eşitlik 7.18.'de verilmiştir (Emeksiz ve ark., 2016). Burada Y_i , gözlenen değerleri, N terim sayısını ifade ederken, X_i tahmin edilen değerleri ifade etmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N}} \quad (7.18)$$

8.BULGULAR

Çalışmada kullanılan veriler Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi yerleşkesinde (E: 40.332608, B: 36.483917) kurulan rüzgar ölçüm istasyonundan elde edilmiştir. Şekil 8.1’de rüzgar ölçüm istasyonu ve sensörler görülmektedir. Ölçüm istasyonunda kullanılan ölçüm direği 12 metre yüksekliğinde olup üzerinde rüzgar hızı, basınç, sıcaklık ve nem verilerini ölçen sensörler yer almaktadır.



Şekil 8.1. Rüzgar Ölçüm İstasyonu (Demir ve Emeksiz, 2018)

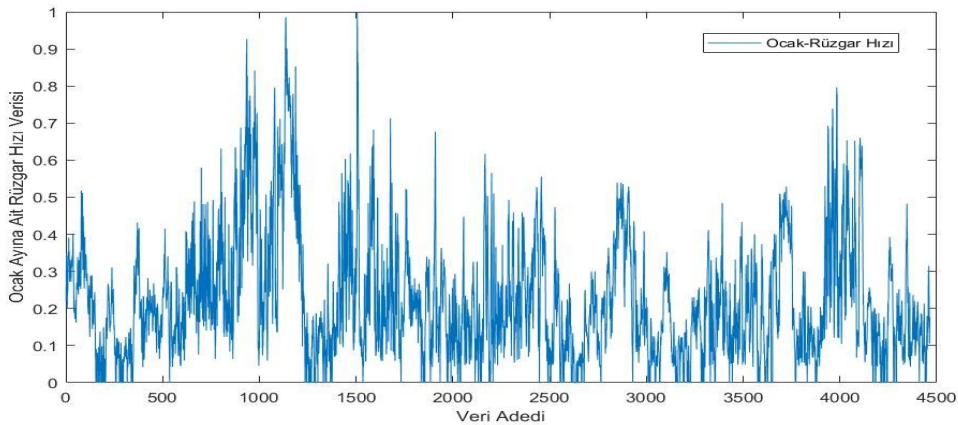
Ölçüm istasyonunda farklı yüksekliklerde bulunan sensörlerden alınan nem, basınç ve sıcaklık verileri data logger aracılığıyla kayıt altına alınmıştır. On dakika aralıklarla kaydedilen bu veriler gruplanmak üzere Excel programına aktarılmıştır. Sıcaklık, basınç, nem ve rüzgar hızı verileri aylık, mevsimsel ve yıllık olmak üzere üç ayrı gruba ayrılmıştır. MATLAB (Matrix Laboratory) programında veriler ön işlemeye alınıp daha doğru tahminleme yapılabilmesi için tüm verilere normalizasyon uygulanmıştır. Rüzgar hızı tahminlemesi için oluşturulan 6 farklı grup Çizelge 8.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1. Rüzgar hızı tahmini için oluşturulan gruplar

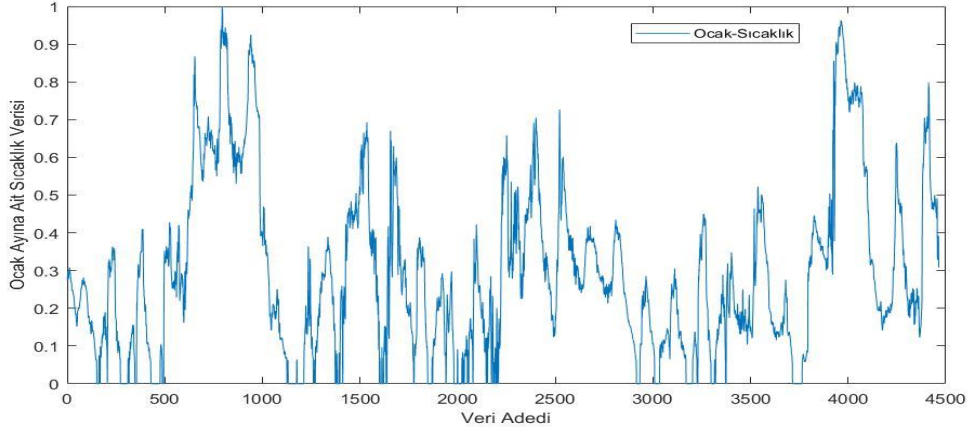
Gruplar	
1. Grup	Sıcaklık-Basınç
2. Grup	Sıcaklık-Nem
3. Grup	Nem-Basınç
4. Grup	Sıcaklık
5. Grup	Basınç
6. Grup	Nem

Regresyon analizinde Polinom, Ekspansiyel, Fourier, Gaussian, Lineer, Rasyonel, Sum of Sine olmak üzere 7 farklı regresyon fonksiyonu kullanılmıştır. Çizelge 8.1’de oluşturulan gruplar MATLAB programında regresyon fonksiyonlarına tabi tutularak en başarılı grup seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Bu nedenle çalışmada kullanılan veri setleri aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değerlendirilerek analizler üç ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Gerek aylık, gerek mevsimsel gerekse yıllık analizler neticesinde Polinom Regresyon yönteminin kullanılan modeller arasında en iyi sonucu sergilediği görülmüştür. Ayrıca kendi içerisinde Çok Değişkenli ve Tek Değişkenli Polinom modellerinden Çok Değişkenli Doğrusal Olmayan Polinom Regresyon model tüm grup analizlerinde en iyi performansı sergilemiştir.

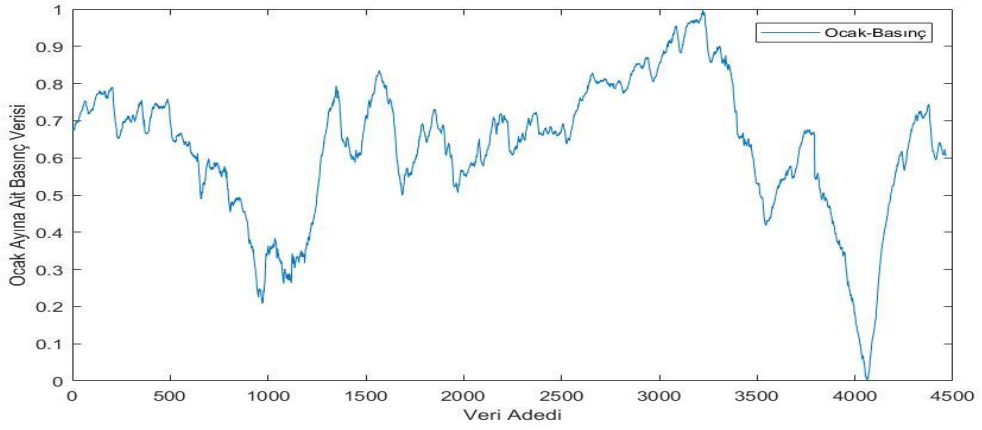
Aylık değerlendirmeler için kullanılacak veri seti içerisinde Ocak ayına ait olan rüzgar hızı, sıcaklık, basınç ve nem verilerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.2’de gösterilmiştir.



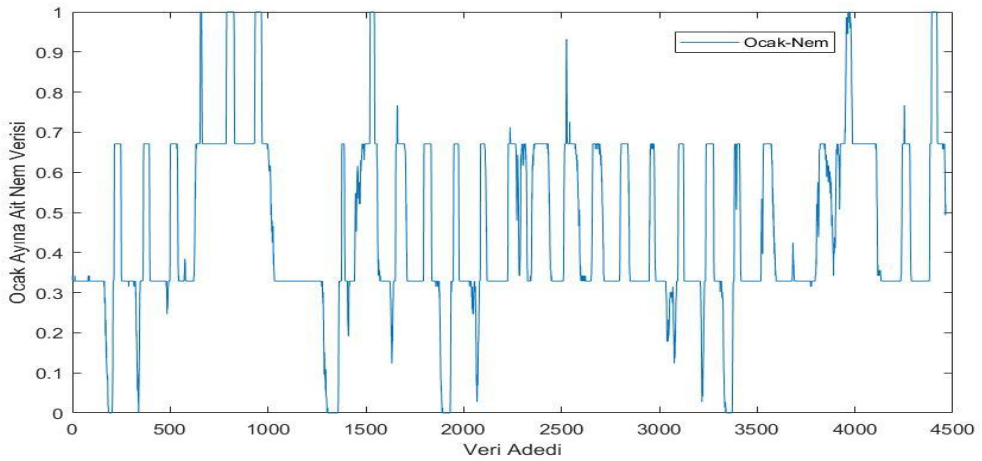
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 8.2. (a) Ocak ayına ait rüzgar hızı verileri

(b) Ocak ayına ait sıcaklık verileri

(c) Ocak ayına ait basınç verileri

(d) Ocak ayına ait nem verileri

Ocak ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.2’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 3.Grup’un (Nem-Basınç) daha iyi performans sergilediği ve yukarıda belirtildiği gibi regresyon fonksiyonları arasında ise polinom fonksiyonunun hem Ocak ayı hem de tüm aylarda ön plana çıktığı görülmüştür. Çizelge 8.3’te ise polinom fonksiyonunun gruplandırılmasına ait sonuçlar incelendiğinde de çok değişkenli doğrusal olmayan polinom regresyon modelinin çok iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Benzer şekilde tüm aylarda da bu model en iyi sonucu ve en iyi performansı göstermiştir.

Çizelge 8.2. Ocak ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık -Basınç	Sıcaklık- Nem	Nem- Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9574	0.9626	0.9687	0.9405	0.9162	0.9131
	RMSE	0.0335	0.0314	0.0287	0.0396	0.0470	0.0479
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0535	0.0265	0.0476
	RMSE	-----	-----	-----	0.1498	0.1519	0.1502
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0539	0.0368	0.0504
	RMSE	-----	-----	-----	0.1498	0.1511	0.15
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0543	0.0669	0.0515
	RMSE	-----	-----	-----	0.1497	0.1487	0.1499
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0501	0.0266	0.0434
	RMSE	-----	-----	-----	0.15	0.1519	0.1505
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0482	0.0339	0.0496
	RMSE	-----	-----	-----	0.1502	0.1513	0.1501
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0447	0.0079	0.0376
	RMSE	-----	-----	-----	0.1504	0.1539	0.151

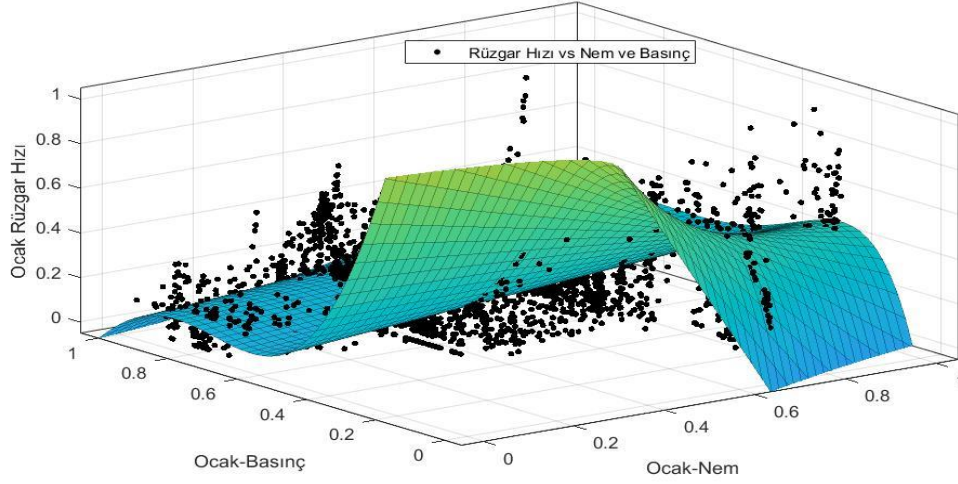
Çizelge 8.3. Ocak ayına ait verilerin doğrusal ve doğrusal olmayan model karşılaştırmasına ait istatistiksel veriler

Bağımsız Değişkenler	Determinasyon Katsayısı ve Hata	Doğrusal Regresyon Modeli		Doğrusal Olmayan Regresyon Modeli	
		Basit Doğrusal	Çoklu Doğrusal	Tek Değişkenli Polinom	Çok Değişkenli Polinom
Sıcaklık	R ²	0.8312	----	0.9405	----
	RMSE	0.0667	----	0.0396	----
Basınç	R ²	-2.057	----	0.9162	----
	RMSE	0.284	----	0.0470	----
Nem	R ²	0.6848	----	0.9131	----
	RMSE	0.0912	----	0.0479	----
Sıcaklık-Basınç	R ²	----	0.9195	----	0.9574
	RMSE	----	0.0461	----	0.0335
Sıcaklık-Nem	R ²	----	0.708	----	0.9626
	RMSE	----	0.0878	----	0.0314
Nem- Basınç	R ²	----	0.9638	----	0.9687
	RMSE	----	0.0309	----	0.0287

Analizler neticesinde elde edilen Ocak ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.1.'de görülmektedir.

$$F(x,y) = 1,884 - 2,519x - 4,523y + 15,29xy - 9,177y^2 - 30,23xy^2 + 39,55y^3 + 24,08xy^3 - 41,49y^4 - 6,331xy^4 + 13,71y^5 \quad (8.1)$$

Eşitlik 8.1. de verilen x ve y değişkenleri sırasıyla nem ve basıncı temsil etmektedir. Nem ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.3'te görülmektedir.



