

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**İŞLETMELERDE RÜZGÂR ENERJİSİ DESTEKLİ ENERJİ
YÖNETİMİNİN FİZİBİLİTESİ**

Ünal YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi

İŞ VE MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

İş ve Mühendislik Yönetimi

OCAK 2023

T.C.
Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

İş ve Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

İŞLETMELERDE RÜZGÂR ENERJİSİ DESTEKLİ ENERJİ YÖNETİMİNİN FİZİBİLİTESİ

Tez Yazarı
Ünal YILMAZ

Danışman
Prof. Dr. Figen BALO

OCAK 2023
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İş ve Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	İşletmelerde Rüzgâr Enerjisi Destekli Enerji Yönetiminin Fizibilitesi
Yazarı:	Ünal YILMAZ
İlk Teslim Tarihi:	20.12.2022
Savunma Tarihi:	20.01.2023

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Figen BALO Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	İmza Onayladım
Başkan:	Dr. Öğr. Üyesi Hasan POLAT Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi	Onayladım
Jüri:	Prof. Dr. Hasan BAYINDIR Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “İşletmelerde Rüzgâr Enerjisi Destekli Enerji Yönetiminin Fizibilitesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

20.01.2023

Ünal YILMAZ



ÖNSÖZ

İşletmelerde Rüzgâr Enerjisi Destekli Enerji Yönetiminin Fizibilitesi konu başlıklı tez çalışmasında günümüz teknolojisinin getirdiği yenilikler arasında kurulacak rüzgâr çiftliğinin ön fizibilite çalışmasının mevcut paket program ile analiz edilebilirliği yapılacak çalışmanın daha güvenilir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Uygun mühendislik çalışmaları sayesinde hesaplamaların analiz programları eşliğinde gerçeğe uygunluğu yapılacak olan çalışmaları pratiğe dökülecektir.

Tez çalışmamda beni yönlendiren, yardım, destek ve zamanını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Figen BALO' ya teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Ünal YILMAZ
ELAZIĞ, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. RÜZGÂR ENERJİSİ	11
2.1. Rüzgâr Ölçümü	11
2.1.1. Beaufort Rüzgâr Skalası	12
2.2. Türkiye de Rüzgâr Enerjisi Durumu	13
2.3. Rüzgâr Haritaları	14
2.4. Türkiye Rüzgâr Haritaları	14
3. RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN TESPİTİ	17
3.1. Türbine Göre Rüzgâr Enerjisi Hesabı	17
3.2. Rüzgâr Enerjisini Etkileyen Faktörler	18
3.3. Rüzgâr Şiddeti ve Yönü	18
3.4. Rüzgâr Değerlendirmeleri	20
3.4.1. Weibull Dağılımı	20
3.4.2. Rayleigh Dağılımı	20
3.4.3. Rüzgâr Gülü	21
3.4.4. Rüzgâr Gücü	21
3.5. Rüzgâr Türbinleri	23
3.5.1. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	25
3.5.2. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri	25
3.5.3. Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri	26
4. RÜZGÂR ÇİFTLİĞİ TASARIMI İÇİN GEREKLİ PARAMETRELERİN İNCELENMESİ	27
4.1. Kurulacak Rüzgâr Çiftliği bölgesindeki rüzgârın hızının incelenmesi	27
4.2. Enerji Üretiminin İncelenmesi	27
4.3. Gürültü değerlerinin incelenmesi	27
4.4. Elektriksel altyapı çalışmaları	27
4.5. Çiftlik arazisi için yapılan ön çalışmaları	28
4.6. Ekonomik analiz	28
4.6.1. Rüzgâr Türbini Maliyeti	28
4.7. Teknik fizibilite ve mühendislik tasarımları	29
5. ANTAKYA, BATMAN, ÇANAKKALE, KARS VE SİVAS İÇİN WASP PAKET PROGRAMI İLE RÜZGÂR POTANSİYELİNİN TESPİTİ	30
5.1. WASP	30
5.1.1. WASP Hiyerarşisi	33

5.1.2. Antakya İçin WAsP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tespiti	38
5.1.3. Batman İçin WAsP ile Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tespiti	46
5.1.4. Çanakkale İçin WAsP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tespiti	53
5.1.5. Kars için WAsP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tespiti	62
5.1.6. Sivas için WAsP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tespiti	70
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
7. SONUÇLAR.....	82
KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

İşletmelerde Rüzgâr Enerjisi Destekli Enerji Yönetiminin Fizibilitesi

Ünal YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İş ve Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı

OCAK 2023, Sayfa: xiv + 86

Rüzgâr santralinin kurulumu ve işletimi için ön koşullar, yüksek enerji verimi ve erişilebilirliktir. Rüzgâr kaynağının bulunması, proje izinlerinin alınması, iletimi, bir enerji alıcısının güvence altına alınması ve finansmanı gibi engeller rüzgâr enerjisi geliştirme sürecini etkilemektedir. Son yıllarda fosil enerji kaynaklarının tüketilmesi ve dezavantajları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hem daha fazla dikkat çekmekte hem de bu konudaki çalışmalar daha önemli hale gelmektedir. Hem uygulanabilirliği hem de verimliliği açısından en popüler yenilenebilir enerji kaynaklarından biri rüzgâr enerjisidir. Son yıllarda rüzgâr enerjisi teknolojisiyle bağlantılı ekipmanlar ve farklı tasarımlar konusunda yoğun araştırmalar mevcuttur. Ayrıca bu konuda yatırımlar ve özellikle yapılan yatırımlara devlet destekleri de artmıştır. Türkiye’deki rüzgâr enerjisi diğer yenilebilir enerjiler kaynaklara göre daha yüksek potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada, belli bölgedeki bir işletmenin enerji yönetimi için rüzgâr enerjisinin kullanılabilirliği WAsP paket program destekli olarak tüm ekonomik, teknik çıktılarıyla araştırılacaktır. Enerji yönetimine olan katkısına ilişkin fizibilite çalışması sunulacaktır. Daha sonra söz konusu işletmenin başka 4 farklı ilde tasarlanması düşünüldüğünde Türkiye’de enerji yönetimi açısından hangi iklim bölgesinde daha fizibil olarak faydalanılabileceği tez çalışmasında sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr, Rüzgâr Çiftliği, Yenilenebilir Enerji, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT

Feasibility of Wind Power Supported Energy Management in Businesses

Ünal YILMAZ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Business and Engineering Management

JANUARY 2023, Pages: xiv + 86

The prerequisites for the installation and operation of the wind farm are high energy efficiency and accessibility. Barriers such as finding a wind source, obtaining project permits, transmission, securing an energy buyer and financing affect the wind energy development process. In recent years, the use of renewable energy sources has attracted more attention and studies on this subject have become more important due to less consumption of fossil energy sources and their disadvantages. One of the most popular renewable energy sources, both in terms of applicability and efficiency, is wind energy. In recent years, there has been intense research on equipment and different designs related to wind energy technology. In addition, investments and especially government support for investments have increased in this regard. Wind energy in Turkey has a higher potential than other renewable energy sources.

In this study, the usability of wind energy for the energy management of a business in a certain region will be investigated with all its economic and technical outputs with the support of a package program. A feasibility study regarding its contribution to energy management will be presented. Then, considering the design of the said business in another province, it will be presented in the thesis study in which climate zone it can be used more feasibly in terms of energy management in Turkey.

Keywords: Wind, Wind Farm, Renewable Energy, Sustainability

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Anemometre	11
Şekil 2.2 Rüzgâr Enerjisine Dayalı Kurulu Güç (MW)	13
Şekil 2.3 Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oran Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı	13
Şekil 2.4 Farklı Yükseklikteki Türkiye Rüzgâr Haritaları	15
Şekil 2.5 Türkiye Rüzgâr Haritası	15
Şekil 2.6 100 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hız dağılımı	16
Şekil 3.1 Rüzgâr Yönleri	19
Şekil 3.2 Türkiye'deki Rüzgâr Türbinlerinin Yerleşim Yerleri.....	23
Şekil 3.3 Modern yatay eksenli rüzgâr türbini	24
Şekil 3.4 Aşağı Saksonya, Almanya da Bir Rüzgâr Tarlası	24
Şekil 3.5 Yatay eksenli rüzgâr türbini	25
Şekil 5.1 WASP Site görüntüsü	30
Şekil 5.2 Arayüzden Yeni Çalışma Alan Seçimi	33
Şekil 5.3 WasP Başlangıç Arayüzü.....	35
Şekil 5.4 WASP Rüzgâr Datalarının Girildiği Ara Yüz.....	35
Şekil 5.5 Dataların programa girildiği bir sonraki ara yüz	36
Şekil 5.6 WASP Dataların Girildikten Sonraki Ekran Görüntüsü.....	36
Şekil 5.7 WASP Türbin ve Anemometrenin Ara Yüzde Gösterimi	37
Şekil 5.8 Hiyerarşideki hata arayüzünün gösterimi.....	37
Şekil 5.9 WASP Örnek Arayüzü	38
Şekil 5.10 36.236837 Kuzey Enlemiyle, 36.132912 Doğu Boylamı	39
Şekil 5.11 Antakya İzohipsli Dem Haritası	39
Şekil 5.12 Antakya WASP Anemometre Yeri	40
Şekil 5.13 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi	41
Şekil 5.14 Antakya maksimum ve minimum hız	42
Şekil 5.15 Antakya Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu	43
Şekil 5.16 Antakya Maksimum ve Minimum RIX [%].....	44
Şekil 5.17 Antakya için WASP Sonuç görüntüsü.....	45
Şekil 5.18 37.8636 Kuzey enlemiyle, 41.1562 Doğu boylamı	46
Şekil 5.19 Batman İzohipsli dem haritası	47
Şekil 5.20 Batman WASP Anomometre Yeri	48

Şekil 5.21 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi	48
Şekil 5.22 Batman Maksimum ve Minimum hız [m / s]	50
Şekil 5.23 Batman Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m ²]	51
Şekil 5.24 Batman Maksimum ve Minimum RIX [%]	52
Şekil 5.25 Batman için WAsP Sonuç görüntüsü	53
Şekil 5.26 40.141 Kuzey enlemiyle, 26.3993 Doğu boylamı	54
Şekil 5.27 Çanakkale İzohipsli Dem Haritası	55
Şekil 5.28 Çanakkale anemometre yeri	56
Şekil 5.29 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi	56
Şekil 5.30 Çanakkale Maksimum ve Minimum Hız [m / s]	58
Şekil 5.31 Çanakkale Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m ²]	59
Şekil 5.32 Çanakkale Maksimum ve Minimum RIX [%]	60
Şekil 5.33 Çanakkale için WAsP Sonuç görüntüsü	61
Şekil 5.34 40.606059 Kuzey Enlemiyle, 43.111878 Doğu Boylamı	62
Şekil 5.35 Kars İzohipsli Dem Haritası	63
Şekil 5.36 Kars Anemometre Yeri	64
Şekil 5.37 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi	64
Şekil 5.38 Kars Maksimum ve Minimum Hız [m / s]	66
Şekil 5.39 Kars Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m ²]	67
Şekil 5.40 Kars Maksimum ve Minimum RIX [%]	68
Şekil 5.41 Kars için WAsP Sonuç görüntüsü	69
Şekil 5.42 39.7437 Kuzey Enlemiyle, 37.002 Doğu Boylamı	70
Şekil 5.43 Sivas İzohipsli Dem Haritası	71
Şekil 5.44 Sivas Anemometre Yeri	72
Şekil 5.45 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi	72
Şekil 5.46 Sivas Maksimum ve Minimum Hız [m / s]	74
Şekil 5.47 Sivas Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m ²]	75
Şekil 5.48 Sivas Maksimum ve Minimum RIX [%]	76
Şekil 5.49 Sivas İçin WAsP Sonuç Görüntüsü	77

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Beaufort Rüzgâr İskalas	12
Tablo 2.2 Farklı seviyelerdeki rüzgârın gücü yoğunluğu ve hızı	14
Tablo 3.1 Rüzgâr şiddet ve yönlerine göre esme sayıları	19
Tablo 3.2 Rüzgâr şiddeti sınıfları yüzdeleri	23
Tablo 4.1 Büyük Güçlü Rüzgâr Türbinlerinde Maliyet Dağılımı (600kW üzeri)	28
Tablo 5.1 Dataların düzenlenmesi için gerekli yönler tablosu	32
Tablo 5.2 Antakya Site Bilgisi	40
Tablo 5.3 Antakya Rüzgâr Yönleri	41
Tablo 5.4 Antakya Histogram kutuları	41
Tablo 5.5 Antakya Barometrik Referans bilgisi	42
Tablo 5.6 Antakya Ortalama Hız [m / s]	42
Tablo 5.7 Antakya Güç Yoğunluğu [W / m ²]	43
Tablo 5.8 Antakya RIX [%]	44
Tablo 5.9 Antakya Site rüzgâr iklimi	44
Tablo 5.10 Antakya Site sonuçları	45
Tablo 5.11 Batman Site Bilgisi	47
Tablo 5.12 Batman Rüzgâr Yönleri	48
Tablo 5.13 Batman Histogram kutuları	49
Tablo 5.14 Batman Barometrik Referans bilgisi	49
Tablo 5.15 Batman Ortalama Hız [m / s]	50
Tablo 5.16 Batman Güç Yoğunluğu [W / m ²]	51
Tablo 5.17 Batman RIX [%]	51
Tablo 5.18 Batman Site rüzgâr iklimi	52
Tablo 5.19 Batman Site sonuçları	52
Tablo 5.20 Çanakkale Site Bilgisi	55
Tablo 5.21 Çanakkale Rüzgâr Yönleri	57
Tablo 5.22 Çanakkale Histogram kutuları	57
Tablo 5.23 Çanakkale Barometrik Referans bilgisi	58
Tablo 5.24 Çanakkale Ortalama Hız [m / s]	58
Tablo 5.25 Çanakkale Güç Yoğunluğu [W / m ²]	59
Tablo 5.26 Çanakkale RIX [%]	59

Tablo 5.27 Çanakkale Site Rüzgâr İklimi	60
Tablo 5.28 Çanakkale Site Sonuçları	60
Tablo 5.29 Kars Site Bilgisi	63
Tablo 5.30 Kars Rüzgâr Yönü	65
Tablo 5.31 Kars Histogram kutuları	65
Tablo 5.32 Kars Barometrik Referans bilgisi	65
Tablo 5.33 Kars Ortalama Hız [m / s]	66
Tablo 5.34 Kars Güç Yoğunluğu [W / m ²]	67
Tablo 5.35 Kars RIX [%]	67
Tablo 5.36 Kars Site rüzgâr iklimi	68
Tablo 5.37 Kars Site sonuçları	68
Tablo 5.38 Sivas Site Bilgisi	71
Tablo 5.39 Sivas Rüzgâr Yönü	73
Tablo 5.40 Sivas Histogram kutuları	73
Tablo 5.41 Sivas Barometrik Referans bilgisi	73
Tablo 5.42 Sivas Ortalama Hız [m / s]	74
Tablo 5.43 Sivas Güç Yoğunluğu [W / m ²]	74
Tablo 5.44 Sivas RIX [%]	75
Tablo 5.45 Sivas Site Rüzgâr İklimi	76
Tablo 5.46 Sivas Site Sonuçları	76
Tablo 6.1 Bölgelerin Rüzgâr durumları	78
Tablo 6.2 5 Farklı Yerin Farklı Yükseklikteki Toplam Rüzgâr Gücü	80

KISALTMALAR

A	:Ölçek parametresi
E _k	:Kinetik Enerji
Eu.	:Birim zamanda üretilen rüzgâr enerjisi
f(u)	:Rüzgâr şiddeti frekansı
H	:Yükseklik
H	:Hacim
GW	: Gigawatt
K	:Boyutsuz şekil parametresi
M	:Hava kütlesi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MW	: Megawatt
p	:Havanın yoğunluğu
p _(w,a)	:Yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluk
P	:Basınç
REPA	: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
T	:Sıcaklık
TÜREB	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
U	:Rüzgâr yönündeki uzunluk
u	:Rüzgâr şiddeti
V	:Hız
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
α	:Pürüzlülük katsayısı

1. GİRİŞ

Günümüz şartlarında kalkınmak ve insanların refah seviyesini yükseltmek için enerji üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Türkiye enerji açısından son yapılan enerji arayışlarıyla birlikte yaklaşık olarak %68 dışa bağımlı bir ülkedir. Bu yönden enerji arz talebimizi karşılamak için bir taraftan üretim yaparken diğer taraftan da enerji yoğunluğunu azaltmak için sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Son dönemlerde fosil temelli yakıtların gitgide azalması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak amacıyla yapılan araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Rüzgâr enerjisinin önemli parametreleri, proje konumu, kaynak potansiyeli, güç sistemi evrimi etkileşimleri ve şebeke operatörlerinin değişken üretimini yönetmek için değerlendirilebilir konumdaysa özellikle rüzgâr çiftliği kurulum maliyetlerinin devlet tarafından aldığı desteklerde hesaba katılarak düşünüldüğünde son yılların en popüler enerji kaynaklarından biri olduğu açıktır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde gelişime en açık enerji üretim sistemi rüzgâr enerjisidir. Türkiye Rüzgâr Atlasına göre Çanakkale, Marmara, Ege Bölgesinde; Manisa, İzmir, Doğu Akdeniz bölgesinde Hatay rüzgâr santrallerinin yoğun olduğu yerlerdir.

Bu çalışmada, Türkiye’de rüzgâr enerjisinin yoğun olduğu bölgeler araştırılarak belirlenen örnek illerden Antakya, Batman, Çanakkale, Kars ve Sivas için rüzgâr enerji potansiyeli WAsP paket programı kullanılarak tespit edilmiştir.

Rüzgâr gücünden elektrik üretimi, teknolojik gelişmelerle birlikte ekonomik olarak Türkiye enerjisine pozitif yönde katkı sağlayabilecek kapasitededir [1]. Türkiye’nin enerji açısından en büyük hedeflerinden birisi 2023 yılına kadar 20 GW ve üzeri kapasitede rüzgâr enerjisi destekli üretim yaparak Avrupa’daki önemli rüzgâr pazarına girebilmektir.

Rüzgâr gücü geçmişten günümüze binlerce yıldır insanlar tarafından kullanılmaktadır. Rüzgâr gücünden ilk olarak yel değirmeleri aracılığıyla yararlanılmıştır. Daha sonra su pompalama sistemlerinde, denizlerde yelkenli teknelerin hareket ettirilmesinde kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisinden yararlanmak için ilk olarak düşey eksenli sistem kullanılmıştır. Daha sonra Avrupa tarafından geliştirilerek piyasada yer alan yatay eksenli sistemler kullanılmıştır [2].

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında ülkemizde büyük bir potansiyele sahip olduğundan, bu alanda çalışma yapmak isteyen özel kuruluşların sayısı da sürekli artmaktadır. Bilir, İmir, Devrim ve Albostan’ın (2015) Atılım Üniversitesi kampüsünün bulunduğu Ankara’nın İncek bölgesinde yaptığı bir çalışmada, Atılım Üniversitesi kampüsündeki alanın hız karakteristiği bulabilmek için ölçüm istasyonu bölgesinde 20 m ve 30 m yüksekliklere rüzgâr hızı tespit cihazları kurulmuştur. Veriler 1 dakika ortalama olarak alınmıştır. Her yükseklikte de toplanan rüzgâr verileri kullanarak formüller türetilmiştir. Rüzgâr potansiyelini belirlemek için on iki ay boyunca Weibull parametreleri belirlenmiştir. Weibull parametreleri yardımıyla elde edilen rüzgâr hızının hesaplamaları yapılmıştır [3].

Türksoy (1995) yaptığı bir çalışmada Ege Denizi'nin Kuzeydoğu bölgesindeki Bozcaada Meteoroloji istasyonundan alınmış on üç yıllık rüzgâr verilerine göre rüzgâr enerjisinin potansiyelini hesaplamıştır. Çalışmanın sonucunda Bozcaada'nın önemli bir rüzgâr potansiyeline sahip olduğu, ortalama rüzgâr hızının 6,4 m/s ve yerden yüksekliği 10 m olan 250 kW'lık bir rüzgâr türbini kullanılarak bölgenin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadaki gerekli hesaplamalar Rüzgâr atlası analizi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada ayrıca, elde edilen rüzgâr enerjisinin çevresel ve tekno-ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir [4].

Akpınar (2012) yaptığı bir çalışmada Kuzey Karadeniz'deki kıyı şehirleri boyunca mevcut rüzgâr enerjisi potansiyelini bulmaya çalışmıştır. Ve altı il (Sinop, Samsun, Ordu, Giresun, Trabzon ve Hopa) için, 9 yıl boyunca 10 m yükseklikte rüzgâr hızı verileri ölçülmüştür. Yıllık ve mevsimlik frekans dağılımları ve baskın rüzgâr yönleri belirlenmiştir. Bu bölgenin aylık ortalama rüzgâr hızının 4,06 m/s ile 1.53 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir. Sinop'ta maksimum yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu 59.96 W/m² iken aynı yıl için maksimum yıllık ortalama rüzgâr enerjisi yoğunluğu 525.25 kWh/m² yıl olarak bulunmuştur. Hopa, Sinop ve Trabzon'un yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip oldukları ve diğer yerlerin potansiyellerinin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir [5].

Olaofe ve Folly (2012) tarafından yapılan çalışmada Güney Afrika'nın Darling şehrindeki rüzgâr enerjisi potansiyeline ulaşmak için bir ön çalışma yapılmıştır. Rayleigh dağılım modeli destekli olarak 50 m ve 60m yükseklikte iki rüzgâr türbini kurulması için 10 m, 50 m ve 70 m yükseklikte analiz yapmışlardır. Bu analiz için dört istatistiksel model (Weibull, Rayleigh, Gamma ve Lognormal) arasından yapılan fizibilite çalışması sonucunda Rayleigh modelini istatistikî rüzgâr santrali için en uygun model olarak seçmişlerdir. Bu çalışma, uzun vadeli enerji üretiminin analizini sunmuştur. Araştırılan sahada 50, 60 ve 70 m yüksekliğe yerleştirilen rüzgâr türbinleri için gelişmiş alan güç eğrilerinden faydalanılmıştır [6].

Balo ve Uçar (2010) uzun süreli meteorolojik verileri kullanarak Türkiye'nin kıyı bölgelerinde rüzgâr elektrik üretimini değerlendirerek rüzgâr enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada 10 yıllık bir süre boyunca rüzgâr hızı değişkenliğine göre rüzgârın özellikleri ve dağılımı bulunabilmesi için olasılık fonksiyonu elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada enerjiyi optimize etmek için optimum rüzgâr enerjisi dönüştürme sistemi çıkarılmış ve elektrik üretim maliyetinin en aza indirgenmesi sağlanmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyelini tespit etmek için Weibull dağılımı kullanmışlardır [7].

