



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**TÜRKİYE'DE RÜZGAR
ELEKTRİK SANTRALLERİNDE
GÜN ÖNCESİ PİYASASI İÇİN
RÜZGAR HIZININ VE ENERJİ
POTANSİYELİNİN ATMOSFERİK
MODEL YARDIMIYLA TAHMİNİ**

Mehmet Ali DEVRİM

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

TEMMUZ 2021



**TÜRKİYE'DE RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALLERİNDE GÜN ÖNCESİ
PİYASASI İÇİN RÜZGAR HIZININ VE ENERJİ POTANSİYELİNİN
ATMOSFERİK MODEL YARDIMIYLA TAHMİNİ**

Mehmet Ali DEVRİM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

Mehmet Ali DEVRİM tarafından hazırlanan “TÜRKİYE'DE RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALLERİNDE GÜN ÖNCESİ PİYASASI İÇİN RÜZGAR HIZININ ve ENERJİ POTANSİYELİNİN ATMOSFERİK MODEL YARDIMIYLA TAHMİNİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Abdulla SAKALLI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Başkan: Doç. Dr. Abdulla SAKALLI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Yunus EROĞLU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Altuğ KARABEY

Enerji Anabilim Dalı, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 02/07/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Mehmet Ali DEVRİM

02/07/2021

TÜRKİYE'DE RÜZGAR ELEKTRİK SANTRALLERİNDE GÜN ÖNCESİ PİYASASI İÇİN
RÜZGAR HIZININ VE ENERJİ POTANSİYELİNİN ATMOSFERİK MODEL
YARDIMIYLA TAHMİNİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet Ali DEVRİM

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Gelişen teknoloji ve artan nüfus popülasyonu enerjiye olan talep ve ihtiyacı günden güne arttırmaktadır. 18. yy.den itibaren enerji üretimi büyük çoğunlukla fosil yakıtlardan elde edilmiştir. Günümüzde artan sera gazı emisyonu ve azalan fosil yakıt kaynakları enerjide bir değişim meydana getirmiştir. Bu değişim ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi hızla yaygınlaşmaktadır. Yapılan çalışmalarda Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyelinin, enerji piyasalarında büyük bir öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir. Rüzgar enerjisi, rüzgar hızı parametresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Rüzgar hızındaki belirsizlik ve dalgalanmalar Türkiye Enerji Piyasaları'nı etkileyebilmektedir. Türkiye 2011 yılının son döneminde Gün Öncesi Enerji Piyasaları sistemine giriş yapmıştır. Bu sistem ile her üretici bir sonraki günün tahmini üretim değerlerini raporlamak ve bildirmekle yükümlendirilmiştir. Yeni düzenleme ile birlikte arz ve talepler doğrultusunda elektriğin fiyatlandırılması yapılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, 2019 yılı Ekim ayı boyunca Türkiye rüzgar hız potansiyeli atmosferik parametre tahmin modeli ile gözlemlenmiştir. Çalışmamızda Küresel Tahmin Sistem (GFS) verileri ile Hava Tahmin ve Araştırma Modeli'nin entegrasyonu yapılmıştır. Modelden elde edilen vektörel rüzgar hızı değerleri 0,25 derece çözünürlükte ve 3'er saatlik periyotlarla sonuç alınmıştır. Model verileri, 10 metre dikey yükseklikteki rüzgar hız değerlerini vermektedir. Yapılan analiz sonucunda Balıkesir, Manisa ve Hatay bölgelerindeki vektörel rüzgar hız değerlerinin alansal ve zamansal değişimi incelenmiştir. Elde edilen model sonuçlarında Balıkesir ilinde 5,1 m/sn, Manisa ilinde 6 m/sn ve Hatay ilinde 5,9 m/sn rüzgar hız değerleri gözlemlenmiştir. Hatay-Samandağ bölgesinden alınan ölçüm verileri ile model verileri arasındaki benzerlik ilişkisi incelenmiştir. Model verilerinden üretilebilecek olası güç değerleri ile ölçüm verilerinden üretilebilecek rüzgar güç değerleri hesaplanmıştır. Her iki veri arasında %93'lük benzerlik gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Rüzgar enerjisi, enerji potansiyeli, WRF

Sayfa Adedi : 62

Danışman : Doç. Dr. Abdulla SAKALLI

THE ESTIMATION OF WIND SPEED AND ENERGY POTENTIAL BY MEANS OF
THE ATMOSPHERIC MODEL FOR THE DAY-AHEAD MARKET IN WIND
ELECTRIC POWER PLANTS IN TURKEY
(M. Sc. Thesis)

Mehmet Ali DEVRİM

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

July 2021

ABSTRACT

Developing technology and growing population increase demand and need for energy day by day. Since the 18th century, generation of energy has mostly been derived from fossil fuels. Nowadays, increasing greenhouse emission and reduction of fossil fuels has created change in energy. Due to this change, power generation from renewable energy resources is rapidly becoming common. Studies show that Turkey's wind energy potential is of great importance in energy markets. Wind energy is increasing in direct proportion to wind speed parameter. Uncertainty and fluctuations of wind speed may affect Turkey Energy Markets. In the last period of 2011, Turkey went into Day-ahead Markets System. With this system, each manufacturer is undertaken reporting and submitting the next day's estimated production values. With the new regulation, electricity is priced in line with supply and demand. Within the scope of this thesis study, Turkey wind speed potential was observed with atmospheric parameter forecast model throughout 2019 October. In our study, Global Forecasting System data and Research model have been integrated. Vector wind speed values which are obtained from the model got results at a resolution of 0,25 degrees and periods of 3 hours each. Model data gives the wind speed values which are at 10 meters' vertical height. The relationship between vector wind speed which obtaining and atmospheric parameters has been examined. As a result of the analysis, The spatial and temporal variation of the vectorial wind velocity values in the regions Balıkesir, Hatay and Manisa have been observed. In the model results obtained, wind speed values of 5,1 m/s were observed in Balıkesir province, 6 m/s in Manisa province and 5,9 m/s in Hatay province. The similarity between measurement data obtained from Hatay- Samandağ region and the model data has been examined. Possible power values that can be generated from model data and the wind power values that can be produced from measurement data have been calculated. 93% similarity between both data was observed.

Key Words : Wind energy, energy potential, WRF

Page Number : 62

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Abdulla SAKALLI

TEŞEKKÜR

İlk olarak Yüksek Lisans eğitim ve öğretim hayatım boyunca her türlü destek ve yardımı için değerli danışman hocam Doç. Dr. Abdulla SAKALLI' ya, saygıdeğer İskenderun Teknik Üniversitesi hocalarıma, tez çalışmamdaki desteklerinden dolayı arkadaşım Mehmet Uğur GÜÇEL'e, zor zamanlarımda yanımda olan kıymetli ailem Özlem, Behcet ve Hasan Devrim'e teşekkür ederim. Son olarak bilimin ve bilim insanının her zaman yanında olan TÜBİTAK'a 2170394 numaralı "İklim Değişikliği ve İklimde Meydana Gelen Ekstrem Durumların Bitkilerin Fenolojik Evreleri, Ürün Miktarı, Biokütle ve Karbon Tutma Kapasiteleri Üzerine Olan Etkilerinin İncelenmesi" konulu proje kapsamında burs yardımından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
HARİTALARIN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1. İklim Değişikliği ve Enerji.....	7
2.2. Enerji Kaynakları	8
2.3. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi.....	9
2.4. Rüzgar Enerji Teknolojileri.....	10
2.5. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Konumu	11
2.6. Rüzgar Enerjisinin Türkiye’deki Konumu	12
2.7. Gün Öncesi Elektrik Piyasaları	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Çalışma alanları.....	15
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Wrf (Hava Tahmin ve Araştırma Modeli)	17
3.2.2. Wrf-ön işletim sistemi.....	19
3.2.3. Wrf-arw	19

	Sayfa
3.2.4. Wrf-arw fizik şemaları	20
3.2.5. Ncar komut dili (NCL).....	22
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	25
4.1. Türkiye Ortalama Sıcaklık Değerleri	25
4.2. Türkiye Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri.....	26
4.2.1. Balıkesir bölgesi vektörel rüzgar hızı dağılımı ve günlük rüzgar hızı değerleri.....	27
4.2.2. Manisa bölgesi vektörel rüzgar hızı dağılımı ve günlük rüzgar hızı değerleri.....	28
4.2.3. Hatay bölgesi vektörel rüzgar hızı dağılımı ve günlük rüzgar hızı değerleri.....	30
4.3. Hatay-Samandağ Ölçüm Verileri	32
4.4. Model ve Ölçüm Sonuçları	33
4.5. Model ve Ölçüm Verilerinin Regresyon Analizi	34
4.6. Rüzgar Hızının Atmosferik Parametreler (Sıcaklık, Yağış ve Anlık Nem Akışı) ile İlişkisi.....	34
5. TARTIŞMA	39
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	43

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. WRF fizik parametreleri ve kullanılan şemaları.....	21
Çizelge 3.2. WRF fizik şemaları ve kullanım alanları.....	21



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sektörlerin iklim değişikliği üzerindeki etkileri.....	7
Şekil 2.2. Türkiye’de enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payları	8
Şekil 2.3. Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri	10
Şekil 2.4. 2001- 2017 yılları arası Dünya’da kurulmuş rüzgar enerji gücü.....	11
Şekil 2.5. 2001-2017 yılları arası Dünya’da rüzgar kurulu gücündeki kümülatif artış..	11
Şekil 2.6. Türkiye’de rüzgar enerjisinin yıllar bazında kurulum gücü.....	12
Şekil 2.7. Türkiye’de rüzgar enerjisinin yıl bazında kümülatif güç artışı.....	13
Şekil 2.8. Gün Öncesi Elektrik Piyasaları ile elektrik birim fiyatının belirlenmesi	14
Şekil 3.1. WRF model diyagramı	19
Şekil 3.2. WRF fizik parametreleri.....	20
Şekil 4.1. 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Balıkesir bölgesinin rüzgar hızı dağılımı	27
Şekil 4.2. Balıkesir ili 10 metre dikey yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızı grafiği	28
Şekil 4.3. 1 Ekim 2019- 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Manisa bölgesinin rüzgar hızı dağılımı.....	29
Şekil 4.4. Manisa ilinin 10 metre dikey yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızı grafiği	30
Şekil 4.5. 1 Ekim 2019- 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Hatay bölgesinin rüzgar hızı dağılımı.....	30
Şekil 4.6. Hatay ili 10 metre dikey yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızı grafiği..	31
Şekil 4.7. 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arası Hatay-Samandağ bölgesinden alınan rüzgar hız ölçümü verileri.....	32
Şekil 4.8. 1 Ekim- 30 Ekim tarihleri arası Hatay - Samandağ bölgesinde model ve ölçüm verileri ile üretilebilecek rüzgar gücü.....	33
Şekil 4.9. Model ve ölçüm verileri ile hesaplanan rüzgar gücü değerlerinin regresyon analizi	34

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. 2019 yılı Ekim ayı boyunca günlük ortalama rüzgar hızı ve sıcaklık parametrelerin değışimi.....	35
Şekil 4.11. 2019 yılı Ekim ayı boyunca günlük ortalama yağış ve anlık nem akışı parametrelerin değışimi.....	35
Şekil 4.12. Rüzgar hızının ortalama sıcaklık parametresi ile ilişkisi.....	36
Şekil 4.13. Rüzgar hızının yağış parametresi ile ilişkisi.....	37



HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Hatay ili çalışma alanı haritası	15
Harita 3.2. Balıkesir ili çalışma alanı haritası	15
Harita 3.3. Manisa ili çalışma alanı haritası	16
Harita 3.4. WRF ara sihirbazı alan tanımlama haritası	18
Harita 4.1. 1 Ekim 2019 - 30 Ekim 2019 tarihleri arası Türkiye bölgesinin ortalama sıcaklık haritası	25
Harita 4.2. 1 Ekim 2019- 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Türkiye bölgesinin rüzgar hız haritası	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

%	Yüzde
°C	Santigrat derece
A	Alan
C _p	Güç katsayısı
GW	Gigawatt
h	Yükseklik
km	Kilometre
kW	Kilowatt
m	Metre
m ²	Metrekare
MW	Megawatt
P	Güç
sn	Saniye
V	Rüzgar hızı
z ₀	Yüzey pürüzlülüğü
α	Hellman katsayısı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar

Açıklamalar

BGK	Basitleştirilmiş Güç Kanunu
CDO	İklim Veri Operatörü
ECMF	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi
EPIAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
GFS	Küresel Tahmin Sistemi
GÖP	Gün Öncesi Piyasaları
HAWT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

IPCC	Enternasyonal İklim Değişikliği Paneli
LSTM	Uzun – Kısa Süreli Hafıza Modeli
NCAR	Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi
NCEP	Ulusal Çevresel Tahmin Merkezi
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
PBL	Gezegen Sınır Tabakası
PCA	Ana Bileşen Analizi
PTF	Piyasa Takas Fiyatı
PTM	Piyasa Takas Miktarı
RES	Rüzgar Enerji Santralleri
VAWT	Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri
VDM	Varyasyonel Mod Araştırması
WAsP	Su Kalitesi Analizi Simülasyon Programı
WPS	Hava Tahmin Modeli Ön İşletim Sistemi
WRF	Hava Tahmin ve Araştırma Modeli
WRF-ARW	İleri Hava Araştırma Modeli

1. GİRİŞ

Problem Tanımı

Rüzgar, Enerji Piyasaları'nda büyük öneme sahip atmosferik bir parametredir. Rüzgar enerji santrallerinden üretilen elektrik gücü doğrudan rüzgar hızı ile bağlantılıdır. Rüzgar hızındaki sapma ve dalgalanmalar enerji piyasalarını direkt olarak etkilemektedir. Rüzgar santral işletmecileri Gün Öncesi Piyasalar (GÖP) kapsamında ertesi gün tahmini üretim değerlerini EPIAŞ kurumuna bildirmekle yükümlendirilmiştir. Bu sistem ile birlikte arz talep durumları göze alınarak elektrik fiyatı oluşturulmaktadır. Taahhüt verilen üretim değerleri santral işletmesi tarafından karşılanmaz ise mevcut durumlarda yaptırımlar söz konusu olabilmektedir. Dolayısıyla rüzgar hızındaki öngörülemezlik, belirsizlik, sapma ve dalgalanmalar Rüzgar Elektrik Santralleri (RES) için önemli bir sorun haline gelmektedir.

Tükenmez bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak nitelendirilen rüzgar enerjisi, büyük rezervlere ve geniş bir dağılıma sahiptir, bu da onu kalkınma beklentilerine ve kullanım potansiyeline sahip olmasını sağlar. Bununla birlikte, rüzgarın rastgele dalgalanmaları ve belirsizlikleri, rüzgar enerjisinin geliştirilmesini ve kullanılmasını engellemekte ve aynı zamanda rüzgar enerjisi sistemlerinin güvenli çalışmasını da etkilemektedir. Rüzgar hızının ölçümü, rüzgar enerji sistemlerinin çalışması ve sürdürülebilir bir enerji açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde rüzgar hızı ölçümü ile ilgili farklı araştırmalar ve çalışmalar bulunmaktadır.

Hava Durumu Araştırma ve Tahmin (WRF) mezo ve mikro ölçek modeli, rüzgar enerjisi alanında son birkaç yıldır çeşitli uygulamalar için yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Casal ve ark. çalışmalarında Hava Araştırması ve Tahmini (WRF) atmosferik modelini bir Kalman filtresi ve Bayes modeliyle birleştirerek Galiçya'da bulunan yoğun bir rüzgar çiftliğinde geliştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Bir yıllık bir dönem de günlük operasyonel tahmin kuruluşu ile 333 m yatay çözünürlükte simülasyonlar yapılmıştır. Ayrıca Kalman-Bayesian filtresi, tümü rüzgar endüstrisindeki önemli uygulamalarla birlikte, 10 dakikadan 6 saate kadar olan zaman aralıkları için hem doğrudan rüzgar hızında hem de -u -v (bölgesel ve meridional) bileşenlerinde testler yapılmıştır. Elde edilen entegre sistem ile çiftlik operatörü tarafından sağlanan rüzgar türbinlerinin tepesindeki meteoroloji istasyonlarından

alınan yerinde veriler kullanılarak farklı kısa vadeli tahmin dönemleri için doğrulamışlardır [1].

Powers çalışmasında Hava Araştırması ve Tahmini Modeli (WRF) 'nin yüksek enlemlerdeki hava olayını yakalama yeteneğini araştırmıştır ve Antarktika'da uygulamıştır. Bu doğrultuda hem hareketli tahmin hem de atmosferik araştırmalar için orta ölçekli modelleme sistemi olarak geliştirilmiştir. Antarktika'daki rüzgar fırtınalarından dolayı yüzey akışının doğru tahmin edilmesi önemlidir. WRF modeli ve orta ölçekli tabana sahip modeller ile analiz ve simülasyonlar yapılmıştır. Genel olarak, WRF'nin Antarktika üzerinde hem araştırma hem de operasyonel uygulamalar için umut vaat ettiği görülmüştür [2].

Archer ve arkadaşları çalışmalarını iki bölümde sürdürmüşlerdir. Birinci kısımda rüzgar hızı ve yönü üzerinde tahmin yöntemlerini incelemişlerdir. Rüzgar tahminini sağlamak için Hava Durumu Araştırma ve Tahmin Modeli ile oluşturularak, her gün yerel öğlen saatlerinde başlatmışlardır. Bir ay boyunca gece yarısından bir sonraki gece yarısına kadar tahminler sağlamak için 48 saat boyunca çalıştırılmıştır. Ham WRF çıktı verileri, araziye takip eden basınç koordinatlarına yazılmış ve deniz seviyesinin üzerinde seçilen yüksekliklerde WRF rüzgar alanlarının çıktısını almak için son işlem gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma ile tekniklerin geliştirilebileceğini görmüşlerdir [3].

Davis ve arkadaşları 2005 yılında beş Atlantik kasırgasına ilişkin Gelişmiş Araştırma Hava Araştırması ve Tahmin (WRF-ARW) Modelini kullanarak gerçek zamanlı tahminler ortaya koymuşlardır. Bu tahminleri 12 ve 4 km'lik ızgara aralıklarında gerçekleştirmişlerdir. Kara düşmesinden önce aşırı yoğunlaşma, yüzeye yetersiz momentum değişimi ve hızlı yoğunlaşmayı yakalayamama gibi hataları WRF modeli ile testler yapmışlardır. Gerçekleştirilen simülasyonlarda WRF modeli kullanılarak hatalı yoğunlaşmasının çoğunu ortadan kaldırdığı görülmüştür [4].