Şekil 8.3. Üç boyutlu nem-basınc girdilerine bağlı olarak Ocak ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Şubat ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.4'te gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup'un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Yine polinom fonksiyonunun Şubat ayında da ön plana çıktığı görülmektedir.

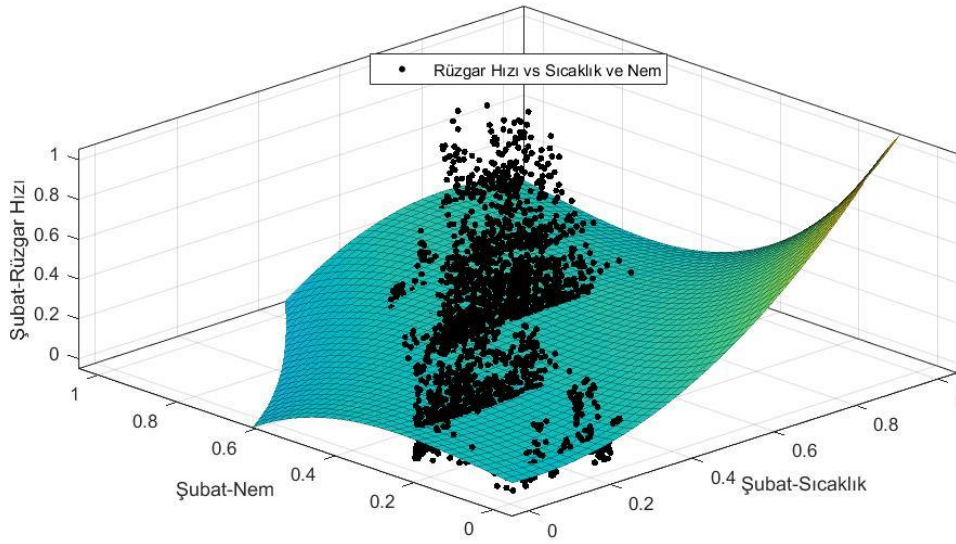
Çizelge 8.4. Şubat ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınc	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınc	Sıcaklık	Basınc	Nem
Polinom	R^2	0.9633	0.9657	0.9592	0.9327	0.9334	0.9318
	RMSE	0.0295	0.0285	0.0311	0.0399	0.0479	0.0402
Ekspansiyel	R^2	-----	-----	-----	0.0535	0.0265	0.0476
	RMSE	-----	-----	-----	0.1498	0.1519	0.1502
Fourier	R^2	-----	-----	-----	0.0539	0.0368	0.0504
	RMSE	-----	-----	-----	0.1498	0.1511	0.15
Gaussian	R^2	-----	-----	-----	0.0543	0.0669	0.0514
	RMSE	-----	-----	-----	0.1497	0.1487	0.1499
Lineer	R^2	-----	-----	-----	0.0501	0.0265	0.0434
	RMSE	-----	-----	-----	0.15	0.1519	0.1508
Sum of Sine	R^2	-----	-----	-----	0.0482	0.0339	0.0496
	RMSE	-----	-----	-----	0.1502	0.1513	0.1501
Rasyonel	R^2	-----	-----	-----	0.0447	0.0078	0.0376
	RMSE	-----	-----	-----	0.1504	0.1539	0.1510

Analizler neticesinde elde edilen Şubat ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.2.'de görülmektedir.

$$F(x_2, y_2) = 0,1256 - 0,124x + 0,199y + 1,308x^2 - 1,171xy + 0,217y^2 - 3,124x^2y + 4,278xy^2 - 1,52y^3 \quad (8.2)$$

Eşitlik 8.2.'de verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.4'te görülmektedir.



Şekil 8.4. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Şubat ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Mart ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.5'de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 1.Grup'un (Sıcaklık-Basınç) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

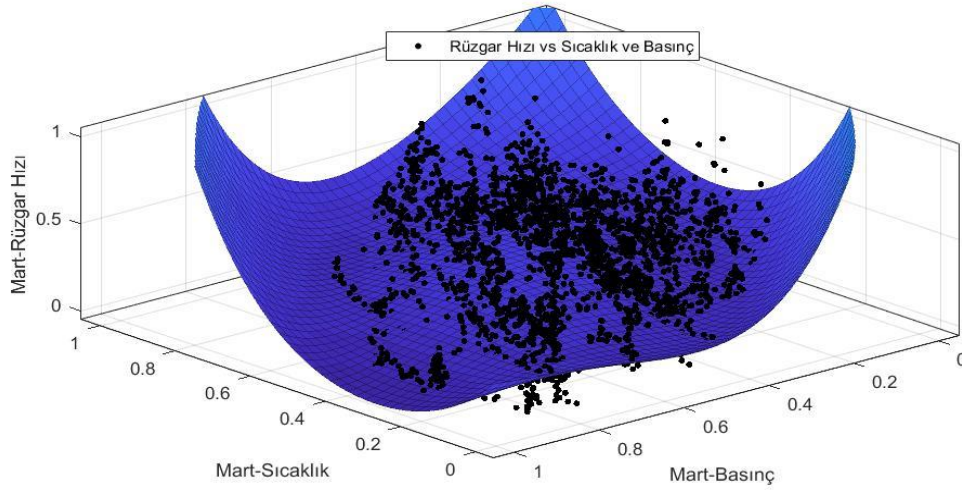
Çizelge 8.5. Mart ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9358	0.1159	0.1866	0.0732	0.0761	0.0885
	RMSE	0.0436	0.1619	0.1553	0.1655	0.1653	0.1642
Ekspansiyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0648	0.0508	0.0837
	RMSE	-----	-----	-----	0.1662	0.1675	0.1646
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0677	0.0886	0.0468
	RMSE	-----	-----	-----	0.166	0.1641	0.1679
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0669	0.0809	0.0787
	RMSE	-----	-----	-----	0.1661	0.1637	0.165
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0661	0.0503	0.0803
	RMSE	-----	-----	-----	0.1661	0.1675	0.1648
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0658	0.0902	0.0744
	RMSE	-----	-----	-----	0.1662	0.164	0.1654
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0616	0.1425	0.0616
	RMSE	-----	-----	-----	0.1648	0.1707	0.1665

Analizler neticesinde elde edilen Mart ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.3.'te görülmektedir.

$$\begin{aligned}
 F(x_3, y_3) = & 2,449 - 11,02x - 12,35y + 20,48x^2 + 38,84xy + 24,37y^2 - \\
 & 17,18x^3 - 38,88x^2y - 44,68xy^2 - 20,35y^3 + 6,12x^4 + 10,36x^3y + 23,27x^2y^2 + \\
 & 15,17xy^3 + 6,15y^4
 \end{aligned}
 \tag{8.3}$$

Eşitlik 8.3'te verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve basıncı temsil etmektedir. Sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.5'te görülmektedir.



Şekil 8.5. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Mart ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Nisan ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.6'da gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 1.Grup'un (Sıcaklık-Basınç) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

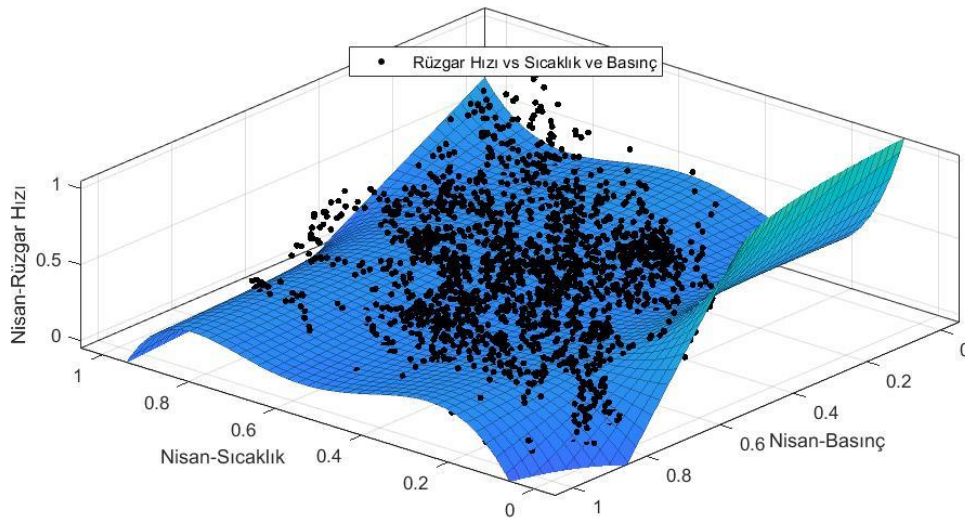
Çizelge 8.6. Nisan ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9473	0.1027	0.9391	0.0235	0.0402	0.0573
	RMSE	0.0392	0.1619	0.0422	0.1686	0.1671	0.1657
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0159	0.0146	0.0357
	RMSE	-----	-----	-----	0.1692	0.1693	0.1675
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0213	0.0444	0.0375
	RMSE	-----	-----	-----	0.1688	0.1668	0.1674
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0372	0.0254	0.0383
	RMSE	-----	-----	-----	0.1674	0.1684	0.1673
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0108	0.0722	0.0306
	RMSE	-----	-----	-----	0.1696	0.1699	0.1679
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0239	0.0236	0.0382
	RMSE	-----	-----	-----	0.1686	0.1686	0.1673
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0239	0.0272	0.0353
	RMSE	-----	-----	-----	0.1667	0.1683	0.1676

Analizler neticesinde elde edilen Nisan ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.4.'te görülmektedir.

$$F(x_4, y_4) = 2,033 - 17,27x - 2,28y + 58,09x^2 + 22,87xy - 85,01x^3 - 75,63x^2y + 54,5x^4 + 99,42x^3y - 11,97x^5 - 45,18x^4y \quad (8.4)$$

Eşitlik 8.4.'te verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve basıncı temsil etmektedir. Sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.6'da görülmektedir.