Dong, Wang, Jiang ve Shi (2012)'nin yaptığı çalışmada, Çin'de İç Moğolistan için bir fizibilite çalışması yapmışlardır. Çin'in rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından uzun kıyı şeridi boyunca ideal bir arazi olduğunu saptamışlardır. Rüzgâr enerjisi kaynaklarının ön istatistiki sonuçlarına göre Çin'de 10 m yüksekliğinde kurulan ekipmanlarla 1 milyar kW' dan fazla enerji edilebileceğini belirtmişlerdir. Mevcut durum Çin'i dünyanın ilk sıralarında bulmasına neden

olmuştur. Rüzgâr enerjisi sektörünün gelişimi son zamanlarda hızlı olduğu için çok sayıda rüzgâr türbinleri Çin'de inşa edilmiştir. 2007'de toplam kurulu Rüzgâr kapasitesi 5 GW'lık hedefi aşmıştır. 2008'de ise Çin 6.3 GW'lık rüzgâr kapasitesini ekleyerek mevcut durumu 12.2 GW kapasiteye çıkardıklarını belirtmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca İç Moğolistan'ın Huitengxile bölgesinde 10 metre yükseklikte ortalama yıllık rüzgâr hızı 7,2 m / s ve 40 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgâr hızı 8,8 m / s olarak saptanmıştır. Yıllık rüzgâr enerjisi yoğunluğu 662 W / m² ve yıllık ortalama hava yoğunluğu 1,07 kg/m olarak tespit edilmiştir. 10 m ve 40 m yükseklikte etkili bir rüzgâr hızı 5-25 m/s 6255 saat ila 7293 saat arasında elde edilmiştir. Güçlü istikrarı, iyi kalıcılığı ve yüksek rüzgâr kalitesi bakımından bu alanın rüzgâr enerjisi için ideal bir yer olduğunu tespit etmişlerdir [8].

Topaloğlu ve Pehlivan (2018) yaptığı bir çalışmada Arapgir ilinin 10 m yükseklikte ve 10 dakika aralıklarla ölçülen ve OMGI 'den (Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu) alınan ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verilerini WAsP yazılımı ile analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde ortalama rüzgâr hızı 2,75 m/s, ortalama güç yoğunluğu 53 W/m², şekil parametresi 1.51 ve ölçek parametresi 4,2 m/s olarak bulunmuştur [9].

Mathew ve Mariappan (2014) tarafından yapılan çalışmada incelediği toplam yaklaşık 2209 km²'lik alanın 338 km² civarındaki alanının rüzgâr enerjisi sistemleri için uygun olduğunu belirtmiştir. Bu, alanın dışında rüzgâr enerjisi projeleri için kullanılamayacağı anlamına geldiğinden bahsetmiştir. Alanın rüzgâr kaynağı, şebeke altyapısı, arazi kullanımı/arazi örtüsü dikkate alınarak potansiyel arazi tahmini, çevre ve sosyo-ekonomik parametreleri belirtilmiştir. Böylece toplam alandan %15 civarında rüzgâr enerjisi için kullanılabilecek bir alan ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, ilgili tüm parametrelerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Araştırmacılar çalışmadaki metodolojinin tüm ülke için tahmin edilebilir nitelikte olduğunu belirtmiştir [10].

Warudkar, Sharma ve Ahmed (2018) tarafından yapılan çalışmada araştırılan bölgeye ait rüzgâr potansiyelini, 80 m göbek yüksekliğinde rüzgâr hızı verileri ile düşük güç ve düşük günlük modeli kullanarak tahmin etmiştir. Weibull parametresi gibi rüzgâr kaynağı parametrelerinin karşılaştırmalı analizine dayanarak sonuç çıkarılabildiğini vurgulamıştır. Orta Hindistan bölgesindeki bir saha için rüzgâr gücü yoğunluğu 10 m yükseklikte 29 W/m² ve 25m yükseklikte 78 W/m² civarında bulunmuştur. Tahmin edilen rüzgâr gücü yoğunluğu, güç kanunu ve log-low kullanılarak, 80 m yükseklikte rüzgâr gücü yoğunluğunun 120 W/m² olduğunu göstermiştir. Birkaç tane rüzgâr çiftliği verimi üzerinde minimum iz kaybı etkisi üreten bir rüzgâr çiftliğinin toplam kapalı alanı 650 dönüm olarak belirlenmiştir. WAsP tarafından 80 m a.g.l'de yıllık enerji çıkışı 31.083 GWh ve windPRO tarafından 28.082 GWh olarak bulunmuştur [11].

Khan, Theppaya ve Waweekun (2022) tarafından yapılan çalışmada sürdürülebilir ve çevre dostu paradigma kayması ile enerji kaynakları konusunda geçmişte ciddi tartışmalara yol açıldığını

belirtmiştir. Bir yandan artan nüfus ve teknolojik gelişmeler ile birlikte dünyanın enerji ihtiyacının artması ve kaynakların tükenmesiyle birlikte enerji açığı çıktığından dolayı yeni enerji kaynaklarının son derece önemli hale geldiğinden bahsetmişlerdir. Rüzgâr enerjisinin ekonomik ve hızlı büyüyen sürdürülebilir kaynak olarak ortaya çıktığı çalışmada vurgulanmıştır. Tayland'ın, yükselen ekonomik ve altyapı gelişmelerinden dolayı enerji gereksinimlerinde yıllar boyu önemli bir artış gördüğü ve katlanarak arttığı ön görülmüştür. Bu amaçla yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi için Tayland'ın kuzeydeki bazı şehirlerden rüzgâr enerjisi için uygun olan araziler analiz edilmiştir. Tayland'ın kuzey bölgelerinde meteoroloji istasyonlarında 3 yıllık veriler 10 m yükseklikte ölçülmüştür. Veri ölçümleri sırasında rüzgâr enerjisi analizi, rüzgâr hızı, rüzgâr gücü, rüzgâr yönü, rüzgâr sayısı araştırılmıştır ve WAsP simülasyon programında girdi olarak kullanılmıştır. Yedi bölgeden elde edilen verilerin arasında, Mae Sa Rieng ve Pha Yao bölgelerinden elde edilen sonuçlar özellikle daha önem arz etmektedir. Güç yoğunluk ve net AEP değerlerinin bu iki bölgede en yüksek değerlerde olduğu ölçülmüştür. Yedi bölge arasında, yıllık rüzgâr enerji yoğunluğu 300–400 W/m² arasında bulunmuş olup bu değerler Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği (EWEA) değerlemeleri dikkate alındığında iyi olarak sınıflandırılmıştır. Tayland'da bu alanlardan rüzgâr enerjisi verileri dikkate alınarak değerlendirildiğinde ve rüzgâr çiftlikleri aracılığıyla yenilenebilir enerji kullanımına yönelik çok önemli bir adım olabileceği rapor edilmiştir [12].

Sharma, Warudkar ve Ahmed (2018) tarafından yapılan çalışmada, kuvvet yasası için, sürtünme hızı-yüzey uzunluğu ve D&H modeli için Coriolis faktörü-ABL yüksekliği gibi saha yüzey parametrelerinin önceden değerlendirilmesinin gerektiğinden bahsetmiştir. D&H modelinin, güçlü rüzgâr koşulları için geliştirilmiş olsa da rüzgâr açısından tüm istikrarlı bölgeleri için kullanılabileceğini belirtmiştir. RMSE ve NRMSE değerlerinin 80m a.g.l. yüksekliğe kadar PL, LogL, Deaves ve Harris modeli için düşük seviyede elde edildiğini rapor edilmiştir. Hindistan koşullarında DH modelinin kullanılmasının iki sınırlama nedeniyle uygun olmadığı ifade edilmiştir. Rüzgâr hızı, basınç ve sıcaklık verileri minimum RMSE ve NRMSE değerleri sırasıyla 0.11 ve 0.01. PL olarak bulunmuş olup, tüm ekstrapolasyon aralıklarında ve tüm kararlılık kriterlerinde daha fazla doğruluk sergilemiştir. Rüzgâr hızı profili değişiminin tahmininde elde edilen bu değerler kullanılmıştır [13].

Luankaeo ve Wirawichakul (2017) tarafından yapılan çalışmada rüzgâr verileri kullanılarak Prince Songkla Üniversitesi (Hatyai kampüsü) bölgesindeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde meteoroloji istasyonundan ve WAsP'den alınan sonuçları değerlendirmiştir. Yıllık ortalama rüzgâr hız 3.86 m/s bulunmuştur. Beaufort Ölçeğine göre esinti rüzgârları yıllık ortalama rüzgâr enerjisi yoğunluğu 81W/m², Weibull'un şekil parametresi (k) 1.83 ve Ölçek parametresi 4.4 m/s olarak bulunmuştur. Rüzgârgülü, rüzgâr yönünün çoğunlukla %15 KD (Kuzey-Doğu) ve %15 K (Kuzey) yönünden geldiğini tespit etmiştir [14].

Djamaı ve Merzouk (2011) tarafından yapılan çalışmada Adrar bölgesinin rüzgâr potansiyeli Wasp yazılımı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen rüzgâr kaynakları haritası yardımıyla bulunan iki bölge (Kaaberten ve Zouia Kounta) için rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Rüzgâr enerjisi kaynakları açısından, rüzgâr haritaları Adrar bölgesinin rüzgâr enerjisi kurmak için en iyi yer olduğunu göstermiştir. Rüzgâr hızının 80 m a.g.l'de yaklaşık 9 m/s olduğu bulunmuştur. Sonuçlar ışığında, birinci bölgenin iz kaybının ikinci bölgeden daha büyük olduğu gösterilmiştir. Bu durumun, rüzgâr türbini jeneratörleri için ikinci bölgenin daha iyi bir konuma sahip olabileceği çalışmada belirtilmiştir. Her saha için net AEP hesaplanmıştır ve Z. Kounta sahasının net elektrik için uygun saha olduğu bulunmuştur. Yıllık üretimin yaklaşık 40 GWh ve tam yük saatinin yaklaşık 4040 saat olabileceğini belirlemişlerdir. Bölgenin bir rüzgâr çiftliği kurulmasını destekleyen tüm argümanlara sahip olduğu vurgulanmıştır [15].

Mohamed, Fadela ve Mounir (2015) tarafından yapılan bir çalışmada elektrik enerjisi üretimine yönelik bir rüzgâr çiftliğini fizibilitesi yapılmıştır. Cezayir'in güneybatısında Adrar vilayetinde yer alan bölgenin yenilenebilir enerji çeşitlendirilmesinin kullanılabilirliği olasılığına dikkat çekilmiştir. Bu çalışmada, WAsP ve GH WindFarmer yazılımları kullanılmıştır. Araştırılan saha için seçilen her rüzgâr türbininin konumunun optimum enerji verimliliğine ve sonuç olarak minimum iz etkisine sahip olmaya izin verecek şekilde yerleştirileceği alan belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede, Kaberten bölgesinde rüzgâr potansiyelini daha kesin bir şekilde tahmin etmek amaçlanmıştır [16].

Boudia, Berrached ve Bouri'nin (2016) tarafından yapılan çalışmada Cezayir'in kuzeyindeki Tlemcen bölgesi için rüzgâr enerjisi potansiyelini araştırılmıştır ve bölge de rüzgâr çiftliği kurulumu için ekonomiklik analizi yapılmıştır. Meteoroloji istasyonunda yerden 10 m yükseklikte elde edilen meteorolojik verilerle Weibull fonksiyonuna dayalı olarak, istatistiksel analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre Tlemcen'in düşük bir rüzgâr potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 2.42 m/s ve yıllık ortalama güç yoğunluk 49 W/m² olarak rapor edilmiştir. Aylık olarak yapılan araştırmada, en rüzgârlı ay olarak Nisan ayı öne çıkmıştır. Günlük rüzgâr hızı analizi yapıldığında, en iyi potansiyel gündüz saatlerinde elde edilmiştir. En iyi rüzgâr potansiyeline sahip bölge için yapılan fizibilite çalışmaları sonucunda güney bölgesi 800 kW'lık çıktıyı verebilecek alan olarak rapor edilmiştir. Elektrik üretimi için, nominal kapasite ile 23 rüzgâr türbini içeren bir rüzgâr santralinin yıllık net enerji üretimi 25.3 GWh olarak hesaplanmıştır. Ekonomik analiz sonucu, üretilen kWh başına elde edilen değer 0.0587 \$ olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, meteoroloji istasyonunda değerlendirilen nispeten düşük bir potansiyele rağmen, Tlemcen yaylalarının güney bölgesinin rüzgâr üretimi için uygun olabileceğinden bahsedilmiştir [17].

Başaran ve Tarhan (2022) yaptığı bir çalışmada enerji açığını gidermek için alternatif çözümlerin başında rüzgâr enerjisinden faydalanılmasının uygun olacağından bahsetmiştir.

Türkiye'nin açık deniz rüzgâr enerjisi için büyük potansiyele sahip bir ülke olduğunun altını çizmiştir. Çeşitli fizibilite çalışmaları yaparak, daha faydalı yatırım yapmak için açık deniz rüzgâr çiftliklerinin daha verimli olabileceğini bildirmiştir. Mevcut tahminlerine göre, kurulum maliyetlerinin teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak zaman içinde azalacağı çalışmada öngörülmüştür. Deniz yüzeylerinin pürüzlülüğü karadakinden çok daha az olduğundan açık deniz rüzgâr türbinleri ile daha yüksek enerji edilebileceği çalışmada vurgulanmıştır [18].

Fant, Gunturu ve Schlosser (2015) tarafından yapılan çalışmada MERRA verilerini kullanarak, rüzgâr haritası çıkardı ve rüzgâr hızını karakterize etmeye odaklanmıştır. Ancak rüzgâr enerjisi potansiyelini proje ölçeğinde analiz edememiştir. Tanzanya'nın merkezinde ortalama rüzgâr hızı veya ortalama WPD, kullanılabilirlik ve rüzgâr gücü gibi verilerin araştırıldığı çalışmada Güney Afrika'nın rüzgâr enerjisi güvenilirliğinin nasıl olduğunu anlamak için çeşitli zaman ölçeklerinde analizler yapılmıştır [19].

Bosch, Stafell ve D. Hawkes (2017) tarafından yapılan çalışmada karasal alandaki rüzgâr enerjisi potansiyellerini belirlemek için (GIS) tabanlı method kullanmıştır. Çalışmada dünyadaki hemen hemen her ülkenin belli bir rüzgâr potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır. Ancak rüzgâr potansiyelini belirlemede kapasite faktörü bantlarına ve zamana göre ayrıştırılmış mevsimsel ve günlük değişimleri yakalayarak, yüksek uzamsal çözünürlüklü rüzgâr hızı verilerinin kullanılmasını önerilmiştir. Yüksek çözünürlüklü rüzgâr veri setlerinde, $0,5 \pm 0,5$ mertebesinin, topografik nedenlerden dolayı rüzgâr hızı artırma etkilerinin yakalanmasında etkisiz olduğu gösterilmiştir. [20].

Werapun, Tirawanichakul ve Waewsak (2015) tarafından yapılan çalışmada Tayland'ın Phangan adasında ocak ayında deniz seviyesinden 120 m yükseklikten alınan rüzgâr hızı verilerine göre rüzgâr enerjisi potansiyelini Weibull dağılımı ile araştırmıştır [21].

Resen, Mahmood ve S. Nmr (2019) tarafından yapılan çalışmada rüzgâr enerjisinin temiz ve çevre dostu bir alternatif enerji kaynağı olduğundan bahsetmiştir. Al-Najaf vilayetindeki rüzgâr enerjisi potansiyelini tahmin etmek için WASP simülasyon modelini kullanmıştır. Rüzgâr verilerinin analizini yapabilmek için Al-Najaf'de bir meteoroloji kulesinden elde edilen gerçek veriler ve incelenmek üzere bir saha seçilmiştir. Türbin çiftliği kurulumunun analizi için 50 m yükseklikte yirmi dokuz ay boyunca aylık veriler toplanmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin tahmini için 65 m yükseklik seviyesine çıkarılarak ölçüm alınmıştır. Bu yükseklikte, Weibull parametreleri ortalama rüzgâr hızı 6,47 m/s, Weibull ölçek parametresi vshape parametresi sırasıyla 7.3 ve 2,38 olarak bulunmuştur. 50 m yükseklikte, güç yoğunluğu 224 W/m² olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla araştırılan alanın küçük rüzgâr türbinlerinin kurulması için uygun olabilecek bir lokasyonda olduğu rapor edilmiştir [22].

Rachier (2012) tarafından yapılan çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerji sistemlerindeki rolünden bahsetmiş ve rüzgâr enerjisi potansiyelini hesaplamak için çeşitli

programların geliştirilmesini ve uygulanmasını araştırmıştır. Dünyada ve özellikle Avrupa'da en yaygın kullanılan programlardan biri de Rüzgâr Atlası. RISO, Danimarka tarafından geliştirilen Analiz ve Uygulama Programı (WAsP) tan bahsetmiştir. Bu çalışmanın bir başka amacı da bir pompalama sistemine entegre edilmiş bir rüzgâr türbini ile elde edilen gerçek bir konumunda rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemektir. Ayrıca aynı bölge için WAsP programı kullanarak rüzgâr enerjisi potansiyelini hesaplamıştır. Yakındaki bir meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre bir yıl boyunca 10 kW'lık bir rüzgâr türbini tarafında, yıllık enerji üretimi, güç yoğunluğu, ortalama rüzgâr hızını bulmuştur. Yıllık üretilen enerji miktarı mevcut gerçek konum için- 9044 kWh olarak bulunmuştur [23].

Duric ve Mikulovic (2011) tarafından yapılan çalışmada rüzgâr hızı için ölçüm verilerinin dikey ekstrapolasyonu için bir matematiksel model kullanmıştır. Model, en küçük kareler yöntemine (LES) dayanmaktadır. Önerilen modelin en az üç ölçüm yüksekliğinde alınan veri setlerine uygulanması ile rüzgâr enerjisi potansiyelinin analiz edildiği yükseklikte sentetik bir veri seti elde edilmiştir. Temel fikir, rüzgâr enerjisi potansiyelinin tahmin edilmesi sürecinde ölçüm verilerinin önce önerilen yöntemle tahmin edilmesi ve ardından WAsP programı kullanılarak mekansal tahminin gerçekleştirilmesine dayandırılmıştır. Algoritma, üç lokasyonda alınan bir yıllık rüzgâr hızı ölçüm verileri ile test edilmiştir. Arazinin farklı topografyaları ve farklı iklim koşulları ile karakterize edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler, ölçüm verilerinin önerilen yöntemle önceden işlenmesinin daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Ölçüm yüksekliklerinden daha büyük bir yükseklikte rüzgâr gücü potansiyelinin tahminini kullanan WAsP programının ölçüm verilerini standart uygulaması tarafından elde edilenlerle karşılaştırıldığında bir ölçüm yüksekliğinde alınan rüzgâr hızının dikey profilinin zaman değişimi nedeniyle, dayalı rüzgâr enerjisi potansiyelinin dikey ekstrapolasyonu sadece bir yükseklikte gerçekleştirilen ölçümler sunmuştur. WAsP kullanarak rüzgâr enerjisi kaynağı değerlendirmesinde tüm alanlardan alınan ölçüm verileri kullanılmaktadır. Ölçüm yükseklikleri ve LES yöntemini uygulayarak tahmin edin rüzgâr hızının dikey profiline önerilen metodolojiyi uygulayarak, istenen bir sentetik ölçülen veri seti elde edilebilmiştir. Algoritma bir yıllık veri seti uygulanarak test edilmiştir. Farklı topografyalar ve yüksekliklerle karakterize edilen üç konum değerlendirilmiştir. Önerilen yöntemin standart bir metodolojiye göre temel avantajları, subjektif faktörlere bağlı olmamasıdır. Arazi engebелiliğinin nitelendirilmesi ve dikkate alınması rüzgâr kesme katsayısının günlük ve mevsimsel değişimleri, gerçekleştirilen testler, önerilen metodolojinin iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Orta ve kuvvetli rüzgârlar için sonuçlar, zayıf ve türbülanslı rüzgârlar için önemsiz ölçüde daha yüksek tahmin hatası ile sonuçlanmıştır [24].

Lange ve Hojstrup (2001) tarafından yapılan çalışmada açık deniz daha güvenli olduğundan rüzgâr kaynağı tahminleri için denizdeki alanların performans analizinde WAsP programını kullanmıştır. Bu çalışmada, WAsP programı sonuçları karşılaştırılarak karada ve denizde bazı

alanlar için kapsamlı bir şekilde doğrulanmıştır. Tahmin edilen rüzgâr enerjisi kaynakları, rüzgâr hızı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar yardımıyla WASP programı yardımı ile karşılaştırılmıştır. Atmosferik kararlılığın yanı sıra deniz yüzeyindeki pürüzlülüğün etkilerinin de hesaba katılmasının gerekliliği çalışmada vurgulanmıştır. Danimarka Baltık Denizi'nde devam eden ölçümlerden elde edilen veriler analiz edilmiş ve rüzgâr kaynağı ile yapılan tahminlerle karşılaştırılmıştır [25].

Romanic ve Parvu (2017) Kansas projesinde, insanlar ve hava durumu arasında sinerjik bir bağlantı kurmanın yanı sıra, sürdürülebilir kaynaklar için havayı kullanmanın farklı yolları olduğunu söylemiştir. Orta Kansas, Amerika Birleşik Devletleri'nin güneyinde yer almaktadır. Bu çalışma, birleştirilmiş rüzgâr ve kasırga klimatolojisi analizlerini sunmuştur. Bu modern gelişme için bir rüzgâr kaynağı değerlendirme çalışması ile rüzgâr analizleri yapılmıştır. Medicine Lodge'da bulunan hava istasyonundan ve 1984-2015 dönemi için rüzgâr verilerini kullanarak bu sahadaki ortalama yıllık rüzgâr hızı 10 m yükseklikte 4,45 m/s olarak elde edilmiştir. Ortalama yıllık rüzgâr hızları pozitifdir ancak istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. WASP simülasyonu, beş yükseklik ve beş referans için bölgesel rüzgâr atlasını hesaplamak için kullanılmıştır. Pürüzlülük uzunlukları, rüzgâr kaynağı ızgaraları, 50, 80, 100 ve 150 m'de iyi bir rüzgâr enerjisi potansiyeli sonuçlarını vermiştir. Ek olarak WASP performansı ile ilgili pürüzlülük ve topografik belirsizlikler ele alınmıştır. Eksiksiz rüzgâr ve kasırga klimatolojilerinin yanı sıra ayrıntılı modern bir rüzgâr kaynağı değerlendirme çalışması yapılmıştır. Güney Orta Kansas'ta (Medicine Lodge kasabasında) bulunan otomatik hava istasyonu kasırga klimatolojisi çalışması ABD tarafından yapılmıştır. Strom Prediction'dan elde edilen resmi kasırganın 10 m'deki ortalama rüzgâr hızı 4,45 m/s 'dir, en kuvvetli rüzgarlar Ocak ve temmuz aylarında meydana gelirken, en zayıf rüzgarlar Aralık da gözlenmiştir. İki hâkim rüzgâr sahasındaki yönler güney ve kuzeydir ve bu yönler aynı zamanda en güçlü rüzgarlarla da ilişkilendirilmiştir. İstatistiksel olarak önemsiz ancak yine de ortalama yıllık rüzgâr hızlarındaki olumlu eğilimler 1984-2015 dönemi için bulunmuştur [26].