Carvalho arkadaşları çalışmalarında yüzeye yakın rüzgar hızı ve yönünün simülasyonunda farklı sayısal ve fiziksel seçeneklerin kullanılmasının yanı sıra simülasyon alanı çözünürlüğünün ve arazi karmaşıklığının etkisini değerlendirmek amacıyla WRF meteorolojik modeli ile çeşitli testler gerçekleştirmişlerdir. Modelde sapma olmaması için iki günlük entegrasyon süresi belirlenmiştir. Her entegrasyonda biriken hataları geçirmişlerdir. Ayrıca modelin rüzgar hızını tahmin ederken yerel arazi karmaşıklığına

önemli ölçüde duyarlılık gösterdiğini görmüşlerdir. Bu doğrultuda bu model tarafından gerçekleştirilen simülasyonlar, arazi karmaşıklığının yüksek olduğu alanlarda dikkatli kullanılmalı ve mümkün oldukça modelde daha detaylı arazi verilerinin kullanılmasını önermişlerdir [5].

Giannaros ve arkadaşları çalışmalarında Hava Durumu Araştırma ve Tahmin (WRF) adı verilen sayısal hava tahmin modelinin değerlendirmişlerdir. Model performansını 1 yıl boyunca Yunanistan'da karmaşık bir arazide hava istasyonları ağından türetilen rüzgar ölçülerini kullanarak test etmişlerdir. Yapılan analizler ile model performansının tatmin edici olduğu görülmüştür. Alınan sonuçlar ile modelin zayıf rüzgarları olduğundan fazla tahmin etme eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir. WRF modeli gibi rüzgar kaynağını karakterize eden aracın kullanımının karmaşık arazi ve rüzgar ölçüm alanlarının nispeten düşük olan yerlerde büyük önem taşımakta olduğu sergilenmiştir [6].

Xu ve arkadaşları çalışmalarında Çin'in Sichuan Eyaletinde bulunan bir rüzgar çiftliğinde, önerilen WRF-VMD-PCA-LSTM Modeli, karşılaştırıldığı modellerden daha iyi performans göstermiştir. Sonuçlar, VMD-PCA yönteminin sayısal WRF çıktısında gizli özellikleri etkin bir şekilde çıkardığını ortaya koymaktadır. Önerilen model, çok adımlı vektörel rüzgar hızı tahmininin doğruluğunu etkili bir şekilde geliştirmiştir [7].

Hava durumu araştırması ve tahmini (WRF) topluluk tahminine dayanan CS-FS-WRF-E modeli olarak adlandırılan, ertesini günün 96 adımlı, operasyonel rüzgar tahmini için yeni bir çok adımlı tahmin yöntemine katkıda bulunmaktadır. İlk olarak, $0,5^\circ$ yatay ızgara aralıklı Küresel Tahmin Sistemi (GFS) model çıktısı kullanarak üç yatay çözünürlüğü ve dört ilk alanı dikkate alan WRF, temel tahmin sonuçları üzerinde çalışılmıştır. CS optimizasyonunun yardımıyla nihai model, fiziksel yasalara dayalı olarak elde edilen sonuçları ayarlamak ve düzeltmek için evrimsel algoritma kullanılarak oluşturulmuştur [8].

Zhao ve arkadaşları çalışmalarında, WRF çıktısının bir rüzgar hızı dizisini birkaç dalgaya bölen ve tek değerli WRF simülasyonundaki model belirsizliklerini azaltan, CSFC-Apriori-WRF olarak bilinen gelişmiş bir rüzgar hızı tahmin yönteminin geliştirilmesine katkıda bulunmuşlardır. Önerilen yöntem, CS için optimize edilmiş bulanık kümeleme Apriori algoritması ile birleştirilerek bir optimizasyon sistemi oluşturur. Buradan şekil özellikleri ve tahmin hatası arasındaki ilişki kuralları çıkarılabilir duruma gelmiştir [9].

Balo ve Uçar makalelerinde, rüzgar karakteristiklerinin 2000 –2006 döneminde Türkiye'deki altı meteoroloji istasyonundan toplanan rüzgar hızı verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Weibull dağılım metodu ile elde edilmiştir. Erzurum, Elazığ, Bingöl, Kars, Manisa ve Niğde şeklinde belirlenen altı istasyonun yıllık ortalama rüzgar hızı 10 metre yükseklikte sırasıyla 8,7; 8,5; 5,9; 6,9; 7,4 ve 8,0 m/s olarak elde edilmiştir. Dört farklı kapasiteli rüzgar türbininden elektrik üretimine ilişkin teknik bir değerlendirme yapılmış olup yıllık enerji çıkışı ve kapasite faktörü hesaplanmıştır [10].

Yılmaz ve arkadaşları makalelerinde, belirli bir ilin rüzgar enerji potansiyeli ve rüzgar enerjisi potansiyelinden elde edilebilecek elektrik enerjisinin ildeki enerji talebini karşılama kapasitesi araştırmışlardır. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen veriler ile belirlenen il için rüzgar enerjisi potansiyeli WAsP benzetim programı kullanılarak analiz edilmiştir. Simülasyon programında meteoroloji istasyonlarından ilin enlem ve boylamlarından elde edilen saatlik rüzgar hızları ve rüzgar verileri programa girdi olarak yüklenmiştir. Sonuç olarak elektrik enerjisini destekleyebilecek rüzgar enerjisi ve bu potansiyeli harekete geçirebilecek türbin sistemleri tespit edilmiştir [11].

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada istikrarlı olmayan rüzgar hız parametresinin değerini saptamak üzere, doğru yöntemler ile güçlü ve istikrarlı bir tahmin mekanizması oluşturmak hedeflenmiştir. Tahmin mekanizması oluştururken birçok fizik parametresi ile deneysel çalışma yapılacaktır. Küresel tahmin verilerinin doğru kalibrasyonunu için mevcut ortam hazırlanıp vektörel rüzgar hız değeri saptanacaktır. Hız parametresindeki değişimin; sıcaklık, nem ve yağış gibi doğa olayları ile etkisi ilişkisi incelenecektir. Elektrik santralleri için rüzgar hızının yoğun ve elverişli olabileceği yerler tespit edilecektir. Alansal tespit yapıldıktan sonra ölçüm verileri ile model verileri arasındaki korelasyon oranı hesaplanacaktır. Elde edilen sonuçlar neticesinde elektrik santrallerinde üretilebilecek güç değerleri gözlemlenecektir.

Çalışmanın Önemi

Yapılan bu çalışmada vektörel rüzgar hız atmosferik parametresi WRF modeli ile gün öncesinden tahmin edilmiştir. Modelde kullanılmak üzere GFS (Küresel Tahmin Sistem) verilerinin uygun şartlarda kalibrasyonu yapılmıştır. 0,25 derece çözünürlükte kullanılan ve

3'er saatlik dönemlerde tahmin yapabilen bu model ile atmosferik parametrelerde değer saptaması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde Rüzgar Elektrik Santralleri (RES)'nin kurulum alanları belirlenebilmekte, güç üretim değerleri gözlemlenmekte ve tesis bakım çalışmalarının zamanları ayarlanabilmektedir.

Sınırlar

Yapmış olduğumuz çalışma süresince atmosferik parametre tahminini sınırlayan başlıca faktörler alansal ve zamansal farklılıklar olmuştur. Atmosferik parametrelerin tahmin mekanizması oluşturulurken çalışma bölgesinin topografi alanı, coğrafi özellikleri, iklim koşulları gibi konu başlıklarının incelenmesi ve bu duruma göre çalıştırılacak modelin fizik parametreleri ve fizik şemaları kalibre edilmelidir. Diğer bir sınırlayıcı etken olan zaman faktörü, atmosferik parametre tahmin ve araştırmasında dönemsel değişimleri incelenmelidir. Uygun zamanlarda doğru veri setleri araştırma modelinin alt birimlerine entegre edilmelidir.

Tanımlar

Rüzgar; yer şekilleri, sıcaklık, nem gibi birçok parametre ile ilişkili ancak ana oluşum nedeni basınç farkı olan bir doğa olayıdır. Rüzgarın birim zamandaki yer değiştirme durumunda kazandığı ivmelenmeye rüzgar hızı denmektedir. Doğa olayları ile meydana gelen ve çevresel faktörlerle etkilenen yer, hava ve su kürede oluşan sistemler atmosferik parametreleri oluşturur. Bu parametrelerin araştırılması veya tahmin edilmesinde kullanılan metotlar ise atmosferik model olarak adlandırılmaktadır.

Bu tez kapsamında; Türkiye bölgesi için 2019 yılı Ekim ayı boyunca vektörel rüzgar hız tahmini yapılmıştır. Çalışma kapsamında GFS verileri 0,25 derecelik çözünürlükte ve 3'er saatlik periyotlarda kullanılmıştır. Atmosferik parametrelerin simülasyon ve analizi WRF Modeli ile sağlanmıştır. Vektörel rüzgar hız verilerinin 10 metre dikey yükseklikteki değerleri gözlemlenmiştir. Veriler CDO yazılımı ile düzenlenmiş, NCL yazılımı ile görselleştirilmiştir. Düzenlenen veriler Panoply Programı ile haritalandırılmıştır. Çalışmamızda vektörel rüzgar hızını gün öncesi zaman diliminde tahmin edilmiştir. Model sonucu, günlük atmosferik parametreler ile ilişkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde Balıkesir, Manisa ve Hatay illerinin alansal ve zamansal vektörel hız değişimi

incelenmiştir. Hatay ili Samandağ ilçesinden bir aylık rüzgar hız ölçüm verileri alınmıştır. Model verileri, ölçüm verilerinin alındığı yüksekliğe çekilmiştir. Veriler düzenlendikten sonra rüzgar hızı ile üretilebilecek ortalama güç değerleri hesaplanmıştır. Her iki veri seti ile oluşturulan rüzgar güçleri SPSS programı ile ilişkileri incelenmiştir.



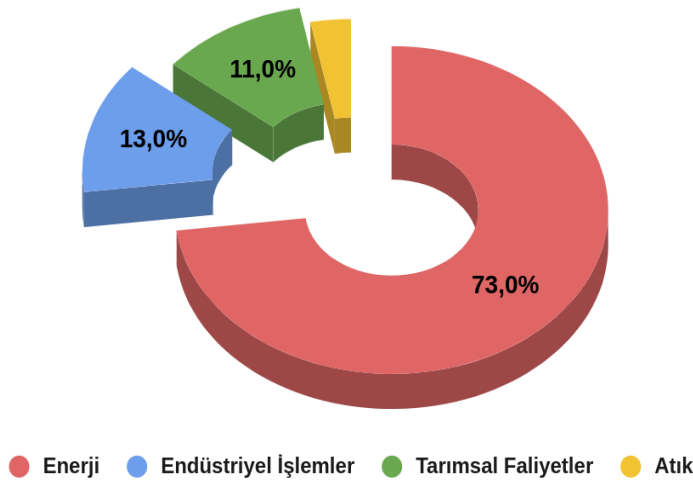
2. GENEL BİLGİLER

Enerji, Dünya’da sosyal kalkınma, ekonomik düzey ve kaliteli yaşam için gereklidir. Bununla birlikte, Dünyada’ki enerjinin çoğu şu anda, eğer teknolojik gelişmelerden faydalanılmaz ise önemli ölçüde sürdürüleemeyecek şekillerde üretilip ve tüketilecektir [12].

2.1. İklim Değişikliği ve Enerji

İnsanlığın varoluşundan günümüze kadar olan süreçte iklim olaylarındaki değişimler uzun zaman diliminde kısa etkiler ile karşımıza çıkmıştır. Ancak Sanayi İnkılabından sonra gelişen teknoloji ve artan nüfus popülasyonu ile bu etkiler hızla hissedilmeye başlamıştır. IPCC raporuna göre Dünya 1800’lü yılların sonundan itibaren insan etkileri nedeniyle 1 °C ısınmıştır. Önümüzdeki 30 yıl içinde bu değerin 1,5 °C olacağı öngörülmüştür. Bu senaryoların yaşanmasındaki en büyük etken karbon gazının salınımı olarak değerlendirilmektedir [13]. Dünya’da karbon gazı salınımına etki eden en büyük faktör elektrik üretimi için kullanılan fosil yakıtlı enerji kaynakları olduğu saptanmıştır. Şekil 2.1’de sektörlerin Dünya’da iklim değişikliği üzerindeki dağılımı gösterilmektedir.

Sektörlerin İklim Değişikliği Üzerindeki Etkileri



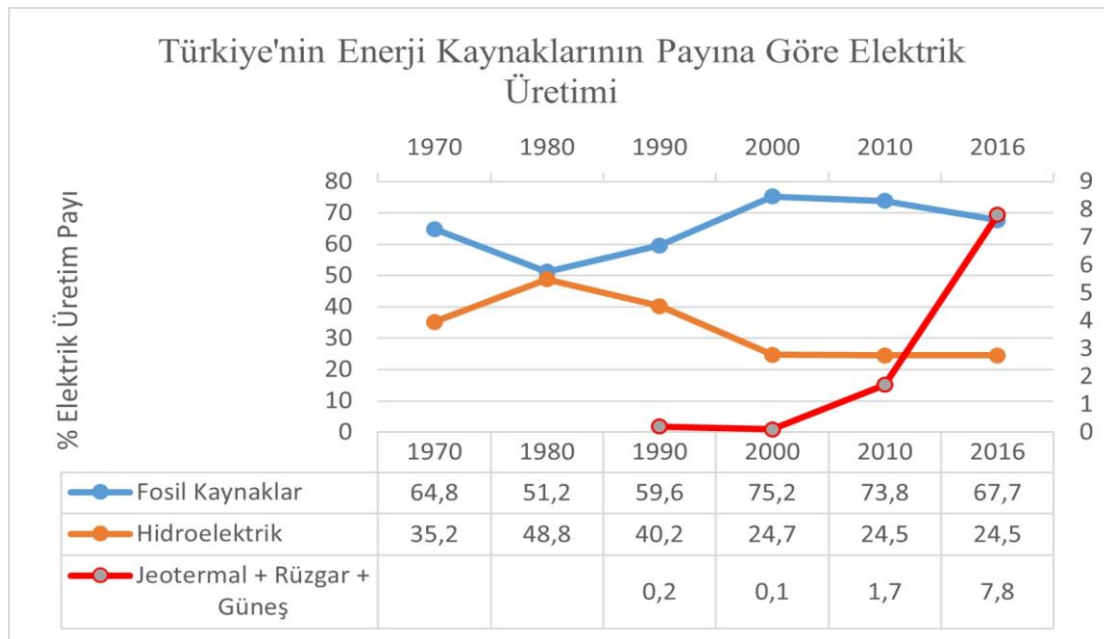
Şekil 2.1. Sektörlerin iklim değişikliği üzerindeki etkileri

Ülkemizde ise enerji sektörünün iklim değişikliği üzerinde %41 oranında etkisi vardır. Enerji sektörünü %23 ile ulaşım, %17 ile imalat sanayii, %16 ile konut, %3 ile tarım sektörü takip etmektedir [14].

Gelecek yıllarda daha temiz bir gezegen için karbon ve sera gaz salınımını azaltma politikası ulusal çapta yaygınlaştırılmaktadır. Bu politika ile birlikte enerji sektörü reforma uğrayarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi günden güne artarak devam etmektedir.

2.2. Enerji Kaynakları

Günümüzde petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlı enerji kaynaklarının ekonomik ilerlemede oldukça etkili itici güçleri olduğu, ancak aynı zamanda çevreye ve insan sağlığına da zarar verdiği kanıtlanmıştır. Bununla birlikte fosil kaynakların hızla tükenmeye başlaması da yenilenebilir temiz enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, sera gazı emisyonunun azaltılmasında ve bu doğrultuda küresel ısınmanın azaltılmasında da önemli rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli, prensipte Dünya'nın enerji talebinin birçok fazlasını karşılayabilmektedir. Rüzgar, güneş, biokütle, hidroelektrik ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilir enerji hizmetleri sağlayabilmektedirler [15].



Şekil 2.2. Türkiye’de enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payları [16]

Şekil 2.2’de Türkiye’de elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre payı gösterilmektedir. Fosil tabanlı yakıtlar elektrik üretiminde günümüzde halen önemli bir konuma sahiptir. Fosil kaynaklara alternatif olarak çıkan yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde fosil kaynaklar ile yarışabilecek duruma gelmiştir. 1990’lı yılların sonunda ortaya çıkan yenilenebilir enerji furyası günümüz zaman diliminde büyük bir artış ile Türkiye Elektrik Piyasaları’nda önem kazanmıştır.

Yenilenebilir enerjilerin pazar payı giderek artmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaşması büyük ilgi görmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen rüzgar enerjisi, son yıllarda hızla gelişmiştir. Rüzgar enerjisinin teknolojisi ve nispeten düşük maliyeti, onu gelecekte önemli bir birincil enerji kaynağı olarak umut verici duruma getirmektedir.

2.3. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

İnsanoğlu rüzgar enerjisini tarih boyunca gemi hareketi için yelkenlerde, yel değirmenlerinde ve elektrik üretimi gibi çeşitli amaçlar için kullanmıştır. Rüzgar enerjisinin 3 000 yıldan daha eski bir geçmişi vardır ve insanlar yaklaşık 120 yıl önce rüzgar atmosferik olayını elektrik enerjisi üretmek için kullanmaya başladı. Rüzgar enerjisinin gelişimi her zaman petrol fiyatları ile dalgalandı. Rüzgar enerjisi teknolojisi ilk olarak 1970’lerdeki petrol krizi sırasında güçlendirildi, ancak daha sonra azaldı [17].