Şekil 8.6. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Nisan ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Mayıs ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.7'de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup'un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

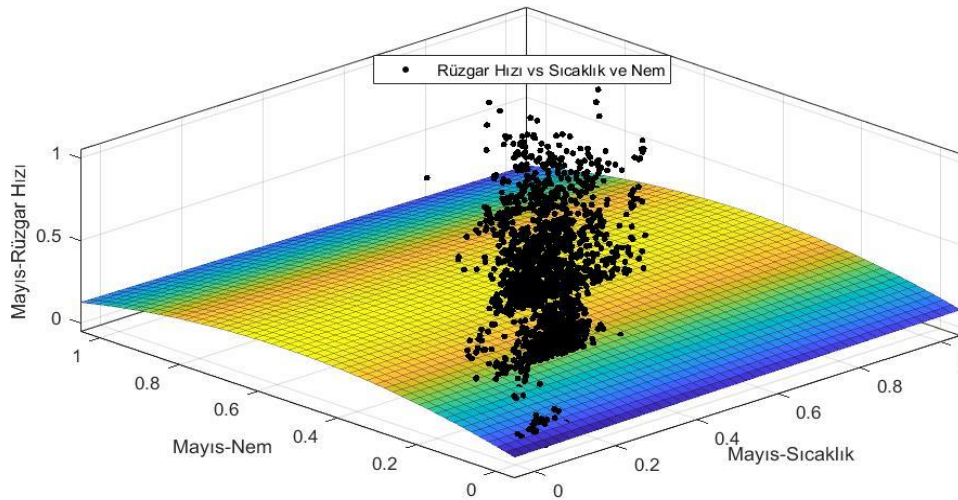
Çizelge 8.7. Mayıs ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9638	0.9745	0.9579	0.9539	0.9532	0.9588
	RMSE	0.031	0.026	0.0334	0.0349	0.0352	0.0330
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0335	0.0203	0.0144
	RMSE	-----	-----	-----	0.16	0.1611	0.1616
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0422	0.0192	0.0324
	RMSE	-----	-----	-----	0.1593	0.1612	0.1601
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0445	0.0268	0.0497
	RMSE	-----	-----	-----	0.1591	0.1606	0.1587
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0355	0.0203	0.0459
	RMSE	-----	-----	-----	0.1598	0.1611	0.1589
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0353	0.0198	0.0459
	RMSE	-----	-----	-----	0.1599	0.0161	0.159
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0347	0.0416	0.0385
	RMSE	-----	-----	-----	0.158	0.1576	0.1587

Analizler neticesinde elde edilen Mayıs ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.5.'te görülmektedir.

$$F(x_5, y_5) = 0,1089 + 0,021x + 0,583y - 0,054xy - 0,542y^2 \quad (8.5)$$

Eşitlik 8.5.'te verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.7'de görülmektedir.



Şekil 8.7. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Mayıs ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Haziran ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.8’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup’un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

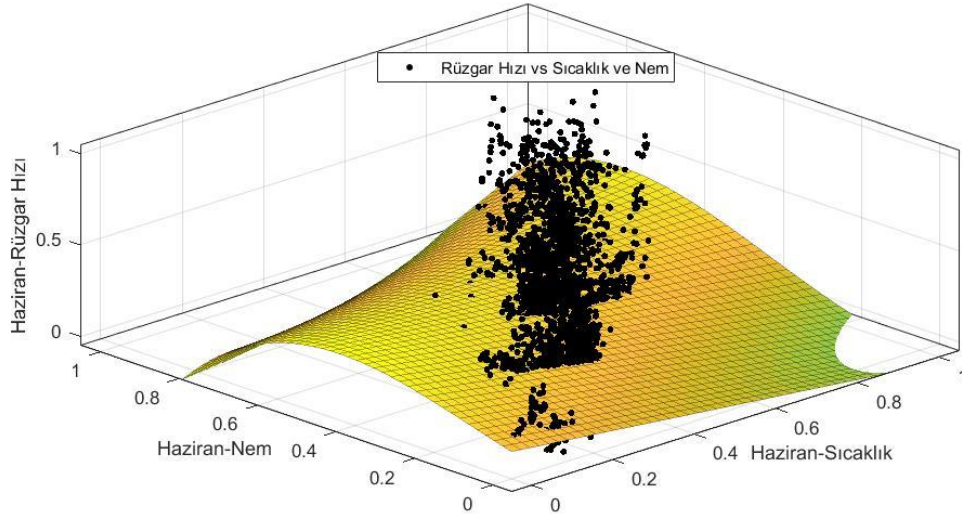
Çizelge 8.8. Haziran ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.959	0.9621	0.9515	0.9518	0.9256	0.9408
	RMSE	0.0347	0.0333	0.0377	0.0375	0.0467	0.0416
Ekspansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0259	0.0426	0.0394
	RMSE	-----	-----	-----	0.1688	0.1674	0.1677
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0438	0.0441	0.0429
	RMSE	-----	-----	-----	0.1673	0.1673	0.1674
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0511	0.0478	0.05
	RMSE	-----	-----	-----	0.1667	0.167	0.1668
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0261	0.0422	0.0417
	RMSE	-----	-----	-----	0.1688	0.1674	0.1674
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0254	0.0421	0.0428
	RMSE	-----	-----	-----	0.1689	0.1675	0.1674
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0538	0.0586	0.0451
	RMSE	-----	-----	-----	0.1651	0.1638	0.1667

Analizler neticesinde elde edilen Haziran ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.6.’da görülmektedir.

$$F(x_6, y_6) = 0,1882 - 0,28x + 0,61y - 0,77xy + 0,4y^2 + 1,9xy^2 - 1,9y^3 \quad (8.6)$$

Eşitlik 8.6.’da verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.8’de görülmektedir.



Şekil 8.8. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Haziran ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Temmuz ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.9’da gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 3.Grup’un (Nem-Basınç) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

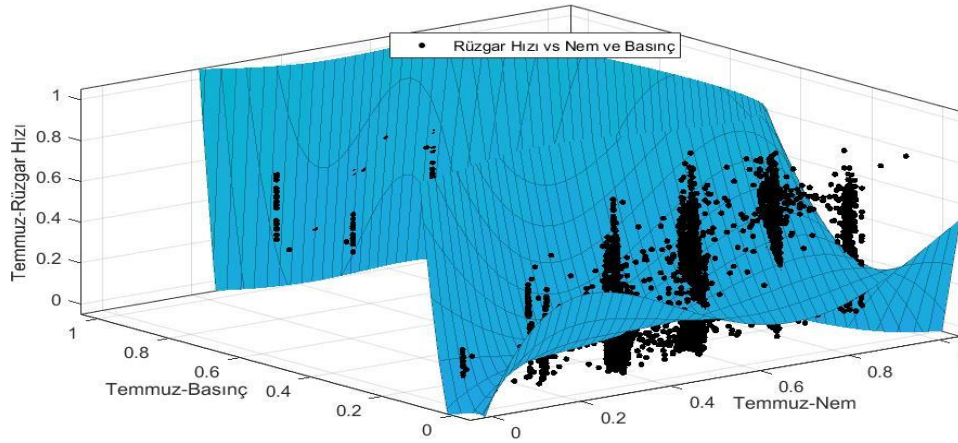
Çizelge 8.9. Temmuz ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık -Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.2601	0.2304	0.9589	0.178	0.0569	0.1884
	RMSE	0.181	0.1846	0.0442	0.1905	0.204	0.1893
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.1709	0.0312	0.1815
	RMSE	-----	-----	-----	0.1913	0.2068	0.1901
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.1778	0.0573	0.1865
	RMSE	-----	-----	-----	0.1905	0.204	0.1895
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.1775	0.0565	0.1922
	RMSE	-----	-----	-----	0.1906	0.2041	0.1888
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.1562	0.0313	0.1691
	RMSE	-----	-----	-----	0.1929	0.2067	0.1915
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.178	0.3109	0.1884
	RMSE	-----	-----	-----	0.1905	0.2068	0.1893
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.1766	0.0413	0.1933
	RMSE	-----	-----	-----	0.1907	0.2051	0.1888

Analizler neticesinde elde edilen Temmuz ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.7.'de görülmektedir.

$$F(x_7, y_7) = 0,0134 + 2,1x + 2,8y - 7,7x^2 - 57,3xy + 73,8y^2 + 12,4x^3 + 170,4x^2y - 108,2xy^2 - 59,5y^3 - 6,6x^4 - 122,5x^3y + 26,9x^2y^2 + 63,1xy^3 \quad (8.7)$$

Eşitlik 8.7.'de verilen x ve y değişkenleri sırasıyla nem ve basıncı temsil etmektedir. Nem ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.9'da görülmektedir.



Şekil 8.9. Üç boyutlu nem-basınç girdilerine bağlı olarak Temmuz ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Ağustos ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.10'da gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 1.Grup'un (Sıcaklık-Basınç) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

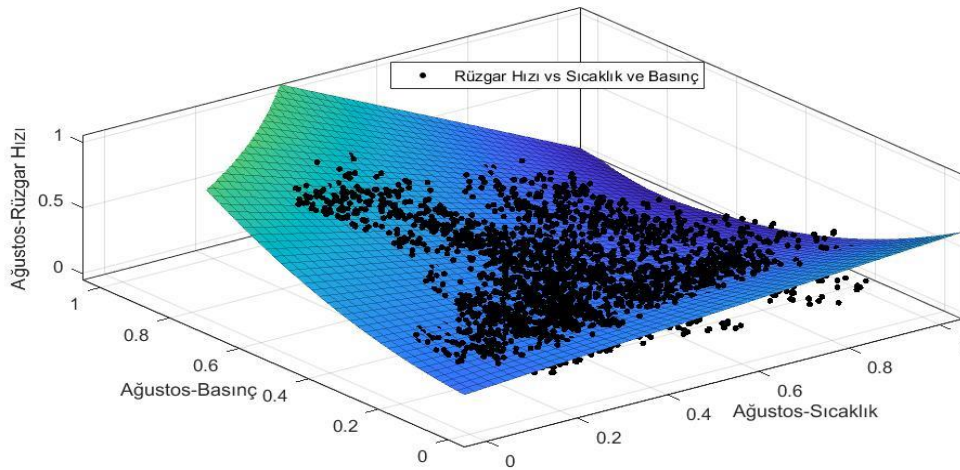
Çizelge 8.10. Ağustos ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9697	0.1816	0.2956	0.1163	0.1305	0.1252
	RMSE	0.0274	0.1688	0.1567	0.1752	0.1738	0.1743
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.1129	0.0960	0.1251
	RMSE	-----	-----	-----	0.1755	0.1771	0.1743
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.1159	0.1325	0.1247
	RMSE	-----	-----	-----	0.1752	0.1736	0.1743
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.1156	0.1317	0.1252
	RMSE	-----	-----	-----	0.1752	0.1736	0.1743
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.1017	0.0950	0.1135
	RMSE	-----	-----	-----	0.1716	0.1772	0.1754
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.116	0.1274	0.1244
	RMSE	-----	-----	-----	0.1752	0.1741	0.1744
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.117	0.1425	0.1365
	RMSE	-----	-----	-----	0.1752	0.1725	0.1732

Analizler neticesinde elde edilen Ağustos ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.8.'de görülmektedir.

$$F(x_8, y_8) = 0,3731 + 0,15x + 0,25y - 1,69xy + 0,95y^2 \quad (8.8)$$

Eşitlik 8.8.'de verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve basıncı temsil etmektedir. Sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.10'da görülmektedir.



Şekil 8.10. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Ağustos ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Eylül ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.11’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 1.Grup’un (Sıcaklık-Basınç) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

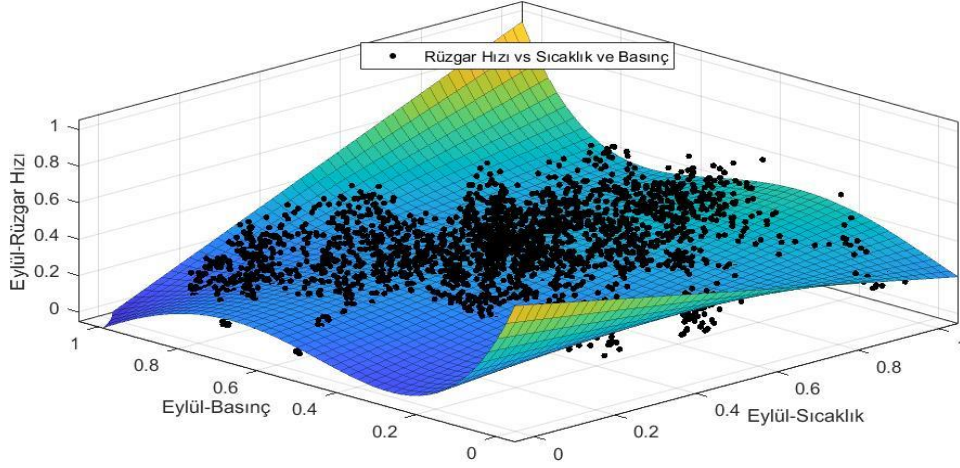
Çizelge 8.11. Eylül ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9589	0.9566	0.9514	0.1474	0.7469	0.1344
	RMSE	0.0312	0.032	0.0339	0.1418	0.0773	0.1429
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.1474	0.0599	0.126
	RMSE	-----	-----	-----	0.1418	0.1489	0.1435
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.1473	0.0662	0.1344
	RMSE	-----	-----	-----	0.1418	0.1484	0.1429
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.1468	0.0597	0.1345
	RMSE	-----	-----	-----	0.1419	0.1489	0.1429
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.1413	0.0599	0.1338
	RMSE	-----	-----	-----	0.1423	0.1489	0.1429
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.1471	0.0596	0.1331
	RMSE	-----	-----	-----	0.1418	0.1489	0.143
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.1528	0.0604	0.1349
	RMSE	-----	-----	-----	0.1414	0.1488	0.1428

Analizler neticesinde elde edilen Eylül ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.9.’da görülmektedir.

$$F(x_9, y_9) = 0,4566 - 0,2x - 3,7y + 4,4xy + 11,5y^2 - 10,5xy^2 - 12,5y^3 + 7,1xy^3 + 4,3y^4 \quad (8.9)$$

Eşitlik 8.9.’da verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve basıncı temsil etmektedir. Sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.11’de görülmektedir.