Touafio ve Malenguzia (2019) Afrika kıtasının gelecekteki enerji ihtiyacını güvence altına almak ve çevreyi korumak için bir çalışma yapmıştır. Merkezdeki bu ilk çalışma türü için Afrika kıtası, rüzgâr enerjisi kaynaklarının değerlendirilmesi için Bangui şehrini seçerek WASP programını kullanmıştır. Bu proje için Weibull dağıtımını kullanarak iklim, topografya ve engebelilik üzerine farklı türde veriler toplanmıştır. Meteoroloji istasyonunun gözlemlenen rüzgâr iklimleri kullanılarak rüzgâr atlası hesaplanmıştır. Alan için, on adet VESTAS V82 türbininden oluşan bir tasarım yapılmıştır. Rüzgâr santralinin yıllık enerji üretimi her bir türbinden 1.65 MW verecek şekilde elde edilmiştir. Sonuçlar ayrıca toplam 10 yıllık temsili Weibull rüzgâr verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu şekilde hesaplanan yıllık enerji üretimi 42.626 GWh olarak rapor edilmiştir [27].

Touafio ve Sanda (2020) tarafından yapılan çalışmada rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi üzerine tekno-ekonomik analiz yapılmıştır. Orta Afrika Cumhuriyeti'nin batısındaki Bouar

kentindeki rüzgâr verileri 5 yıllık her 1 saatlik süre için tescil edilmiştir. Rüzgârın istatistiksel olarak işlenmesi için yerden 10 m yükseklikte ortalama rüzgâr hızı 3,41 m/s olarak bulunmuştur. Elde edilen veriler yazılım aracı olarak WAsP'nin kullanılması ile değerlendirilmiştir. Weibull'un istatistiksel parametreleri (şekil parametresi, k ve ölçek parametresi, c) logaritma kanunu kullanılarak ekstrapolasyonla belirlenmiştir. Ticarileştirilmiş bir aero jeneratör modeli Nordex N27-150 performansı belirlemek için kullanılmıştır. Kanada hükümeti tarafından sağlanan yazılım paketi ve diğer yandan PVC yöntemi (Mevcut Değer Maliyeti) kullanılarak, bölgedeki üretim maliyetinin yaklaşık 0,081 \$/kWh olduğu bulunmuştur [28].

Argin ve Yerci (2019) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyelinin keşfedilmesi için 55 kıyı bölgesi için rüzgâr verileri değerlendirilmiştir. Bu analizin ardından çok kriterli bir yer seçimi çalışması yapılmıştır. Açık deniz rüzgâr gelişimi için en uygun alanları belirlemek için Rüzgâr Atlası Analizi, uygulama için WAsP programı, daha sonra en verimli açık deniz rüzgâr çiftliği konumlarını belirlemek için istatistiksel analiz kullanılmıştır. Çerçevenin ön işleme aşamasına göre Bozcaada, Bandırma, Gökçeada, İnebolu ve Samandağ kıyı şeritlerinin açık deniz rüzgâr çiftliği gelişimi için en uygun yerler olduğu bulunmuştur. Son olarak, açık denizde Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli, rüzgâr türbinlerinin mikro-oturma konfigürasyonu kullanılarak tahmin edilmiştir. En uygun proje konumları için deniz derinliği, ana rüzgâr yönü ve kıyıya olan mesafe bulunmuştur. Belirtilen sahalardaki toplam tahmini açık deniz rüzgâr enerjisi kapasitesinin 1.629 MW olduğu tespit edilmiştir [29].

Fang (2014) tarafından yapılan çalışmada Tayvan'ın ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr gücü yoğunluğunu 10 m, 30 m ve 50 m'de değerlendirilmiştir. Orta ölçekli sayısal hava tahmini modelinin (MM5) simülasyonu ile sonuçları göstermiştir. Bu bölgenin enerji potansiyeli mükemmel olarak rapor edilmiştir. Araştırmacılar Tayvan'da offshore kuruluşunu teşvik etmek için fon teklif etmişlerdir. Bu çalışmanın amacı, WAsP kullanılarak Tayvanın batı kıyısı ve Penghu takım adalarının açık deniz alanı için yüksek çözünürlüklü bir rüzgâr enerjisi değerlendirmesi yapmaktır. Bu çalışma sonucu, temel girdiler, rüzgâr hava durumu verileri ve arazi verilerini içeren datalar, WAsP paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları, Changhua bölgesinin en iyi rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Changhua bölgesindeki mikro oturma çalışmasında 3 MW rüzgâr türbinlerinin kullanılabilirliği bildirilmiştir. Rüzgâr türbinlerinin tipi ve sayısı ile rüzgâr çiftliğinin düzeni belirlenerek ortalama net değerlendirme sonucu rüzgâr çiftliğinin yıllık enerji üretimi (AEP) yaklaşık 11.3 GWh olarak elde edildiği bildirilmiştir [30].

Onat ve Ersoz (2010) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de yasal düzenlemelerde yapılan değişiklikler sonucunda rüzgâr santrallerine yapılan yatırımların son beş yılda hızla arttığını belirtmiştir. Bu durum, ülkemizdeki rüzgâr potansiyeli mevcudiyetinin araştırılması için çeşitli bölgelerde yapılan analizlerin sayısında da artışa neden olmuştur. Bu çalışma, Türkiye'deki üç

bölgenin rüzgâr iklimi özelliklerini ve enerji potansiyellerini analiz etmektedir. Bu bölgelerdeki rüzgâr özelliklerini belirlemek için beş katmanlı MATLAB-Simulink yazılımı altında kurulan Sugeno tipi ANFIS modeli kullanılarak iklim değişkenleri değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, rüzgâr hızı verilerini kullanarak rüzgâr enerjisi potansiyel analizlerini tamamlamak için WASP yazılım kullanılmıştır. Son aşaması teknik olarak elde edilecek elektrik miktarının ve kapasite kullanımının hesaplanmasını içerecek şekilde çalışma yürütülmüştür. Sonuç olarak, rüzgâr ikliminin özellikleri ile Türkiye'deki üç bölge için rüzgâr enerjisi potansiyeli bilgisayar yazılım programları kullanılarak yapılan analizlerle sunulmuştur [31].



2. RÜZGÂR ENERJİSİ

Rüzgâr enerjisi, sürekliliği olan insanlara zararı olmayan temiz ve güvenilir bir kaynaktır. Yerkürede (kara, deniz ve havaküre)’de meydana gelen sıcaklık ve basınç farkları rüzgârın oluşmasına sebep olup, rüzgâr yüksek basınç ortamından alçak basınç ortamına doğru hareket etmesine neden olmuştur. Atmosferin içindeki değişik eğimlerin sonunda oluşan meteorolojik değişimlerin rüzgâr enerjisini hesaplamada birebir etkisi saptanmıştır. Kısaca rüzgâr enerjisi meteorolojik ve jeomorfolojik faktörlerin etkisiyle meydana gelmiştir ve bu iki faktör birbirinden tamamen bağımsız olduğu kesinleşmiştir. İkisinden aynı anda etkilenemeyeceği saptanmıştır. Daha ziyade yer yüzeyinin düz olduğu yerlerde atmosferin içinde oluşan sıcaklık farkları ve basınç farkları rüzgâr enerjisinin mikro ve makro düzeyde değişmesine neden olmuştur. Jeomorfolojik faktörlerin uzaysal ya da alansal olup zamansal olmadığı anlaşılmıştır [32]. Atmosfer, basınç farkı nedeniyle sürekli hareket halindedir. Birbirine yakın iki merkezde sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek ilk hareket rüzgârın oluşumudur. Rüzgârdan enerji üretiminde yerel rüzgârların etkisinden söz edilebilir [33].

2.1. Rüzgâr Ölçümü

Rüzgârın zamanla değişebilmesi rastgele değildir. Rüzgâr rastgele olmayan bileşenleri sayesinde tahmin edilebilir. Rüzgâr istatistik olarak tahmin edilebilir. Rüzgâr ölçümü genellikle Şekil 2.1 de gösterildiği gibi anemometre ile yapılır.



Şekil 2.1 Anemometre

Rüzgâr hızını ve yönünü belirlemede en iyi yöntem türbin göbeğinin yüksekliğinde ölçüm yapabilmektir. Anemometre mevcuttaki direğin en üstüne konduğunda, direktten kaynaklanan akımdan etkilenmez. Şayet direğin yanına kurulursa kulenin rüzgâra yapacağı gölgelenme en aza indirilmelidir. Hava şartları soğuksa ısıtılmalı anemometre kullanılmalıdır. Ölçümler 10 dakika ile 60 dakika aralığında yapılmaktadır. Rüzgâr hız ve yön olarak iki değişkenle ölçülebilir. Normal şartlarda rüzgârın hızı, yönü ve hamlesi aletlerle ölçülür, aletlerin yeterli olmadığı yerlerde ise rüzgâr ölçümünde beaufort ölçeği kullanılır [33].

2.1.1. Beaufort Rüzgâr Skalası

Meteorolistler hava tahminlerini yapabilmek için verileri, hava alanlarından ve meteoroloji istasyonlarından alırlar. Rüzgâr hızı, çevre arazisinin pürüzlülüğünden ve arazi eğiminden etkilenir. Bazen sadece meteorolojiden alınan verilerin doğrudan kullanımı, bölgedeki gerçek rüzgâr potansiyelinin altında tahmin yapmasına neden olabilir [33]. Tablo 2.1 de Beaufort rüzgar Iskalası gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Beaufort Rüzgâr Iskalası

BEAUFORT (BOFOR) RÜZGÂR ISKALASI

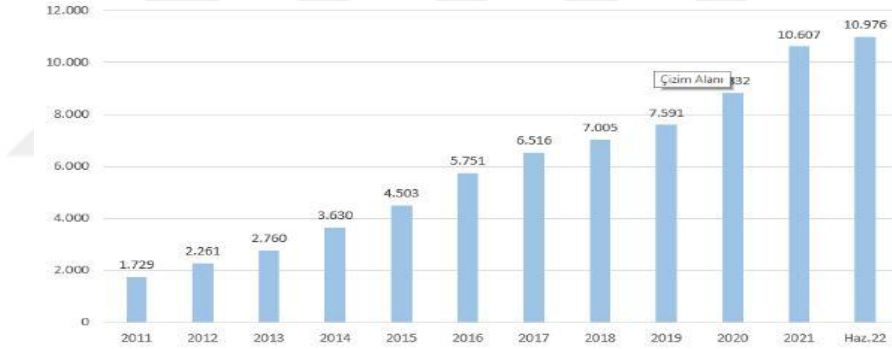
Rüzgârın Tanımı	Açık ve Düz Alanda 10 m. Yükseklikteki Tanımlanmış Rüzgâr Hız Sınırları				Rüzgârın Yapdığı Etki			Yaklaşık (takribî) Dalgâ Yüksekliği		
	Knot	m/sn	Km/h	mph	Karada	Denizde	Kyda	m	ft.	%
0	Sakin	1	0-0,2	1	1	Dinlenir, dalgâ düşüktür.	Sakin.	0,1	•	•
1	Esinti	1-3	0,3-1,5	1-5	1-3	Çok küçük dalgâlar, az biriken ve köpüksüz (su altında belki çok azı buharlı).	Büyük, tenkeli hafif salınır.	0,2 (0,3)	•	1/4 (1)
2	Hafif Rüzgâr	4-6	1,6-3,3	6-11	4-7	Küçük dalgâlar, buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	0,4 (1)	•	2 (3)
3	Telli Rüzgâr	7-10	3,4-5,4	12-19	8-12	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	1 (1,5)	•	3,5 (5)
4	Orta Rüzgâr	11-16	5,5-7,9	20-28	13-18	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	2 (2,5)	•	6 (8,5)
5	Sert Rüzgâr	17-21	8,0-10,7	29-38	19-24	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	3 (4)	•	9,5 (13)
6	Kuvvetli Rüzgâr	22-27	10,8-13,8	39-49	25-31	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	4 (5,5)	•	13,5 (19)
7	Fırtına Rüzgâr	28-33	13,9-17,1	50-61	32-38	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	5,5 (7,5)	•	18 (25)
8	Fırtına	34-40	17,2-20,7	62-74	39-46	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	7 (10)	•	23 (32)
9	Kuvvetli Fırtına	41-47	20,8-24,4	75-88	47-54	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	9 (12)	•	29 (41)
10	Tam Fırtına	48-55	24,5-28,4	89-102	55-63	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	11,5 (16)	•	37 (52)
11	Çok Şiddetli Fırtına	56-63	28,5-32,6	103-117	64-72	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	14 <	•	45 <
12	Halkların (Orkan)	64 ve daha fazla	32,7 ve daha fazla	71 ve daha fazla	-	Dalgâlar buca, buca dalgâları. Dalgâ tepeleri dalgâların yarısından birazcık yüksektir.	Rüzgâr tenkeli orta salınır.	-	•	-

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Knot} &= 1,852 \text{ km/saat} = 1 \text{ denizmil/saat (nm/h)} \\
 1 \text{ Knot} &= 0,514 \text{ metre/saniye (m/sec)} \\
 1 \text{ km/saat} &= 0,277 \text{ metre/saniye} = 0,54 \text{ knot} \\
 1 \text{ metre/saniye} &= 3,6 \text{ km/saat} = 1,945 \text{ knot}
 \end{aligned}$$

2.2. Türkiye de Rüzgâr Enerjisi Durumu

Türkiye'de yerden 50 metre yükseklikte 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızına sahip kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği ön görülmüştür. Bu kabuller ışığında 2007 yılında, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır dolayısıyla rüzgâr enerjisi potansiyeli Türkiye’de 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyel Türkiye’nin toplam yüz ölçümünün yüzde 1,30 una karşılık gelmektedir [34]. 2021 yılı aralık ayından itibaren Türkiye'deki rüzgâr enerjisi türbin sayısı 3868'e toplam kurulu güç ise 10.58 GW'a ulaşmıştır [35].

Haziran 2022 sonu itibariyle rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 10.976 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %10,81 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır. Şekil 2.2’de 2011’den 2021 Haziran ayına kadar rüzgâr enerjisine dayalı kurulu toplam güçler gösterilmiştir. Şekil 2.3’de ise toplam kurulu güç içerisindeki oran toplam kurulu güç içerisindeki yıllara göre oranı verilmiştir.



Şekil 2.2 Rüzgâr Enerjisine Dayalı Kurulu Güç (MW) [36]



Şekil 2.3 Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oran Toplam Kurulu Güç İçerisindeki Oranı [36]

2.3. Rüzgâr Haritaları

Rüzgâr haritaları genellikle potansiyel rüzgâr enerjisi dönüşümü için kullanılmıştır. Aşağıda verilen çizelgede her bir güç sınıfı, yıllık ortalaması belirlenen rüzgârın güç yoğunluğu ve eşdeğer ortalama rüzgâr hızı aralığı verilmiştir [32].

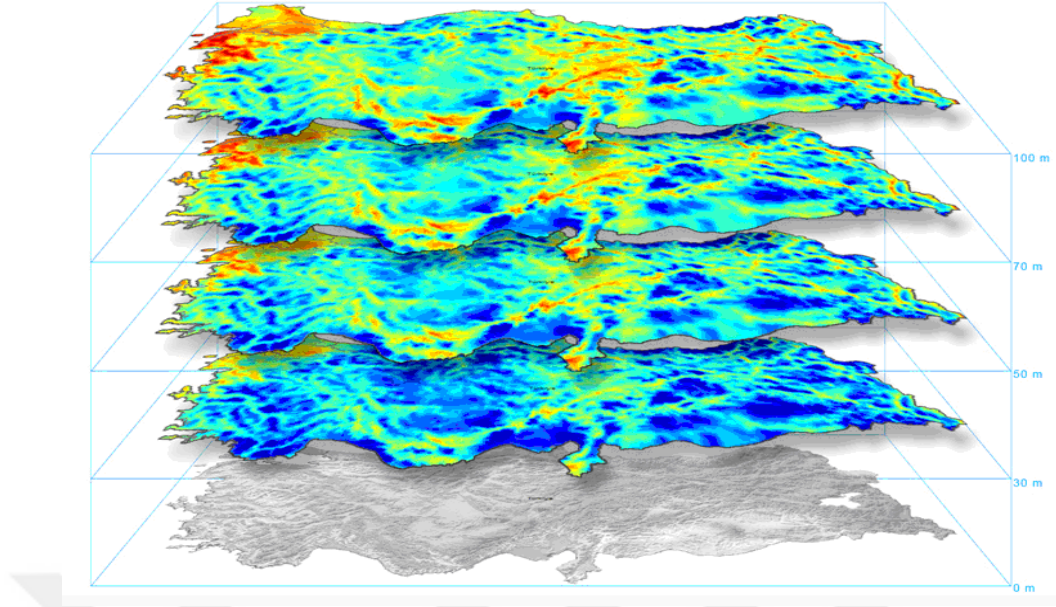
Tablo 2.2 Farklı seviyelerdeki rüzgârın gücü yoğunluğu ve hızı [32]

Rüzgâr (m/s)	Yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu (W/m^2)		Eşdeğer ortalama rüzgâr hızı	
Gücü sınıfı	10 m yükseklik	50 m yükseklik	10 m yükseklik	50 m yükseklik
1	0-100	0-200	0.0-4.4	0.0-5.6
2	100-150	200-300	4.4-5.1	5.6-6.4
3	150-200	300-400	5.1-5.6	6.4-7.0
4	200-250	400-500	5.6-6.0	7.0-7.5
5	250-300	500-600	6.0-6.4	7.5-8.0
6	300-400	600-800	6.4-7.0	8.0-8.8
7	400-1000	800-2000	7.0-9.4	8.8-11.9

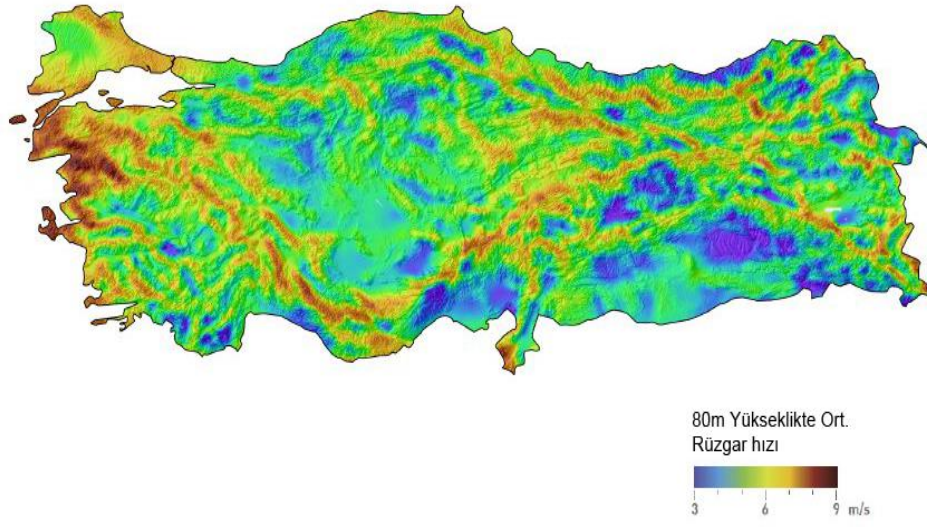
Yukarıdaki Tablo 2.2 de farklı seviyelerdeki rüzgârın gücü yoğunluğu ve hızı verilmiştir.

2.4. Türkiye Rüzgâr Haritaları

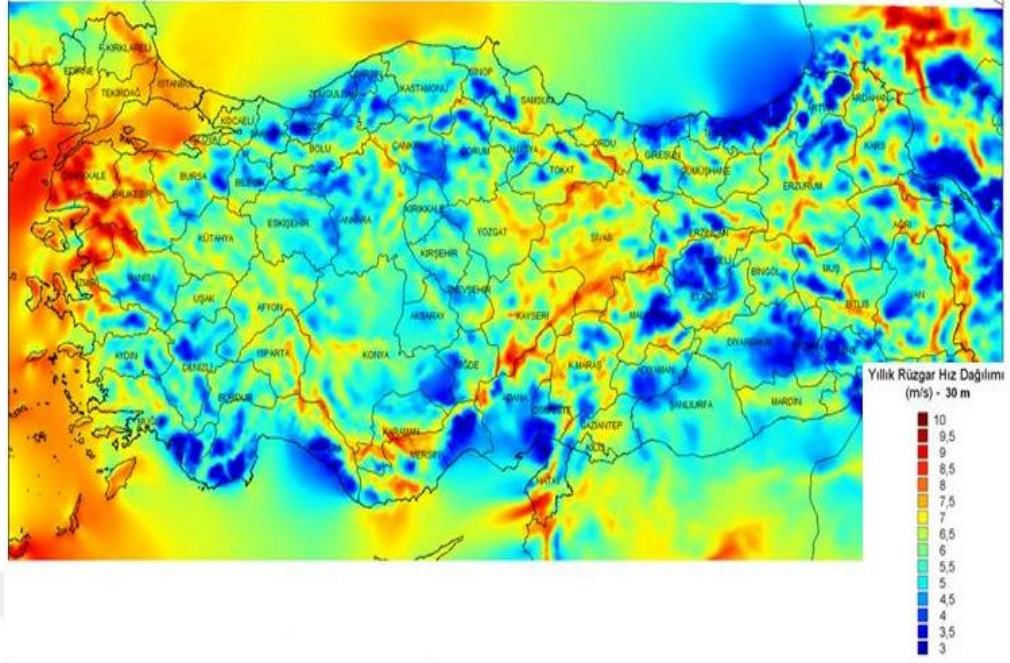
Şekil 2.4 ‘te farklı yükseklikteki rüzgârların Türkiye haritasında gösterimi yapılmıştır. Şekil 2.5 ‘te ise 80 metre yükseklikte rüzgâr hızı haritası verilmiştir. Şekil 2.6 ‘da ise 100 metre yükseklikteki rüzgâr hızı haritası verilmiştir.



Şekil 2.4 Farklı Yükseklikteki Türkiye Rüzgâr Haritaları [37]



Şekil 2.5 Türkiye Rüzgâr Haritası [37]



Şekil 2.6 100 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hız dağılımı [37]

3. RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN TESPİTİ

Rüzgârın potansiyelini kesin hesaplayabilmek için belirli bir noktada en az 5 yıl ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Yapılan ölçümlerden sonra rüzgâr haritaları yapılabilir hale gelmektedir. Bunlar;

- Güç eğrileri haritaları,
- Hız eğrileriyle çizilmiş rüzgâr haritaları,
- Rüzgârgülü haritaları,

Rüzgâr eğrileriyle yapılan haritalar, belirli bir alanda belli bir sürede dağılmış aylık ve yıllık ortalamalarla tespit edilmektedir. Güç eğrileri haritaları, birim alana düşen güç değerlerinin dağılımını gösterir. Rüzgârgülleri haritaları, ölçülen rüzgâr değerlerinin noktasal yapıda oklar şeklinde gösterilebilmektedir.