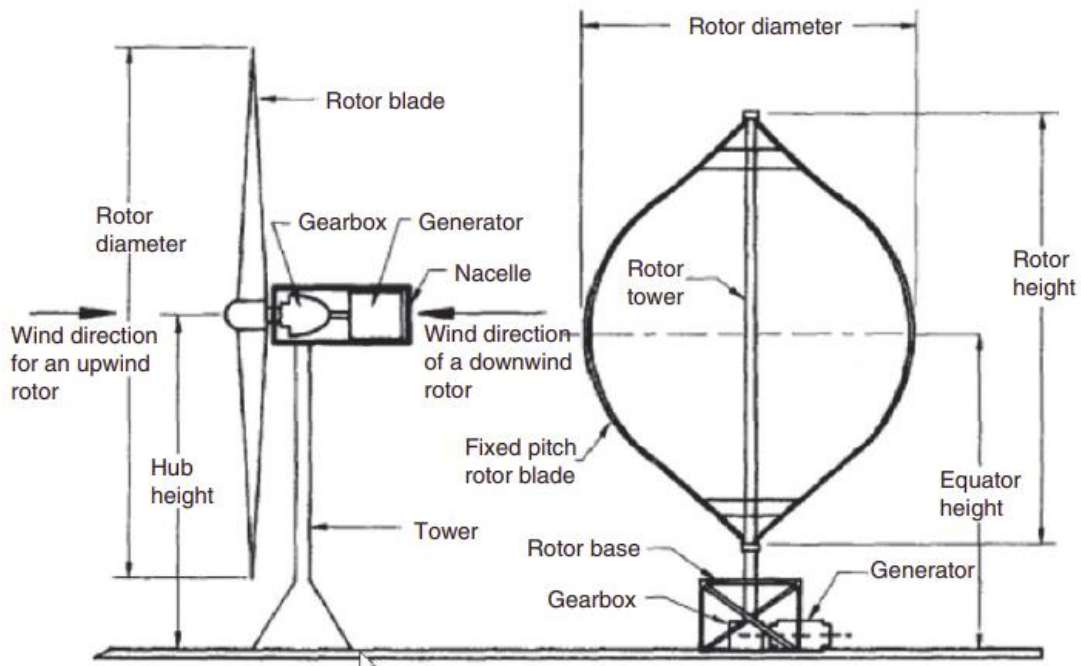
İskoçya’da Prof. James Blyth 1887’de elektrik üretmek için bir yel değirmeni inşa ettiğinde insanlar elektrik üretmek için yel değirmenlerini kullanmaya başladılar [18]. Bu arada, 1888 yılında, Bruch ve arkadaşları tarafından geliştirilen rüzgar makinesi, Atlantik kıyısında başarıyla devreye alındı. Bu andan itibaren rüzgar enerjisi teknolojisi adım adım gelişmeye başladı [19]. 1920’de Kurt Bilau, modern yel değirmeni tasarımında kendisinin ve Betz’in geliştirdiği bir uçak kanadını kullanarak Ventikanten kanadını uyguladı [20].

Rüzgar türbinleri, megavat boyutunda 1941’de ABD’de yerel elektrik dağıtım sistemine bağlı olarak kullanılmaya başlanmıştır [21]. 1957’de ise yenilikçi rüzgar türbinleri Danimarka’nın Gedser sahilinde kurulmuştur [22].

1980'lerde Danimarka ve Amerika Birleşik Devletleri özel sektör araştırmaları ile bağlantılı olarak ilk modern şebekeye bağlı rüzgar türbinlerini kurarak rüzgar enerjisinin gelişmesini sağladı. 1990'larda bu gelişme hızlandı ve rüzgar, ticari olarak rekabetçi bir küresel enerji üretim endüstrisine dönüşerek dünyanın en hızlı büyüyen enerji teknolojisi haline geldi [2]. Son on yılda ise, rüzgar enerjisi kullanımda bir sıçrama yaşanarak; 21. yüzyılın başından bu yana, dünya rüzgar elektrik üretim kapasitesi yaklaşık her üç buçuk yılda bir ikiye katlandı [23-24].

2.4. Rüzgar Enerji Teknolojileri

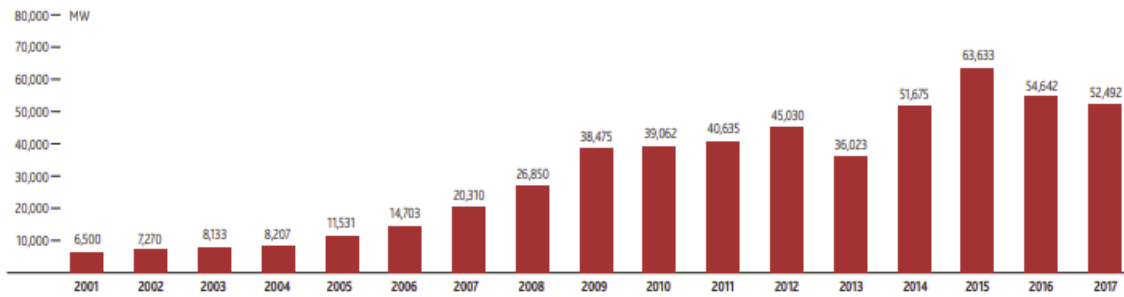
Rüzgar teknolojisi genel anlamda rüzgar türbinlerinin kullanımı ile birlikte rüzgarda bulunan enerjiyi elektriğe veya mekanik güce dönüştüren teknolojidir. Hızla büyüyen rüzgar teknolojisiyle rüzgar parametresinden güç elde etmek için HAWT (yatay eksenli rüzgar türbinleri) ve VAWT (dikey eksenli rüzgar türbinleri) olmak üzere iki çeşit teknolojiden faydalanılmıştır. İki türbinde de aerodinamik kaldırma kullanılmıştır fakat yatay eksenli türbinler dikey eksenli türbinlere oranla daha sık kullanılmaktadır [25]. şekil 2.3'de RES'lerde kullanılmak üzere tasarlanan iki tip rüzgar türbininin şeması gösterilmiştir. HAWT teknolojisinde motor-jeneratör aksamaları kanatların arka tarafında iken VAWT teknolojilerinde ekipmanlar kulenin alt kısmında yer almaktadır [26].



şekil 2.3. Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinleri

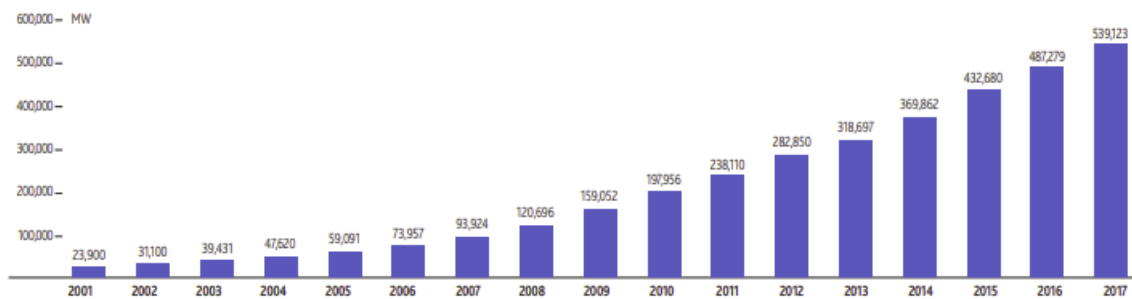
2.5. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Konumu

Dünya üzerinde rüzgar enerjisi kullanımındaki bu önemli artış yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisini Dünya'nın kurulu en büyük ikinci yenilenebilir enerji sistemi haline getirmektedir [27]. Dünya üzerindeki rüzgar kapasitesinin %83'ünden fazlasını Almanya, ABD, Danimarka, Hindistan ve İspanya olmak üzere bu beş ülkede kuruludur. Ancak diğer ülkelerde de hızla yayılmaktadır [28].



Şekil 2.4. 2001 - 2017 yılları arası Dünya'da kurulmuş rüzgar enerji gücü

Şekil 2.4'te 2001 yılından itibaren Dünya'da rüzgar enerjisinden elektrik güç eldesi sağlayan santrallerin toplam üretim değerleri gösterilmiştir. 2015 yılında rüzgar atmosferik parametresinden elde edilen güç değeri 63 GW ile rüzgar tarihinin en büyük üretimi gerçekleştirilmiştir. 2001 yılından itibaren artış trendi gösteren rüzgar enerjisi gelecek yıllarda birçok fosil tabanlı yakıtların üretim değerini geçeceği öngörülmektedir.

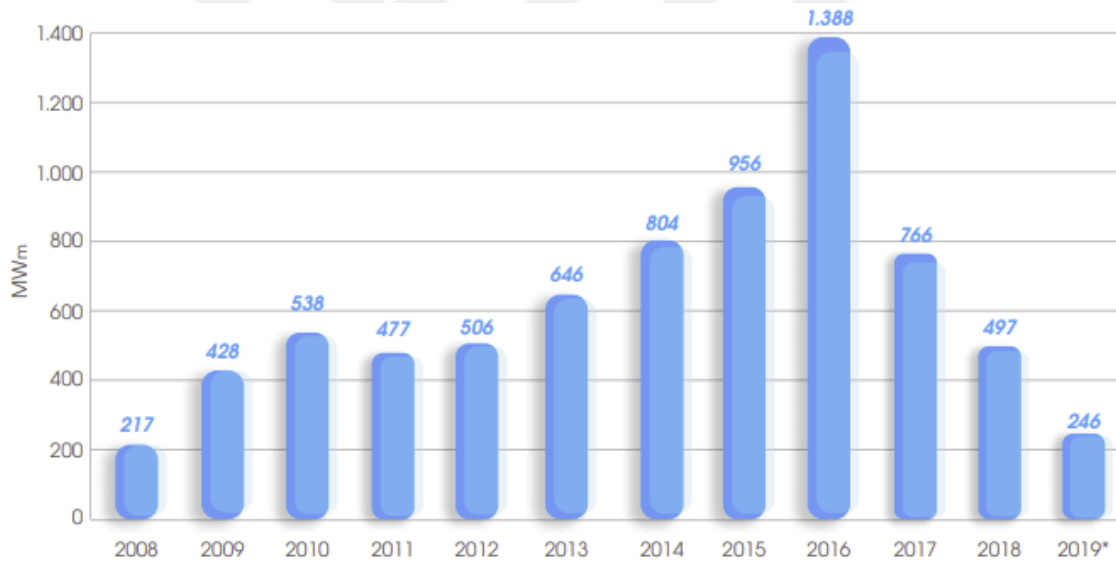


Şekil 2.5. 2001-2017 yılları arası Dünya'da rüzgar kurulu gücündeki kümülatif artış

Şekil 2.5'te Dünya'da kurulu olan rüzgar santrallerinin yıllar içindeki kümülatif artışı gösterilmektedir. Her yıl büyük bir artışla üretim değerindeki payını büyüten bu enerji kaynağı 2017 yılında yaklaşık 550 GW seviyelerine ulaşmıştır [29].

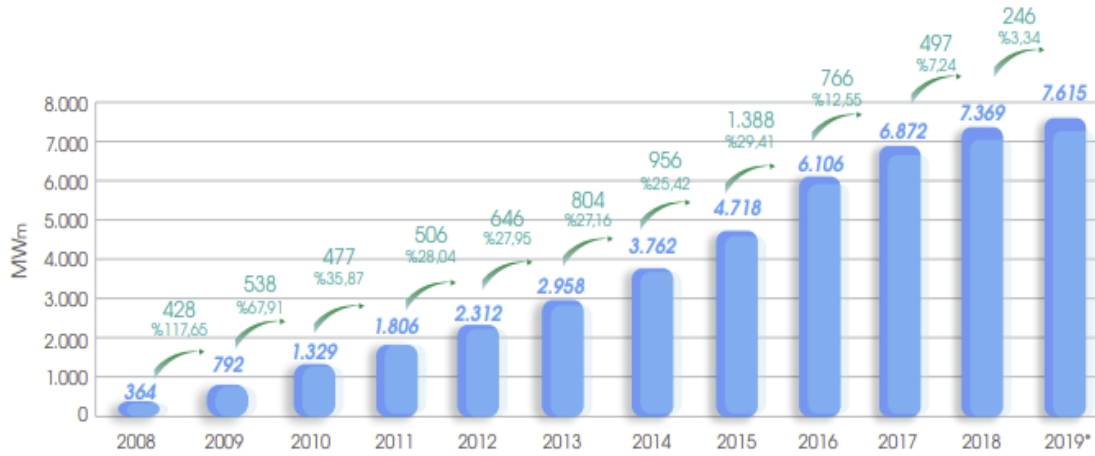
2.6. Rüzgar Enerjisinin Türkiye’deki Konumu

Rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkemizde de hem dışa olan bağımlılığı azaltmak hem de çevre kirliliğini önlemek adına rüzgar türbini teknolojisinde gelişmeler yaşanmaktadır. Ülkemiz de ise rüzgar enerjisi ilk olarak 1985 yılında İzmir ilinin Çeşme ilçesinde bir tesisin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla rüzgar türbinin kurulumu ile kullanılmaya başlanmıştır. Bu türbin sayesinde tesisin %5’lik enerji ihtiyacı karşılanmıştır. İlk rüzgar enerji santrali ise yine İzmir ilinin Çeşme ilçesinde 1998 yılında kurulmuştur. Yaşanan bu gelişmeler ile beraber Türkiye’de 2016 yılında toplam rüzgar enerji santralleri 127 adete kadar çıkmıştır. Bu doğrultuda 2016 yılında ülkemizde yaklaşık olarak %6,6 enerji kapasitesi ile kurulu elektrik enerjisini rüzgar santrallerinden karşılanmaktadır [30]. Günümüzde bu değer yaklaşık %7,5 seviyelerine çıkmıştır.



Şekil 2.6. Türkiye’de rüzgar enerjisinin yıllar bazında kurulum gücü

Şekil 2.6’da 2008 yılından itibaren Türkiye’de kurulmuş rüzgar santrallerinin yıllar içindeki güç değerleri MW birimi ile gösterilmektedir. 2016 yılında büyük bir yükseliş trendi gösteren rüzgar enerjisi, bu trendin önümüzdeki yıllarda ülkemizde artarak ilerleyeceği öngörülmektedir.

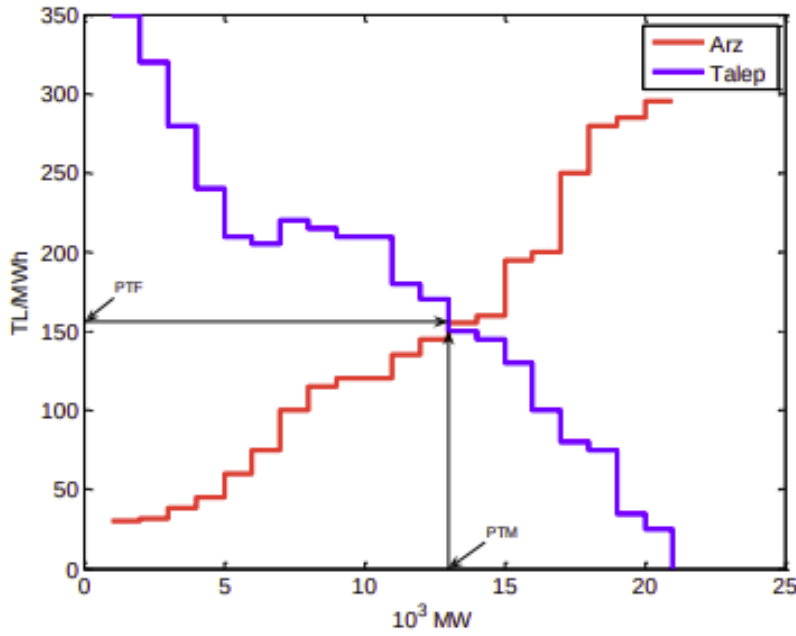


Şekil 2.7. Türkiye’de rüzgar enerjisinin yıl bazında kümülatif güç artışı [31]

Şekil 2.7’de 2008 yılından itibaren Türkiye’de kurulu güç değerinin yıllar içindeki kümülatif artışı gösterilmektedir. 2019 yılı itibarı ile rüzgar hız parametresinden elde edilen güç değeri yaklaşık 7,6 GW değerine ulaşmıştır.

2.7. Gün Öncesi Elektrik Piyasaları

Üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere elektrik enerji piyasa yapısı üç ana aşamadan oluşmaktadır [32]. Ülkemizde elektrik piyasasının serbestleşmesi için 1 Aralık 2011 tarihinde gün öncesi piyasası ve dengeleme güç piyasası faaliyete geçerek büyük bir adım atılmıştır. Bu doğrultuda piyasa katılımcılarının fiyat teklifleri sayesinde şebekeye bağlı katılımcılar arz ve taleplerini oluşturabilmektedirler. Böylece katılımcılar, şebekedeki arz-talep dengesini güçlendirmeye yönelmektedir. Rüzgar enerjisi tahminleri ise gün öncesi elektrik piyasasında büyük rol oynamaktadır. Rüzgar Enerjisi Santralleri gün öncesi piyasada miktar ve fiyat teklifi sunmaktadırlar. Sunulan üretim planı doğrulanırsa gelir üretim değeri ile piyasa takas fiyatı çarpılarak hesaplanmaktadır. Fakat sunulan üretim planı doğrulanmazsa bu santraller cezaya girmektedirler [33].



Şekil 2.8. Gün Öncesi Elektrik Piyasaları ile elektrik birim fiyatının belirlenmesi [34]

Şekil 2.8’de elektrik birim fiyatının gün öncesi piyasalar ile belirlendiği örnek grafik gösterilmiştir. Üretim değerindeki değişimler ile Piyasa Takas Fiyatı (PTF) ve Piyasa Takas Miktarı (PTM) belirlenmektedir. Rüzgar santrallerinin taahhüt ettikleri tahmin raporları ile arz ve talep piyasaları oluşturulmaktadır. Bu talepler doğrultusunda üretim değerlerinin dalgalanması sonucunda elektrik borsasındaki fiyatlar değişmekte ve enerji piyasalarının sürdürülebilirliği uzun vadede sağlanmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanları

Bu tez kapsamında, Türkiye coğrafyasının 2019 yılı Ekim ayı boyunca saatlik rüzgar hız değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hız potansiyelinin yüksek olduğu konumlar çalışma alanı olarak analize tabi tutulmuştur. Manisa, Balıkesir ve Hatay illerinde gözlemlenen yüksek vektörel rüzgar hız değerleri analiz edilmiştir. Rüzgar hızı analizinin yapıldığı illerin alansal konumları Harita 3.1, 3.2 ve 3.3’de gösterilmiştir.