Şekil 8.11. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Eylül ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Ekim ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.12’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup’un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

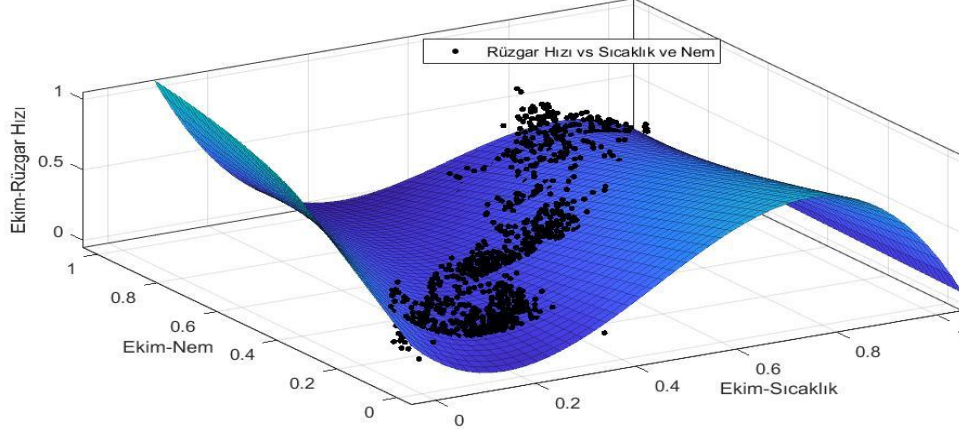
Çizelge 8.12. Ekim ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R^2	0.9617	0.9708	0.2721	0.9705	0.9562	0.1098
	RMSE	0.0332	0.029	0.1453	0.0291	0.0355	0.16
Ekspansiyel	R^2	-----	-----	-----	0.0716	0.1285	0.0743
	RMSE	-----	-----	-----	0.1633	0.1582	0.1631
Fourier	R^2	-----	-----	-----	0.1795	0.13	0.0968
	RMSE	-----	-----	-----	0.1536	0.1582	0.1612
Gaussian	R^2	-----	-----	-----	0.1158	0.1337	0.0985
	RMSE	-----	-----	-----	0.1595	0.1579	0.1615
Lineer	R^2	-----	-----	-----	0.0576	0.1213	0.0752
	RMSE	-----	-----	-----	0.1645	0.1588	0.1634
Sum of Sine	R^2	-----	-----	-----	0.1616	0.1272	0.0906
	RMSE	-----	-----	-----	0.1553	0.1584	0.1617
Rasyonel	R^2	-----	-----	-----	0.1923	0.1681	0.0902
	RMSE	-----	-----	-----	0.1527	0.1549	0.161

Analizler neticesinde elde edilen Ekim ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.10.’da görülmektedir.

$$F(x_{10}, y_{10}) = 0,2998 - 2,68x + 1,45y + 10,37x^2 - 6,55xy - 7,63x^3 + 4,97x^2 \quad (8.10)$$

Eşitlik 8.10.'da verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.12'de görülmektedir.



Şekil 8.12. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Ekim ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Kasım ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.13'de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup'un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

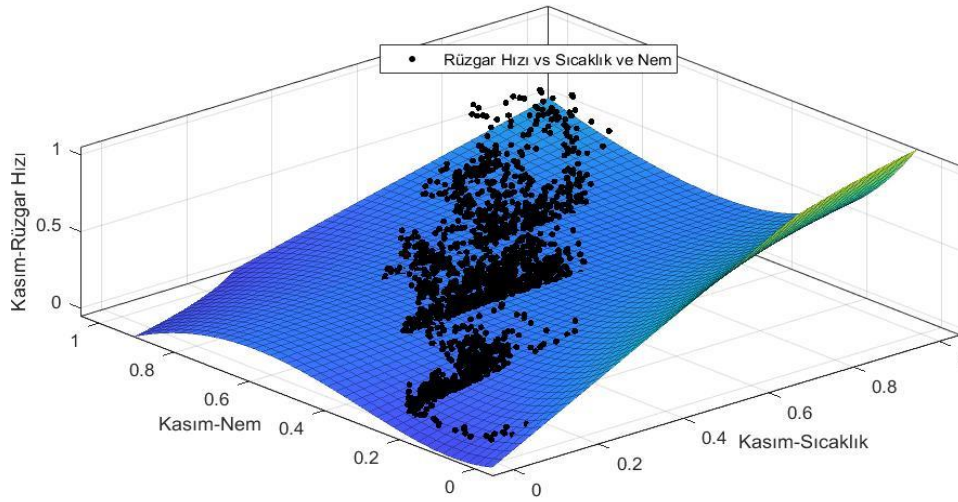
Çizelge 8.13. Kasım ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9518	0.9702	0.9621	0.9664	0.9541	0.9365
	RMSE	0.0320	0.0252	0.0284	0.0267	0.0312	0.0366
Ekspansiyonel	R ²	-----	-----	-----	0.1288	0.1601	0.0846
	RMSE	-----	-----	-----	0.1359	0.1335	0.1393
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0426	0.1186	0.1123
	RMSE	-----	-----	-----	0.1425	0.132	0.1373
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.1387	0.1543	0.117
	RMSE	-----	-----	-----	0.1352	0.134	0.1369
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.1147	0.1498	0.1073
	RMSE	-----	-----	-----	0.137	0.1343	0.1376
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.136	0.1672	0.112
	RMSE	-----	-----	-----	0.1354	0.1329	0.1373
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.1277	0.1844	0.1184
	RMSE	-----	-----	-----	0.136	0.1316	0.1371

Analizler neticesinde elde edilen Kasım ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.11.'de görülmektedir.

$$F(x_{11}, y_{11}) = 0,0434 + 1,25x - 0,58y - 4,21xy + 3,69y^2 + 4,02xy^2 - 4,82y^3 - 0,5xy^3 + 1,49y^4 \quad (8.11)$$

Eşitlik 8.11.'de verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.13'de görülmektedir.



Şekil 8.13. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Kasım ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

Aralık ayına ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.14'te gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 1.Grup'un (Sıcaklık-Basınç) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

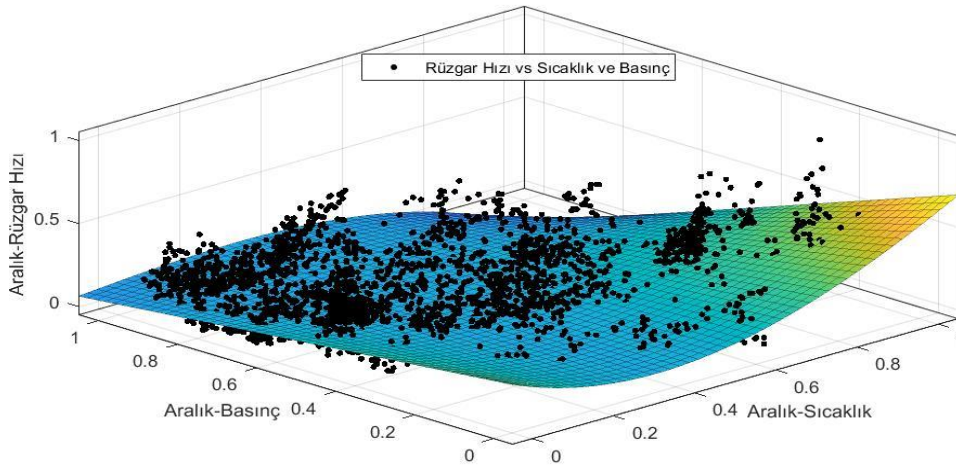
Çizelge 8.14. Aralık ayına ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9675	0.9665	0.9631	0.9584	0.9304	0.9068
	RMSE	0.0261	0.0265	0.0278	0.0295	0.0382	0.0443
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0829	0.0541	0.0508
	RMSE	-----	-----	-----	0.1388	0.141	0.1412
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0988	0.0693	0.0544
	RMSE	-----	-----	-----	0.1377	0.1399	0.141
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0877	0.0541	0.0531
	RMSE	-----	-----	-----	0.1385	0.141	0.1411
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0785	0.0536	0.0511
	RMSE	-----	-----	-----	0.1391	0.141	0.1412
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0769	0.0575	0.0636
	RMSE	-----	-----	-----	0.1393	0.1408	0.1403
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0782	0.058	0.0512
	RMSE	-----	-----	-----	0.1356	0.1408	0.141

Analizler neticesinde elde edilen Aralık ayına ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.12.'de görülmektedir.

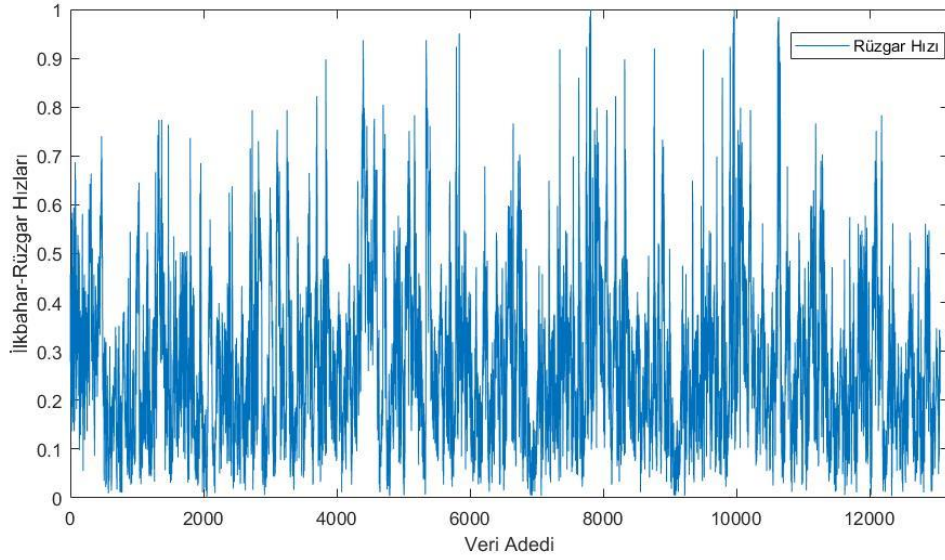
$$F(x_{12}, y_{12}) = 0,255 - 0,838x - 0,173y + 1,55x^2 + 0,99xy - 0,374x^3 - 1,56x^2y \quad (8.12)$$

Eşitlik 8.12.'de verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve basıncı temsil etmektedir. Sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.14'te görülmektedir.