Türkiye’de bu zamana kadar yapılan bütün ölçümler neticesinde rüzgâr enerjisi bakımından üç nokta tespit edilmiştir. Bunlar Akdeniz bölgemizde Antalya, Karadeniz bölgemizde Sinop ve Marmara bölgemizde Çanakkale’dir.

3.1. Türbine Göre Rüzgâr Enerjisi Hesabı

Bir bölgede rüzgâr enerjisi tahmin hesaplamalarında bulunabilmek için iki tür işlem gereklidir. Türbin kurulacak olan yerdeki rüzgâr hızının frekans grafiği bulunmalıdır. Kullanılması tasarlanan türbinin hız-güç grafiğinin bilinmelidir. Bütün dünyada farklı yükseklikte ölçülmüş olan rüzgâr hızlarının hesaplanabilmesi için standart olarak kabul edilen 10 m yükseklikteki değeri yeterlidir. Genellikle y1 ve y2 gibi iki değişik yükseklikte rüzgâr hızlarının sırası ile v1 ve v2 olması durumunda bu dört büyüklük arasında pürüzlülük katsayısını belirleyen denklem aşağıda verilmiştir.

$$v_1 / v_2 = (h_1 / h_2)^\alpha$$

Bu denkleme göre bir yükseklikte yapılan rüzgâr hızı ölçümünün, o noktanın düşeyinde bulunan başka bir noktaya taşınması hesapları kolaylaştırmıştır $\alpha=1/7$ kabul edilmiştir. Kullanılacak rüzgâr türbini karakteristiklerinin de bu yüksekliğe göre tasarlanmıştır [32].

Aşağıda bir türbinin hız-güç grafiği ile kurulacağı yerdeki rüzgâr hızları frekansının göz önünde tutularak nasıl hesap yapılması gerektiği verilmiştir [32].

Türbin güç-hız grafiği yataydaki hız eksenini 1m/s’lik alt aralıklara ayrılacak biçimde bölünmüş ve her bir alt aralığa karşı gelen rüzgâr gücü bu eğriden okunmuştur. Böylece bir i aralığının ürettiği güç watt cinsinden W_i ile gösterilmiştir [32].

Rüzgâr sıklığı grafiği de yatay ekseninde bulunan hız değişkeni yine 1 m/sn'lik alt aralıklara bölünerek her bir alt aralığın esme sayısı e_i ile gösterilmiş ve burada e_i ve $i+1$ aralıklar arasındaki rüzgâr esme sayısını göstermiş ve yıllık toplam saat cinsinden verilmiştir [32].

Üretilcek yıllık toplam rüzgâr enerjisi her bir alt aralıktaki ortalama elektrik gücü ile aynı sınıf aralığındaki yıllık esinti saatlerinin çarpılması ve sonuçta bunların toplanması ile bulunmuştur. Elde kw-saat cinsinden rüzgâr enerjisi, E bulunmuştur. İşlemde m alt aralık sayısını göstermiş ve 0.001 çarpanı Watt-saat değerinin kilo Watt-saat'e dönüştürülmesi için kullanılmıştır [32].

$$E = 0.001 \sum_{j=1}^m \frac{(w_i + w_{i+1})}{2} \cdot e_i$$

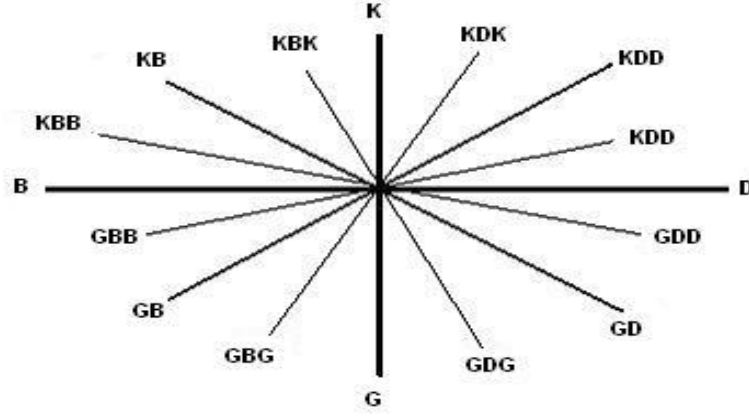
3.2. Rüzgâr Enerjisini Etkileyen Faktörler

Güneşten gelen ışıınım ile ısınan yeryüzü aralarındaki farklılıklar nedeniyle atmosferde ısınma farklılıklarına neden olmasına, bunun sonucunda da yatay basınç farklarının oluşmasına sebebiyet vermiştir. Özellikle, atmosferin sınır tabakası içindeki farklı eğimlerin sonucunda belirlenen meteorolojik farklılıkların rüzgâr enerjisi hesaplamalarında tesiri direkt görülmüştür. Rüzgâr enerjisi biri jeomorfolojik diğeri dinamik faktörlerin tesiri altında meydana gelmiştir. Rüzgâr enerjisi hesabı ile bu enerjinin en iyi şekilde gerçekleştirebilmesi için konum tespiti yapılmalıdır. Türbin tasarımı ve bölgesel iklim çalışmaların başarılı olması için o yöredeki istasyon verilerinin her şeyden önce homojenliği sağlanmalıdır. Yörede kurulacak rüzgâr türbini stabilite, türbinlerin işlevleri süresince sağlanması için uç rüzgâr hızı değerlerinin ihtimali ve bölgesel rüzgâr yönü ve hızı dağılımlarının istatistik çözümlemesine ilave olarak yörenin hava olaylarının hidroloji-mikro ölçeğinde değişimleriyle topografyasının da göz önüne alınması gereklidir.

3.3. Rüzgâr Şiddeti ve Yönü

Tablo 1.3'de bir yıl boyunca yapılmış olan günlük şiddet ve sekizli yönler verilmiştir. Bir yıl boyunca günlük olarak belirlenmiş rüzgâr şiddeti, yönü ve esme sayılarını içeren bu çizelge rüzgâr şiddeti aralığı değerine göre, hangi yönlerden kaç defa estiğinin sayısını verir ki buna sıklık (frekans) denir. Çizelgede, ilk sütun rüzgâr şiddeti aralıklarını verir ki, bunu ayarlanması tamamen veri işlemciye bağlıdır.

Rüzgâr şiddeti gül diyagramının çizilebilmesi için her şeyden önce rüzgârın şiddetine göre büyük, orta ve küçük şiddetli olma sınırlarının belirtilmesi gerekmektedir. Şekil 3.1 'de rüzgâr yönleri kısaltmalar halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Rüzgâr Yönleri

Yorum yapmaya yarayan rüzgârgülünün ayrıntılı ve uygulamalı izahı için sayısal bir örneği esas almak yararlıdır. Türkiye’de Devlet meteoroloji işleri tarafından rüzgâr ölçmeleri yön ve şiddet olarak değişik konumlarda yapılmaktadır. Tablo 3.1 de rüzgâr şiddet ve yönlerine göre esme sayıları maksimum 60-65 km/saat göre gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Rüzgâr şiddet ve yönlerine göre esme sayıları [32]

	Yönler								
(1)	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB	Toplam
Şiddet (km/saat)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0-5	4	2		6	8	12			32
5-10	1	6		5	3	8			23
10-15	3	8		6	4	6		5	32
15-20	2	5	10	3	5	2		8	35
20-25	12	6	9	8	7	10	6	3	61
25-30	9	7	13	10	6	9	4	6	64
30-35	5		5	3	2	2	7	12	36
35-40		1	14	6	1		11	7	40
40-45		3	3	5	1		9	2	23
45-50			8	2			2	1	13
50-55			2	1			1		4
55-60				1					1
60-65							1		1

Toplam	36	38	64	56	37	49	41	44	365
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Çizelge Yorumu:

- İlk sütunda farklı şiddet aralıklarında kaç defa hangi yönden rüzgâr estiği okunabilir. Mesela, 45-50 km /saat aralığındaki rüzgâr şiddetinin D yönündeki esme sayısı 8'dir.
- Verilen km/saat şiddet aralığındaki esme sayısı bulunabilir.
- Verilen bir şiddet aralığındaki noktanın hangi yönde kaç defa rüzgâr estiği hemen bulunabilir.
- Toplam gün sayısına göre çizelgedeki bütün esme sayıları bu değere bölünerek o şiddet aralığında ve yönündeki esme sayısının oranı olarak ihtimal değeri, bunun da 100 ile çarpılması sonucu yüzde değer bulunur.
- Şiddet arttıkça yön sayısındaki esme sayılarında azalmaktadır [32].

3.4. Rüzgâr Değerlendirmeleri

Bulunan rüzgâr verileri, kalite kontrolü yapıldıktan sonra istatistiksel çözümlemeler de değerlendirilerek hem uzun yıllar rüzgâr kayıtlarını tespit etmek, farklı rüzgâr alanda ve yükseklikte rüzgâr yönünü bulmak için hız dağılımı yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar, rayleigh ve weibull dağılımıdır [33].

3.4.1. Weibull Dağılımı

Rüzgârın belli bir dönemde değişimi rüzgâr endüstrisinde önemlidir. Anlık rüzgâr değişiminin tespit edilmesi türbin tasarımcılar için önem arz etmektedir. Bu sebeple tasarımcılar türbinler iyileştirilebilir ve maliyetler minimuma indirilebilir. Bir bölgede rüzgâr dağılımı değişik yükseklik ve konumlarda ölçülerek “Weibull dağılımı” belirlenmiştir.

$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{u}{A}\right)^k\right) \quad u > 0$$

3.4.2. Rayleigh Dağılımı

Weibull dağılımındaki şekil değişkeni 2 olması durumundaki dağılıma, “Rayleigh dağılımı” denmektedir. Bunun sebebi, değişik bölgelerdeki rüzgâr oluşumlarının bilinmemesidir [38].

$$f(u) = \frac{\pi u}{2(u)^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{u}{U}\right)^2\right]$$

3.4.3. Rüzgâr Gülü

Belirli bölgedeki rüzgârın esme yönünü ve bölgedeki oransal rüzgâr hızı bilgilerini verebilmektedir. Rüzgârgülleri bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilmektedir. Yakın bölgelerde ise, rüzgâr hızı ve yönü bakımından rüzgârgülleri benzerlik göstermektedir. Bu nedenle uygulamada korelasyon veya interpolasyon güvenle yapılabilmektedir. Rüzgârgülü türbin yerleşiminde çok önemlidir. Rüzgâr şekline göre rüzgârın şekli %10 oranında değişebilmektedir. Bu yüzden daha sağlıklı ölçümler yapabilmek için birkaç yıllık gözlem yapılmalıdır [33].

3.4.4. Rüzgâr Gücü

Güneşten yayılan enerjinin yeryüzüne ulaşmasıyla meydana gelen farklı ısınmaların neden olduğu hava hareketleridir. Genel olarak mikro ölçek, yerel ölçek, ülkeler ölçeğinde, kıta ölçeği ve dünya ölçeklidir. Dolayısıyla rüzgâr gücü güneş var oldukça o da devamlılığını sürdürebilecektir. Mikro ölçüde olanlara günümüzde türbülans denmiştir.

Enerji üretimi havadaki dinamik enerjiden mekanik enerjiye dönüşümüyle elde edilen enerjiyi başka bir düzeneğe mekanik aktarım yoluyla jeneratörüne aktarmaktadır. Kinetik enerji havanın kütesine ve havanın hızına bağlıdır. Rüzgâr enerjisinin ve gücünün belli bir bölgede yapılması hız enerjisinden faydalanılarak yapılmaktadır.

Rüzgârda ne kadar güç olduğu rüzgârın yoğunluğuna bağlıdır. Rüzgârın estiği yönün istikametine dik olarak yerleştirilerek birim alana etkiyerek rüzgâr gücü elde edilebilir [32].

$$\text{Kinetik enerji formülü} = E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Rüzgârın şiddeti= V

Hava kütlesi=m

Buradan:

H=Hacim

M= pH

Düşey bileşen yatay bileşene oranla küçük olduğundan ihmal edilebilmektedir.

Rüzgârın esme yönü dik alan=A

Rüzgâr yönü uzunluk=U

H=AU

Basit işlemlerden sonra aşağıdaki formül bulunur.

$$E = pAtv^3 \quad (2)$$

Birim alanda birim zamanda üretilen rüzgâr enerjisi

$$E_u = \left(\frac{1}{2}\right) \rho v^3 \quad (3)$$

Buradan havanın yoğunluğu sabit alınarak $\rho = 1.21 \text{ gr/cm}^3$

Basınç p, Sıcaklık T, havanın yoğunluklarının birbirlerine gazların hal denklemleri aracılığı ile birbirlerine bağlıdır $p = R\rho T$ Bu denklem 3. Denklemden yerine konularak

$$E_u = \propto (T/\rho) v^3$$

Denklemin bulunmuştur. (4)

$$\text{Buradan } \propto = \left(\frac{1}{2}\right) R \quad R = 2.87$$

Yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu:

$$P_{w, \partial} = \frac{0.5\rho}{8760} \int v^3 dt \text{ Formülü ile hesaplanır.} \quad (5)$$

Buradan $P_{yıl} [W/m^2]$ yıllık Ort. Rüzgâr gücü yoğunluğu t (ay, saat ve gün) ise zamanı gösterilmiştir.

Rüzgâr türbinlerinin tasarlanarak enerji üretimi yapılabilmesi için durağan olan rüzgâr şiddeti ortalaması üzerindeki salınımlarında göz önünde bulunması gerekir. Enerji hesaplamalarında durağan olan rüzgâr şiddeti ise bunu etrafında salınımlar şeklinde ortaya çıkan sapmaların rüzgâr türbinleri üzerine olabilecek kuvvetlerin ve bunu sonucunda ortaya çıkabilecek rüzgâr gücünün hesaplanması gereklidir [32].

$$\text{Anlık rüzgâr hızı } v(t) = V + v'(t) \quad (6)$$

Buradan $v(t) [L/T]$ anlık yatay akım rüzgâr şiddeti, $V [L/T]$ durağan rüzgâr şiddeti, $v'(t) [L/T]$ ortalamadan olan rüzgâr şiddetini gösterir.

$$E = \left(\frac{1}{2}\right) \rho [v^3(\text{bar}) + 3v(\text{bar})\sigma_0^2] \text{ elde edilir.}$$

Burada;

σ_0^2 Tablo3.2'deki türbülans terimidir.

Tablo 3.2 Rüzgâr şiddeti sınıfları yüzdeleri

Rüzgâr Şiddeti	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB	Toplam
Hafif	8	16		17	15	26		5	87
Orta	23	18	32	21	18	21	10	17	150
Büyük	5	4	32	18	4	2	31	22	118

3.5. Rüzgâr Türbinleri

Aerodinamik yapıdan kaynaklı rüzgârın kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinden yararlanmaktadır. Şekil 3.2 de Türkiye’deki rüzgâr türbini yerleşim yerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Türkiye’deki Rüzgâr Türbinlerinin Yerleşim Yerleri

Rüzgâr türbinleri dönme eksenli yönüyle yatay ve düşey eksenli olarak üretilmektedir. Bu türbinlerden yatay eksenli olanları daha elverişlidir. Yatay eksenli türbinler rüzgârın döndürebilme ihtimali daha yüksektir. Çünkü rüzgâr yönüne dik yönde çalışabilmektedir. Düşey eksenli türbinlerde türbinin aerodinamik yapısından dolayı rüzgâr pervaneleri döndürmede zorluk çekmektedir. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri daha çok kullanılabilmektedir. Ve bu türbinler 2, 3 veya daha fazla kanatlı olabilmektedir [39].

Aynı yerde elektrik üretimi için kurulan rüzgâr türbini gruplarına rüzgâr türbini çiftlikleri denilmektedir. Yerleşim yerlerine türbin çalışırken çıkardığı sesin ulaşmaması ve cihazların elektromanyetik alanlarından etkilenmemesi için en az 600 m uzağa rüzgâr çiftlikleri kurulmuştur. Kurulan rüzgâr çiftliklerinin faydaları şunlardır:

Atmosferde güneş etkileşiminden meydana geldiğinden hammaddeye ihtiyaç yoktur.

- Kurulması diğer enerji santrallerine göre daha hızlıdır. Rüzgâr türbininin yatırımına karar verildikten sonra mali bütçenin de hazır olmasından sonra 4 aya kadar yapılabilmiştir. Rüzgâr üreten türbinlerin ömürleri 40 yıla kadar garanti edildiğinden, yatırım maliyeti uzun vadede az olduğu için neredeyse bedavaya gelmiştir.
- Ömür sorunu yoktur.
- Ülkemizin dışa bağımlılığını azaltır.
- Fosil yakıt tüketimini azaltır.
- Her geçen zaman güvenilir olmakla beraber ucuzlamaktadır.
- Rüzgâr türbini kurulan arazi tarım arazisi olarak kullanılabilir.
- Rüzgâr çiftliğinin bulunduğu yerde tarım dışında hemen hiç faaliyet yapılamadığından, buraların yeşil alan olmasına katkı sağlamıştır [39]. Şekil 3.3 de Modern yatay eksenli rüzgâr türbini gösterilmiştir. Şekil 3.4 de ise Aşağı Saksonya, Almanya da Bir Rüzgâr Tarlası gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Modern yatay eksenli rüzgâr türbini [40]



Şekil 3.4 Aşağı Saksonya, Almanya da Bir Rüzgâr Tarlası [41]

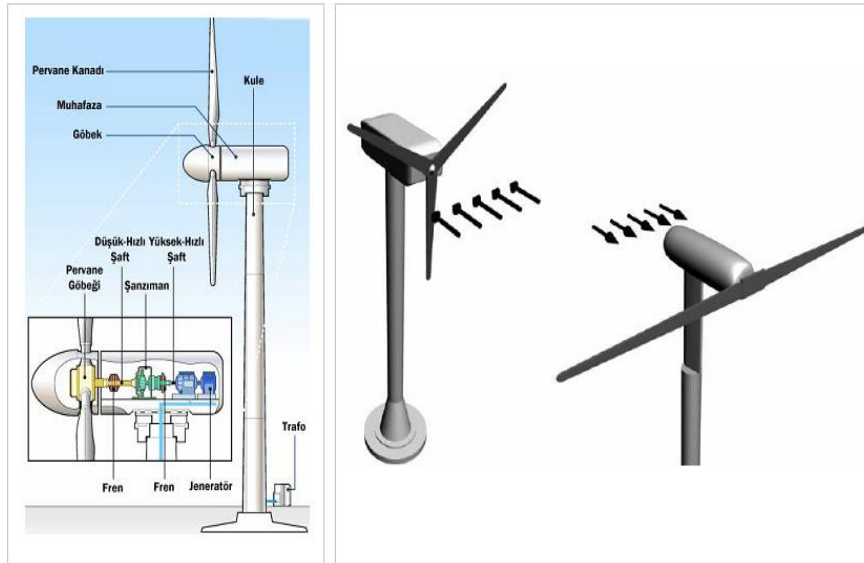
3.5.1. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Türbin kanatları düşey olduğundan dolayı dönme yönü de rüzgâr yönüne diktir. Bu türbinler rüzgârı hareketlendirip sürükler. Bu türbinler yaklaşık %35 verimlidir. İlk hareketi sağlıklı değildir. Bu türbinlerde vites kutusu ve üreteç zemin seviyesine kurulabildiğinden kuleye gerek duyulmamaktadır. Düşük rüzgâr süratları ve minimum miktarda su pompalamak amacıyla tasarlanmıştır.

3.5.2. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Yatay hareket halinde bulunan milin üzerinde ki dişli ile bu şekilde hareket eden alttaki başka dişliye konik dişli olarak geçişi sağlanarak döndürülmektedir. Dişli üzerinde eksantrik şekilde bir pime yerleştirilmiş olan silindir boyunca bir yarık ile yatay doğrusal şekilde hareket sağlanmaktadır.

Elektrik olarak günümüzde rüzgâr türbinlerinin kullanılması ile hava hareketleri rüzgârdan elde edilen enerji haline dönüştürülür. Değişik ölçeklerde rüzgâr enerjisinden yararlanmak gerekir. Küçük türbinler vasıtası ile düşük Watt değerinde güçler ortaya koyabilirken, orta ölçeklerde birkaç yüz kilowatt, büyük güçlerde ise Mega Watt (MW) elde edilmesi mümkündür [32].



Şekil 3.5 Yatay eksenli rüzgâr türbini [42]

Yukarıdaki Şekil 3.5'te Yatay eksenli rüzgâr türbini gösterilerek rüzgâr yönleri belirtilmiştir.

3.5.3. Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Bu rüzgâr türbinlerinde kanatların kuvvet merkezine bağlı harici bir kablo, her bir rotor kanadını destekler ve kule, üst kısımdaki gergi telleri ile desteklenir. Motor bölmesi ortadan kaldırılır ve ana aks, rotor ile birlikte dönen halka şeklindeki bir şeritten güç çıkışı ile değiştirilir; böylece çoğu büyük eğilme momenti ortadan kaldırılır ve yerini çekme ve basınç yükleri alır. Ayrıca, önerilen rüzgâr türbini bir dişli kutusu kullanmamaktadır. Maliyet avantajı, açık denizde daha da büyük olmayı vaat ediyor. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunduğundan türbinler verimli olmadığından pek kullanılmamıştır.



4. RÜZGÂR ÇİFTLİĞİ TASARIMI İÇİN GEREKLİ PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

4.1. Kurulacak Rüzgâr Çiftliği bölgesindeki rüzgârın hızının incelenmesi

Bölgedeki mevcut rüzgârın ortalama hızı çiftliğin ekonomik olarak uygulanabilirliği açısından çok önemlidir. Ortalama hızı sayısal modelleme yapılarak bulunur. İlk önce rüzgâr türbininin kurulması için gerekli güvenilirlik tesis etmek için yakın civardaki bir meteoroloji istasyonundan veriler alınır. Daha sonra ise çiftlik bölgesine anemometre kurularak ölçümler yapılır. Sonrasında istasyonda aldığımız verilerle anemometreyle bulduğumuz veriler karşılaştırılarak rüzgâr verileri bulunmuş olur. İncelemeler sonucunda rüzgârın uzun dönem ortalamasını yıllara göre günlük, aylık değişimlerin ortaya çıkmasını sağlar. Rüzgârgülünün türbülans yoğunluğunu ve Weibull parametrelerinin belirlenmesini sağlar.

4.2. Enerji Üretiminin İncelenmesi

Net enerji üretiminin bilinmesi projenin ekonomiklik açısından ana noktalardan birisidir. Bilgisayar ortamında modeller kullanılarak hesaplanabilmektedir. Dijitalleştirilmiş yeryüzü verileri, rüzgâr türbini verisi rüzgâr yönü dağılımı ve hızı, hava burgacı türbinin veya türbinlerin yıllık üretecekleri enerji miktarı hesaplanır. Bu hesaplamada bölgedeki akış değişimleri dikkate alınmalıdır. Sistemde meydana gelebilecek olan kayıplar bu hesaba dahil edilir. Bu işlemler sonucunda her türbinin beklenen yıllık enerji üretimi sayısal olarak elde edilir.