Harita 3.1. Hatay ili çalışma alanı haritası



Harita 3.2. Balıkesir ili çalışma alanı haritası



Harita 3.3. Manisa ili çalışma alanı haritası

Bu çalışmada alınan ölçüm verileri Türkiye'nin en güney konumuna sahip Hatay ilinin yüksek rakımlı bölgesinden alınmıştır. Hatay ili, Akdeniz Bölgesi'nin doğusunda 5482 m²'lik alana sahiptir. 36°22'20" Kuzey ve 36°17'55" Güney eksenler arasında yer almaktadır [35]. Hatay, Ölü Deniz Fay Zonu'nun kuzey kısmına bitişik, Türkiye'nin Güney Doğu kesiminde yer alan bir Plio Kuvaterner havzasından oluşmaktadır [36]. Hatay ilinin yüzölçümünün büyük bir kısmını dağlar oluşturmaktadır. Hatay'ı boydan boya uzanan Amanos Dağı'nın en yüksek tepe noktası yaklaşık 2200 metredir. Adana sınırı ile Suriye sınırını kapsayan 188 km uzunluğunda kıyı şeridinde sahiptir [37].

Hatay ili, rüzgar enerjisi potansiyeli ile Türkiye'de önemli bir konuma sahiptir. Amanos Dağları ile kıyı şeridinden meydana gelen açık deniz rüzgarları elektrik üretimi için oldukça elverişli bir jeopolitik alan oluşturmaktadır. 2019 yılı itibarı ile Hatay ili, Türkiye'nin kurulu rüzgar enerji gücünün önemli bir payını karşılamaktadır. Özellikle Amanos eteklerine sahip Belen ilçesi ve kıyı şeridinde sahip Samandağ ilçesi rüzgar potansiyeli bakımından oldukça elverişlidir. Bu çalışma kapsamında Samandağ ilçe konumundan 25 noktada ölçüm verileri alınmıştır. Alınan veriler 36.090 enlemi ile 35.97 boylamı arasında rüzgar potansiyelinin yüksek olduğu noktadan alınmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. WRF (Hava Tahmin ve Araştırma Modeli)

Bu çalışmada elde edilen vektörel rüzgar hızı verileri WRF modeli ile alınmıştır. WRF modeli, 1990 yılların son dönemlerinde geliştirilmeye başlanmıştır. Birçok ulusal kurumun bir araya gelerek oluşturulduğu WRF Hava Tahmin Modeli, Ulusal Çevresel Tahmin Merkezi (NCEP) tarafından geliştirilmiştir. WRF Modeli, akademik çalışmaların yanında birçok kurum ve özel kuruluş uygulamalarında da kullanılmaktadır. WRF Modeli genellikle 1 ile 10 kilometrelik çözünürlük alanlarında uygulanmaktadır. Ancak günümüzde daha düşük çözünürlükteki alanlardaki uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Dünya’da uygulama alanları son yıllarda günden güne artış göstermektedir. WRF Hava Tahmin Modeli, 160’tan fazla ülkede on binlerce kullanıcı platformuna sahiptir [38].

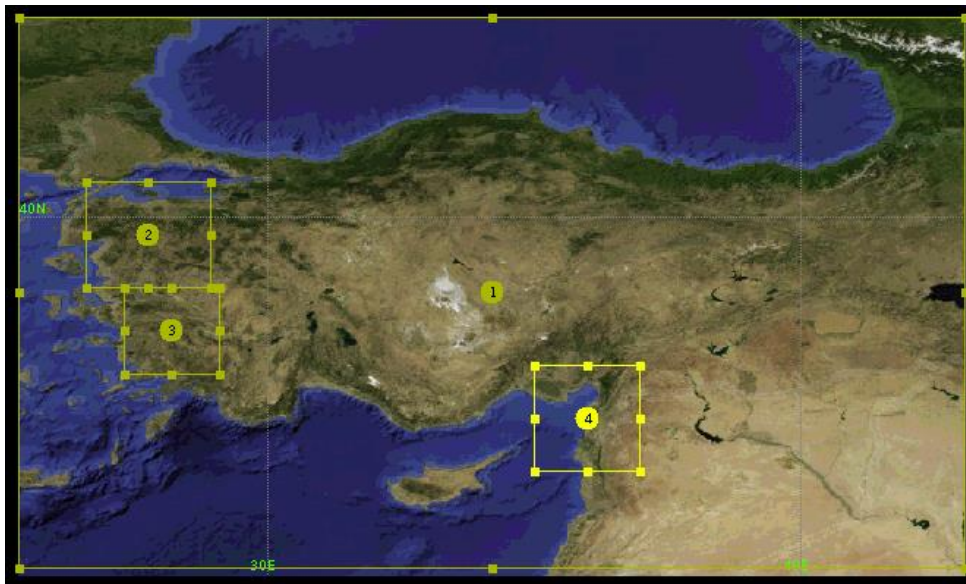
WRF Modeli; sıcaklık, yağış, rüzgar gibi birçok atmosferik parametrenin kalibrasyonu ile birlikte tahmin ve öngörü ile değer saptaması yapabilen küçük, orta ve büyük ölçeklerde kullanıma sunulan hava tahmin benzetim modelidir. Atmosferik parametrelere etki eden birçok çevreyle ilgili denklemi kendi içinde modelleyebilen bir yapıya sahiptir.

Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR), WRF Modelinin kullanım haklarına sahiptir ve isteyen herkese erişim ve model kullanım olanağı sunmaktadır. Bu sayede WRF Modeli, akademik alanda ya da opsiyonlu kullanımlarda kullanıcılara avantaj sağlamaktadır. Çok yönlü atmosferik parametre analizi yapabilen WRF Modeli şahsi kullanım olanakları da sunmaktadır.

WRF Modeli üç ana aşamadan meydana gelmektedir. Veri kaynakları ile yapılandırılan Ön İşletim Sistemi (WPS), ileri araştırma opsiyonları dâhilinde veri analizi yapabilen ARW Modeli ve veri görselleştirme aşamalarından meydana gelmektedir [39].

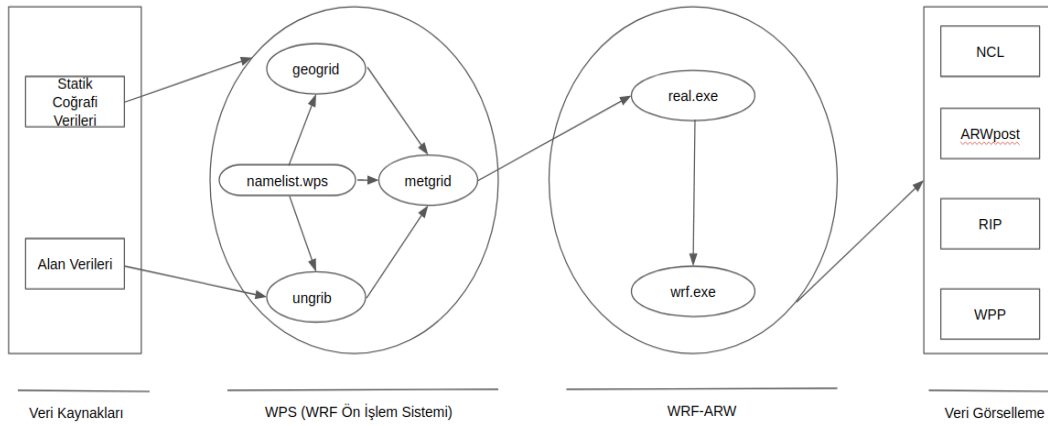
Veri analizlerini sağlamak için WRF Modelini belirli basamaklar dahilinde yapılandırmak gerekir. İlk olarak çalışma alanı sisteme entegre edilir. Entegrasyon işlemi WRF Alan Sihirbazı grafik arabirimi ile sağlanır. Alan Sihirbazı grafik biriminde çalışma alanı ve model girdi parametreleri düzenlenip programın çalışması için gereken hazırlıklar yapılır. Bu çalışmada WRF Alan Sihirbazı’nın 2.64 versiyonu kullanılmıştır. Programda kullanılan

coğrafi veriler ve ön işletim sistemi verileri programa entegre edilir. Çalışmada ana alan olarak Türkiye konumu WRF Modeline tanımlanmıştır. Daha sonra bölgesel alanı kapsayacak şekilde Balıkesir, Manisa ve Hatay kıyılarını ele alan ikinci, üçüncü ve dördüncü ara alan tanımlanmıştır. Tanımlanan ara alanlar, il sınırlarını kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Ön işletim sisteminde tanıtmak üzere alan bilgileri ve zamansal aralıklar WRF Alan Sihirbazı'nda hazırlanır ve veri seti oluşturulur. Bu işlemin sonucunda statik coğrafi veri paketi hazırlanmış olur. WRF Ara Sihirbazı alan tanımlama işlemi Harita 3.4'te gösterilmiştir.



Harita 3.4. WRF ara sihirbazı alan tanımlama haritası

Statik coğrafi veri paketi ön işlem sistemi altında geogrid yapısına tanımlanır. Bu işlem ile WPS (Ön İşletim Sistemi)'nin başlangıç hareketi verilmiş olur. İkinci aşama için WPS'nin ungrib birimine tanıtılmak üzere sayısal hava tahmin verileri tanıtılır. Bu tez çalışmasında rüzgar hızı simülasyonu için GFS (Küresel Tahmin Sistemi) verileri kullanılmıştır. GFS verileri Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) veri arşivinden elde edilmiştir. Elde edilen veri seti 0,25 derece çözünürlükte ve üçer saatlik periyotlarda analiz edilecek şekilde seçilmiştir. İkinci entegrasyondan sonra namelist.wps dosyası çalışma alanına göre düzenlenerek WPS sisteminin metgrid birimi aktive edilir. Üç aşamalı WPS sistemi hazır hale geldikten sonra WRF-ARW ara yüzü fizik parametreleri ile interpolate edilir. Tüm bu aşamalardan sonra WRF Hava Tahmin Modeli belirlenen şartlar doğrultusunda benzetim için hazır duruma gelir. WRF model diyagramı Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. WRF model diyagramı

3.2.2. WRF-Ön İşletim Sistemi

WRF Ön İşletim Sistemi'nin ana amacı modeli çalıştırmak için gerekli girdilerin hazırlanmasını ve düzenlenmesini sağlamaktır. Bu girdileri dört farklı durum ve olay için tanımlar. Simülasyon alanının tanımlaması, her grid için enlem ve boylamda Coriolis parametrelerin ölçümleme ve hesaplanması, zamandan bağımsız topografya verilerin hazırlanması ve zamanla değişkenlik gösteren meteorolojik bölgelerin simülasyonu için başka model verilerinden interpolate edilmesini sağlar [40].

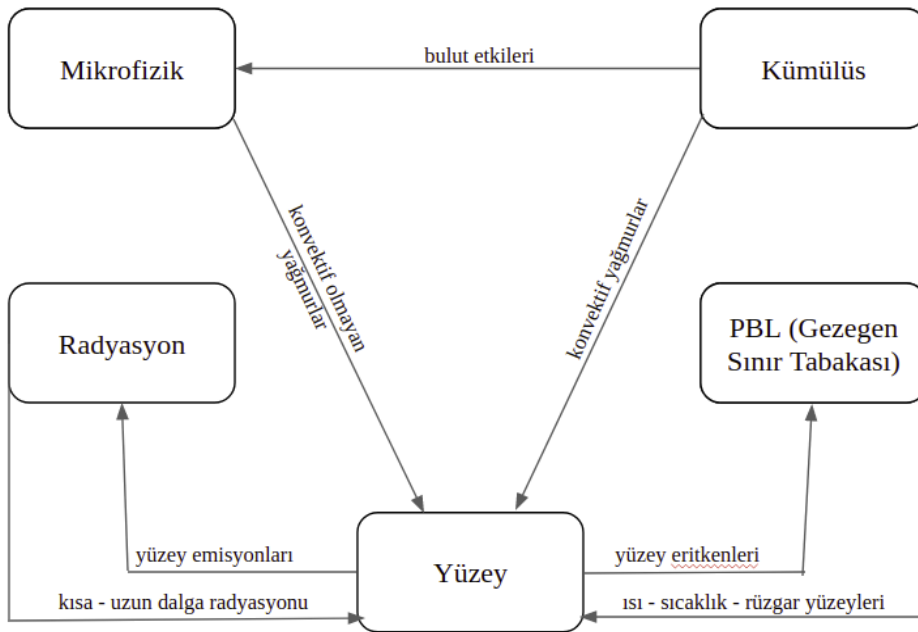
3.2.3. Wrf-ARW

ARW, hava tahmin simülasyonunun gerçekleştirilmesi için gerekli olan bileşenlerin yapılandırılmasını sağlayan bir ara model sunucusudur. WRF-ARW, içerisinde fiziksel parametreleri paralelleyebilen ve doğru ölçümlemenin sağlanması için olanaklar sunan bir yazılıma sahiptir. Atmosferik parametre tahminin yanı sıra WRF-ARW; atmosferik kimya (WRF-CHEM), hidrolik modelleme (WRF-HYDRO), orman yangın modelleri (WRF-FIRE) gibi birçok alt yazılıma sahiptir [41].

WRF Modelinin doğru ve sürekli çözümler sunabilmesi için WRF fizik paketi ölçümlemenin ayarlanması son derece önemlidir.

3.2.4. WRF-ARW fizik şemaları

WRF hava tahmini ve modellemesinde kullanılmak üzere belirli fizik parametreleri ve bu parametrelere etkiyen fizik şemaları veri seti tanımlanır. Bu veri setleri birbirleri ile bağlantılı olacak şekilde kombine edilmiştir ve her parametre kendisinden bir önceki ve bir sonraki fizik paketine zincirleme prensibi ile bağlanmıştır. Rüzgar hız ve tahmininde kullanılan fizik paketleri sırasıyla; mikrofizik, kümülüs, radyasyon, yüzey ve gezegen sınır tabakasıdır. Kümüllüs fizik seti bulut etkileri ile mikrofizik parametresi ile bağlantılıdır. Kümüllüs ve mikrofizik fizik seti konvektif ve konvektif olmayan yağmur etkileri ile birlikte yüzey sınır tabaka seti ile etkileşime girmektedir. Yüzey sınır tabakası, gezegen ölçekli sınır tabaka ile yüzey eritkenleri parametresi ile etkileşime girmektedir. Aynı zamanda yüzey sınır tabakası radyasyon fizik seti ile yüzey emisyonları parametresiyle etkileşim içindedir. Yüzey sınır tabakası radyasyon seti ile yüzey emisyonları parametreleriyle etkileşim içindedir. Son olarak gezegen sınır tabakası, yüzey sınır tabakası ile ısı, sıcaklık ve rüzgar yüzeyleri parametreleriyle etkileşim içindedir. WRF fizik parametreleri Şekil 3.2 ve Çizelge 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. WRF fizik parametreleri

Çizelge 3.1. WRF fizik parametreleri ve kullanılan şemaları

Fizik Parametreleri	Parametre Değerleri				Fizik Şemaları
mp_physics	3	3	3	3	WSM6
ra_lw_physics	1	1	1	1	RRTM
ra_sw_physics	1	1	1	1	Dudhia
sf_sfclay_physics	1	1	1	1	YSU
sf_sfclay_physics	2	2	2	2	Noah LSM
bl_pbl_physics	1	1	1	1	YSU- MYJ
cu_physics	1	1	0	0	K-F

Her fizik parametresi için kullanılan fizik şemaları farklılık göstermektedir. Gerçeğe yakın veri sonuçları elde edebilmek için opsiyonlu fizik şema setleri tanımlanmıştır. Tanımlanan fizik şemaları Çizelge 3.2’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. WRF fizik şemaları ve kullanım alanları [42]

Fizik Parametresi	Fizik Şeması	Kullanım Alanı
PBL (Gezegen Ölçekli Sınır Tabaka)	YSU Şeması	Hava ve iklim tahmin modelleri için kullanılan ulusal alanda etki gösteren gezegen sınır tabakasının sürüklenme süreçlerinin ele alındığı fiziksel şemadır.
	MYJ Şeması	Türbülanslı kinetik enerji temelli yerel ölçekli bir şemadır. Kullanım alanları serbest atmosfer yüzeyi ile ilişkilidir.
Kümüülüs	K-F Şeması	Bulutların konvektif zaman aralığında çoklu akışı yöntemini kullanan zaman ölçekli alansal şemadır.
	BMJ Şeması	Termodinamik yasalarca belirlenen sıcaklık ve nem parametreleri üzerine uygulanan ayarlama şemasıdır.

Çizelge 3.2. (Devam) WRF fizik şemaları ve kullanım alanları

Mikrofizik	WSM6 Şeması	Kar oluşumu ve buzlanma olaylarını kapsayan çok sınıflı şemadır.
	Goddard Şeması	Erime olaylarını zaman aralıklarında açıklayan mikro ölçekli şemadır.
Radyasyon	CAM Kısa ve Uzun Dalga Radyasyon Şeması	Kısa ve uzun dalga radyasyon alanında kullanılan CAM şeması bütün simülasyonlar da kullanılır. Gelecekteki iklim senaryoları ve sera gazı emisyon oranında modelleme sağlanabilmesi için kullanılır. Bulutlarla etkileşime girebilen spektral şemalardır.
Yüzey Sınır Tabakası	Noah LSM Şeması	Yeryüzü ve yeraltı katmanında bitki örtüsü ve toprak fizik etkilerini inceleyen fizik şemasıdır. Yerkürenin tüm katmanlarında toprak nemi ve sıcaklığını ele alan şemadır. Bütün simülasyonlar da kullanılmaktadır

3.2.5. NCAR komut dili (NCL)

WRF Modeli, veri kalibrasyonunu yaptıktan sonra görselleştirme için bir komut birimine ihtiyaç duyar. Görselleştirme işleminde birçok yazılım uygulanabilir. Elde edilen verilerin belirli ölçekte ve belirli yükseklikteki değer aralıklarının şematik hale getirilmesinde NCAR komut dili kullanılmıştır. NCAR komut dili nümerik ve nümerik olmayan değerlerin görselleştirilmesinde kullanılan ve yorumlanabilen bir görselleştirme yazılımıdır. Standart ve koordinat işlevsel ara yüzüne sahip olan NCAR komut dili, WRF modelinin veri analizlerinde kullanılmaktadır [43].

WRF modelinden elde edilen saatlik rüzgar hız değerleri CDO yazılımının 1.9.3 sürümü ile düzenlenmiştir. Saatlik veriler önce gün daha sonra aylık ortalaması alınarak görselleştirilmiştir. Düzenlenen verilerin alansal analizi CDO yazılımı ile belirlenmiştir.