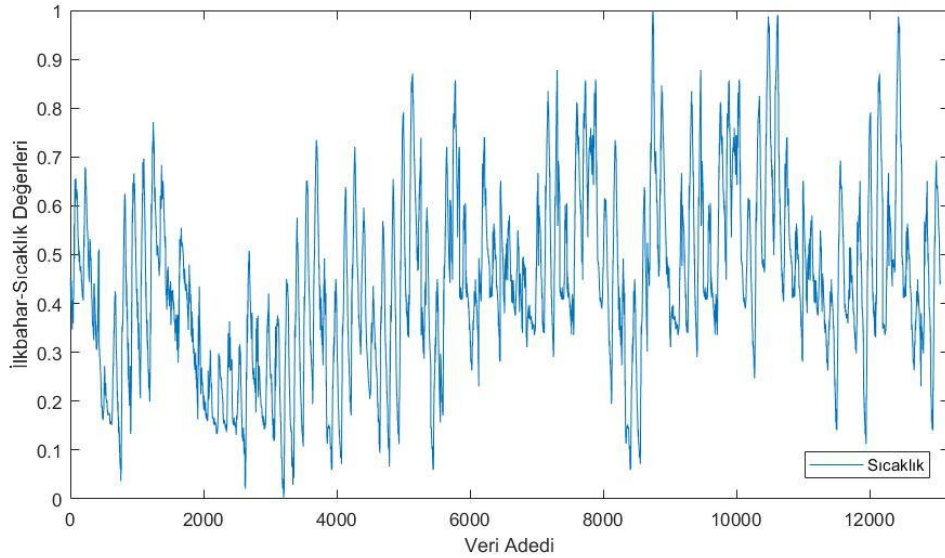


Şekil 8.14. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Aralık ayı için rüzgar hızı tahmin değişimi

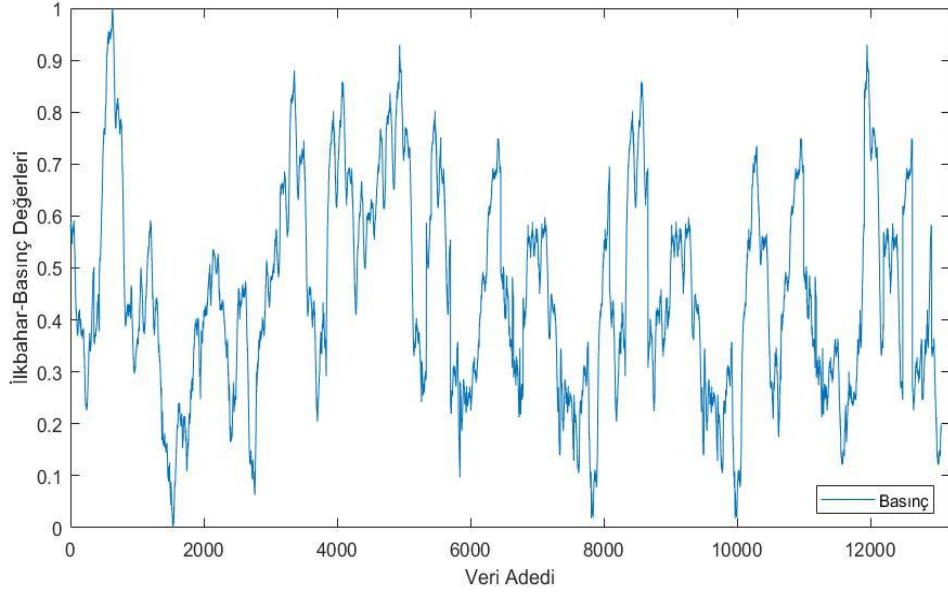
Analizlerin ikinci aşaması olarak gerçekleştirilen mevsimsel analizlerde kullanılan veri setinden İlkbahar (Mart, Nisan, Mayıs) mevsimine ait, rüzgar hızı, sıcaklık, basınç ve nem verilerinin değişimi Şekil 8.15'te gösterilmektedir. Mevsimsel analizler neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 8.15'te ifade edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup'un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği ve aylık analizlerde de görüldüğü gibi mevsimsel analizler içinde polinom fonksiyonunun daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir.



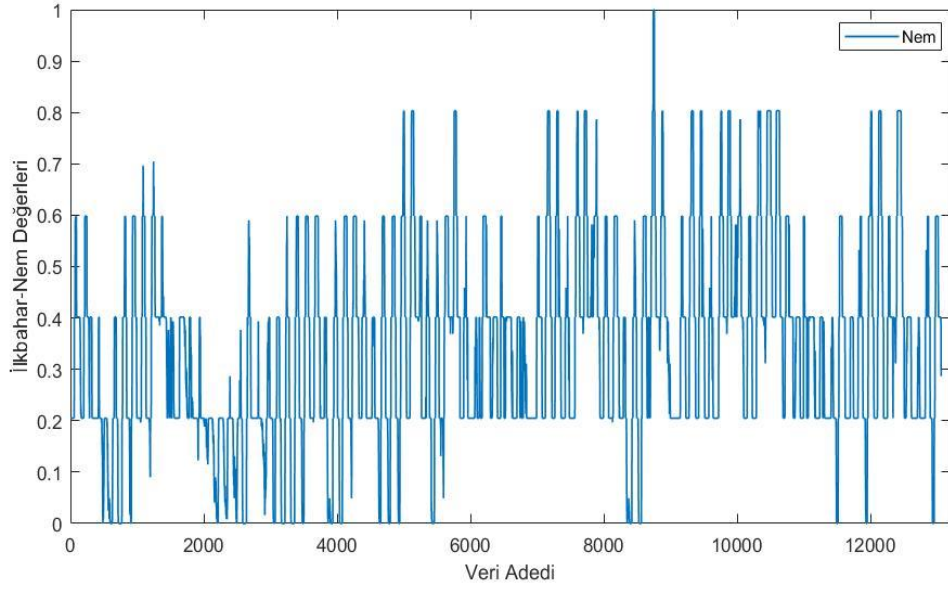
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 8.15. (a) İlkbahar mevsimine ait rüzgar hızı verileri
 (b) İlkbahar mevsimine ait sıcaklık verileri
 (c) İlkbahar mevsimine ait basınç verileri
 (d) İlkbahar mevsimine ait nem verileri

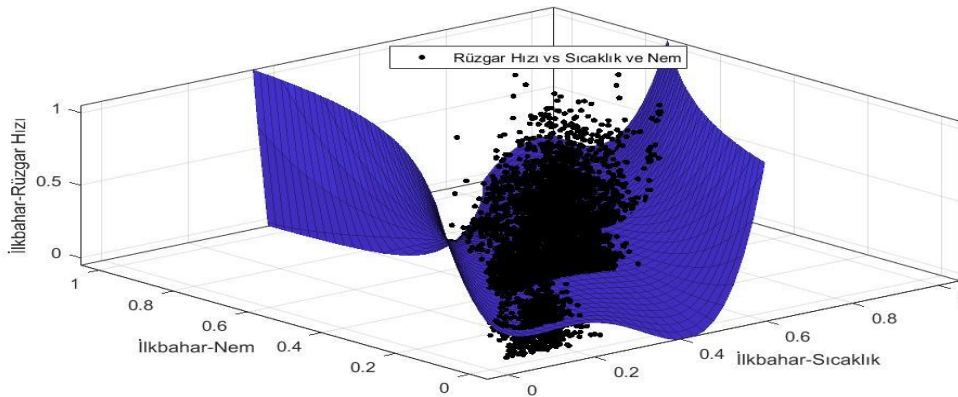
Çizelge 8.15. İlkbahar mevsimine ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9315	0.9595	0.9443	0.724	0.8022	0.8481
	RMSE	0.0431	0.0331	0.0388	0.0864	0.0732	0.0641
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	-0.3278	0.0114	0.3278
	RMSE	-----	-----	-----	0.1896	0.1636	0.1896
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0156	0.0159	0.0156
	RMSE	-----	-----	-----	0.1632	0.1632	0.1632
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0450	0.0163	0.0450
	RMSE	-----	-----	-----	0.1608	0.1632	0.1608
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0432	0.0829	0.0432
	RMSE	-----	-----	-----	0.1609	0.1638	0.1609
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0404	0.0159	0.0403
	RMSE	-----	-----	-----	0.1612	0.1632	0.1612
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0344	0.064	0.045
	RMSE	-----	-----	-----	0.1617	0.164	0.1608

Analizler neticesinde elde edilen İlkbahar mevsimine ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.13.'de görülmektedir.

$$F(x_{13}, y_{13}) = 0,289 - 2,8x + 1,9y + 25,4x^2 - 35,9xy + 14,4y^2 - 86,2x^3 + 176,8x^2y - 115,8xy^2 + 19,4y^3 + 90,7x^4 - 224,6x^3y + 183,1x^2y^2 - 46,49xy^3 \quad (8.13)$$

Eşitlik 8.13.'de verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.16'da görülmektedir.



Şekil 8.16. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak İlkbahar mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi

Yaz mevsimine ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.16’da gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup’un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

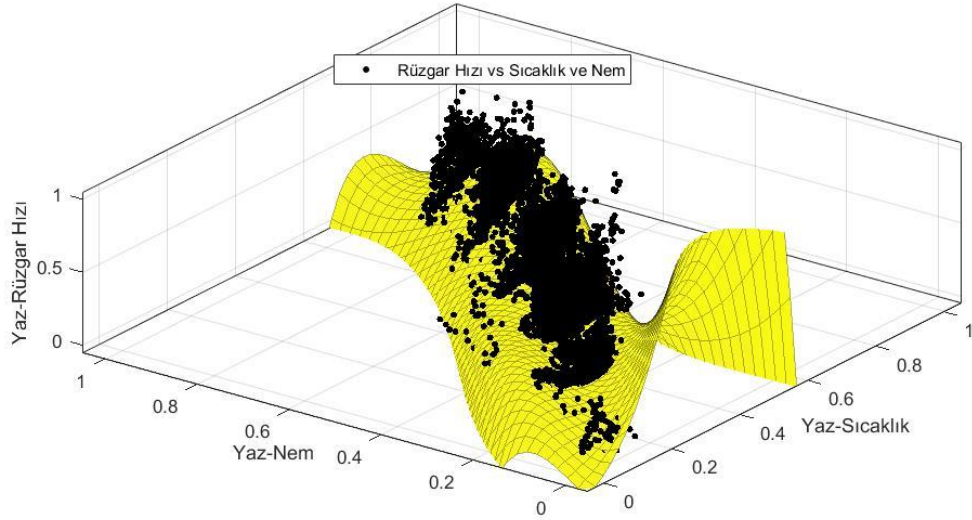
Çizelge 8.16. Yaz mevsimine ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.1352	0.9554	0.9507	0.0984	0.0768	0.5453
	RMSE	0.1658	0.0376	0.0396	0.1692	0.1775	0.1201
Ekspansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0857	0.0254	0.1037
	RMSE	-----	-----	-----	0.1704	0.1779	0.1687
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.1024	0.0814	0.1069
	RMSE	-----	-----	-----	0.1688	0.1774	0.1684
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.1001	0.0435	0.1069
	RMSE	-----	-----	-----	0.169	0.1778	0.1684
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0847	0.0337	0.0929
	RMSE	-----	-----	-----	0.1704	0.1781	0.1697
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0971	0.0768	0.1068
	RMSE	-----	-----	-----	0.1693	0.1775	0.1684
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.1059	0.1123	0.0813
	RMSE	-----	-----	-----	0.1685	0.1679	0.1775

Analizler neticesinde elde edilen Yaz mevsimine ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.14.’te görülmektedir.

$$F(x_{14}, y_{14}) = 0.063 + 0.7x + 1,7y + 0,7x^2 - 21,9xy + 10,6y^2 + 75,6x^3 - 216,2x^2y + 266,4xy^2 - 141,5x^4 + 438,8x^3y - 485,5x^2y^2 + 178,4xy^3 \quad (8.14)$$

Eşitlik 8.14.’te verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.17’de görülmektedir.