4.3. Gürültü değerlerinin incelenmesi

Rüzgâr çiftliğindeki türbinlerin çalışmasından dolayı oluşan gürültü, çiftliğin kurulabilmek için ortaya çıkarıl. Bu düzen gürültü yayma modeli kullanılarak yapılır. Model yapabilmek için gerekli görülen girdiler türbinlerin dizilişleri, gürültü karakteristikleri ve yeryüzü verileridir. Meteorolojik etkilerde bunlara dahil edilir. Çiftlik düzeni model yardımıyla optimize edilerek gürültü düzeyini en aza indirilebilir.

4.4. Elektriksel altyapı çalışmaları

Rüzgâr çiftliği kurulumu yapılırken ihmal edilen konulardan birisidir. Elektrik sistemi üzerindeki kayıplar toplam üretimin %2'si yani ihmal edilebilecek bir şey değildir. Bu sebeple transformatörler ve optimum hat belirlenmelidir ve sonrasında basit bir matematiksel hesaplama ekonomik durum belirlenir.

4.5. Çiftlik arazisi için yapılan ön çalışmaları

Çiftlik ekonomisinde en önemli faktör de inşaat işlemleri, yani istasyona erişim yolları, kontrol binası yapımı, istasyon yapımını da içeren altyapı işlemleridir. Bu işlemler toplam proje maliyetinin yaklaşık %30 'u kadardır. Bu sebeple bu faktörler projenin ilk aşamalarında belirlenmesi gerekir.

4.6. Ekonomik analiz

Rüzgâr çiftliği kurulumunda proje maliyetinin ve tahmini enerji üretimi model oluşturularak belirlenmesi gerekmektedir. Ekonomik analiz sağlamak için bugünkü değer ve geri ödeme süresi hesaplanması gerekmektedir. Rüzgâr çiftliği kurulması düşünülen yerin çiftlik düzeni, proje ömrü boyunca elde gelirler, arazi kirası, onarım masrafı ve diğer giderler hesaplanmalıdır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yapılan raporda her proje için ekonomiklik hesaplanır.

4.6.1. Rüzgâr Türbini Maliyeti

Tablo 4.1 Büyük Güçlü Rüzgâr Türbinlerinde Maliyet Dağılımı (600kW üzeri)

Elemanlar	Toplam Maliyet (%)
Türbin	74-84
Temel	1-6
Elektrik Bağlantısı	1-9
Şebeke Bağlantısı	2-9
Danışmanlık	1-3
Arazi	1-3
Finansal Maliyetler	1-5
Yol Yapımı	1-5

Yukarıdaki tablo 4.1 de Büyük Güçlü Rüzgâr Türbinlerinde Maliyet Dağılımı (600kW üzeri) verilmiştir. Ülkemizde rüzgâr türbini çiftliği kurulumlarında güç maliyeti kW başına 900€-1350€ dur. Türbin fiyatlarının yüksek olmasının sebebi yerli üretim azlığı, gümrük vergisi nakliye ve sonrasında montajının yapılmasıdır. Türbin maliyetleri gün geçtikçe teknolojinin de gelişmesiyle birlikte yıllık ortalama %4 civarı düşmektedir. Bu maliyetler şebekeye yakınlık ve kurulum yerine ve şartlarına göre değişebilir.

4.7. Teknik fizibilite ve mühendislik tasarımları

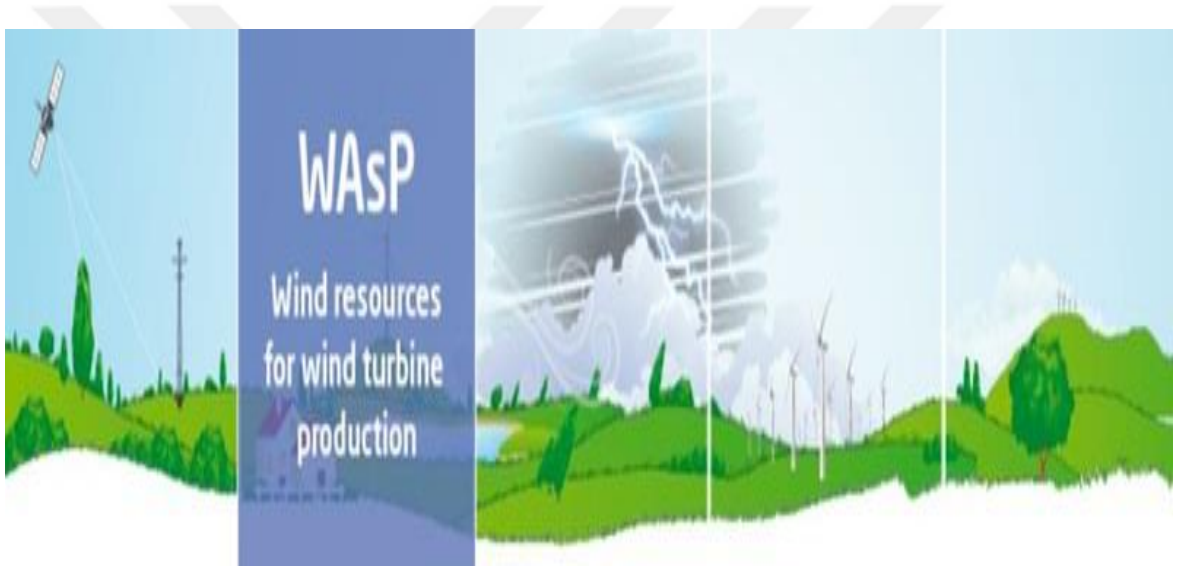
Rüzgâr türbini kurulumu yapılabilmesi için öncelik şartlar vardır, bunlar türbin fiyatlarının araştırılması, çiftlik kurulacak alanların incelenmesi, inşaat tasarımının yapılması, ana şebeke bağlantısı ve şebekelerin incelenmesi gerekli rüzgâr türbininin performans ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.



5. ANTAKYA, BATMAN, ÇANAKKALE, KARS VE SİVAS İÇİN WASP PAKET PROGRAMI İLE RÜZGÂR POTANSİYELİNİN TESPİTİ

5.1. WASP

WASP, rüzgâr türbinleri ve rüzgâr çiftlikleri için rüzgâr kaynağı değerlendirmesi, konumlandırma ve enerji verimi hesaplamaları için endüstri standardı bir PC yazılımıdır. WASP, tüm dünyada her türlü arazide bulunan tesisler için kullanılır ve rüzgâr veri analizinden bir rüzgâr çiftliği için enerji veriminin hesaplanmasına kadar sürecin her adımı için modeller ve araçlar içerir [43].



Şekil 5.1 WASP Site görüntüsü [43]

Tipik WASP uygulamaları:

- Tek rüzgâr türbinleri ve rüzgâr çiftlikleri için enerji veriminin hesaplanması
- Rüzgâr çiftliği verimliliğinin hesaplanması
- Seçilen alanlar üzerinde rüzgâr kaynağı ve türbülans haritalaması
- Rüzgâr türbinlerinin ve rüzgâr çiftliklerinin konumlandırılması
- IEC saha değerlendirmesi için rüzgâr koşullarının hesaplanması, örneğin tek rüzgâr türbinleri için ortalama rüzgâr hızı, rüzgâr akış eğimi rüzgâr kesmesi ve ortam türbülansı (tam değerlendirme ayrıca WASP Engineering gerektirir). Şekil 5.1 de WASP paket programının sitedeki görüntüsü gösterilmiştir.

WAsP, rüzgâr iklimini ve farklı araziler üzerindeki ve barınma engellerine yakın rüzgâr akışını tanımlayan birkaç fiziksel model içerir. Ayrıca WAsP, rüzgâr santrali iz etkileri için bir iz modeli ve ortalama ısı akışı koşulları için bir kararlılık modeli içerir. Yatay ve dikey ekstrapolasyon için WAsP, düz ila orta derecede karmaşık arazi için yeterli performansı gösterecek yerleşik doğrusal IBZ modelini kullanır. Arazi çok sayıda dik eğimle çok karmaşıksa, WAsP son teknoloji harici bir CFD modeline de kolay erişim içerir [43].

WAsP tarafından rüzgâr kaynağı ve enerji verimi hesaplamaları için kullanılan veriler farklı kaynaklardan gelmektedir. Rüzgâr-klimatolojik girdi, yakındaki bir meteorolojik direktteki rüzgâr ölçümlerinden gelebilir veya orta ölçekli modelleme sonuçlarından elde edilebilir. Yükseklik tanımı doğrudan uzay mekiği yükseklik verilerinden veya diğer veri kümelerinden elde edilebilirken, arazi örtüsü sınıflandırması ve yakındaki barınma engelleri topografik haritalardan, veri tabanlarından veya uydu görüntülerinden (Google Earth) çıkarılabilir [43].

WAsP, rüzgâr ikliminin dikey ve yatay ekstrapolasyonu için bir PC programıdır. WAsP yazılımı, rüzgâr istatistiklerini bulmak için Danimarka Meteoroloji Teşkilatı laboratuvarında hazırlanmıştır. WAsP yazılımı ile Türkiye ve Avrupa Rüzgâr Atlası hazırlanmıştır [44].

Mühendislik verilerinden, türbin tarafından bir seferde ne kadar güç üretileceğini bilinebilir. Verilen rüzgâr hızı planı, türbini tam olarak türbinin bulunduğu yere dikmekse, meteorolojik veriler toplanmış olsaydı, o zaman çalışmak gerçekten basit bir görev olurdu. Ne kadar güç beklenebilir bununla birlikte, sadece haritaya bakıldığında, önerilen türbin sahasının Havalimanındaki meteoroloji istasyonundan tamamen farklı özellikleri meteoroloji istasyonunun kendisi orada kaydedilen rüzgâr verilerini etkileyecektir. Türbin sahasının özellikleri, rüzgârın türbine yakın davranış biçimi üzerinde bir etkiye sahip olacaktır. Türbinin göbek yüksekliğinin türbin ile aynı olması da olası değildir. Meteoroloji istasyonunda anemometrenin kurulduğu yükseklik meteoroloji istasyonunda kaydedilen rüzgâr iklimini ve türbin sahasındaki rüzgâr iklimini tahmin etmek için kullanılır. WAsP'nin yaptığı tamamen budur. WAsP'yi kullanarak, kaydedilen rüzgâr verilerini analiz edebilir, kayıt bölgesini düzeltebilir ve yerel rüzgâr ikliminin bölgeden bağımsız bir karakterizasyonunu üretmek kullanılır. Rüzgâr atlası verilerine yer efektleri uygulamak için WAsP'yi de kullanabilirsiniz. WAsP ile öncelikle bir rüzgâr atlası oluşturmak için meteoroloji istasyonundan gelen verilerin analiz edilmesi gerekir ve daha sonra elde edilen rüzgâr atlasının, tahmin etmek için önerilen türbin sahasına uygulanması gerekir.

WAsP yazılımı, rüzgâr hızını ve veri analizlerini Weibull dağılımına uygun dağılım gösterdiği varsayılmaktadır. Yazılım kendi alt modellerinde dört değişik girdi bilgisini kullanarak rüzgâr hızını ve yönünü hesaplamaktadır. WAsP yazılımının kullanımı için gerekli temel bilgiler aşağıda sıralanmıştır:

- Bölge pürüzlülük bilgileri,

- Bölgenin topoğrafyası.
- Saatlik rüzgâr verisi,
- Bölgedeki engel bilgileri,

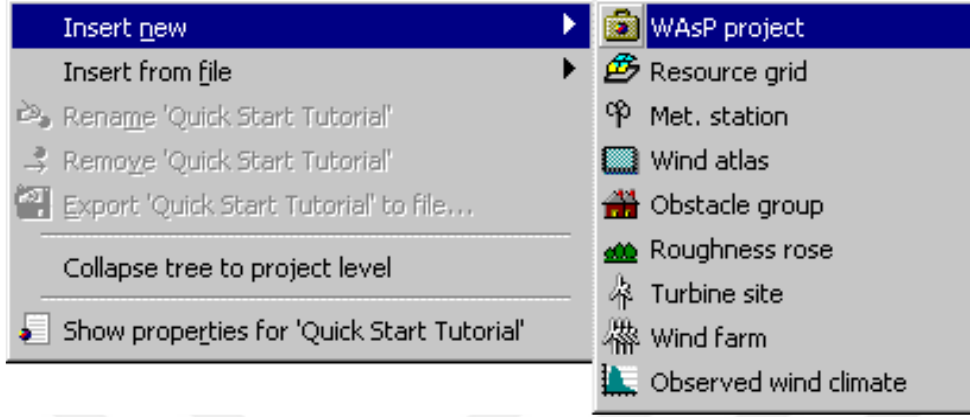
WAsP yazılımı yukarıdaki bahsedilen temel bilgileri değerlendirmede birtakım modeller kullanmaktadır. Bunlar rüzgâr verilerinin hazırlanması, rüzgarının rejimin tahmin edilmesi, zamana göre verilerin analizi, toplam enerji üretiminin hesaplanması ve gücün tahmini edilmesi. WAsP Yazılımın en kullanışlı özelliği biri verilerin ölçüldükleri yükseklikten başka yüksekliğe etraftaki engelleri dikkate alıp uyarlayabilmesidir. Farklı araziler üzerindeki rüzgâr akışını açıklamak için birkaç model içerir. Rüzgâr çiftliği üretiminin hesaplanması. Rüzgârın itme katsayısı eğrisi göz önüne alındığında Türbin ve rüzgâr çiftliği düzeni, WAsP sonunda her biri için iz kayıplarını tahmin edebilir. Türbin ve dolayısıyla her bir rüzgâr türbininin net yıllık enerji üretimi belirlenmiş olur. Tablo 5.1 de verilen dataların düzenlenmesi için yön tablosu verilmiştir.

Tablo 5.1 Dataların düzenlenmesi için gerekli yönler tablosu

YÖNLER	DERECE
N	0
NNE	22,5
NE	45
ENE	67,5
E	90
ESE	112,5
SE	135
SSE	157,5
S	180
SSW	202,5
SW	225
WSW	247,5
W	270
WNW	292,5
NW	315
NNW	337,5

5.1.1. WAsP Hiyerarşisi

Şekil 5.2 de WasP arayüzünde yeni çalışma alanı açabilme görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.2 Arayüzden Yeni Çalışma Alan Seçimi

Workspace root : Her çalışma alanında her zaman bir (ve yalnızca bir) kök vardır. En üstte durur hiyerarşi ve ebeveyni yoktur. Çalışma alanı kökü, her türden üyeye sahip olabilir. Önceden kaydedilmiş bir çalışma alanı açıldığında, tüm alt öğeler çalışma alanı da yeniden açılır.

Project : Projeler, ilgili hiyerarşi üyeleri gruplarını yönetmek için kullanılır. Projeler birkaç sekmeden oluşur tüm sekmeleri ilgilendiren işlemleri gerçekleştirmeyi kolaylaştıran tesisler projelerin her zaman çalışma alanı kökünü oluşturur. Daha önce kaydedilen proje açılırsa, projenin tüm alt öğeleri de yeniden açılır, yani tamamı projeler kaydedilebilir ve diğer çalışma alanlarında da kullanılabilir.

Vector Map : WAsP, orografi ve pürüzlülük hakkında bilgi almak için vektör haritalarını kullanır. Modellemenin yapıldığı peyzajın özellikleri haritalar şurada görünebilir: çalışma alanı hiyerarşisinde çeşitli yerlerde olabilir, ancak genellikle her projenin bir haritası olması gerekmektedir.

Wind atlas: Rüzgâr atlasları (veya bölgesel rüzgâr iklimleri), hiyerarşideki merkezi üyesidir. Bir WAsPrüzgar atlası, rüzgâr ikliminin bölgeden bağımsız bir karakterizasyonunu açıklayan verileri içerir, bir alan için WAsP modelleri, toplanan rüzgâr verilerini analiz etmeye ayrılmıştır.

Met. Station: Bir rüzgâr atlası hesaplamak için bir meteoroloji istasyonu (kısaca met. İstasyonu) kullanılır. BT ilişkili bir haritada herhangi bir yerde bulunan bir veri toplama sitesini temsil eder. İstasyon haritadaki konumu ve kullanıcı tarafından belirlenen düzeltmeler dışında herhangi bir

veriye sahip değildir. Bu istasyonda gözlenen bir rüzgâr iklimi ile ilişkilidir. İstasyonu çevreleyen engellerin bir listesi ve çevredeki alanın pürüzlülük uzunlukları bir dizi kullanıcı düzeltmesi bir met ile ilişkilendirilebilir. İstasyon kullanılarak bir yol sağlar açıklanamayan bazı siteye özgü ayarlamalar hakkında WAsP'yi bilgilendirmek için kullanılır.

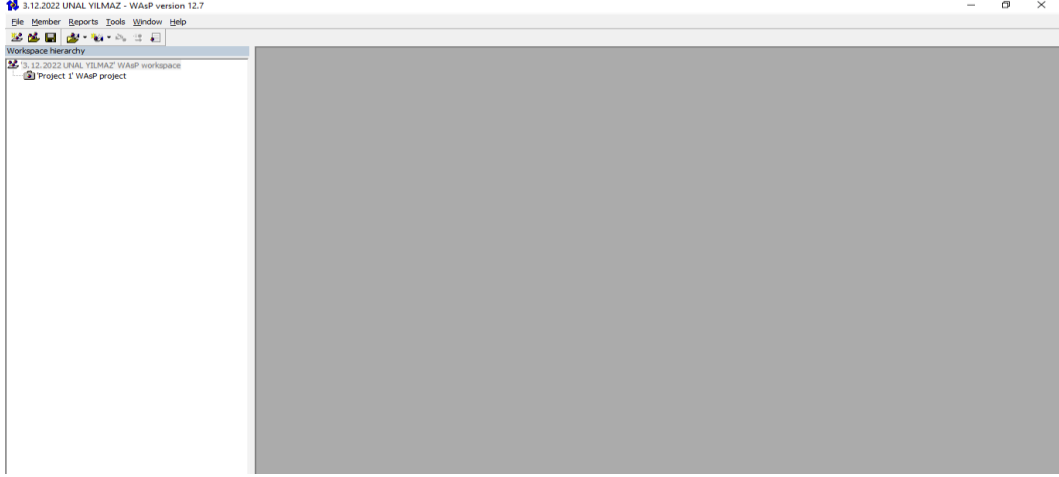
Observed Wind Climate: Bir konumda kaydedilen rüzgâr verilerinin bir özeti veya istasyonda gözlenen rüzgâr iklimi denir kısaca OWC denir.

Turbine Site: Bir türbinin yerinin belirlenmesinden kaynaklanacak güç üretimini tahmin etmek için ilişkili bir haritada herhangi bir yerde türbin bir türbin sahası kullanılır. Bir türbin sahası, onun dışında herhangi bir veriye sahip değildir. Haritadaki konumu, türbinin göbek yüksekliği ve kullanıcı tarafından belirlenen düzeltmeler bir türbin site, istasyonu çevreleyen engellerin bir listesi ve ayrıca bir çevredeki alanın pürüzlülük uzunluklarının tanımıdır. Bir dizi kullanıcı yol göstermek amacıyla, bir türbin sahasıyla ilişkilendirilebilir.

Wind Farm: Rüzgâr çiftlikleri, toplu olarak hesaplanan türbin sahalarının koleksiyonlarıdır. Rüzgâr çiftlikleri birkaç siteyle birlikte çalışmak için uygun bir yol sunar. Tahminlerine ek olarak, rüzgâr çiftliği ve rüzgâr türbinlerinin rüzgâr iklimi ve güç üretimi, rüzgâr çiftliği üye ayrıca rüzgâr çiftliğindeki iz kayıpları hakkında da bilgi sahibidir.

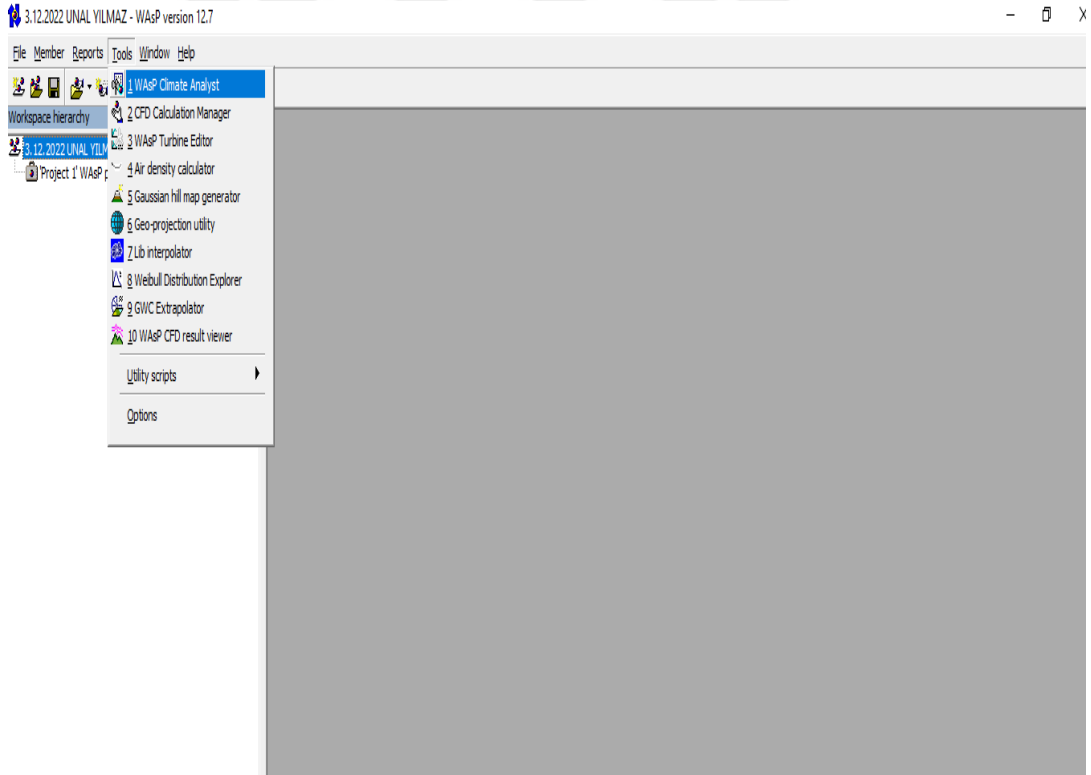
Resource grid: Kaynak ızgaraları, toplu olarak hesaplanan 'hafif' türbin sahalarının koleksiyonlarıdır, ancak burada siteler bir alanı kaplayan düzenli bir ızgarada düzenlenmiştir. Izgaranın genişletilmesi ve Izgara hücre boyutu, rüzgâr iklimini veya rüzgâr kaynağını haritalamak için seçilebilir.

Wind Turbine Generator: Bir rüzgâr türbini jeneratör elemanı, bir türbinin güç çıkışının değişme şeklini açıklar. Rüzgâr hızı ve ayrıca rüzgâr türbininin itme özellikleri ile bir veya daha fazla türbin sahası veya rüzgâr çiftliği ile ilişkili olabilir.



Şekil 5.3 WasP Başlangıç Arayüzü

Üstteki Şekil 5.3 çalışma sayfasında sol tarafta bütün işlemler bir hiyerarşi şeklinde dizilmektedir.