WRF modelinden elde edilen sonuçların kalibrasyonu yapıldıktan sonra veriler Panoply Programının 4.12.6 sürümü ile haritalandırılmıştır. Panoply, veri kümelerini coğrafi referanslı alan çizgileri içerisinde görselleştirmek için kullanılmıştır.

Elde edilen veri analizleri 10 metre dikey yükseklikteki rüzgar hız değerlerini vermektedir. Model verileri 24 saat önceden atmosferik parametre tahmini yapabilmektedir. Ölçüm sahasından alınan rüzgar hız değerleri 80 metre referans yüksekliğinden alınmıştır. Model verileri ile ölçüm verilerinin korelasyonunu gözlemlemek için Basitleştirilmiş Güç Kanunu hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda model sonuçlarından elde edilen 10 metre dikey yükseklikteki hız değeri V_1 (m/sn), 80 metre yükseklikteki ölçüm noktasındaki hız değeri V_2 (m/sn), rüzgar hızının ölçüm noktasından alınan yüksekliği h_2 , 10 metrede alınan model verilerinin yükseklik değeri h_1 , Hellman katsayısı α ile gösterilmiştir. Rüzgar hız korelasyonunda kullanılan Basitleştirilmiş Güç Kanunu Eş 3.1’de gösterilmiştir.

$$BGK = \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (3.1)$$

Hellman katsayısı, belirli bir yükseklikteki rüzgar hızının farklı yükseklikteki değerlerini saptamak için kullanılan bir katsayıdır. Hesaplama yapılacak çalışma alanın coğrafisine göre değişmektedir. Çalışma alanının her iki yükseklikteki hız değeri bilindiğinden Hellman katsayısı doğrudan oluşmaktadır. h_2 konumundaki hız değeri bilinmediği durumlarda Hellman katsayısı ölçümün yapıldığı coğrafi alanın yüzey pürüzlülüğü ile orantılıdır. Hellman katsayı hesaplamalarında kullanılan yüzey pürüzlük değeri Z_0 ile gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülük formülü Eş 3.2’de gösterilmiştir [44].

$$Z_0 = 15,25 \times \exp\left(\frac{-1}{\alpha}\right) \quad (3.2)$$

Model verilerinden elde edilen rüzgar hız değeri Basitleştirilmiş Güç Kanunu ile ölçüm noktasında oluşabilecek rüzgar hızı değeri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen V_2 hız değeri ile bir rüzgar türbininin üretebileceği elektrik gücü Eş 3.3’de gösterilmiştir. Kullanılan denklemde elektrik gücü P (Watt), hava yoğunluğu ρ (gr/cm^3), rüzgar hız değeri V (m/sn), güç katsayısı (C_p), türbinin taradığı alan ise A (m^2) ile gösterilmektedir. Güç katsayısı kullanılan türbinin maksimum verimi ile sınırlandırılmıştır. Günümüz teknolojisinde bu değer %59 olarak hesaplanır. Bu değere Betz limiti denir [45].

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v_2^3 \times C_p \times A \quad (3.3)$$

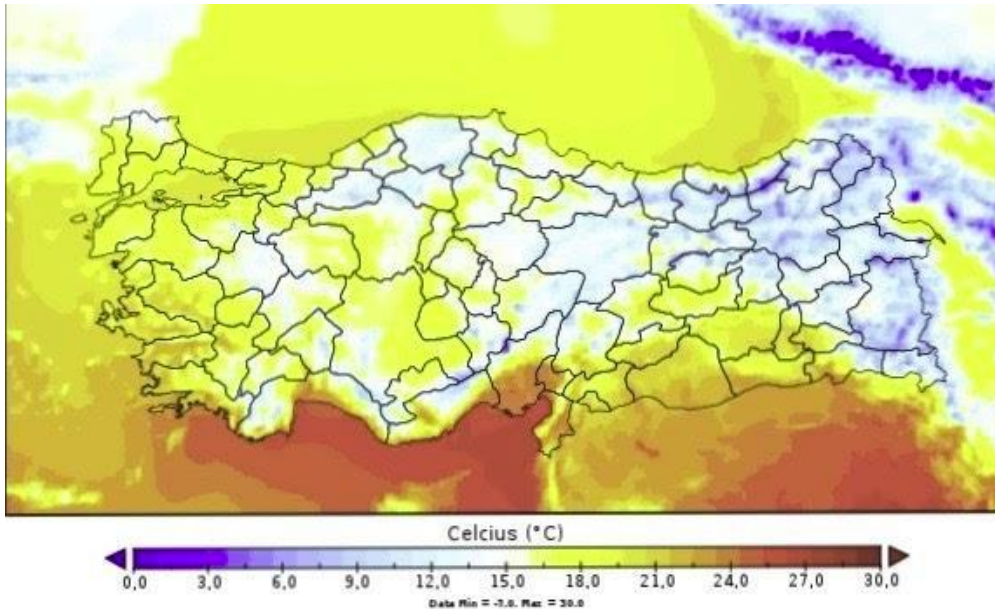
Yapılan hesaplamalar sonucunda ölçüm noktasından alınan rüzgar hızı verilerinden üretilebilecek rüzgar gücü ile model verilerinden alınan rüzgar hız değerlerinden üretilebilecek rüzgar gücü değerleri SPSS Programı ile ilişkileri incelenmiştir. İki değer arasındaki ilişki regresyon analizi kullanılarak gözlemlenmiştir.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. Türkiye Ortalama Sıcaklık Değerleri

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye bölgesinde 2019 yılı Ekim ayı boyunca vektörel rüzgar hızı ve sıcaklık parametrelerinin analizi yapılmıştır. Sıcaklık parametresinin rüzgar hızı ile ilişkisi haritalandırma metodu ile incelenmiştir. Elde edilen -u ve -v bileşenlerindeki hız değerlerinin bileşke kuvveti ile rüzgar hızının m/sn cinsinden değeri analiz edilmiştir. Model verileri 10 metre dikey yükseklikteki vektörel rüzgarın hız değerini vermektedir. Yapılan analiz sonucunda Türkiye’de rüzgar hız potansiyelinin yüksek olduğu konumlar gözlemlenmiştir. Model analizine göre Balıkesir, Manisa ve Hatay illerinde konumsal ve zamansal vektörel rüzgar hız parametresi görselleştirilmiştir. Hatay ilinin Samandağ bölgesinden alınan ölçüm verileri ile model verileri arasındaki benzerlik oranları incelenmiştir. Rüzgar hızından elde edilebilecek rüzgar elektrik gücü hesaplamaları yapılarak model ve ölçüm verilerinin sağlanması yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda rüzgar hızının vektörel değeri ve bileşke değeri gün öncesinden hesaplanabilmektedir.

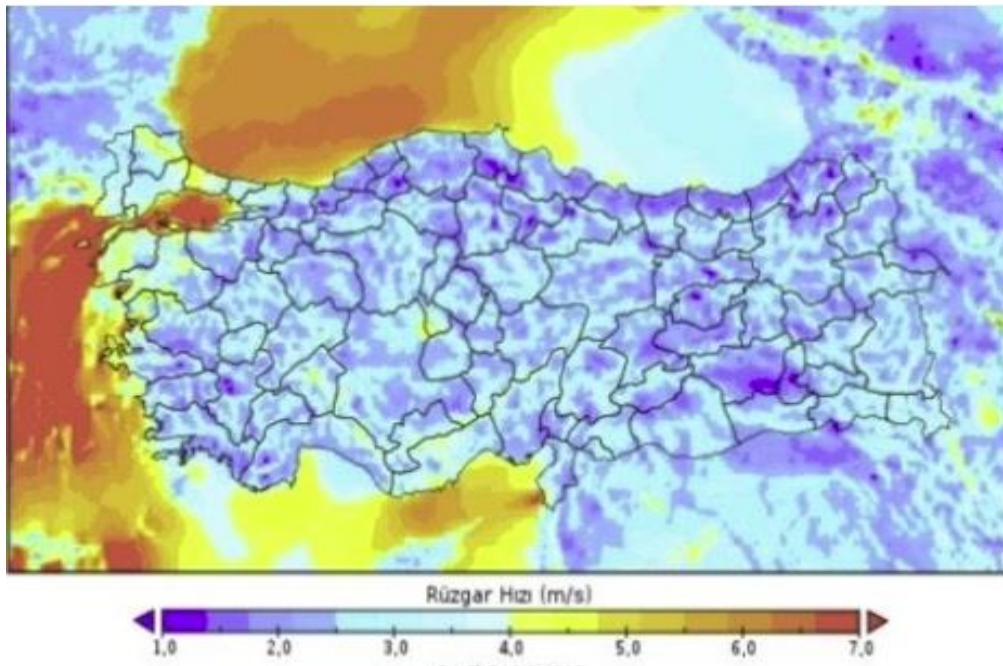


Harita 4.1. 1 Ekim 2019 - 30 Ekim 2019 tarihleri arası Türkiye bölgesinin ortalama sıcaklık haritası

Harita 4.1’ de Türkiye’nin 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arasındaki ortalama sıcaklık değeri haritalandırılmıştır. Model verileri 10 metre dikey yükseklikteki ortalama

sıcaklık değerlerini göstermektedir. Elde edilen veri analizi sonucunda minimum ortalama sıcaklık değeri yaklaşık 0 °C, maksimum ortalama sıcaklık değeri ise yaklaşık 30 °C olarak gözlemlenmiştir. İç Anadolu Bölgesi'nin doğu kısımları ortalama sıcaklığın altında seyretmiştir. Ege ve Marmara Bölgelerinde ortalama sıcaklık değerleri 15-18 °C arasında değişmektedir. Ortalama sıcaklık değerinin en yüksek görüldüğü yerler Türkiye'nin güney kıyı kesimleri olurken Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde ortalama sıcaklığın en düşük seviyeleri gözlemlenmiştir.

4.2. Türkiye Ortalama Rüzgar Hızı Değerleri

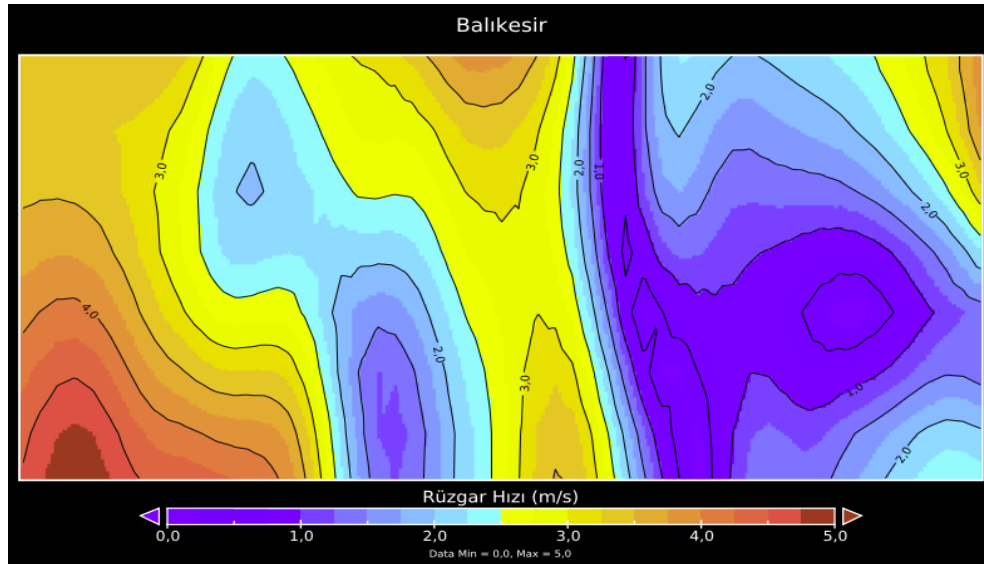


Harita 4.2. 1 Ekim 2019- 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Türkiye bölgesinin rüzgar hız haritası

Harita 4.2'de Türkiye bölgesinin 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arasındaki vektörel rüzgar hız haritası gösterilmektedir. Model verileri 10 metre yükseklikteki vektörel rüzgar hız değerlerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara neticesinde Ekim ayında Türkiye'de rüzgar hızı değeri 0 ile 7 m/sn arasında bölgeden bölgeye değişiklik göstermiştir. Güneydoğu ve İç Anadolu Bölgeleri'nde rüzgar enerjisinden elektrik üretimi için elverişli rüzgar hız değerlerine ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Karadeniz Bölgesi'ne kıyısı olan illerin açık deniz rüzgar hızı (offshore) metodu ile rüzgar enerjisinden yüksek verim alınabileceği öngörülmektedir. Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgeleri'nde yüksek hız değerlerine ulaşıldığı incelenmiştir. Marmara Denizi'ne kıyısı olan Balıkesir, Çanakkale, Yalova ve İstanbul

illerinin açık deniz alanlarında yüksek rüzgar hız değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ege Denizi'ne kıyısı olan İzmir, Aydın ve Muğla illerinin yanı sıra kıyıya sınırı olmamasına rağmen Manisa ilinde yüksek rüzgar hız değerlerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Akdeniz Bölgesi'ne kıyısı olan Mersin ve Hatay illerinde elektrik üretimi için elverişli rüzgar hız potansiyeline sahip ortamların olabileceği saptanmıştır. Özellikle Hatay ilinin sahip olduğu topografya neticesinde elde edilen rüzgar hız değeri elektrik üretimi için oldukça elverişli olabileceği gözlemlenmiştir.

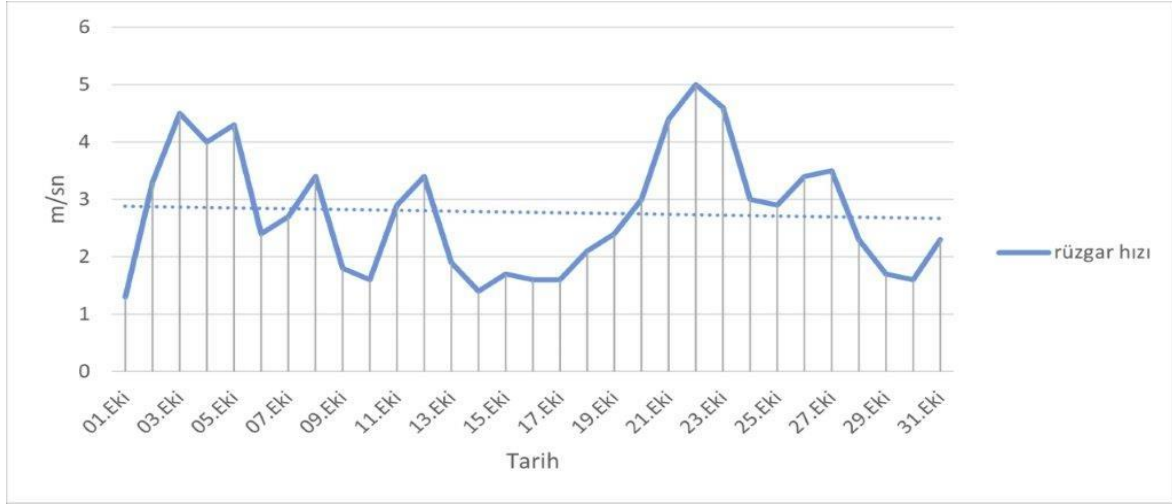
4.2.1. Balıkesir bölgesi vektörel rüzgar hızı dağılımı ve günlük rüzgar hızı değerleri



Şekil 4.1. 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Balıkesir bölgesinin rüzgar hızı dağılımı

Şekil 4.1' de Balıkesir bölgesinin 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arasındaki vektörel rüzgar hızı değişim haritası gösterilmektedir. Koyu kırmızı ile gösterilen yerler rüzgar hız yoğunluğunun yüksek olduğu konumları göstermektedir. Sarı bölgeler rüzgar hızının 2,5-3,5 m/sn aralığındaki konumları göstermektedir. Mavi renk ile gösterilen yerlerde rüzgar hız yoğunluğunun düşük olduğu konumlar görselleştirilmiştir. Elde edilen model verileri 10 metre dikey yükseklikteki vektörel rüzgar hız değerlerini göstermektedir. Veriler 3'er saatlik periyotlarla 0,25 derecelik çözünürlüklerle elde edilmiştir. 0,25 derece çözünürlükte elde edilen model verilerine göre Balıkesir ilinin deniz kıyı bölgelerinde rüzgar hızı değerinin yükseldiği, il bölgelerinin iç kısımlarında ise rüzgar hızında düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. 39.28 enlemi ile 26.51 boylamı arasında kalan alan Balıkesir'in Ayvalık ilçesine denk geldiği saptanmıştır. Bu noktada elde edilen rüzgar hız potansiyeli elektrik

üretimi için oldukça elverişli bir konum olabileceği kanısına ulaşılmaktadır. Balıkesir'in Marmara Denizi'nin kıyılarına sınırı olan, 40.3697 enlemi ile 27.9200 boylamları noktalarında rüzgar potansiyelinin üretim için elverişli olabileceği öngörülmektedir. Yapılan analiz sonuçlarına göre Balıkesir bölgesinde vektörel hız dağılımının değişken ve hareketli bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmektedir.



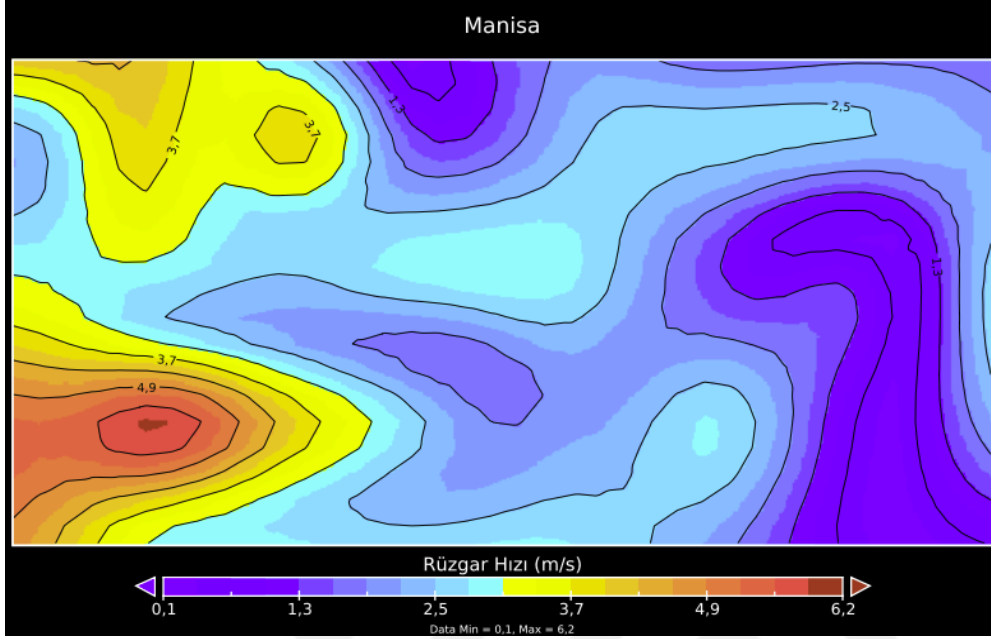
Şekil 4.2. Balıkesir ili 10 metre dikey yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızı grafiği

Şekil 4.2' de Balıkesir ilinin 1 Ekim ile 30 Ekim arası günlük rüzgar hız ortalama grafiği gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlarda 10 metre dikey yükseklikte günlük minimum ortalama rüzgar hızı 1,2 m/sn iken maksimum rüzgar hız değeri 5 m/sn değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Lineer eğim trendi Ekim ayı boyunca aşağı yönlü azalma göstermiştir.