Şekil 8.17. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Yaz mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi

Sonbahar mevsimine ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.17’de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 1.Grup’un (Sıcaklık-Basınç) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

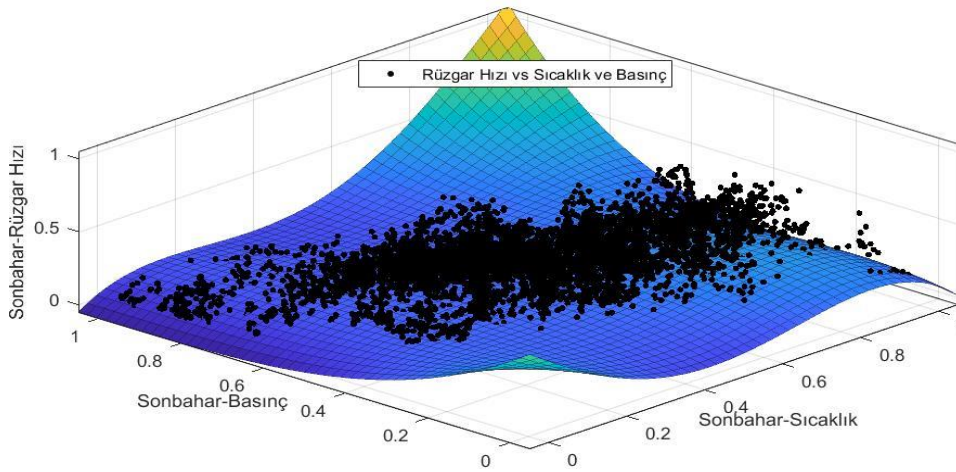
Çizelge 8.17. Sonbahar mevsimine ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9082	0.9068	0.8955	0.825	0.8125	0.7278
	RMSE	0.0437	0.0440	0.0441	0.0603	0.0624	0.0752
Ekspansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.1204	0.1157	0.1074
	RMSE	-----	-----	-----	0.1353	0.1356	0.1362
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.1332	0.1162	0.112
	RMSE	-----	-----	-----	0.1343	0.1356	0.1359
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.1154	0.1191	0.1156
	RMSE	-----	-----	-----	0.1357	0.1354	0.1355
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.1146	0.1157	0.1094
	RMSE	-----	-----	-----	0.1357	0.1356	0.1361
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.1346	0.1157	0.1144
	RMSE	-----	-----	-----	0.1342	0.1356	0.1357
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.1361	0.1185	0.1173
	RMSE	-----	-----	-----	0.1341	0.1354	0.1355

Analizler neticesinde elde edilen Sonbahar mevsimine ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.15.'te görülmektedir.

$$F(x_{15}, y_{15}) = 0,436 - 1,4x - 1,3y + 0,5x^2 + 8,2xy + 1,4y^2 + 3,7x^3 - 11x^2y - 7,9xy^2 - 0,5y^3 - 3,1x^4 + 4,4x^3y + 4,9x^2y^2 + 2,3xy^3 \quad (8.15)$$

Eşitlik 8.15.'te verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve basıncı temsil etmektedir. Sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.18'de görülmektedir.



Şekil 8.18. Üç boyutlu sıcaklık-basınç girdilerine bağlı olarak Sonbahar mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi

Kış mevsimine ait, yapılan analizler neticesinde regresyon fonksiyonlarına göre grupların göstermiş olduğu istatistiksel performanslar Çizelge 8.18'de gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 2.Grup'un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

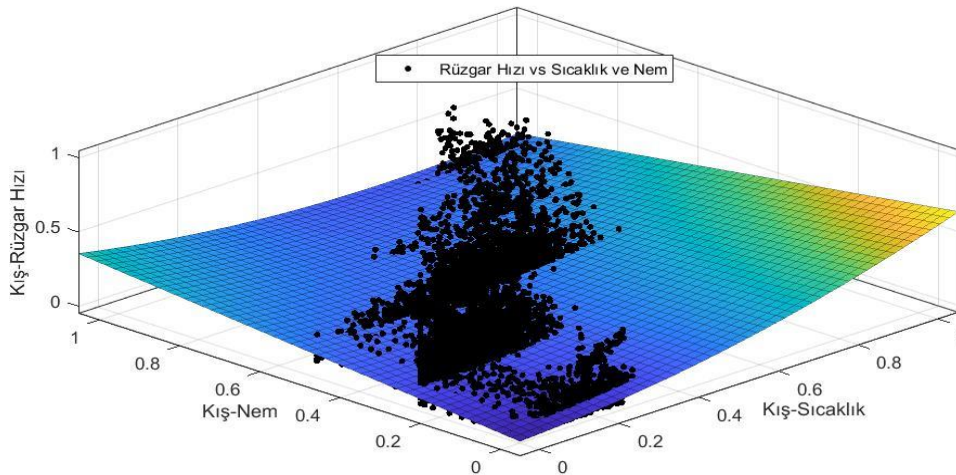
Çizelge 8.18. Kış mevsimine ait verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.9277	0.9293	0.9052	0.5418	0.763	0.7276
	RMSE	0.0381	0.0376	0.0389	0.0957	0.0688	0.0738
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0493	0.0540	0.0475
	RMSE	-----	-----	-----	0.1379	0.1375	0.138
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0612	0.0908	0.0487
	RMSE	-----	-----	-----	0.137	0.1348	0.1379
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0607	0.0963	0.0506
	RMSE	-----	-----	-----	0.137	0.1344	0.1378
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0428	0.0761	0.0469
	RMSE	-----	-----	-----	0.1383	0.1359	0.138
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0603	0.0848	0.0476
	RMSE	-----	-----	-----	0.1371	0.1353	0.138
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.0657	0.0519	0.0967
	RMSE	-----	-----	-----	0.1367	0.1377	0.1344

Analizler neticesinde elde edilen Kış mevsimine ait en uygun regresyon denklemi Eşitlik 8.16.'da görülmektedir.

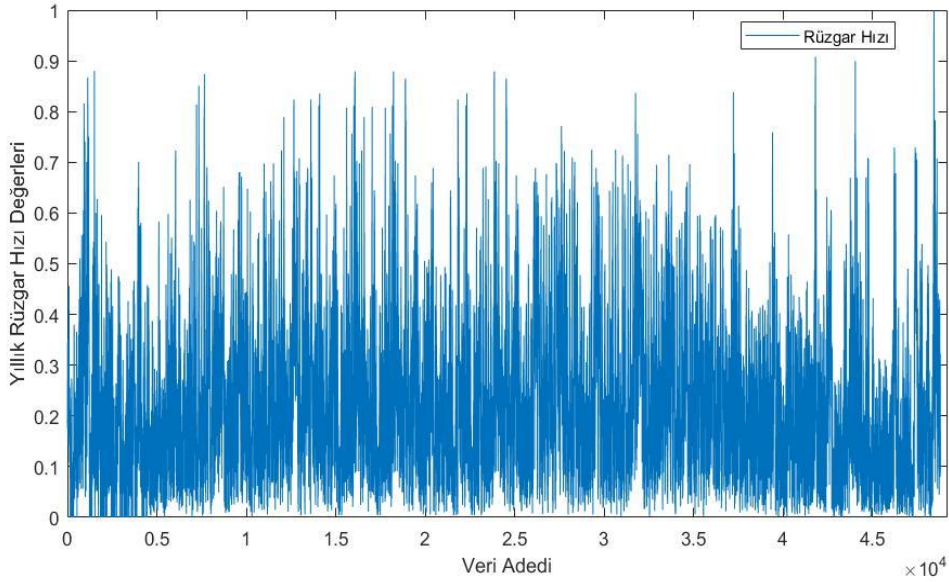
$$F(x_{16}, y_{16}) = 0,071 + 0,1427x + 0,246y + 0,355x^2 - 0,611xy \quad (8.16)$$

Eşitlik 8.16.'da verilen x ve y değişkenleri sırasıyla sıcaklık ve nemi temsil etmektedir. Sıcaklık ve nem verileri kullanılarak yapılan rüzgar hızı tahminlemesine bağlı oluşturulan denklemin üç boyutlu değişim grafiği ise Şekil 8.19'da görülmektedir.

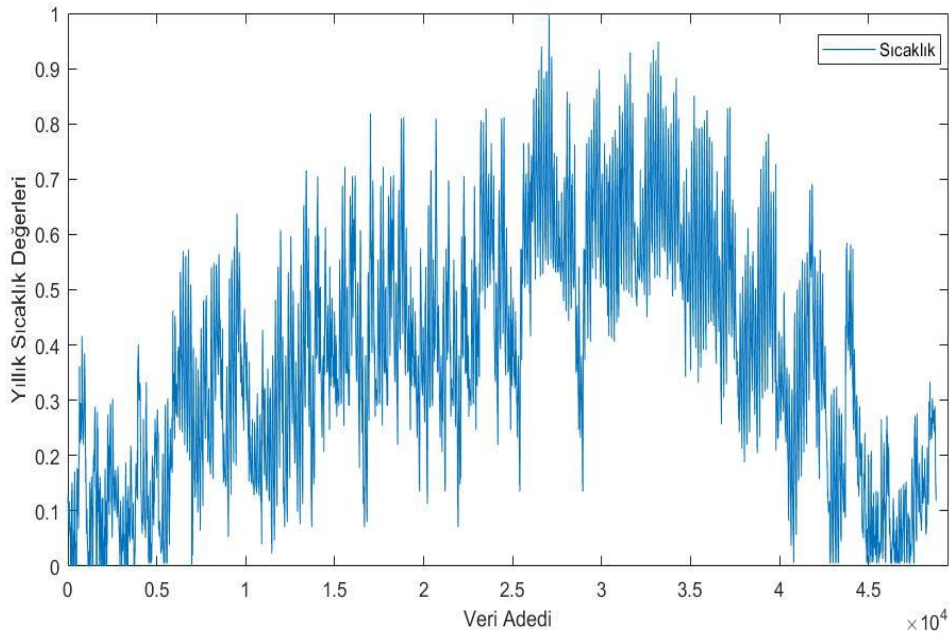


Şekil 8.19. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak Kış mevsimi için rüzgar hızı tahmin değişimi

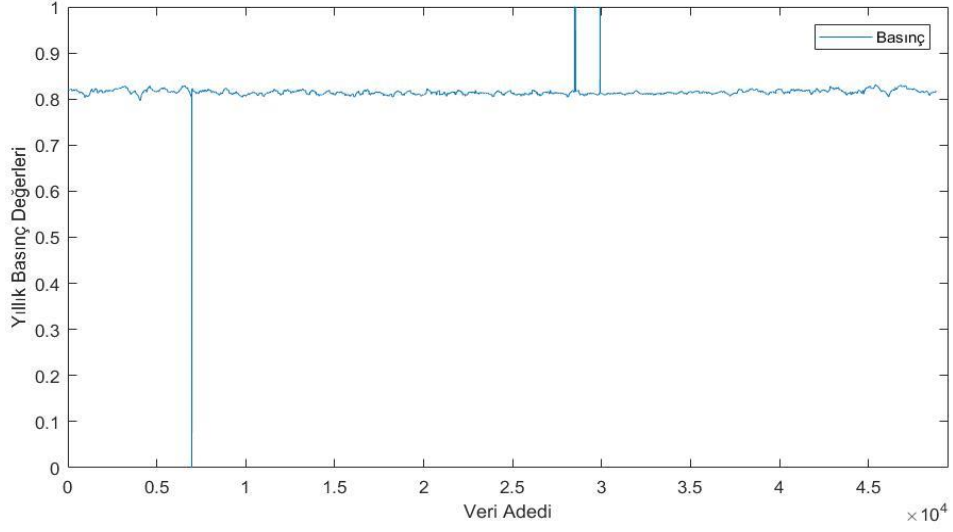
Analizlerin üçüncü aşaması olarak gerçekleştirilen yıllık analizlerde kullanılan verilerin yıllık değişimi Şekil 8.20’de gösterilmektedir. Yıllık analizler neticesinde elde edilen analiz sonuçları Çizelge 8.19’da gösterilmektedir. Yıllık analiz sonuçları incelendiğinde 2.Grup’un (Sıcaklık-Nem) daha iyi performans sergilediği ve hem mevsimsel hem de aylık analizlerde olduğu gibi polinom fonksiyonun diğer regresyon fonksiyonlarına göre daha baskın olduğu görülmüştür.