Şekil 5.4 WASP Rüzgâr Datalarının Girildiği Ara Yüz

Üstteki Şekil 5.4 arayüz de Meteorolojiden 1 yıllık saatlik rüzgâr hızları ve yönleri sırası ile excelde düzenelerek programda ilk önce anemometrenin yüksekliği ve konumu girildikten sonra programa dataları girişi sağlanır. Şekil 5.5'te Dataların programa girildiği bir sonraki ara yüz

verilmiştir. Şekil 5.6 da ise WAsP Dataların Girildikten Sonraki Ekran Görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 5.7 de ise WAsP Türbin ve Anemometrenin Arayüzde Gösterimi yapılmıştır.

WAsPdale Airport 1983-85. Runway NW anemometer.

Settings | Site effects | Self-prediction | User corrections

Anemometer location

Height a.g.l. 10.0 m

X co-ordinate: 34348 m

Y co-ordinate: 37233 m

Elevation a.s.l. 157.0 m

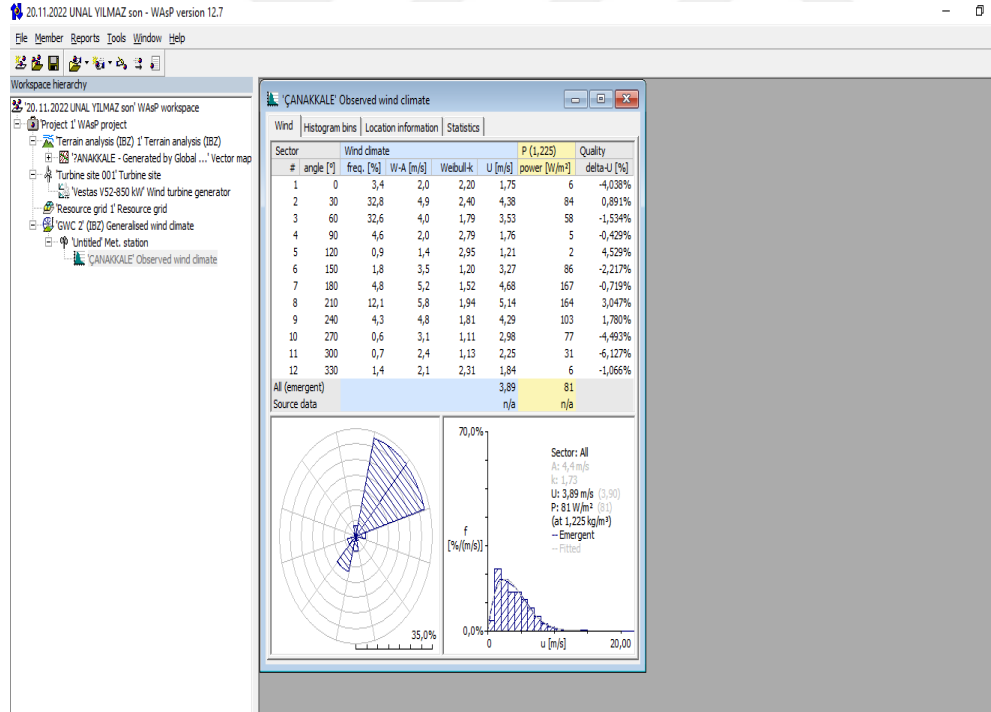
☒ Require and use a map location

Calculation behaviour

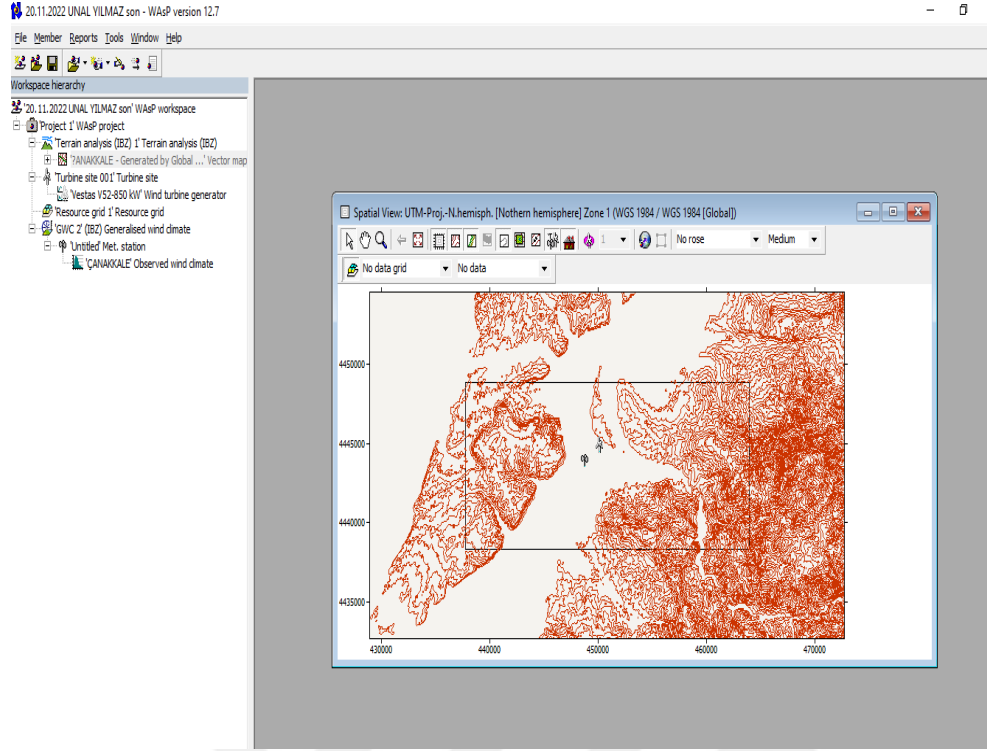
☒ Update calculations results automatically

Calculate

Şekil 5.5 Dataların programa girildiği bir sonraki ara yüz

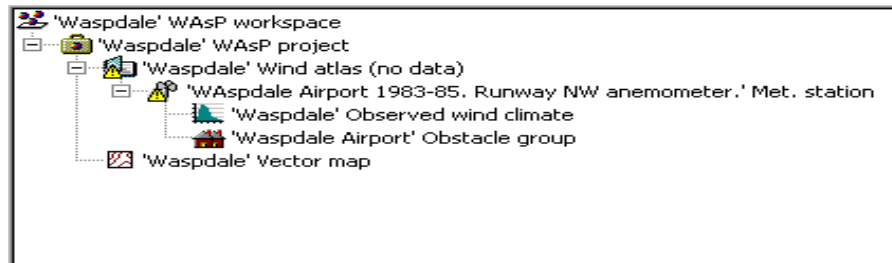


Şekil 5.6 WAsP Dataların Girildikten Sonraki Ekran Görüntüsü

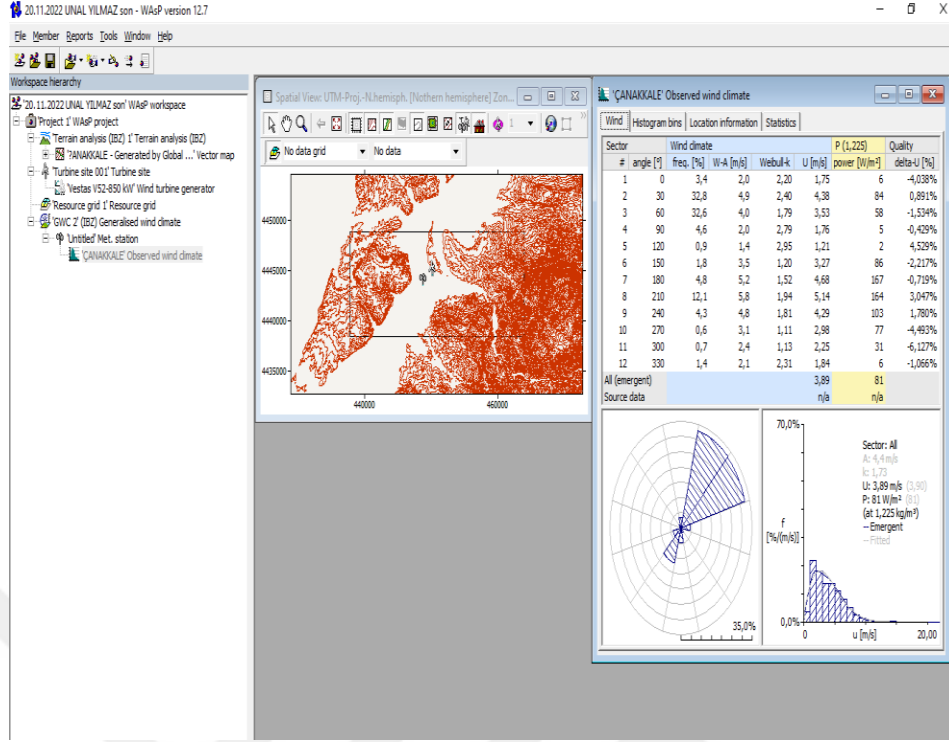


Şekil 5.7 WAsP Türbin ve Anemometrenin Ara Yüzde Gösterimi

Sonuç olarak başka programlarında yardımıyla izohipsli harita çizildikten sonra anemometrenin ve rüzgâr türbininin izohipsli haritada yerleri belirlenerek rüzgârın hızı, rüzgârın yönü, rüzgârın gücü programdan çıktısı alınarak hangi rüzgâr türbininin kullanılabileceği elde edilmiş olur. Programda sonuç alabilmemiz için sol taraftaki hiyerarşinin yerinde ve hata vermemesi gerekmektedir. Şekil 5.7 de WAsP Türbin ve Anemometrenin Ara Yüzde Gösterimi yapılmıştır. Şekil 5.8 de ise Hiyerarşideki hata arayüzünün gösterimi yapılmıştır. Şekil 5.9 da da WAsP Örnek Arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Hiyerarşideki hata arayüzünün gösterimi

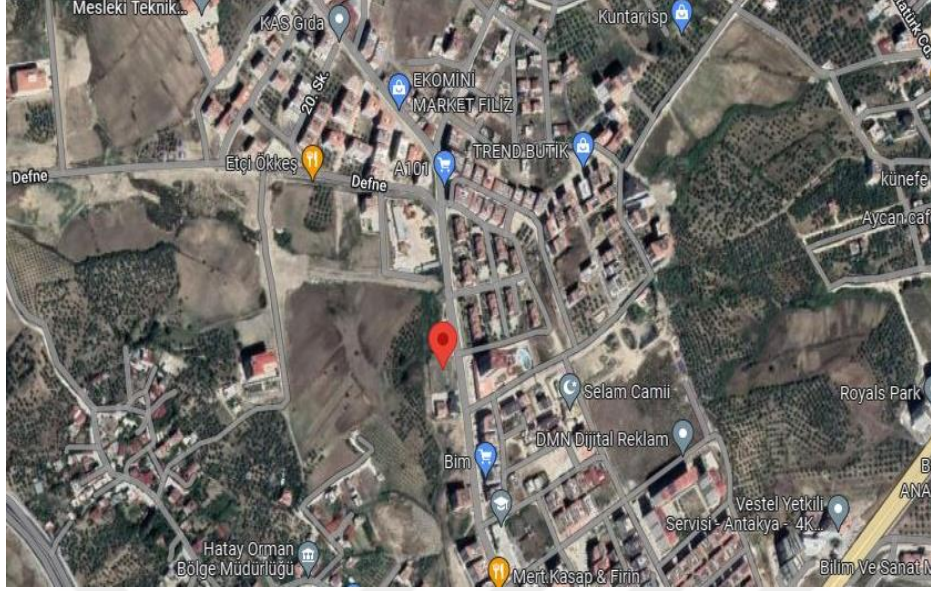


Şekil 5.9 WAsP Örnek Arayüzü

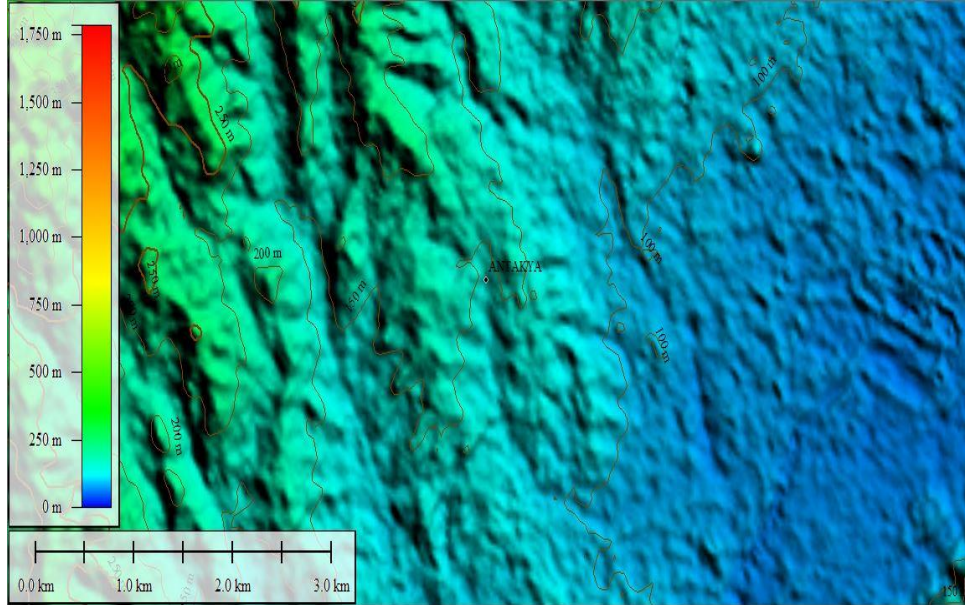
5.1.2. Antakya İçin WAsP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tespiti

Antakya Hatay ilinin nüfus bakımından en büyük ilçesidir. Antakya 858.1 km kare yüz ölçümüne sahip olarak ortalama rakım yüksekliği 80 metredir. Antakya hızla büyüyen bir ilçe olmakla beraber sanayi bakımından da Türkiye'nin en gelişmiş ilçelerinden biri olduğu için elektrik ihtiyacı gereksinimi duyulmaktadır. Buna bağlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak için çeşitli alternatif çözüm yöntemleri bulunmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmamızda aşağıdaki Şekil 5.10 haritadaki etikette belirtilmek üzere 36.236837 Kuzey enlemiyle, 36.132912 Doğu boylamı noktasında çalışma yapılmıştır. Şekil 5.11 haritasında ise daha genişletilmiş olarak aynı bölgenin dem haritası çizilmiştir.



Şekil 5.10 36.236837 Kuzey Enlemiyle, 36.132912 Doğu Boylamı



Şekil 5.11 Antakya İzohipsli Dem Haritası

Hatay'ın Antakya merkez ilçesinde anemometrenin bulunduğu alan 100 er metre aralıkla izohipsli olarak çizilmiş ve Antakya alan olarak 1750 rakıma ulaşırken Antakya merkezde en yüksek rakım 153 metre olarak bulunmuştur.

Antakya için yaptığımız bu çalışmada MGM den aldığımız yerden 10 metre yükseklikteki 1 yıllık saatlik rüzgâr verileri 36.08 enlem ve 36. 14 boylamlarında datalar girilerek programa yazılmıştır. Ve daha sonra 266,4 metrede anemometre yeri belirtilmiştir. Sonuç olarak anemometrenin genel rüzgâr yönü kuzeydoğu güneybatı yörüngesinde modellenmiş olup ortalama

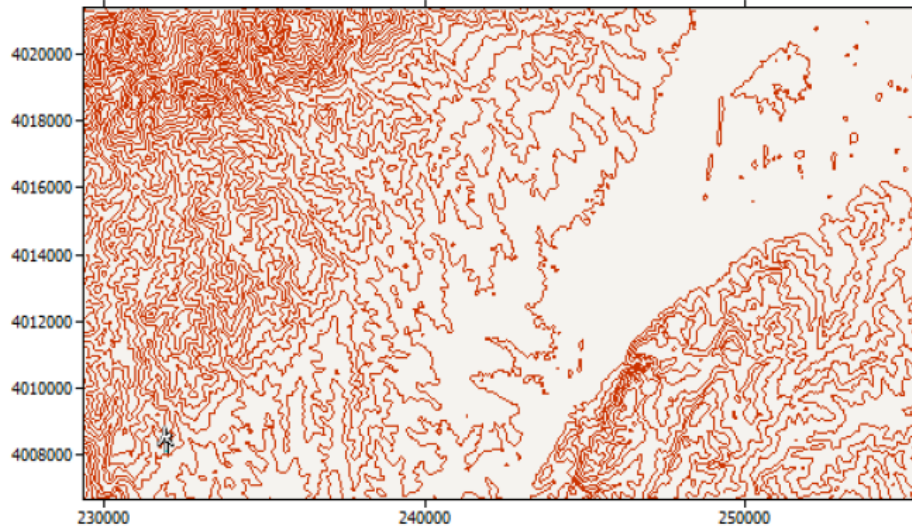
rüzgâr hızı 2,55 m/s ve birim zamanda birim alandan geçen rüzgâr gücü 23 W/m² bulunmuştur. Tablo 5.2 de Antakya site bilgisi verilerek Tahmini güç yoğunluğu değerleri, 1.186 kg / m³ hava yoğunluğu için hesaplanmıştır.

Tablo 5.2 Antakya Site Bilgisi

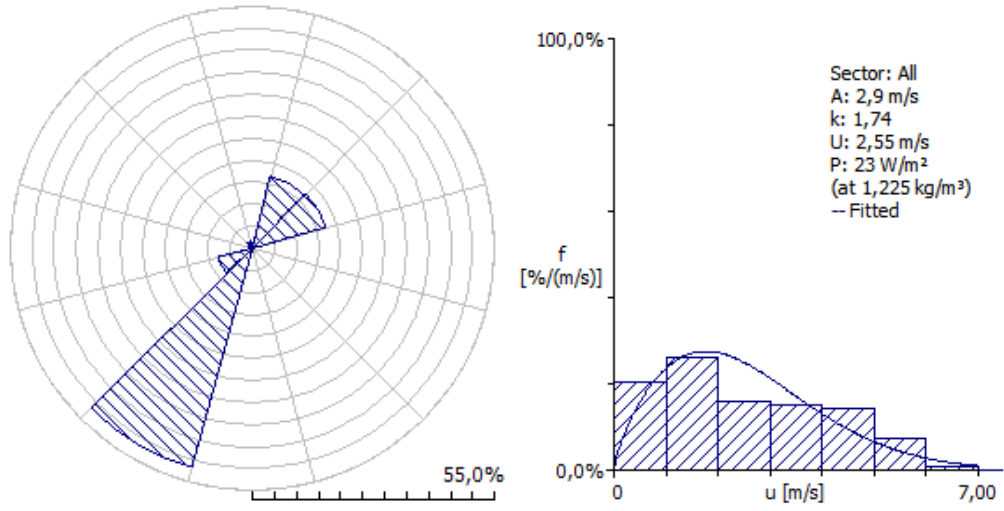
Anemometer height a.g.l	10m
Elevation a.s.l	266,4 m
Net altitude a.s.l	276,4 m
Mean air density	1,186 kg/m ³

Gözlemlenen rüzgâr iklimi anemometre verileri 36,08°K 36,14°D'de toplanmıştır.

Buluşma. İstasyon 'ANTAKYA - Generated by GlobalMapper (www.globalmapper.com)' adlı haritada (232007,4008115) koordinatlarında yer almaktadır. Şekil 5.12 de Antakya için anemometre yeri belirtilmiştir. Şekil 5.13 de 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Antakya WASP Anemometre Yeri



Şekil 5.13 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi

Tablo 5.3 Antakya Rüzgâr Yönleri

	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
A [m/s]	0.7	1.6	1.7	0.8	0.8	0.7	1.4	4.0	2.3	0.7	0.7	0.7
k	1.85	2.33	2.29	1.73	1.72	1.77	1.32	3.29	1.34	1.83	1.49	1.65
U [m/s]	0.62	1.42	1.53	0.69	0.74	0.65	1.24	3.62	2.11	0.63	0.65	0.63
P [W/m²]	0	3	4	0	1	0	4	39	19	0	0	0
f [%]	1.3	16.9	17.3	0.3	0.2	0.2	0.8	51.6	8.0	1.0	0.8	1.6

Tablo 5.4 Antakya Histogram kutuları

U [m/s]	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All
1.0	883	305	266	816	758	853	494	51	366	879	887	899	205
2.0	117	525	498	184	242	147	405	116	217	121	91	91	261
3.0	0	160	213	0	0	0	29	169	93	0	22	11	159
4.0	0	10	22	0	0	0	43	258	143	0	0	0	150
5.0	0	1	1	0	0	0	29	259	114	0	0	0	143
6.0	0	0	0	0	0	0	0	134	61	0	0	0	74
7.0	0	0	0	0	0	0	0	12	6	0	0	0	7

Tablo 5.5 Antakya Barometrik Referans bilgisi

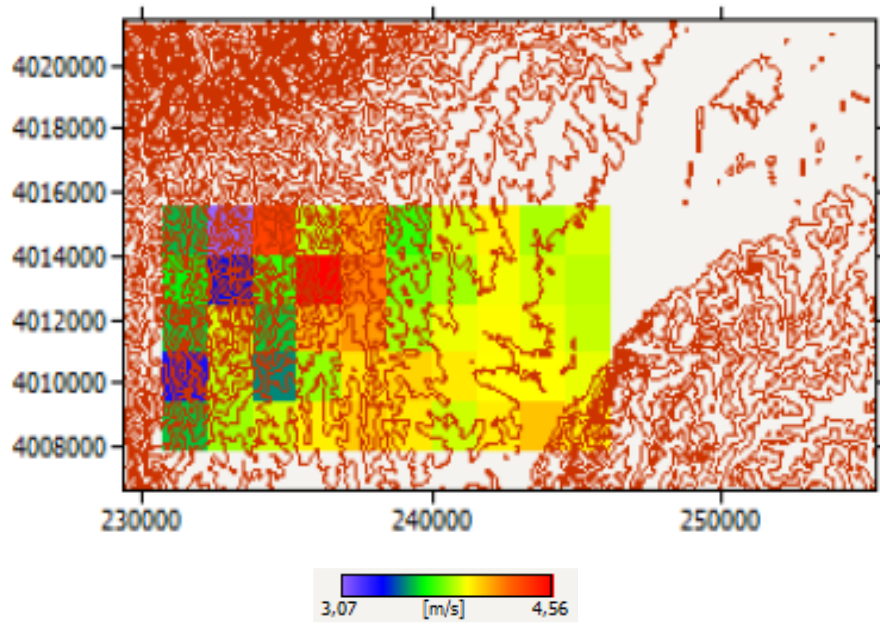
Mean temperature	16,98 °
Ref. altitude for temperature a.s.l	2,3 m
Mean pressure	101.734 Pa
Ref. altitude for pressure a.s.l	,3 m
Relative humidity	76,58075 %

Tablo 5.3 de Antakya rüzgâr yönleri verilerek Tablo 5.4 ise Antakya histogram kutuları verilmiştir. Tablo 5.5'e göre ise sıcaklık ortalama 16.98 derece civarındayken bağıl nem %76.58075 bulunmuştur. Tablo 5.6 da Antakya ortalama hızı verilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda ;

Tablo 5.6 Antakya Ortalama Hız [m / s]

Maximum Value	4,56 m/s at (236150, 4013230)
Minimum Value	3,07 m/s at (233050, 4014780)
Mean Value	3,88 m/s



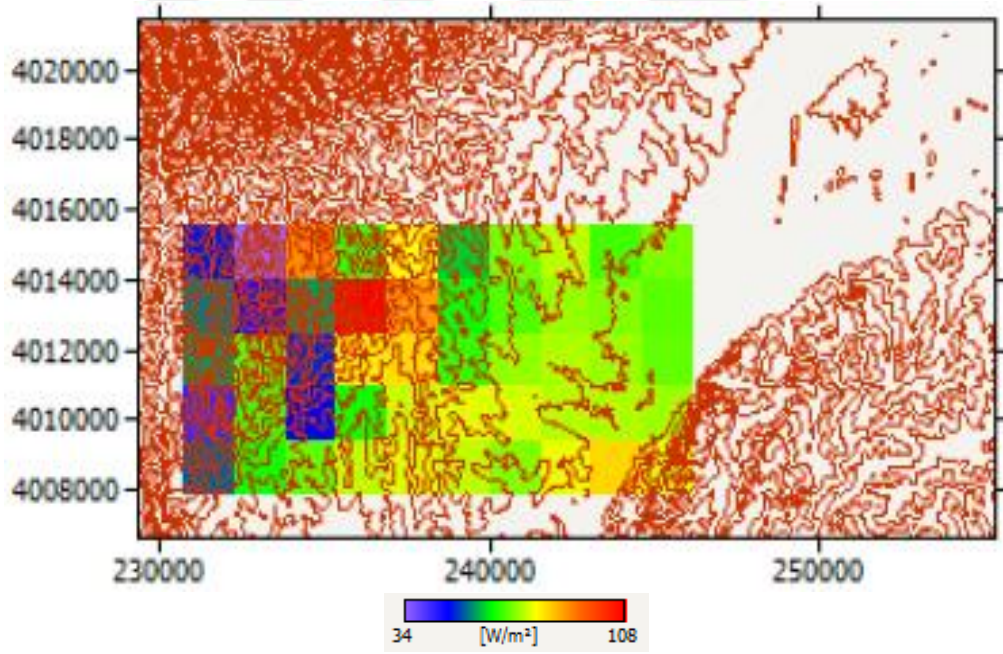
Şekil 5.14 Antakya maksimum ve minimum hız

Yukarıdaki Şekil 5.14 te Antakya için maksimum ve minimum hız değerleri izohipsli haritada gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Antakya Güç Yoğunluğu [W / m^2]

Maximum Value	108 W/m^2 at (236150, 4013230)
Minimum Value	34 W/m^2 at (233050, 4014780)
Mean Value	69 W/m^2

Yukarıdaki Tablo 5.7 de Antakyanın metrede bulunan güç yoğunluğu verilmiştir.