4.2.2. Manisa bölgesi vektörel rüzgar hızı dağılımı ve günlük rüzgar hızı değerleri

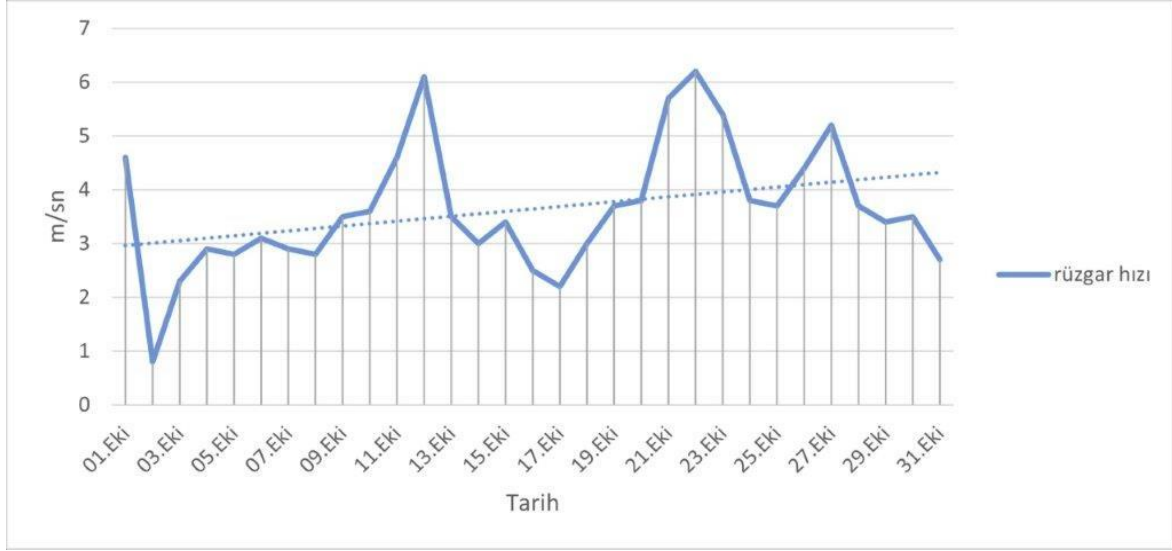
Şekil 4.5'te 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arası Manisa ilinin vektörel rüzgar hız dağılım haritası gösterilmektedir. Koyu kırmızı ile gösterilen yerler rüzgar hız yoğunluğunun yüksek olduğu konumları göstermektedir. Sarı bölgeler rüzgar hızının 3-3,8 m/sn aralığındaki konumları göstermektedir. Mavi renk ile gösterilen yerlerde rüzgar hız yoğunluğunun düşük olduğu konumlar görselleştirilmiştir. Elde edilen model verileri yerden 10 metre dikey yükseklikteki vektörel rüzgar hızının değerlerini vermektedir. Veriler 3'er saatlik periyotlarla 0,25 derecelik çözünürlüklerle elde edilmiştir. Yapılan analizlere göre Manisa ilinin batı bölgesinde rüzgar potansiyeli üretim için elverişli noktalara sahip olabileceği öngörülmektedir. Aynı çalışma alanında kuzeybatı yönünde rüzgar hızında

nispeten düşük gözlemlenmektedir. Vektörel rüzgar hızı değeri Manisa ilinin doğu bölgelerinde elektrik üretimi için elverişli olmadığı gözlemlenmektedir.



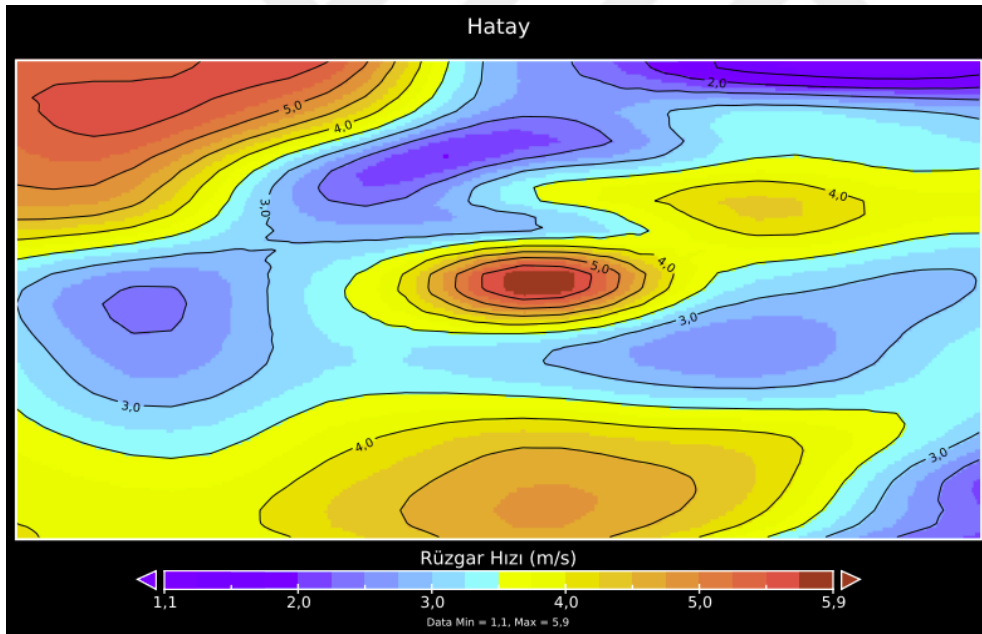
Şekil 4.3. 1 Ekim 2019- 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Manisa bölgesinin rüzgar hızı dağılımı

Şekil 4.4'te Manisa ilinin 1 Ekim ile 30 Ekim arası günlük ortalama rüzgar hız grafiği gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlarda, 10 metre dikey yükseklikte günlük minimum ortalama rüzgar hızı 0,8 m/sn iken maksimum rüzgar hız değeri yaklaşık 6 m/sn değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. En düşük değer Ekim ayının 2'nci günü, en yüksek değer ise Ekim ayının 22'nci gününde elde edildiği gözlemlenmiştir. Lineer eğim trendi yukarı yönlü artış göstermiştir.



Şekil 4.4. Manisa ilinin 10 metre dikey yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızı grafiği

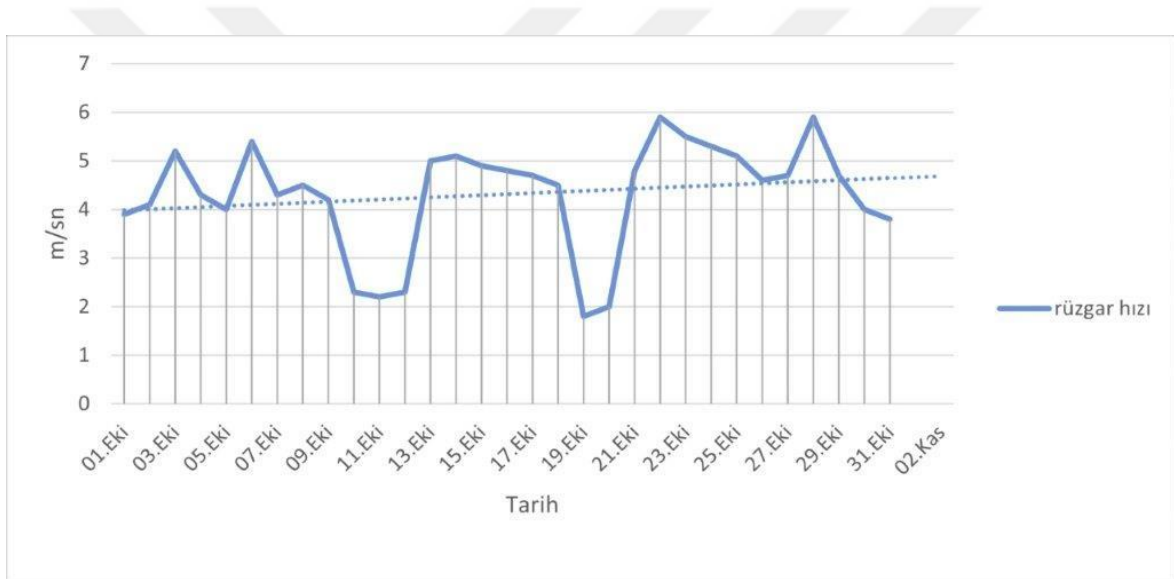
4.2.3. Hatay bölgesi vektörel rüzgar hızı dağılımı ve günlük rüzgar hızı değerleri



Şekil 4.5. 1 Ekim 2019- 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Hatay bölgesinin rüzgar hızı dağılımı

Şekil 4.5'te 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Hatay ilinin vektörel hız haritası gösterilmektedir. Koyu kırmızı ile gösterilen yerler rüzgar hız yoğunluğunun yüksek olduğu konumları göstermektedir. Sarı bölgeler rüzgar hızının 3,5- 4,5 m/sn aralığındaki konumları göstermektedir. Mavi renk ile gösterilen yerlerde rüzgar hız yoğunluğunun düşük olduğu konumlar görselleştirilmiştir. Model sonuçları yerden 10 metre dikey yükseklikteki rüzgar hız değerlerini vermektedir. Veriler 3'er saatlik periyotlarla 0,25 derecelik çözünürlüklerle

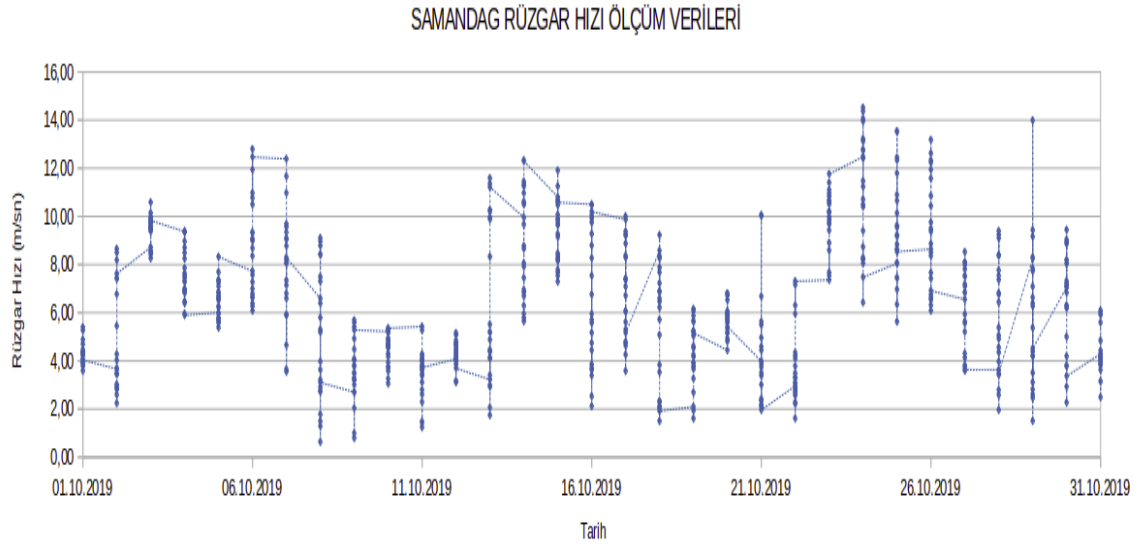
elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonrasında vektörel rüzgar hızının Hatay ilinde dalgalanmaya uğradığı ve yakın konumlar arasında farklılıklar olabileceği gözlemlenmiştir. 36.23 enlemleri ve 36.18 boylamları arasında yer alan Samandağ ilçesinde yüksek rüzgar hız potansiyellerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. 36.42 enlemleri ile 36.09 boylamları arasında Amanos Dağı eteklerinde yer alan Belen ilçesinde rüzgar potansiyeli elektrik üretimi için elverişli bir lokasyona sahip olabileceği gözlemlenmiştir. Model sonuçlarına göre 10 metre dikey yükseklikteki vektörel rüzgar hızı Hatay ilinin kuzey ve batı kısımlarında yer alan bölgelerde azalma söz konusu olabileceği gözlemlenmiştir. Elde edilen WRF Model veri analizine göre Hatay ili, rüzgar enerjisinde elverişli bir lokasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. Hatay ili 10 metre dikey yükseklikteki günlük ortalama rüzgar hızı grafiği

Şekil 4.6'de Hatay ilinin 1 Ekim ile 30 Ekim arası günlük rüzgar hız ortalama grafiği gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, yerden 10 metre dikey yükseklikteki minimum rüzgar hızı 1,5 m/sn, maksimum rüzgar hızı ise yaklaşık 5,9 m/sn olduğu gözlemlenmiştir. Ekim ayının 20'nci günü en düşük hız değeri görülürken, Ekim ayının 29'uncu günü en yüksek rüzgar hızına rastlandığı gözlemlenmiştir. Lineer eğim trendi Ekim ayı boyunca yukarı yönlü artış göstermiştir.

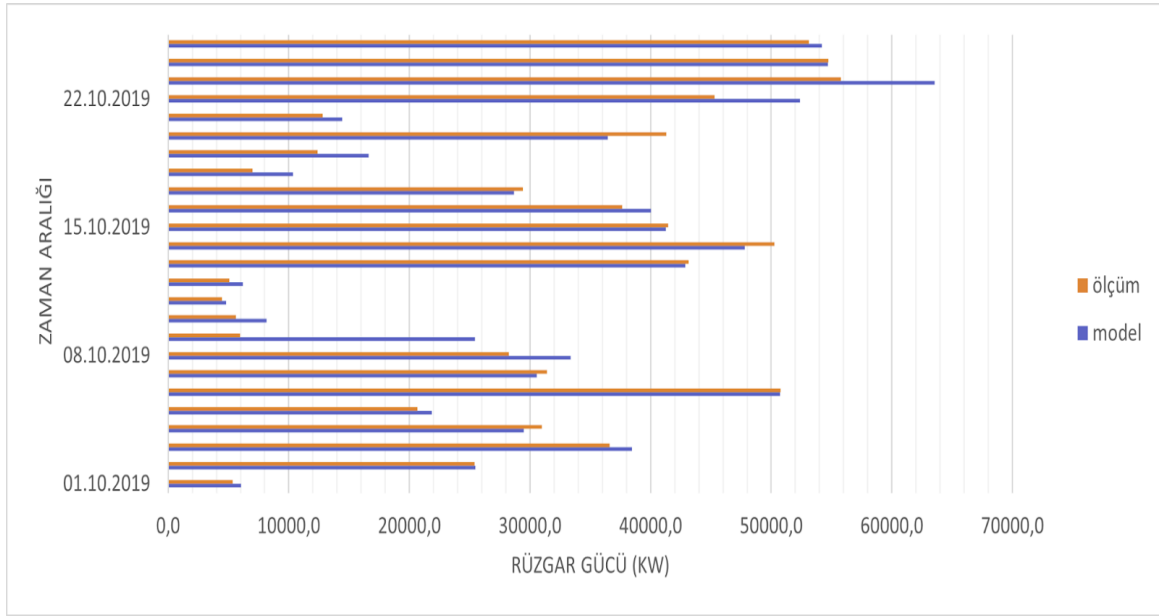
4.3. Hatay-Samandağ Ölçüm Verileri



Şekil 4.7. 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arası Hatay-Samandağ bölgesinden alınan rüzgar hız ölçümü verileri

Şekil 4.7’de Hatay ilinin Samandağ ilçesinden rüzgar hızı ölçüm verileri alınmıştır. Veriler 80 metre yükseklikteki rüzgar hızı değerlerinden oluşmaktadır. Her günün 24 saati için ayrı ayrı rüzgar hız ölçüm verileri toplanmıştır. Toplanan veriler 3’er saatlik zaman aralıklarında ortalaması alındıktan sonra model verileri ile entegre edilebilecek duruma getirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda Hatay ilinin Samandağ ilçesinde maksimum rüzgar hızı değeri Ekim ayının 24’üncü gününde gözlemlenmiştir. Bu tarihte görülen rüzgar hız değeri saniyede 14 metrenin üzerinde seyir etmiştir. En düşük rüzgar hızı değeri ise Ekim ayının 8’inci günü gözlemlenmiştir. Bu tarihte gözlemlenen rüzgar hız değeri saniyede 1 metrenin altındadır. Bu değer rüzgar türbininin çalışması için gerekli rüzgar alt sınırının altındadır. Ekim ayının 23 ve 26’ncı günleri elektrik üretimi için en elverişli zaman aralığını oluştururken Ekim ayının 8’inci ve 12’nci günlerinde oluşan rüzgar hız değeri elektrik üretimi için en elverişsiz günler olmuştur. Ekim ayının 13’üncü günü ile 18’inci günü arasında oluşan değer aralığı optimal üretimin sağlandığı ve rüzgar hızında dalgalanmanın çokça görülmediği günler olmuştur.