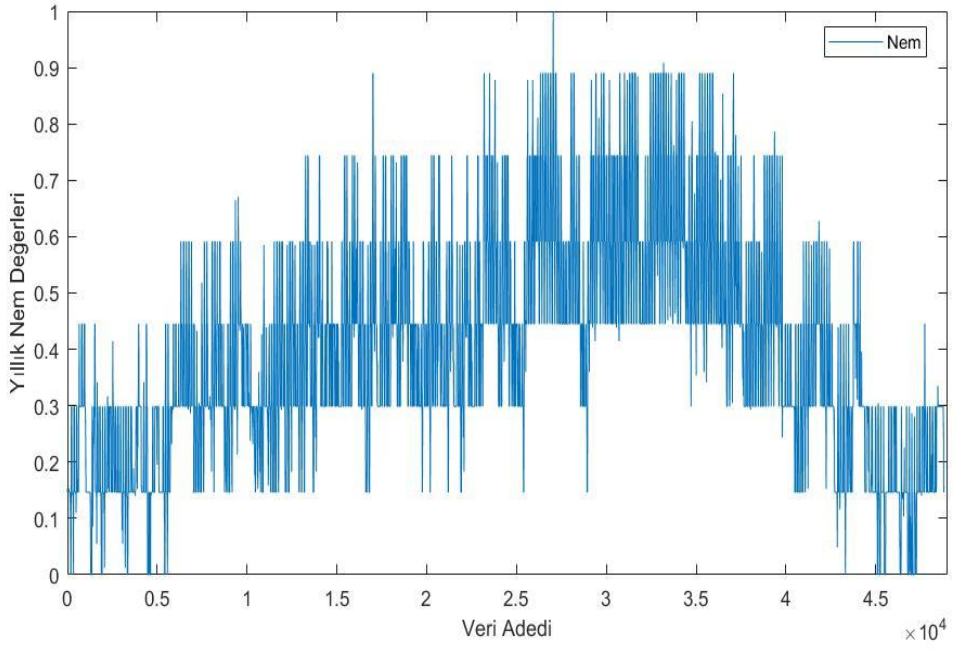
(a)



(b)



(c)



(d)

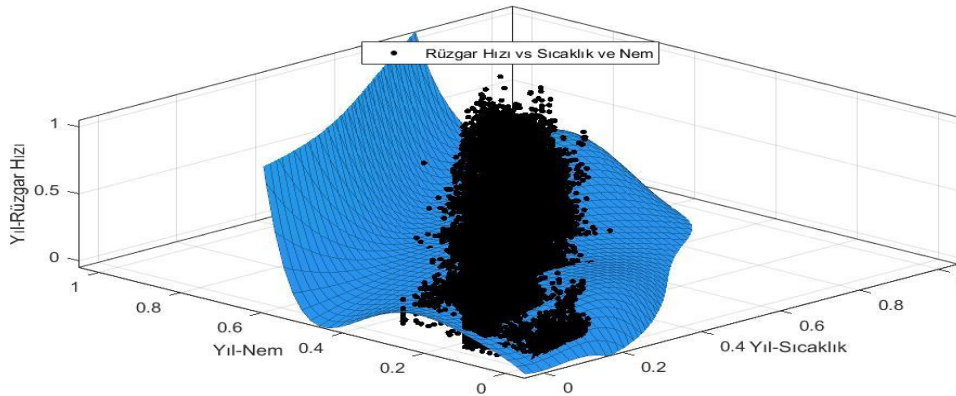
Şekil 8.20. (a) Yıllık verilere ait rüzgar hızı değerleri
 (b) Yıllık verilere ait sıcaklık değerleri
 (c) Yıllık verilere ait basınç değerleri
 (d) Yıllık verilere ait nem değerleri

Çizelge 8.19. Yıllık verilerin istatistiksel sonuçları

Regresyon Fonksiyonları	Determinasyon Katsayısı-Hata	Sıcaklık-Basınç	Sıcaklık-Nem	Nem-Basınç	Sıcaklık	Basınç	Nem
Polinom	R ²	0.783	0.8153	0.7904	0.1294	0.5642	0.1254
	RMSE	0.0682	0.0629	0.0671	0.1366	0.0969	0.137
Eksponansiyel	R ²	-----	-----	-----	0.0735	-2.37	0.0767
	RMSE	-----	-----	-----	0.141	0.2688	0.1407
Fourier	R ²	-----	-----	-----	0.0775	0.0534	0.0784
	RMSE	-----	-----	-----	0.1407	0.1425	0.1406
Gaussian	R ²	-----	-----	-----	0.0768	0.0502	0.0779
	RMSE	-----	-----	-----	0.1407	0.1427	0.1406
Lineer	R ²	-----	-----	-----	0.0737	0.0115	0.0769
	RMSE	-----	-----	-----	0.1409	0.1456	0.1407
Sum of Sine	R ²	-----	-----	-----	0.0755	0.0531	0.0779
	RMSE	-----	-----	-----	0.1408	0.1425	0.1406
Rasyonel	R ²	-----	-----	-----	0.08	0.0544	0.077
	RMSE	-----	-----	-----	0.1408	0.1423	0.1407

Yıllık verilerle yapılan analiz sonucu en düşük hata oranı ve en yüksek determinasyon katsayısı ile tahmin yapılan grup Sıcaklık-Nem olmuştur. Eşitlik 8.17.'de analiz sonucu çıkarılan yıllık verilere ait regresyon denklemi bulunmaktadır. Sıcaklık değerleri x ile ifade edilirken nem değerleri y değişkeniyle ifade edilmektedir. Sıcaklık-Nem girdilerine bağlı olarak rüzgar hızı tahmin değişimi ise Şekil 8.21'de gösterilmektedir.

$$F(x_{17}, y_{17}) = 0,05602 + 0,1x + 0,9y + 8x^2 - 4xy - 6y^2 - 34x^3 + 41x^2y - 57xy^2 + 50y^3 + 165x^3y - 364x^2y^2 + 384xy^3 - 178y^4 - 198x^3y^2 + 503x^2y^3 - 499xy^4 + 188y^5 \quad (8.17)$$



Şekil 8.21. Üç boyutlu sıcaklık-nem girdilerine bağlı olarak yıllık veriler için rüzgar hızı tahmin değişimi

9. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynakları dünya ülkeleri arasında sürdürülebilir kalkınma açısından ve ekolojik dengenin korunması yönünden oldukça büyük öneme sahiptir. Bunun yanı sıra gelişmekte olan ülkeler için ekonomik açıdan büyümeye de önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Özellikle bu kaynaklar arasında rüzgar enerjisinin sahip olduğu bir çok avantaj ile diğer kaynaklara göre tercih edilirliliği daha fazladır. Rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinde en önemli girdi rüzgar hızıdır. Bu nedenle rüzgar enerjisinden maksimum düzeyde verim elde edebilmek için rüzgar hızının doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada meteorolojik parametreleri kullanarak farklı regresyon modelleri ışığında rüzgar hızının tahminlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılan veriler Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi yerleşkesinde kurulan ölçüm istasyonundan temin edilmiştir. Temin edilen bu veriler 2017-2018 yılları arasında onar dakikalık ölçümlerle tespit edilen rüzgar hızı, basınç, sıcaklık ve nem verileridir. Literatür çalışmaları incelendiğinde rüzgar hızı tahminlemesi ile ilgili birçok istatistiksel yöntem kullanılmış ve bu alanda ciddi çalışmalar yapılmıştır. Fakat yapılan incelemeler neticesinde yukarıda belirtilen parametreler ile rüzgar hızı arasında matematiksel bağıntıların kurulduğu çalışmalara rastlanılmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak amacıyla rüzgar hızı ile meteorolojik parametreler arasında regresyon yöntemleri kullanılarak aylık, mevsimsel ve yıllık denklem takımları oluşturulmuştur. Denklem takımları belirlenirken rüzgar hızı tahminlemesi sıcaklık, basınç ve nem parametrelerinin oluşturduğu 6 farklı kombinasyonla gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde üç genel regresyon yöntemlerinden Basit Lineer Regresyon, Çoklu Lineer Regresyon ve Çoklu Non-linear Regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Analizlerin neticesinde bu yöntemlerden Çoklu Non-linear Regresyon yönteminin ön plana çıktığı ve daha düşük hata ile tahminleme yaptığı görülmüştür. Sıcaklık-Nem kombinasyonu ise yapılan analizlerde en az hata ve en yüksek determinasyon katsayısı ile tahminleme yapılan grup olmuştur.

Yapılan aylık çalışmalarda hata oranının en az çıktığı ay Kasım ayı olup, 0.025 RMSE değeri ile Sıcaklık-Nem kombinasyonunda elde edilmiştir. En yüksek hata oranı ise 0.044 RMSE değeri ile Temmuz ayında Nem-Basınç kombinasyonunda elde edilmiştir.

Yapılan aylık analizler hata parametreleri ve determinasyon katsayıları yönünden değerlendirildiğinde Sıcaklık-Nem grubunun daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Mevsimsel analizlerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde hata oranının en az çıktığı mevsim 0.0331 RMSE hata ile İlkbahar mevsiminde Sıcaklık-Nem kombinasyonunda olmuştur. Hatanın yüksek olduğu grup ise Sonbahar mevsiminde 0.044 RMSE ile Sıcaklık-Nem grubu olmuştur. Yıllık analizler sonucunda ise en düşük 0.062 RMSE hata ile Sıcaklık-Nem grubu, en yüksek hata ise 0.068 RMSE ile Sıcaklık-Basınç grubunda görülmüştür. Aylık analizlerde olduğu gibi mevsimsel ve yıllık analizler neticesinde de rüzgar hızı tahminlemesinde Sıcaklık-Nem grubu ile yapılan tahminlemenin doğruluğunun diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Elde edilen denklem takımları değerlendirildiğinde kullanılan yöntemin ilk defa uygulanışı çalışmanın özgünlüğünü ön plana çıkarmaktadır. Bununla birlikte bu denklem takımlarının performansının belirlenmesi için Ankara, Trabzon, Amasya ve Muş illerine ait veriler kullanılarak testi gerçekleştirilmiştir. Amasya il merkezinde ölçüm istasyonu bulunmadığından Merzifon ölçüm istasyonunun değerleri kullanılmıştır. Yapılan test işlemi neticesinde oluşturulan denklem takımlarının çok yüksek performans sergilemesi beklenmemiştir. Çünkü bu çalışma lokal bir çalışma olup yöntemsel açıdan yenilikçidir. Çizelge 9.1’de tahminlemenin illere göre hata oranları verilmektedir. Mevsimsel ve yıllık olarak yapılan tahminlemelerin hata oranları ise sırasıyla Çizelge 9.2 ve Çizelge 9.3’te verilmektedir.

Çizelge 9.1. İllere göre aylık tahminlerin istatistiksel sonuçları

		İLLER			
Aylar	Hata	Ankara	Trabzon	Amasya	Muş
Ocak	RMSE	0.0354	0.2039	0.1162	0.1521
Şubat	RMSE	0.1170	0.2808	0.1251	0.2106
Mart	RMSE	0.1608	0.2437	0.2559	0.0441
Nisan	RMSE	0.1353	0.0740	0.0432	0.1112
Mayıs	RMSE	0.1308	0.0452	0.1215	0.0485
Haziran	RMSE	0.2181	0.0333	0.1984	0.1053
Temmuz	RMSE	0.2905	0.1075	0.3120	0.3118
Ağustos	RMSE	0.1658	0.1232	0.2291	0.2017
Eylül	RMSE	0.0475	0.0362	0.1048	0.1640
Ekim	RMSE	0.0332	0.2185	0.0301	0.0358
Kasım	RMSE	0.0385	0.2524	0.0439	0.1575
Aralık	RMSE	0.0286	0.2034	0.0363	0.1115

Çizelge 9.2. İllere göre mevsimsel tahminlerin istatistiksel sonuçları

		İLLER			
Mevsimler	Hata	Ankara	Trabzon	Amasya	Muş
İlkbahar	RMSE	0.1421	0.0711	0.0667	0.0331
Yaz	RMSE	0.2670	0.1288	0.2797	0.2459
Sonbahar	RMSE	0.2389	0.2108	0.2108	0.1405
Kış	RMSE	0.0607	0.1881	0.1222	0.1662

Çizelge 9.3. İllere göre yıllık tahminlerin istatistiksel sonuçları

İLLER	Hata	Yıl
Ankara	RMSE	0.1484
Trabzon	RMSE	0.1090
Amasya	RMSE	0.1146
Muş	RMSE	0.1288

Yine de elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Ankara ili için aylık ve mevsimsel tahminlemede hata oranı 0.0286 ile 0.2905 RMSE arasında değişmektedir. Ankara ili için en az hata ile tahmin yapılan ay Aralık iken, en yüksek hata ile tahmin yapılan ay ise Temmuz ayı olmuştur. Mevsimsel tahminlemede ise en az hata ile tahmin yapılan mevsim Kış iken en yüksek hata ile tahminleme yapılan mevsim Yaz mevsimi olmuştur. Ankara ili için yıllık tahminlemede hata oranı 0.1484 RMSE olmuştur. Trabzon ili için aylık ve mevsimsel tahminlemede hata oranı 0.0333 ile 0.2808 RMSE arasında değişmektedir. Trabzon ili için en az hata ile tahmin yapılan ay Haziran iken, en yüksek hata ile tahmin yapılan ay ise Şubat ayı olmuştur. Mevsimsel tahminlemede ise en az hata ile tahmin yapılan mevsim İlkbahar iken en yüksek hata ile tahminleme yapılan mevsim Sonbahar mevsimi olmuştur. Yıllık tahminlemede hata oranı Trabzon ili için 0.109 RMSE olmuştur. Amasya için aylık ve mevsimsel tahminlemede hata oranı 0.0301 ile 0.312 RMSE arasında değişmektedir. Amasya için en az hata ile tahmin yapılan ay Ekim iken, en yüksek hata ile tahmin yapılan ay ise Temmuz ayı olmuştur. Mevsimsel tahminlemede ise en az hata ile tahmin yapılan mevsim İlkbahar iken en yüksek hata ile tahminleme yapılan mevsim Yaz mevsimi olmuştur. Yıllık tahminlemede ise hata oranı Amasya için 0.1146 RMSE olmuştur. Muş ili için aylık ve mevsimsel tahminlemede hata oranı 0.0358 ile 0.3118 RMSE arasında değişmektedir. Muş ili için en az hata ile tahmin yapılan ay Ekim iken, en yüksek hata ile tahmin yapılan ay ise Temmuz ayı olmuştur. Mevsimsel tahminlemede ise en az hata ile tahmin

yapılan mevsim İlkbahar iken en yüksek hata ile tahminleme yapılan mevsim Yaz mevsimi olmuştur. Yıllık tahminlemede ise hata oranı Muş ili için 0.1288 RMSE olmuştur.