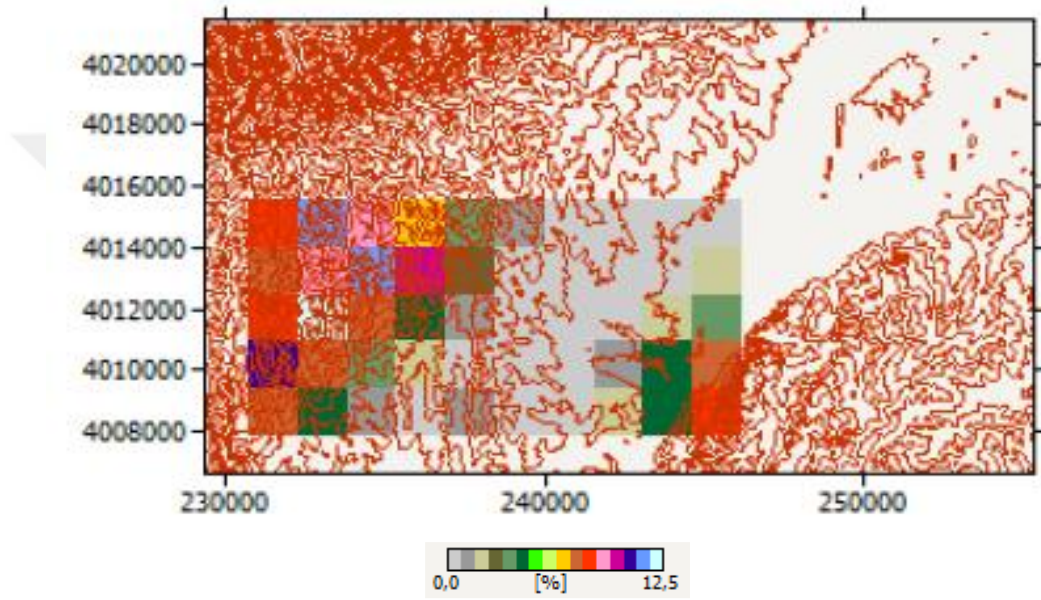
Şekil 5.15 Antakya Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu

Yukarıdaki Şekil 5.15 te Antakya'nın izohipsli haritada maksimum ve minimum olduğu yerler belirtilmiştir.

Antakya için maksimum hız ve güç (236150.0,4013230) konumunda iken minimum hız 233050.0,4014780) olarak ölçülmüştür. Tablo 5.8 de Antakya için RIX değerleri verilerek Şekil 5.16 da ise izohipsli haritada RIX yerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.8 Antakya RIX [%]

Maximum Value	12,5% at (233050, 4011680)
Minimum Value	0,0% at (243900, 4014780)
Mean Value	3,8%



Şekil 5.16 Antakya Maksimum ve Minimum RIX [%]

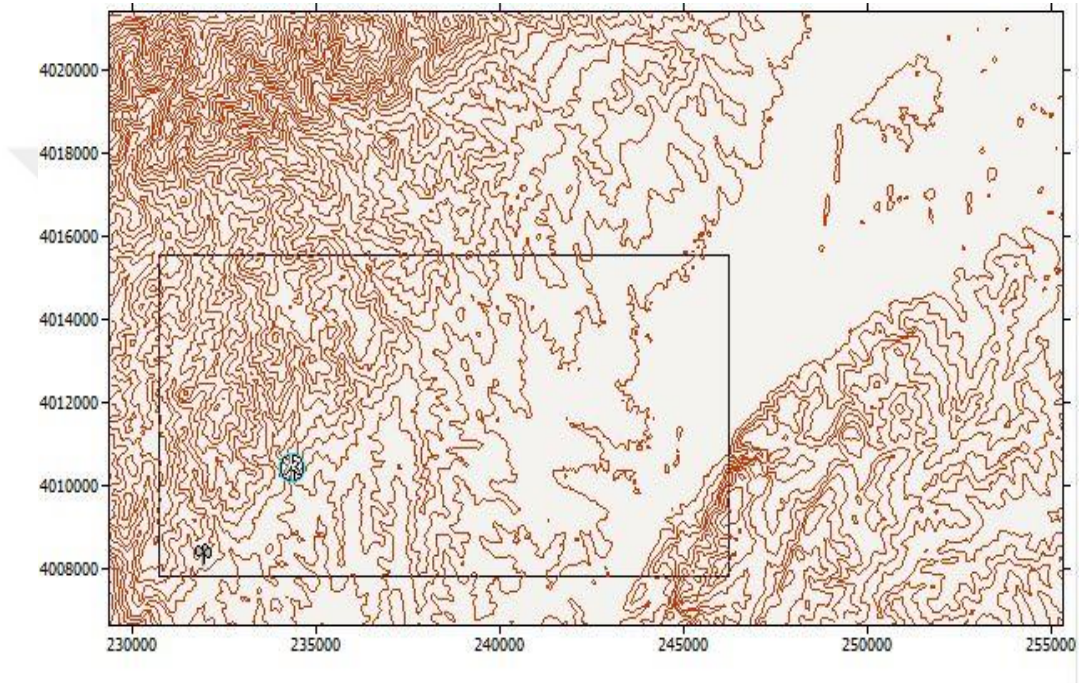
Tablo 5.9 da Antakya'nın Site rüzgâr iklimi verilerek Tablo 5.10 da ise Antakya'nın site sonuçları tablo halinde gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Antakya Site rüzgâr iklimi

Site	Location [m]	H [m]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 001	(234430,5, 4010131,0)	55,0	3,2	1,97	2,88	27	4,5	0,1

Tablo 5.10 Antakya Site sonuçları

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m] a.s.l.	Height [m] a.g.l.	Air density [kg/m ³]	Net AEP [MWh]	Wake loss [%]
Turbine site 001	(234430,5, 4010131,0)	Vestas V52-850 kW	209,4	55,0	1,187	156,951	0,00



Şekil 5.17 Antakya için WAsP Sonuç görüntüsü

Sonuç ;

WAsP modeli ile Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) analisti elde etmek için Meteorolojiden alınan veri seti içe aktarıldı bu veriler, yerden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ve yönünü içerir. Her 22.5 derecelik rüzgâr yönü sektörü için. OMWC, bir sektördeki rüzgâr frekansını, ortalama rüzgâr hızını içerir. İçe aktarılan verilerden, Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) oluşturulur. Daha sonra WAsP kullanarak rüzgâr kaynağı değerlendirmesi yaptığımızda, bu OMWC'yi içe aktarılmıştır. OMWC, rüzgâr verilerinin sektörler halinde gruplandırılması ve Weibull dağılımının hesaplanmasıyla oluşturulmuştur. Her sektör için A ve K parametreleri. Bu noktadan itibaren, alınan rüzgâr verileri kullanılmaz, bunun yerine ölçülenleri temsil eden OMWC kullanılır. Bu belirli bir alanın rüzgâr yönü dağılımlarını göstermektedir. Rüzgâr gülü pusulayı 12 sektöre böler ve ortalama rüzgâr hızını, rüzgârın her yönden estiği zamanın

ortalama yüzdesini gösterir. Kuzey Doğu-Güney Batı yönü lokasyonda hâkim yöndür. OMWC ile girdi verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.17 de Antakya için WAsP Sonuç görüntüsü verilmiştir. WAsP, türbin sahalarından gelen topografik etkileri türbin sahasında bölgesel rüzgâr iklimi ve göbek yüksekliğinde (55 m) rüzgâr türbini Vestas V52'ye (850 kW) uygulandı. Ve bölgede ki toplam güç 156.951 MWh olduğu için bölgede 185 adet rüzgâr türbini ile rüzgâr çiftliği kurulabilir.

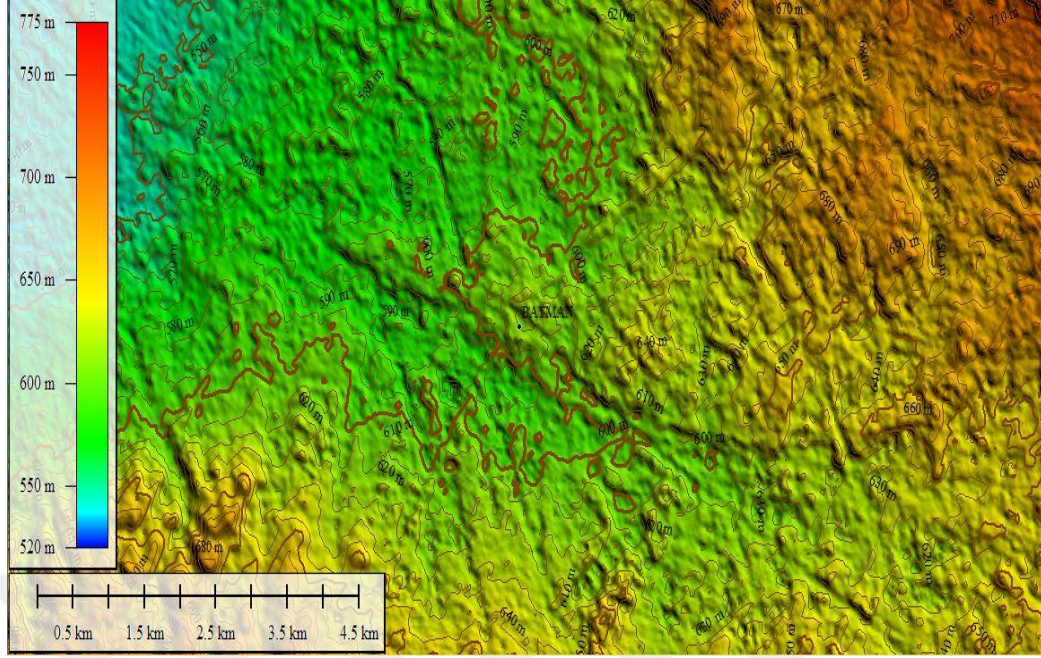
5.1.3. Batman İçin WAsP ile Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tespiti

Batman Türkiye'nin Güney Doğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Batman 4477 km kare yüz ölçümüne sahip olarak ortalama rakım yüksekliği 570 metredir. Diğer doğu şehirlerinde de olduğu gibi temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Son zamanlarda tekstil fabrikalarının Organize Sanayi bölgesinde açılmasıyla birlikte enerji açığı ortaya çıkmaktadır ve yapılan çalışmalarla birlikte giderek gelişmeye başlayarak elektrik ihtiyacı gereksinimi duyulmaktadır. Buna bağlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak için çeşitli alternatif çözüm yöntemleri bulunmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmamızda aşağıdaki Şekil 5.18 haritasındaki etikette belirtilmek üzere 37.8636 Kuzey enlemiyle, 41.1562 Doğu boylamı noktasında çalışma yapılmıştır. Şekil 5.19 haritasında ise daha genişletilmiş olarak aynı bölgenin dem haritası çizilmiştir.



Şekil 5.18 37.8636 Kuzey enlemiyle, 41.1562 Doğu boylamı



Şekil 5.19 Batman İzohipsli dem haritası

Batman ilinde anemometrenin bulunduğu alan 100'er metre aralıkla izohipsle olarak çizilmiş ve Batman alan olarak 775 rakıma ulaşırken Batman'ın belirtilen konumundaki rakım 620 metre olarak bulunmuştur.

Batman için yaptığımız bu çalışmada MGM den aldığımız yerden 10 metre yükseklikteki 1 yıllık saatlik rüzgâr verileri 41.09 enlem ve 37.51 boylamlarında datalar girilerek programa yazılmıştır. Ve daha sonra 689,3 metrede anemometre yeri belirtildi. Sonuç olarak anemometrenin genel rüzgâr yönü kuzeydoğu güneybatı yöreğinde modellenmiş olup ortalama rüzgâr hızı 2,04 m/s ve birim zamanda birim alandan geçen rüzgâr gücü 30 W/m² bulunmuştur. Tablo 5.11 de de gösterildiği üzere tahmini güç yoğunluğu değerleri, 1,148 kg / m³ hava yoğunluğu için hesaplanmıştır.

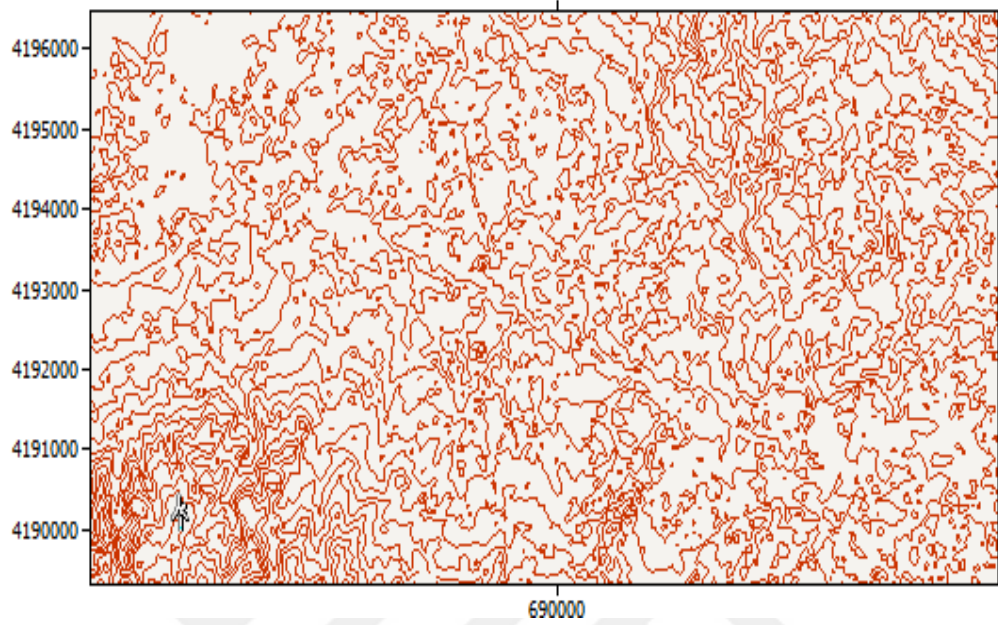
Tablo 5.11 Batman Site Bilgisi

Anemometer height a.g.l	10m
Elevation a.s.l	689,3 m
Net altitude a.s.l	699,3 m
Mean air density	1,148 kg/m ³

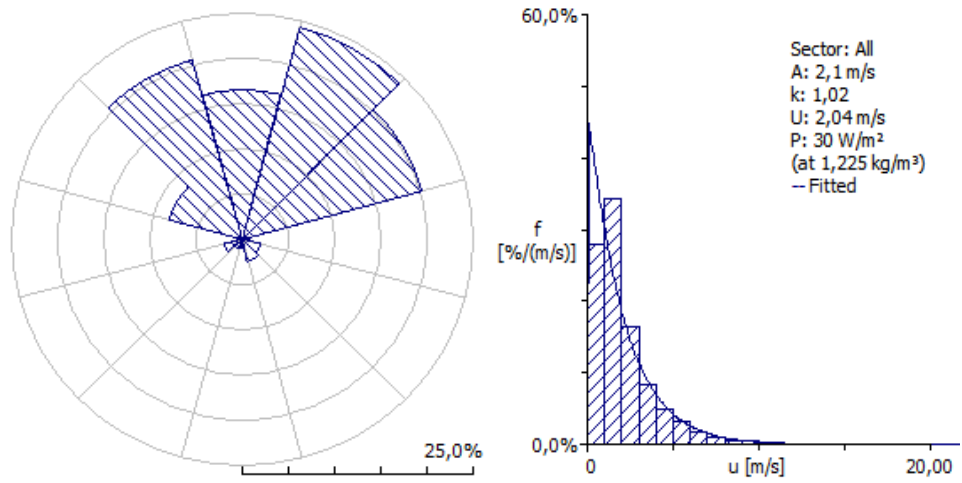
Gözlemlenen rüzgâr iklimi anemometresi verileri 41,09°K 37,51°D'de toplanmıştır.

Buluşma. İstasyon, 'BATMAN- Generated by Global Mapper (www.globalmapper.com)' adlı bir haritada (683849,4190028) koordinatlarında yer almaktadır. Şekil 5.20 de Batman WASP

anemometre yeri gösterilmiştir. Şekil 5.21 10 metre yükseklikteki anemometrenin rüzgâr yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Batman WAsP Anemometre Yeri



Şekil 5.21 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi

Tablo 5.12 Batman Rüzgâr Yönleri

	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
A [m/s]	1.3	1.4	2.3	4.3	7.3	6.3	5.6	6.2	5.4	4.3	3.3	2.1
k	1.21	1.41	1.31	2.01	1.89	1.79	2.20	3.00	2.58	2.63	2.05	1.64
U [m/s]	1.25	1.29	2.13	3.78	6.45	5.65	4.96	5.56	4.82	3.83	2.94	1.87
P [W/m²]	5	4	20	63	334	238	131	148	106	52	29	10

f [%]	16.4	24.2	20.2	0.8	2.2	2.5	1.0	1.2	2.0	0.6	8.2	20.6
-------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Tablo 5.13 Batman Histogram kutuları

U [m/s]	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All
1.0	506	468	266	60	33	24	32	18	10	33	50	115	281
2.0	399	398	300	111	60	34	33	15	14	27	194	495	344
3.0	52	103	207	146	71	67	122	34	76	201	312	267	165
4.0	20	16	113	285	114	157	128	106	215	310	243	76	83
5.0	9	8	57	167	100	172	223	228	240	264	113	28	49
6.0	8	3	29	111	113	142	206	191	188	119	54	14	31
7.0	5	2	11	49	127	103	95	209	131	9	17	5	18
8.0	0	2	7	21	86	78	28	93	62	0	14	1	10
9.0	1	0	6	42	52	62	45	39	34	36	1	0	6
10.0	1	0	3	7	81	62	56	44	25	0	1	0	6
11.0	0	0	1	0	49	25	33	22	4	0	0	0	3
12.0	0	0	1	0	26	25	0	0	0	0	0	0	1
13.0	0	0	0	0	23	27	0	0	0	0	0	0	1
14.0	0	0	0	0	22	3	0	0	0	0	0	0	1
15.0	0	0	0	0	27	10	0	0	0	0	0	0	1
16.0	0	0	0	0	7	8	0	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.12 de Batman'ın mevcutta rüzgâr yönleri verilerek Tablo 5.13 te ise Batman Histogram kutuları belirtilmiştir.