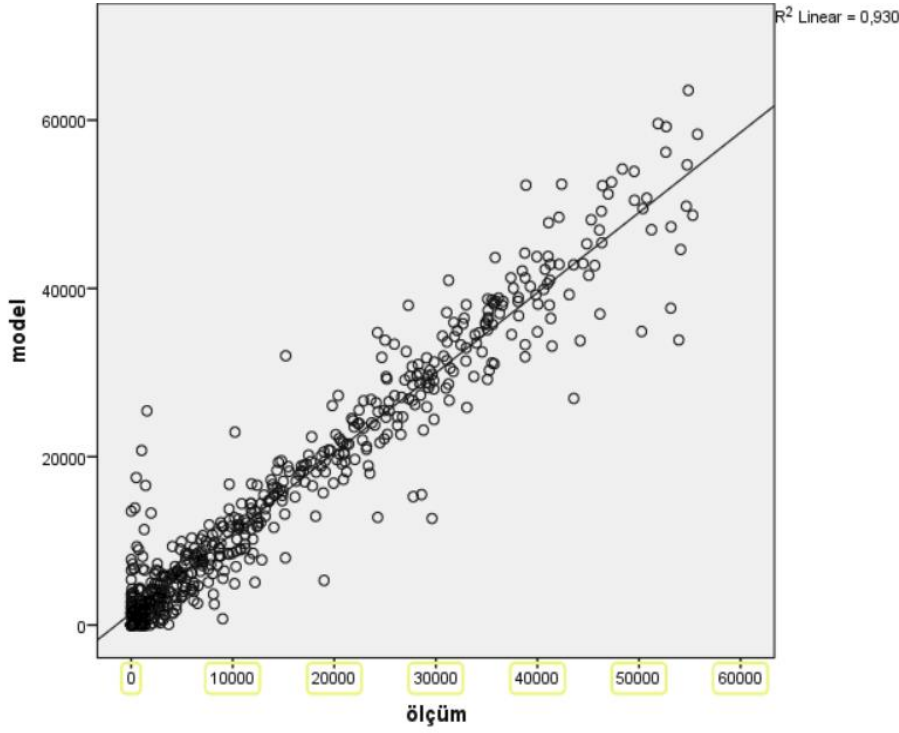
4.4. Model ve Ölçüm Sonuçları



Şekil 4.8. 1 Ekim- 30 Ekim tarihleri arası Hatay - Samandağ bölgesinde model ve ölçüm verileri ile üretilebilecek rüzgar gücü

Şekil 4.8’de 1 Ekim 2019 ile 30 Ekim 2019 tarihleri arasında Hatay ili Samandağ ilçesinden, 25 noktadan alınan ölçüm verileri ile üretilebilecek rüzgar elektrik gücü hesaplanmıştır. Aynı konumlardan model verilerininin rüzgar hız değerleri saptanmıştır. Model verileri ile ölçüm verileri aynı yükseklik noktalarında karşılaştırılarak rüzgar güç üretim hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda model verileri ile elde edilen rüzgar gücü değeri Ekim ayının 24’üncü günü maksimum değeri göstermiştir. 25 nokta için elde edilen rüzgar gücü değeri 24 Ekimde 70 000 kW elektrik gücünü aştığı gözlemlenmiştir. Aynı tarihte ölçüm noktasından alınan veriler ile hesaplanan rüzgar gücü değeri maksimum değere ulaştığı gözlemlenmiştir. İki veri arasındaki en yüksek sapma oranı Ekim ayının 9’uncu gününe meydana gelmiştir. Ölçüm verileri model verilerine göre daha düşük değerlerde seyrettiği gözlemlenmiştir. Ekim ayının 2, 6, 12, 14, 16 ve 23’üncü günleri model ve ölçüm verilerinden elde edilen rüzgar gücü değerlerinde sapma oranı çok olduğu gözlemlenmiştir.

4.5. Model ve Ölçüm Verilerinin Regresyon Analizi

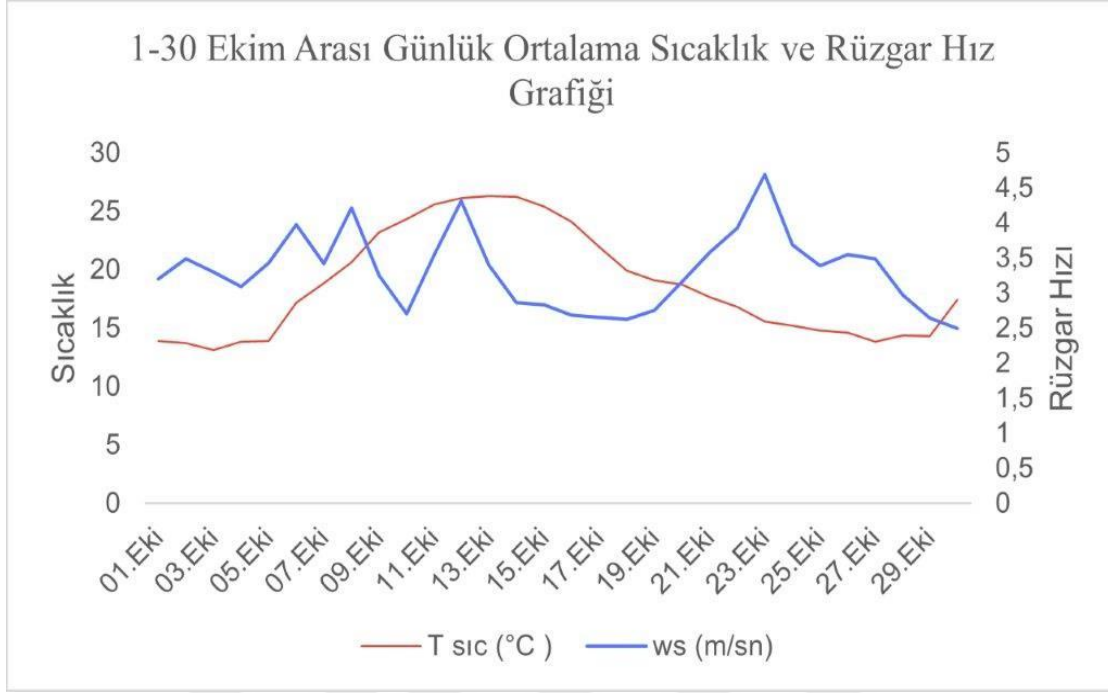


Şekil 4.9. Model ve ölçüm verileri ile hesaplanan rüzgar gücü değerlerinin regresyon analizi

Şekil 4.9’de model verilerinden elde edilen rüzgar hız değerleri ve ölçüm noktalarından alınan rüzgar hız değerleri ile üretilebilecek rüzgar gücü hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda iki veri seti arasındaki benzerlik ilişkisi regresyon analizi ile saptanmıştır. Analiz sonucuna göre üretim değerleri %93 oranında birbirleri ile benzerlik göstermektedir.

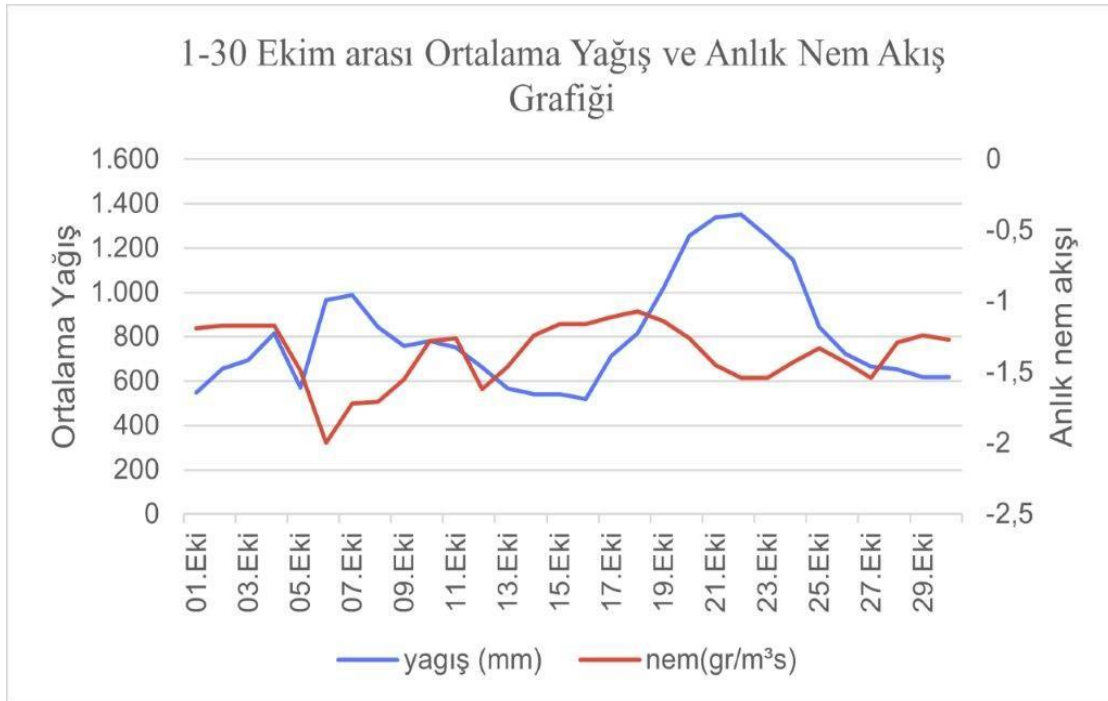
4.6. Rüzgar Hızının Atmosferik Parametreler (Sıcaklık, Yağış ve Anlık Nem Akışı) ile İlişkisi

WRF Modeli ile elde edilen rüzgar hız parametresinin 10 metre dikey yükseklikteki günlük ortalama değeri ve günlük ortalama sıcaklık değeri Türkiye bölgesi için hesaplanmıştır. ERA5 veri kümesinden alınan yağış ve nem atmosferik parametreler 2019 yılı Ekim ayı için günlük ortalamaları alınmıştır. Vektörel rüzgar hızının; ortalama sıcaklık, ortalama yağış ve anlık nem akışı ile ilişkileri incelenmiştir.



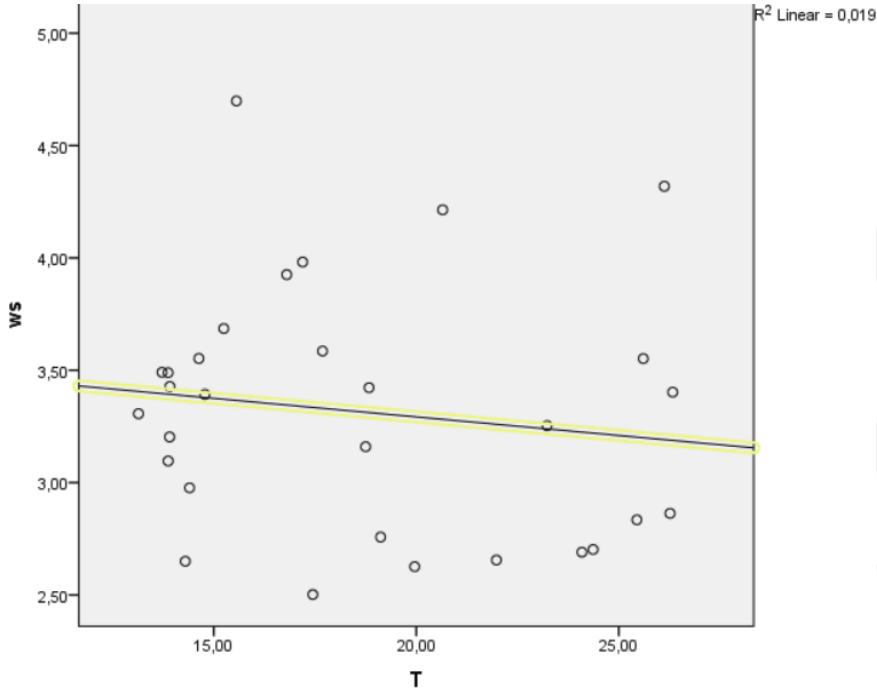
Şekil 4.10. 2019 yılı Ekim ayı boyunca günlük ortalama rüzgar hızı ve sıcaklık parametrelerinin değişimi

Şekil 4.10'da sıcaklık ve rüzgar hızının 2019 yılı Ekim ayı boyunca günlük değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye bölgesi için rüzgar hızı en yüksek değeri 23 Ekim'de gözlemlenmiştir.



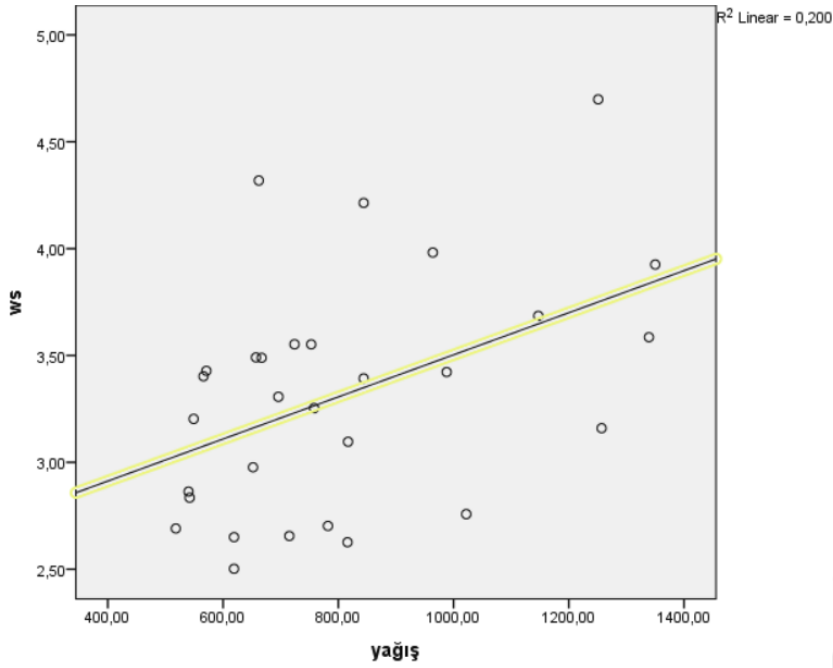
Şekil 4.11. 2019 yılı Ekim ayı boyunca günlük ortalama yağış ve anlık nem akışı parametrelerinin değişimi

Şekil 4.11’de yağış ve anlık nem akışı parametrelerinin günlük ortalama değerleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlarda ortalama yağışın en yüksek değeri Ekim ayının 21’inci gününde gözlemlenmiştir. Ortalama yağış Ekim ayının 16’ncı gününde en düşük seviyeleri gözlemlenmiştir. Anlık nem akışı en çok Ekim ayının 18’inci gününde hissedilirken Ekim ayının 6’ncı gününde en az hissedildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde atmosferik parametrelerin rüzgar hızı üzerindeki etkileri incelenmiştir.



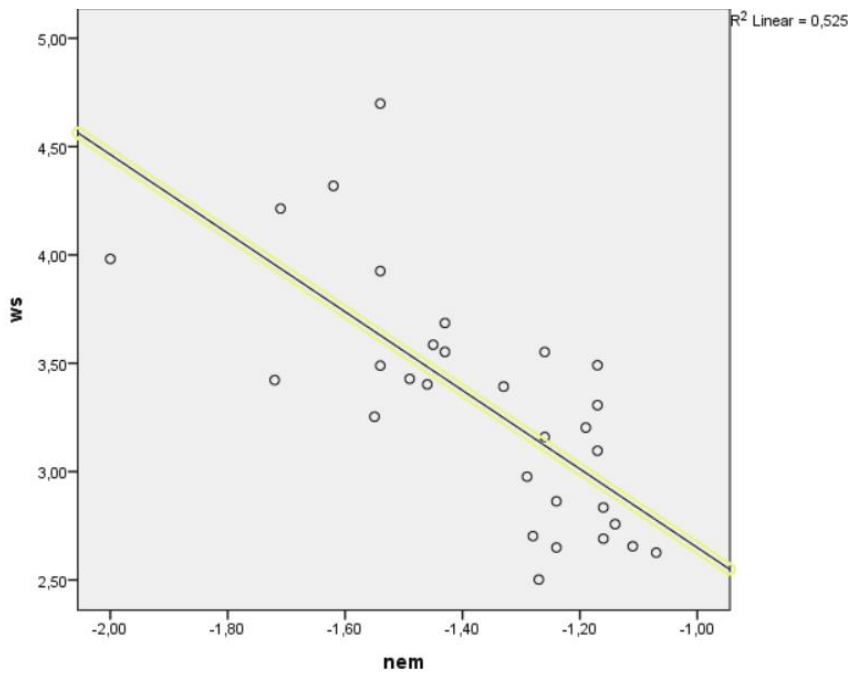
Şekil 4.12. Rüzgar hızının ortalama sıcaklık parametresi ile ilişkisi

Şekil 4.12’te 1 - 30 Ekim tarihleri arası ortalama rüzgar hızının günlük ortalama sıcaklık değeri ile ilişkisi incelenmiştir. Vektörel rüzgar hız verileri ve sıcaklık verileri WRF modelinden alınmıştır. Saatlik ölçüm tahmini yapan verilerin Türkiye bölgesi için günlük ortalaması alınmıştır. Regresyon analizi sonucunda rüzgar hızının sıcaklık parametresi yaklaşık %0,02 oranında ilişkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13. Rüzgar hızının yağış parametresi ile ilişkisi

Şekil 4.13'te 1-30 Ekim tarihleri arası günlük ortalama vektörel rüzgar hızının yağış parametresi ile ilişkisi incelenmiştir. WRF modelinden elde edilen saatlik vektörel rüzgar hızının gün bazında ortalamaları alınmıştır. Elde edilen regresyon analiz sonuçlarına göre iki parametre arasında yaklaşık %20 oranında ilişki gözlemlenmiştir.



Şekil 4.14. Rüzgar hızının anlık nem akış parametresi ile ilişkisi

Şekil 4.14' de 1-30 Ekim 2019 tarihleri arasında ortalama vektörel rüzgar hız atmosferik parametresi ile anlık nem akış parametresi arasındaki ilişki incelenmiştir. Vektörel rüzgar hızı WRF modelinden sağlanmıştır. Elde edilen saatlik veriler Türkiye bölgesi için gün bazında ortalaması alınmıştır. ERA5 anlık nem akış verileri uygun parametreler ile düzenlendikten sonra SPSS Programı ile regresyon analiz ilişkileri incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda iki atmosferik parametre arasında yaklaşık %53 oranında ilişki gözlemlenmiştir.



5. TARTIŞMA

Tymvios ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, GFS verilerini kullanarak WRF modeli ile atmosferik parametreler tahmin edilmiştir. 3'er saatlik zaman aralığında 10 metre dikey yükseklikte veri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre vektörel rüzgar hız değeri 0 - 8 m/sn arasında değişimi incelenmiştir. 12-13 Temmuz tarihleri arasında yapılan analiz sonuçları ile Akdeniz Bölgesi'nde 8 noktada alınan ölçüm verilerini kıyaslamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre her iki veri seti arasında %70 benzerlik gözlemlenmiştir. İki çalışma arasında oluşan farklılıklar, zaman ve alan skalalarının farklı olmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir [46].