Sonuçların neticesinde ülkemiz ölçekli çok noktadan veri setleri kullanılarak oluşturulacak olan denklem takımlarıyla tüm analizler için daha iyi sonuçların elde edileceği öngörülmüştür. Bu sayede başlangıçta fizibilite çalışması için kurulacak ölçüm sistemlerine ayrılacak maliyetin de düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmanın ileride yapılacak geniş ölçekli regresyon yöntemlerinin kullanıldığı rüzgar hızı tahminlemesi konulu akademik araştırma ve incelemelere öncü olması beklenmektedir.



10. KAYNAKLAR

- Ahmed, A. S., 2010. Wind Energy As A Potential Generation Source At Ras Benas, Egypt. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2167-2173.
- Akın, M., 2018. Ekstrem Rüzgarların Yapay Sinir Ağları Ve Çoklu Lineer Regresyon Kullanılarak Kısa Süreli Tahmini. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akpınar, E., Biçer, Y. ve Erdoğan, B., 2005. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Bazı İllerin Hava Şartları ve Rüzgar Gücünün Modellenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (89), 58-64.
- Akyıldız, M., 2008. Psikometri'nin Tarihçesi. <http://www.istatistik.gen.tr/?p=103> ; (09.03.2019)
- Alma, G.Ö. ve Vupa, Ö., 2008. Regresyon Analizinde Kullanılan En Küçük Kareler ve En Küçük Medyan Kareler Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (E-Dergi)*, 3 (2), 219-229.
- Anonim-1, 2019. Enerji İstatistikleri 2019. http://direnc.blog/wp-content/uploads/2019/03/20190308_Elektrik-%C4%B0statistikleri.pdf; (31.12.2018)
- Anonim-2, 2019. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Kasım 2018 Aylık Enerji İstatistikleri Raporu <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT/1/Documents/E%C4%B0GM%20Periyodik%20Rapor/2018%20Kas%C4%B1m%20Ay%C4%B1%20Enerji%20Raporu.pdf>; (02.01.2019)
- Anonim-3, 2019. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Biyokütle Bilgi Merkezi. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle>; (28.02.2018)
- Atlı, Z., 2012. Orta Karadeniz Bölgesinde Rüzgar Hızının Panel Verili Regresyon Modeli Yardımıyla Tahmin Edilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Ana Bilim Dalı, Sinop.
- Ateş, D. 2017. 9. Sınıf Coğrafya Konu Anlatımlı Kitap, Editörler: Karapınar, E. Ankara, s.136.
- Baranaydın, M. ve Aydın, Y., 2016. Coğrafya Okula Yardımcı-Sınavlara Hazırlık, Editörler: Pala, E. Ankara, 88-89.
- Bayazıt, M., 1981. Hidrolojide İstatistik Yöntemler, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Bayazıt, M. ve Yeğen Oğuz, B., 2005. Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Berber, N. ve Boru, A., 2013. Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi İle Hava Tahmini, Endüstri Mühendisleri Öğrenci Sempozyumu (EMÖS), İstanbul.
- Biçer, Y., Kavakpınar, E. ve Özbey, F., 2005. Elazığ'daki Hava Şartları ve Güneşlenme Şiddetinin Modellenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (90), 54-61.
- Cleveland, W. S., 1979. Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74, pp 829
- Cohen, J., 1988. *Statistical Power Analysis For The Behavioral Sciences* (2ndad.) Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum Associates.
- Çerçi, İ., 2010. Çok Değişkenli Regresyon Analizi (GSM Sektöründe Bir Uygulama). (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Ana Bilim Dalı, Ankara.

- Demir İ. ve Emeksiz C., 2016. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Potansiyeli ve Kullanımı, EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu (Tam Metin Bildiri) (Yayın No:2914551)
- Demir, G., 2018. Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Rüzgar Hızı Tahmininde Meteorolojik Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat
- Dündar, C., Oğuz, K., Dokuyucu, K., ve Bacanlı, H., 2011. Kısa Süreli Rüzgar Enerjisi Tahmini.VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri.
- Emeksiz, C., Kaplan, Y., Saray, U., Yeşilnacar, Y., O., Önal, S. ve Karaca, V., 2013. Yapay Sinir Ağı Geri Yayınım Algoritması Kullanılarak Rüzgar Hızı Tahmini. 9. Temiz Enerji Sempozyumu (Tam Metin Bildiri), Konya
- Emeksiz, C., Doğan, Z., Gökrem, L. ve Yavuz, A. H., 2016. Tokat Bölgesi Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Yöntemler ile İncelenmesi, Politeknik Dergisi, 19(4), 481-489.
- Emeksiz, C., 2014. Şekil Hafızalı Alaşımalar Kullanarak Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Değişken Devirli Rüzgar Türbini Modellemesi. (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Enerji Atlası, 2019. EPDK Yenilenebilir Enerji Atlası, <https://www.enerjiatlası.com/>; (01.03.2019)
- ETKB, 2018. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2017 Faaliyet Raporu. <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fFaaliyet%20Raporu%2f2017%20Faaliyet%20Raporu%20son.pdf> ; (28.02.2018)
- Gujarati, D.N., 2001. Temel Ekonometri. Literatür Yayınları, Çev: Ümit Şenesen ve Gülay Günlük Şenesen.
- Güleç, H. ve G., Demirel, H., 2017. Meteorolojik Veriler Kullanılarak Kastamonu İli Güneşlenme Şiddetinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. Kastamonu Üniversitesi, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 12 (3), 114-121.
- Güngör, A. ve Sevindir, C.,H., 2013. Isparta İlindeki Atmosferde Bulunan Kükürt Dioksit ve Partikül Madde Konsantrasyonunun Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi İle Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17 (1), 95-108.
- Hau, E., 2006. Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Springer, Berlin, Almanya
- Karaca, C. ve Karacan, H., 2016. Çoklu Regresyon Metoduyla Elektrik Üretim Talebini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 (3), 182-195.
- Kırbaş, İ., 2018. İstatistiksel Metotlar ve Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kısa Dönem Çok Adımlı Rüzgar Hızı Tahmini. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (1), 25-39.
- Kömürcü, M.İ., Özölçer, İ.H., Yüksek, Ö. ve Karasu, S.,2007. Determination Of Bar Parameters Caused By Cross-Shore Sediment Movement. Ocean Eng, 34 (5-6), 685-695.
- Kurban, M., Kantar M. Y. ve Hocaoğlu, F. O., 2007. Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Journal Of Science 7(2).
- MGM, 2019. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sayfası, <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=10> ; (01.03.2019)

- Minaz, M.,R., Gün, A., Kurban, M. ve İmal, N., 2013. Bilecik İlinin Farklı Yöntemler Kullanılarak Basınç, Sıcaklık ve Rüzgar Hızı Tahmini. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 1 (3), 100-111.
- Özcan, İ., Şahin, A., Dikmen, E. ve Bayram, G., 2013. Isparta İlinde Rüzgar Hızı Değerlerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17 (1), 109-112.
- Özgener, Ö., 2002. Türkiye’de ve Dünya’da Rüzgar Enerjisi Kullanımı. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4 (3), 159-173.
- REN21, 2018. Yenilenebilir Enerji Küresel Durum Raporu. http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2018/06/178652_GSR2018_FullReport_web_final.pdf; (30.12.2018)
- RİTM, 2019. Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi Zaman Eksenli Rüzgar Hızı Tahminleri, <http://www.ritm.gov.tr/aboutUs/ruzgarGucu.php>;(04.03.2019)
- RİTM-2, 2019. Proje İşleyiş Genel Şeması, <http://www.ritm.gov.tr/aboutUs/ritm.php>; (10.03.2019)
- RİTM-3, 2019. Gün Öncesi Tahmin http://www.ritm.gov.tr/guc/ritm_tr.html; (02.03.2019)
- Ryan, T.P., 1997. Modern Regression Methods, John Wiley Sons, New York.
- Taşçıkaraoğlu, A. ve Uzunoglu, M., 2011. Dalgacık Dönüşümü ve Yapay Sinir Ağları İle Rüzgar Hızı Tahmini. Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu (Tam Metin Bildiri), 106-111.
- TÇV, 2006. Türkiye Çevre Vakfı, Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Kolektif Çalışma, Ankara, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, 368 s.
- Toprak, S., 2011. Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Eğrileri Ve Konik Programlama İle Zaman Serilerinin Modellenmesi. Dicle Üniversitesi Matematik Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), Diyarbakır.
- TÜREB, 2018. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği, Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu.https://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2018/08/istatistik_raporu_temmuz_2018.pdf ; (07.11.2018)
- Türkay, H., 2004. Doğrusal Regresyon Modellerinin Robust(Dayanıklı) Yöntemlerle Tahmini ve Karşılaştırmalı Uygulamaları. İstanbul Üniversitesi Ekonometri Ana Bilim Dalı Sosyal Bilimler Enstitüsü, (Doktora Tezi), İstanbul.
- Unver, Ö. ve Gamgam, H., 2008. Uygulamalı Temel İstatistik Yöntemleri, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Vupa, Ö., 2006. Sel Baskını ve Kuraklık Sorunlarını Önceden Belirlemek İçin TÜİK Verileri Kullanılarak Mevsim Yağışlarının Regresyon Modeli İle Tahmini. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü 5. İstatistik Günleri Sempozyumu Bildiri Kitabı, Antalya (Tam Metin Bildiri), 206-212.
- Varınca, K.,B. ve Gönüllü, M.T., 2006. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma
- Vural, A., 2007. Aykırı Değerlerin Regresyon Modellerine Etkileri ve Sağlam Kestiriciler. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.
- WWEA, 2012. Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği, Dünya Rüzgar Enerjisi Raporu, <https://wwindea.org/blog/2012/10/07/1874/> ;(10.12.2018)

Yavuz, S. ve Deveci, M., 2013. İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, (40), 167-187.

YEGM, 2019. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Resmi Sitesi İl Bazlı Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası Türkiye'nin Yıllık Güneşlenme Verileri <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>;(02.03.2019)



11. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı-Soyadı: İlknur DEMİR

Uyruğu: Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Yeri ve Tarihi: Tokat – 02.08.1993

Yabancı Diller: İngilizce, Almanca

Tel: 0546 854 5061

E-posta: ilknur.demir61@gmail.com

Eğitim:

Lise:	Tokat İ.M.K.B. Anadolu Öğretmen Lisesi	2011
Lisans:	Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2015

Yayımlar:

1. Demir İ. ve Emeksiz C., 2016. “Potential And Use Of Renewable Energy Resources In Turkey”, Journal Of New Results In Science, 5(12), 81-87. (Yayın No: 2914573)
2. Demir İ. ve Emeksiz C., 2016. “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Potansiyeli ve Kullanımı”, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu (Tam Metin Bildiri) (Yayın No:2914551)