Efe ve arkadaşlarının 2021 yılında yapmış olduğu çalışmada, 25 Ekim 2010 tarihinde 3 gün zaman aralığında WRF Modeli ile rüzgar tahmin modeli oluşturmuşlardır. Çalışmaları 0,25 derece ulusal çözünürlükte ve 3'er saatlik periyotlarda veri alacak şekilde yapılmıştır. ECMWF veri seti ile oluşturdukları modelde Manisa ili üretim değerlerini ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre model verileri ve ölçüm değerleri arasında %67 oranında ilişki elde edilmiştir. İki çalışma arasında oluşan değer sapmaları zamansal-alansal çözünürlüklerden ve kullanılan veri seti farklılığından kaynaklandığı düşünülmüştür [47].

Şahin ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada, WAsP Modeli ile 1997-2001 tarihleri arası, Samandağ bölgesinde rüzgar hızını modellemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar 10 metre dikey yükseklikte ortalama rüzgar hızının 4- 5 m/sn arasındaki değişimini incelemişlerdir. İki çalışma arasında benzer değerler görülse de çalışmaların zamansal farklılıkları elde edilen sonuçlarda nispeten sapmalar göstermiştir [48].

Tanç ve arkadaşlarının 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada, Hatay- Antakya bölgesinin rüzgar hızı tahmini yapılmıştır. Çalışmalarında WAsP modeli kullanılmıştır. Elde ettikleri sonuçlarda Ekim ayında 10 metre dikey yükseklikte rüzgar hız değerini yaklaşık 2,5 m/sn olarak hesaplamışlardır. İki çalışma arasındaki farklılıklar zaman, alan ve model farklılıklarından kaynaklı olabileceği düşünülmüştür [49].

Mert ve arkadaşları 2014 yılındaki çalışmalarında Hatay ili Antakya ilçesinde rüzgar hız parametresinin 2002-2009 yılları arasında tahmini yapılmıştır. Veri analizi Weibull ve Log-

normal metotları ile elde edilmiştir. 8 yıllık periyotta Ekim ayı boyunca ortalama vektörel rüzgar hız değeri 2-3 m/sn aralığında tespit edilmiştir. Elde edilen veri sonuçları ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda iki değer arasında %98 oranında benzerlik elde edilmiştir. Çalışmamızda kullanmış olduğumuz GFS verileri, zaman ve alan farklılıkları iki çalışma arasında oluşan değer sapmasının sebebi olabileceği öngörülmüştür [50].

Tez kapsamında Balıkesir, Manisa ve Hatay bölgelerinde 10 metre dikey yükseklikte ortalama vektörel rüzgar hız değerleri analiz edilmiştir. Veri analizi 2019 yılının Ekim ayı boyunca elde edilmiştir. Elde edilen model analizlerine göre ortalama vektörel hız değerleri; Balıkesir ilinde 2,5, Manisa ilinde 3,1 Hatay ilinde 3,5 m/sn değerleri gözlemlenmiştir. Hatay ilinden alınan ölçüm verileri ile model verileri arasındaki ilişki %93 oranında gözlemlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapmış olduğumuz tez çalışmasında, Türkiye'nin 2019 yılı Ekim ayı boyunca sıcaklık ve vektörel rüzgar hız değerleri üzerinde analizler yapılmıştır. Atmosferik model olarak WRF (Weather Research and Forecasting) Modeli'nin 3.8 versiyonu kullanılmıştır. Atmosferik parametreler, Küresel Tahmin Sistemi (GFS) verileri ile elde edilmiştir. Veriler uygun fiziki şartlarda yapılandırılmıştır. Kullanmış olduğumuz modelde atmosferik parametreler bir gün önceden tahmin edilebilmektedir. Model verileri 3'er saatlik periyotlarda 0,25 derece çözünürlükte hava tahmin simülasyonu imkânı sunmuştur. Balıkesir, Manisa ve Hatay illerinde vektörel rüzgar hızının alansal ve zamansal analizi yapılmıştır.

Elde ettiğimiz vektörel rüzgar hız ve sıcaklık parametrelerinin günlük ortalaması Türkiye bölgesi için hesaplanmıştır. Yağış ve nem verileri ERA5 veri setinden 2019 yılı Ekim ayı boyunca temin edilmiştir. Sıcaklık, yağış ve nem gibi atmosferik parametrelerin rüzgar hız üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda rüzgar hız parametresinin anlık nem akışı ile ilişkisinin sıcaklık ve yağış parametrelerine kıyasla daha çok ilişkili olduğu gözlemlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında Türkiye'nin Ekim 2019 yılı boyunca ortalama sıcaklık değeri modellenmiştir. Model verileri sonucunda ortalama sıcaklık verileri Türkiye'nin güney kıyı kesimlerinde yüksek, Doğu Anadolu kesimlerinde düşük değerler elde edilmiştir. Ortalama sıcaklık skalası bir aylık süreçte 0-30 °C arasında değişimi gözlemlenmiştir.

Yapılan analizlerde bir diğer çalışma, vektörel rüzgar hız verilerinin modellenmesi olmuştur. Sonuçlar 3'er saatlik periyotlar ile alınmıştır. Model sonuçları aylık zaman aralığında ortalaması alındıktan sonra Ekim 2019 ayı boyunca vektörel rüzgar hızı haritalandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin Ege, Akdeniz ve Marmara Bölgeleri'nin kıyı kesimlerinde rüzgar hızı değerinin elektrik üretimi için elverişli noktaları belirlenmiştir.

Balıkesir ili için yapılan atmosferik parametre modeli ile vektörel rüzgar hızının alansal dağılımı ve günlük ortalama rüzgar hızı değerlerine ulaşılmıştır. Yapılan analiz sonucunda 10 metre dikey yükseklikteki rüzgar hızının vektörel değeri 1 ile 5 m/sn arasındaki değişimi gözlemlenmiştir.

Manisa ili için elde edilen atmosferik parametre modeli ile vektörel rüzgar hız değerlerinin Ekim 2019 tarihleri boyunca alansal değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Manisa bölgesinin yüksek hız potansiyeline sahip alanları tespit edilmiştir ve vektörel hız değerleri gözlemlenmiştir. Analiz verilerine göre 10 metre dikey yükseklikteki vektörel rüzgar hızı değeri 2019 yılının Ekim ayı boyunca 0,8 ile 6 m/sn arasındaki değişimi gözlemlenmiştir.

Hatay ili için yapmış olduğumuz atmosferik parametre modeli ile vektörel rüzgar hızının alansal değişimi 2019 yılının Ekim ayı boyunca gözlemlenmiştir. Elde edilen veri analiz sonuçlarına göre Hatay bölgesinde rüzgar potansiyeli yüksek olan alanların tespiti yapılmıştır. Çalışmamız sonucunda Hatay ilinin 2019 yılı Ekim ayı boyunca ortalama vektörel rüzgar hız değeri 10 metre dikey yükseklikte 1,8 ile 5,9 m/sn arasındaki değişimi gözlemlenmiştir.

Hatay ili Samandağ ilçesinden ölçüm verileri alınmıştır. Alınan ölçüm verileri 80 metre kule yüksekliğinden elde edilmiştir. Model analizinden elde edilen vektörel rüzgar hız değerleri, ölçüm verilerinin referans yüksekliğine çıkarılmıştır. Her iki veriler ile üretilebilecek rüzgar gücü hesaplamaları yapılmıştır. Regresyon analizi ile iki değer arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen benzerlik ilişkisi %93 oranında gözlemlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre vektörel rüzgar hız değerleri Türkiye'nin kıyı kesimlerinde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda offshore rüzgar santrallerinden elektrik üretimi için atmosferik parametrelerin modellenmesi ortalama değer aralıklarını değiştirebileceği öngörülmektedir. Aynı zamanda akıntı hızı ve rüzgar hızının yüksek seyir ettiği noktaların atmosferik analizi yapılarak hibrit elektrik üretiminin elverişli olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Otero-Casal, C., Patlakas, P., Prósper, M. A., Galanis, G., ve Miguez-Macho, G. (2019). Development of a high-resolution wind forecast system based on the WRF model and a hybrid Kalman-Bayesian filter. *Energies*, 12(16), 3050.
2. Powers, J. G. (2007). Numerical prediction of an Antarctic severe wind event with the Weather Research and Forecasting (WRF) model. *Monthly Weather Review*, 135(9), 3134-3157.
3. Archer, C. L., Simão, H. P., Kempton, W., Powell, W. B., ve Dvorak, M. J. (2017). The challenge of integrating offshore wind power in the US electric grid. Part I: Wind forecast error. *Renewable energy*, 103, 346-360.
4. Davis, C., Wang, W., Chen, S. S., Chen, Y., Corbosiero, K., DeMaria, M., ve Xiao, Q. (2008). Prediction of landfalling hurricanes with the advanced hurricane WRF model. *Monthly weather review*, 136(6), 1990-2005.
5. Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., & Santos, C. (2012). A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. *Environmental Modelling & Software*, 33, 23-34.
6. Giannaros, T. M., Melas, D., ve Ziomas, I. (2017). Performance evaluation of the Weather Research and Forecasting (WRF) model for assessing wind resource in Greece. *Renewable Energy*, 102, 190-198.
7. Xu, W., Liu, P., Cheng, L., Zhou, Y., Xia, Q., Gong, Y., ve Liu, Y. (2021). Multi-step wind speed prediction by combining a WRF simulation and an error correction strategy. *Renewable Energy*, 163, 772-782.
8. Zhao, J., Guo, Z., Su, Z., Zhao, Z., Xiao, X., ve Liu, F. (2016). An improved multi-step forecasting model based on WRF ensembles and creative fuzzy systems for wind speed. *Applied Energy*, 162, 2016, 808-826.
9. Zhao, J., Guo, Y., Xiao, X., Wang, J., Chi, D., ve Guo, Z. (2017). Multistep wind speed and power forecasts based on a WRF simulation and an optimized association method. *Applied Energy*, 197, 183-202.
10. Ucar, A., ve Balo, F. (2009). Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations In Turkey. *Applied Energy*, 86(10), 1864-1872.
11. Yılmaz, U., Balo, F., ve Sua, L. S. (2019). Simulation framework for wind energy attributes with WasP. *Procedia Computer Science*, 158, 458-465.
12. Bilgen, S., Keleş, S., Kaygusuz, A., Sarı, A., ve Kaygusuz, K. (2008). Sürdürülebilir kalkınma için küresel ısınma ve yenilenebilir enerji kaynakları: Türkiye'de bir vaka çalışması. *Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji incelemeleri*, 12(2), 372-396.
13. IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O.

- Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (Eds.). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.*
14. İklimin. Enerji Politikalarının İklim Değişikliği ile Mücadeledeki Yeri. URL: <http://www.iklimin.org/wp-content/uploads/2019/12/Enerji-Politikalar%C4%B1n%C4%B1n-%C4%B0klim-De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi-ile-M%C3%BCcadeledeki-Yeri-M.-T%C3%BCl...pdf> Son Erişim Tarihi: 12.05.2021.
 15. Herzog, A. V., Lipman, T. E., ve Kammen, D. M. (2001). Renewable energy sources. Encyclopedia of life support systems (EOLSS). *Forerunner Volume- Perspectives and overview of life support systems and sustainable development*, 76.
 16. Bulut, Ü., ve Muratoğlu, G. (2018). Renewable Energy in Turkey: Great potential, low but increasing utilization, and an empirical analysis on renewable energy-growth nexus. *Energy Policy*, 123, 240-250.
 17. Ackermann, T., ve Der, L. S. (2002). An overview of wind energy status 2002. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(1–2), 67-127.
 18. Price, T. J., ve Blyth, J.C. (2005). Britain's first modern wind power Pioneer. *Wind Engineering*, 29(3) (2005), 191-200.
 19. Anon. (1890). Mr. Brush's Windmill Dynamo. *Scientific American*, 63(25), 54.
 20. Government of the Cooperative Republic of Guyana. (2018). Update of The Study on System Expansion of The Generation System. Final Report. URL: <https://nre.gov.gy/wp-content/uploads/2021/04/Update-of-the-study-on-system-Expansion-of-the-Generation-System-min.pdf> Son Erişim Tarihi : 26.05.2021
 21. Drewry, M. A., ve Georgiou, G. A. (2007). A review of NDT techniques for wind turbines. *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 49(3), 137-141.
 22. Babu, K. S., Raju, N. S., Reddy, M. S., ve Rao, D. N. (2006). The material selection for typical wind turbine blades using a MADM approach & analysis of blades. *Multiple Criteria Decision Making (MCDM-2006)*, 1-12.
 23. Wikipedia. World energy resources and consumption. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption Son erişim tarihi : 13.05.2021
 24. Ackermann T., ve Söder, L. (2000). Wind energy technology and current status: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(4), 315-374.
 25. Balat, M. (2009). A review of modern wind turbine technology. *Energy Sources, Part A*, 31(17), 1561-1572.

26. Nayar, C. V., Islam, S. M., Dehbonei, H., Tan, K., ve Sharma, H. (2011). Power electronics for renewable energy sources. In *Alternative Energy in Power Electronics* (pp. 1-79). Butterworth-Heinemann.
27. Bahrami, A., Teimourian, A., Okoye, C. O., ve Shiri, H. (2019). Technical and economic analysis of wind energy potential in Uzbekistan. *Journal of cleaner production*, 223, 801-814.
28. Ackermann, T., ve Söder, L. (2002). An overview of wind energy-status. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), 67-127.
29. Global Wind Energy Council. (2017). Global Wind Report: Annual Market Update 2017. URL: <https://tureb.com.tr/eng/lib/uploads/8cdea4106415aba8.pdf>
30. Şenol, Ü. (2017). Rüzgar enerjisi ve rüzgar enerjisi potansiyelinin yapay sinir ağları yöntemiyle tahmini. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
31. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği. (2019). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu: Temmuz 2019. URL: <https://tureb.com.tr/lib/uploads/4e77501b714739a9.pdf>
32. Çetintaş, H., ve BİCİL, İ. (2015). Elektrik Piyasalarında Yeniden Yapılanma ve Türkiye Elektrik Piyasasında Yapısal Dönüşüm. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 2(2).
33. Yıldız, C., ve Şekkeli, M. (2016). Türkiye gün öncesi elektrik piyasasında rüzgar enerjisi ve pompaj depolamalı hidroelektrik santral için optimum teklif oluşturulması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(5), 361-366.
34. Şekkeli, M., Yıldız, C., Karık, F., ve Sözen, A. (2015). Türkiye elektrik piyasasında rüzgar enerjisi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 253-264.
35. Adıgüzel, F., Cetin, M., Kaya, E., Simsek, M., Gungor, S., ve Sert, E. B. (2020). Defining suitable areas for bioclimatic comfort for landscape planning and landscape management in Hatay. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 1493-1503.
36. Boulton, J. S., ve Whittaker, A. C. (2009). Quantifying the slip rates, spatial distribution and evolution of active normal faults from geomorphic analysis: field examples from an oblique-extensional Graben, Southern Turkey. *Gemorphology*, 104(3), 299-316.
37. T.C. Hatay Valiliği. Sosyal ve Coğrfi Durum. URL: <http://www.hatay.gov.tr/sosyal-ve-cografı-durum> Son Erişim Tarihi: 13.05.2021.
38. National Center for Atmospheric Research. Weather Research and Forecasting Model. URL: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model> Son Erişim Tarihi: 21.05.2021.
39. National Center for Atmospheric Research. ARW Users Guide. URL: https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/user_guide_V3.9/ARWUsersGuideV3.9.pdf Son Erişim Tarihi : 13.05.2021

40. Duda, M. (2012). The WRF Preprocessing System: Description of General Functions. *WRF Users' Tutorial*.
41. Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., ... ve Huang, X. Y. (2019). A description of the advanced research WRF model version 4. *National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA*, 145.
42. Zittis, G., Hadjinicolaou, P., ve Lelieveld, J. (2014). Comparison of WRF Model Physics Parameterizations over the MENA-CORDEX Domain. *American Journal of Climate Change*, 3(5), 490-511.
43. NCAR Command Language (NCL). Overview of NCL. URL: <https://www.ncl.ucar.edu/overview.shtml> Son Erişim Tarihi: 13.05.2021.
44. Dikmen, E., ve Örgen, F. K. (2018). Ağlasun bölgesi için rüzgâr hızı tahmini ve en uygun türbin tespiti. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 871-879.
45. Ragheb, M., Ragheb, A. M. (2011). Wind turbines theory - the betz equation and optimal rotor tip speed ratio. *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*, 1(1),19-38.
46. Tymvios, F., Charalambous, D., Michaelides, S., ve Lelieveld, J. (2018). Intercomparison of boundary layer parameterizations for summer conditions in the eastern Mediterranean island of Cyprus using the WRF - ARW model. *Atmospheric Research*, 208, 45-59.
47. Tan, E., Menten, S. S., Unal, E., Unal, Y., Efe, B., Barutcu, B., Onol, B., Topçu, H. S., ve İncecik, S. (2021). Short term wind energy resource prediction using WRF model for a location in western part of Turkey. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13(1), 013303.
48. Şahin, B., Bilgili, M., ve Akilli, H. (2005). The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 93(2), 171-183.
49. Tanç, B., Mert, İ., Arat, H. T., Karakuş, C., ve Baltacıoğlu, E. (2014). Estimation of wind energy potential using wasp in hatay airport region. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, 2(2).
50. Mert, İ., Karakuş, C., ve Peker, F. (2014). Antakya bölgesi rüzgar karakteristiğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 5(1), 13-22.

DİZİN

A

Abstract · v

BBalıkesir · 15, 18, 27, 28,
40

Ç

çizelge · 21, 22

D

Deniz · 2, 26, 27, 28

F

formül · 23

GGiriş · 1
grafik · 14, 17
Gün Öncesi Piyasaları · 1,
13, 14

HHarita · 15, 16, 18
Hatay · 5, 6, 15, 16, 18, 25,
27, 30, 31, 32, 33

MManisa · 4, 5, 15, 18, 25,
27, 28, 29, 30, 39, 40
punto · 6, 9, 10, 18, 24, 25,
26

Rrüzgar · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9,
10, 11, 12, 13, 18, 19,
20, 21, 22, 23

WWRF · 1, 2, 3, 4, 5, 17, 18,
19, 20, 21, 22, 23, 31,
34, 36, 37, 38
WPS · 17, 18



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