Tablo 5.14 Batman Barometrik Referans bilgisi

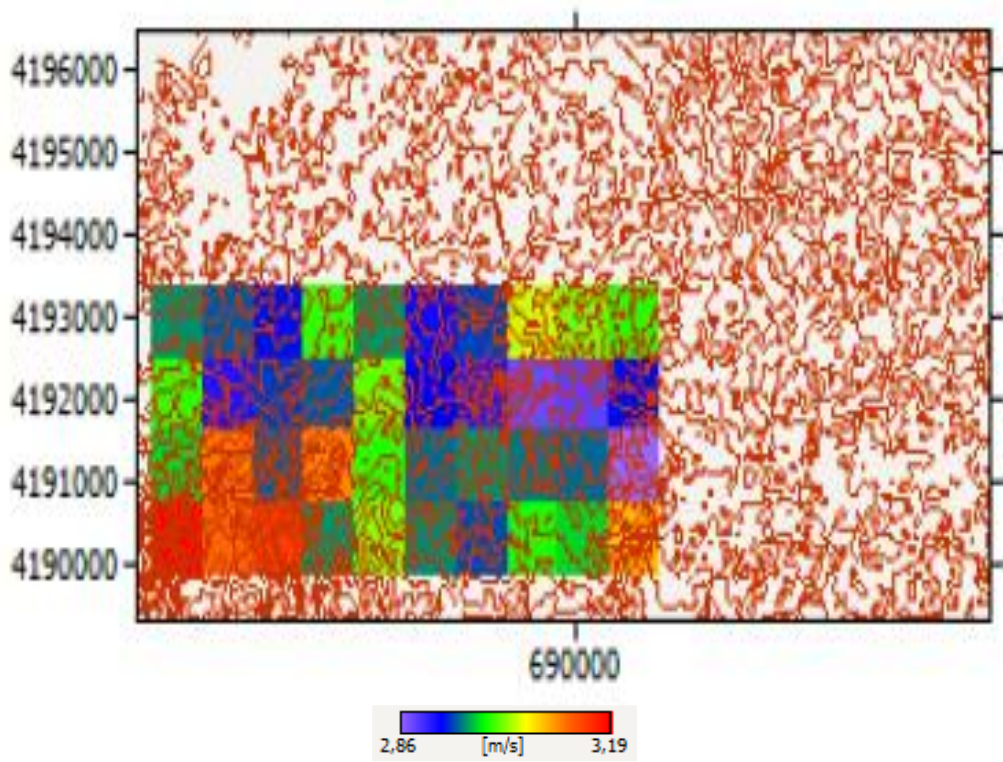
Mean temperature	15,62 °
Ref. altitude for temperature a.s.l	1,5 m
Mean pressure	101.724 Pa
Ref. altitude for pressure a.s.l	-,5 m
Relative humidity	77,31349 %

Yukarıdaki Tablo 5.14'e göre sıcaklık ortalama 15,62 derece civarındayken bağıl nem %77,31349 bulunmuştur. Tablo 5.15 te Batman ın ortalama hızı 2.99 m/s bulunmuştur. Şekil 5.22 de Batman maksimum ve minimum hız olduğu yerler izohipsli haritada gösterilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda;

Tablo 5.15 Batman Ortalama Hız [m / s]

Maximum Value	3,19 m/s at (683000,0, 4190275,0)
Minimum Value	2,86 m/s at (691010,0, 4191165,0)
Mean Value	2,99 m/s

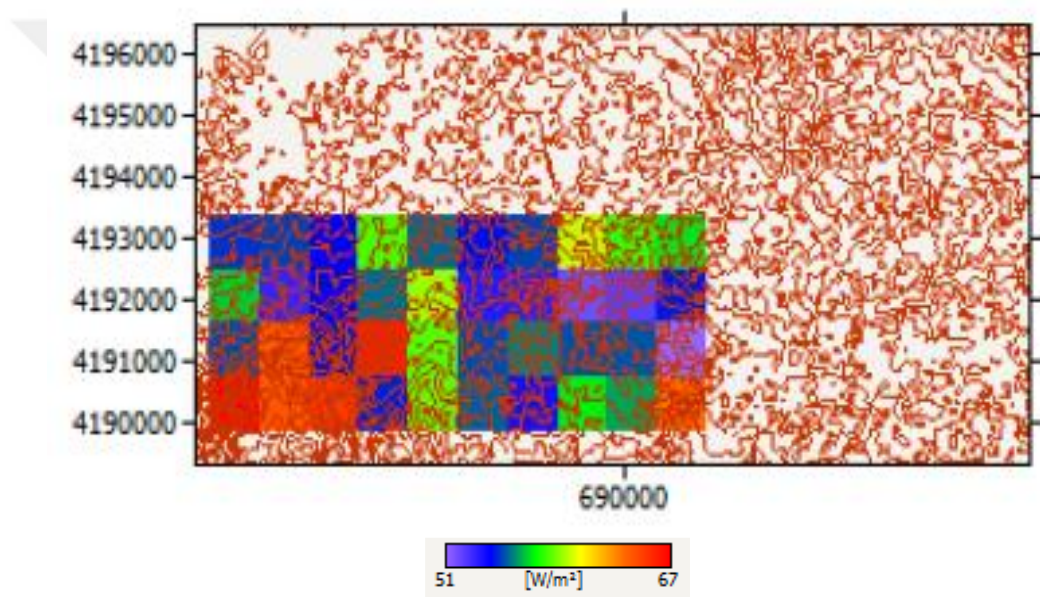


Şekil 5.22 Batman Maksimum ve Minimum hız [m / s]

Tablo 5.16 Batman Güç Yoğunluğu [W / m^2]

Maximum Value	67 W/m^2 at (683000,0, 4190275,0)
Minimum Value	51 W/m^2 at (691010,0, 4191165,0)
Mean Value	57 W/m^2

Yukarıdaki tablo 5.16 da Batman'nın metre kare alandaki ortalama güç yoğunluğu verilmiştir.



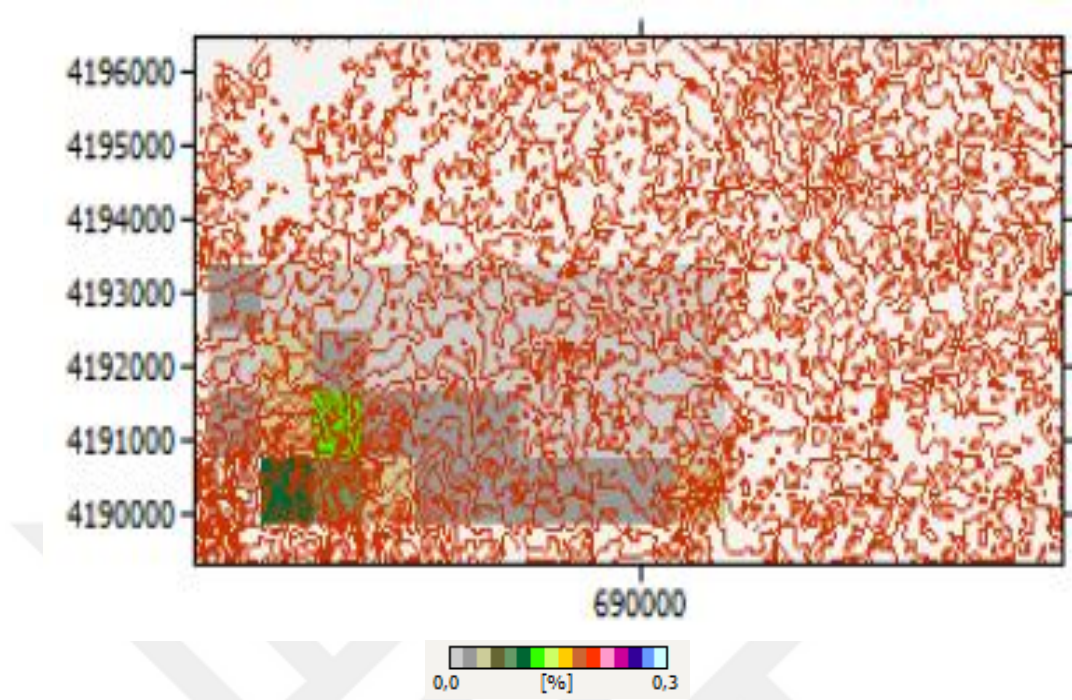
Şekil 5.23 Batman Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m^2]

Şekil 5.23 te Batman için Hızın ve gücün en yüksek olduğu konum (683000.0,4190275.0) en düşük olduğu konum ise (691010.0,4191165.0) olarak ölçülmüştür.

Tablo 5.17 Batman RIX [%]

Maximum Value	0,3% at (683000,0, 4190275,0)
Minimum Value	0,0% at (691010,0, 4191165,0)
Mean Value	0,0%

Yukarıda ki Tablo 5.17 de Batmanın mevcuttaki yerde engebelilik yüzdesi verilerek RIX yerleri Şekil 5.24 te izohipsli haritada gösterilmiştir.



Şekil 5.24 Batman Maksimum ve Minimum RIX [%]

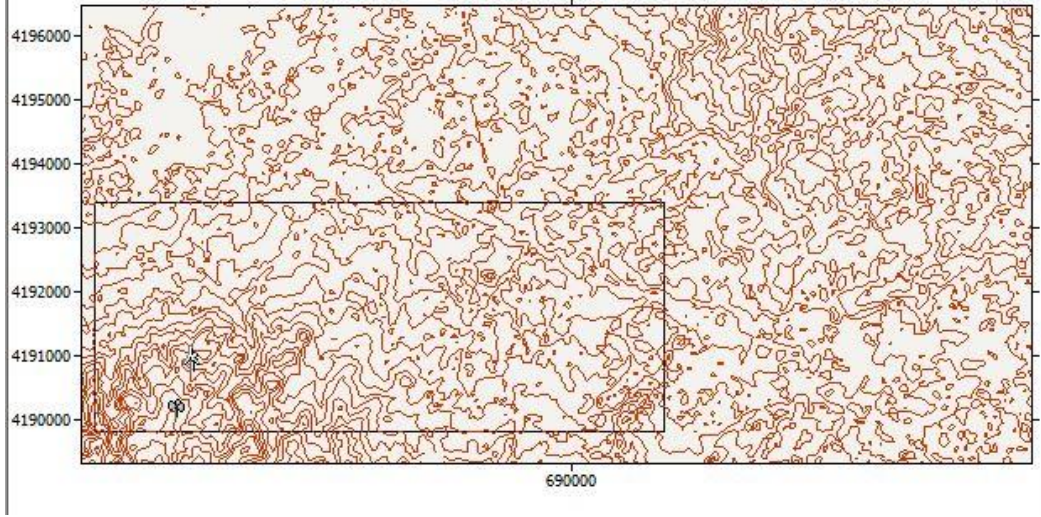
Tablo 5.18 de Batman'ın site rüzgâr iklimi verilerek Tablo 5.19 da Batman'ın site sonuçları tablo halinde gösterilmiştir.

Tablo 5.18 Batman Site rüzgâr iklimi

Site	Location [m]	H [m]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 001	(684106,2, 4190786,0)	55,0	2,9	1,22	2,72	44	0,1	0,0

Tablo 5.19 Batman Site sonuçları

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m] a.s.l.	Height [m] a.g.l.	Air density [kg/m ³]	Net AEP [MWh]	Wake loss [%]
Turbine site 001	(684106,2, 4190786,0)	Vestas V52-850 kW	651,4	55,0	1,147	275,618	0,00



Şekil 5.25 Batman için WAsP Sonuç görüntüsü

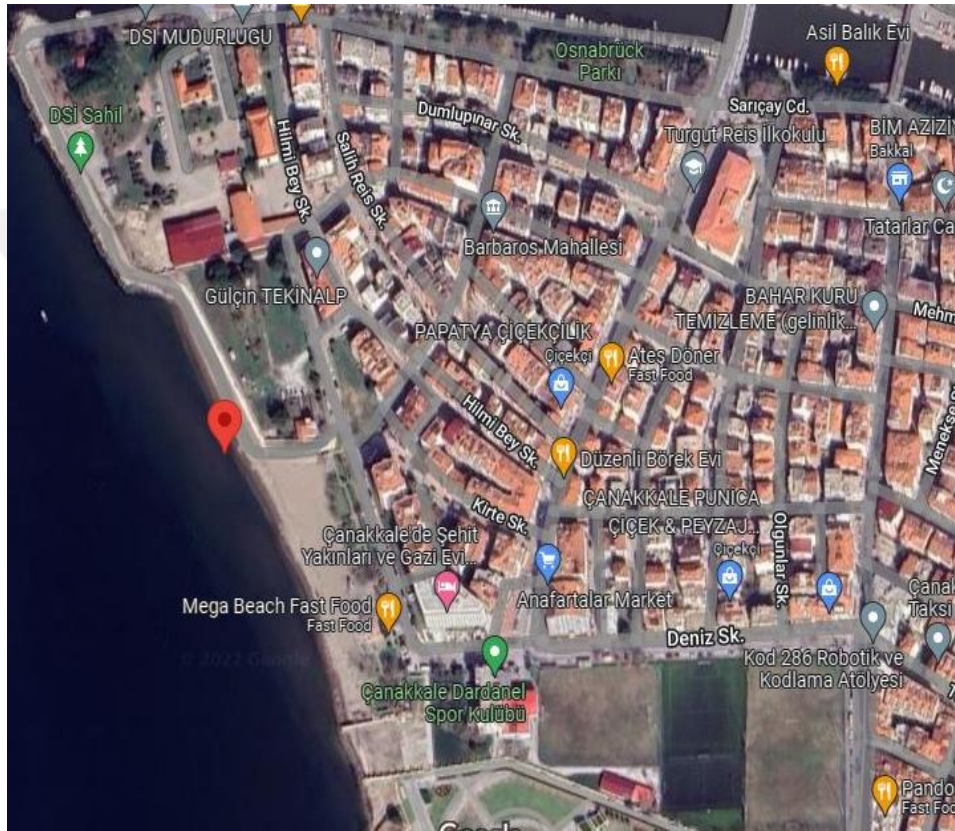
Sonuç;

WAsP modeli ile Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) analisti elde etmek için Meteorolojiden alınan veri seti içe aktarıldı bu veriler, yerden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ve yönünü içerir. Her 22.5 derecelik rüzgâr yönü sektörü için. OMWC, bir sektördeki rüzgâr frekansını, ortalama rüzgâr hızını içerir. İçe aktarılan verilerden, Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) oluşturulur. Daha sonra WAsP kullanarak rüzgâr kaynağı değerlendirmesi yaptığımızda, bu OMWC'yi içe aktardık. OMWC, rüzgâr verilerinin sektörler halinde gruplandırılması ve Weibull dağılımının hesaplanmasıyla oluşturulur. Her sektör için A ve K parametreleri. Bu noktadan itibaren, alınan rüzgâr verileri kullanılmaz, bunun yerine ölçülenleri temsil eden OMWC kullanılır. Belirli bir alanın rüzgâr yönü dağılımlarını göstermektedir. Rüzgâr gülü pusulayı 12 sektöre böler ve ortalama rüzgâr hızını, rüzgârın her yönden estiği zamanın ortalama yüzdesini gösterir. Kuzey Batı-Kuzey Doğu yönü lokasyonda hâkim yöndür. OMWC ile girdi verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.25 Batman için WAsP Sonuç görüntüsü verilerek WAsP, türbin sahalarından gelen topografik etkileri türbin sahasında bölgesel rüzgâr iklimi ve göbek yüksekliğinde (55 m) rüzgâr türbini Vestas V52'ye (850 kW) uygulandı. Ve bölgede ki toplam güç 275.618 MWh olduğu için bölgede 325 adet rüzgâr türbini ile rüzgâr çiftliği kurulabilir.

5.1.4. Çanakkale İçin WAsP ile Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tespiti

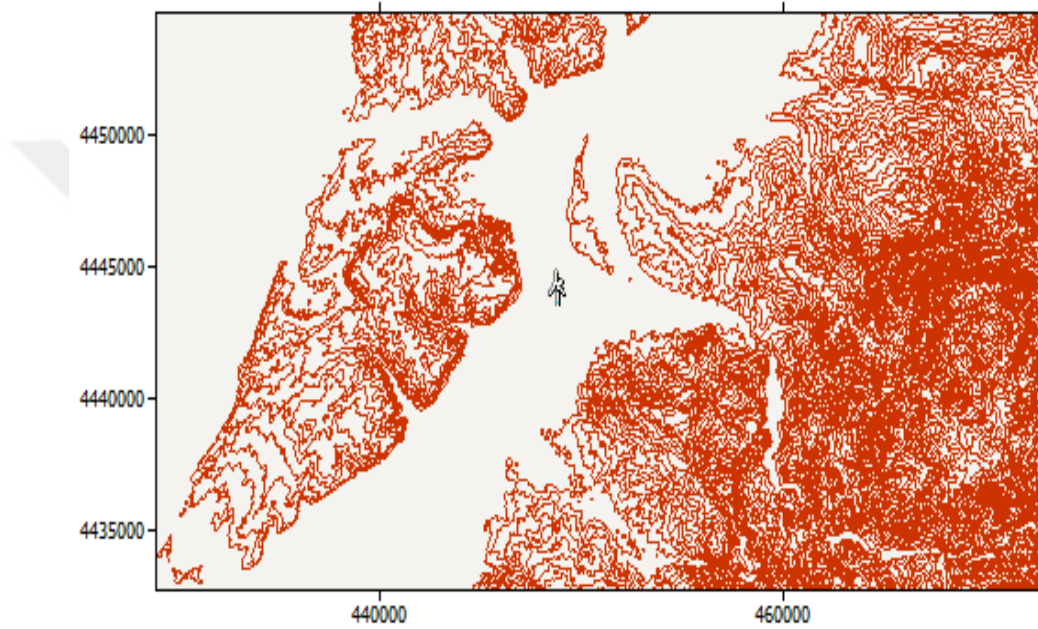
Çanakkale Türkiye'nin Marmara gölgesinde yani kuzeybatı bölgesinde yer almaktadır. Çanakkale 9.817 km kare yüz ölçümüne sahip olarak ortalama rakım yüksekliği 2 metredir. Çanakkale şehrinin temel geçim kaynağı tarıma dayanmaktadır sanayi bunlara bağlı olarak yeni yeni gelişmeye başlayarak imalat sanayisi önem kazandığında Organize Sanayi bölgesinde enerji açığı ortaya çıkmaktadır ve yapılan çalışmalarla birlikte giderek gelişmeye başlayarak elektrik

Bu çalışmamızda aşağıdaki Şekil 5.26 haritasındaki etikette belirtilmek üzere 40.141 Kuzey enlemiyle, 26.3993 Doğu boylamı noktasında çalışma yapılmıştır. Şekil 5.27 haritasında ise daha genişletilmiş olarak aynı bölgenin dem haritası çizilmiştir.

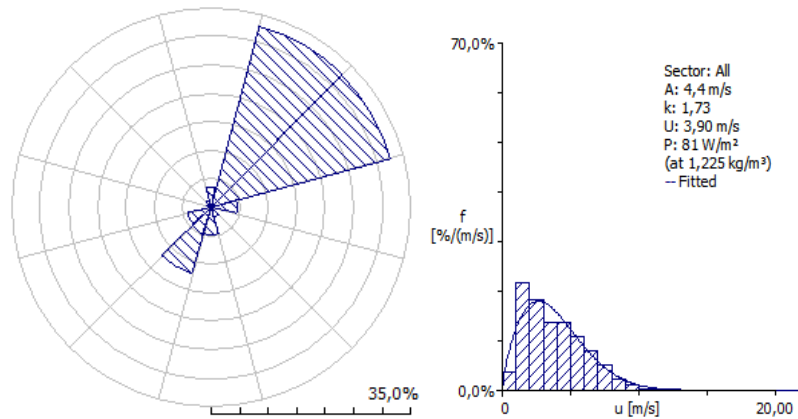


Şekil 5.26 40.141 Kuzey enlemiyle, 26.3993 Doğu boylamı

Gözlemlenen rüzgar iklimi anemometresi verileri 26.24°K 40.08°D'de toplanmıştır. Şekil 5.28 de Çanakkale izohipsli haritada anemometre yeri belirlenmiştir. İstasyon 'ÇANAKKALE - Global Mapper (www.globalmapper.com)' tarafından oluşturulan bir haritada (448887,4443561) koordinatlarında yer almaktadır. Şekil 5.29 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmiştir. Tablo 5.21 ise Çanakkalenin rüzgâr yönleri belirtilmiştir.



Şekil 5.28 Çanakkale anemometre yeri



Şekil 5.29 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi

Tablo 5.21 Çanakkale Rüzgâr Yönleri

-	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
A [m/s]	2.0	4.9	4.0	2.0	1.4	3.5	5.2	5.8	4.8	3.1	2.4	2.1
k	2.20	2.40	1.79	2.79	2.95	1.20	1.52	1.94	1.81	1.11	1.13	2.31
U [m/s]	1.75	4.38	3.53	1.76	1.21	3.27	4.68	5.14	4.29	2.98	2.25	1.84
P [W/m²]	6	84	58	5	2	86	167	164	103	77	31	6
f [%]	3.4	32.8	32.6	4.6	0.9	1.8	4.8	12.1	4.3	0.6	0.7	1.4

Tablo 5.22 Çanakkale Histogram kutuları

U [m/s]	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All
1.0	47	16	20	111	370	163	63	32	58	123	79	98	37
2.0	635	120	249	530	602	298	149	108	159	292	450	512	217
3.0	288	144	212	336	28	122	161	128	162	198	277	343	182
4.0	20	174	144	23	0	92	106	142	136	179	79	30	137
5.0	7	194	138	0	0	60	139	119	120	57	50	8	137
6.0	0	141	100	0	0	76	94	151	147	19	33	8	110
7.0	2	108	68	0	0	86	75	116	75	19	0	0	80
8.0	2	63	43	0	0	44	48	87	70	75	17	0	52
9.0	0	27	21	0	0	6	52	42	29	0	0	0	25
10.0	0	10	7	0	0	19	35	34	19	0	0	0	12
11.0	0	3	1	0	0	16	28	9	8	19	0	0	4
12.0	0	0	0	0	0	10	23	10	5	0	17	0	3
13.0	0	0	0	0	0	0	11	8	9	0	0	0	2
14.0	0	0	0	0	0	0	11	6	2	19	0	0	1
15.0	0	0	0	0	0	6	4	3	0	0	0	0	1
16.0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
17.0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
18.0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0

Tablo 5.23 Çanakkale Barometrik Referans bilgisi

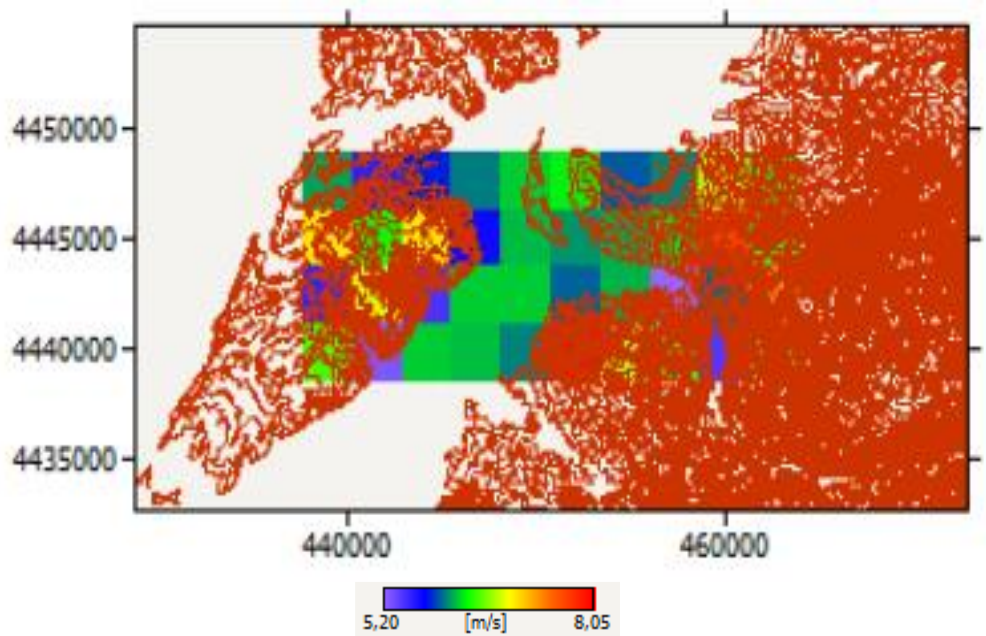
Mean temperature	13,32 °
Ref. altitude for temperature a.s.l	1,6 m
Mean pressure	101.563 Pa
Ref. altitude for pressure a.s.l	-,4 m
Relative humidity	77,90791 %

Yukarıdaki Tablo 5.23'e göre sıcaklık ortalama 13.32 derece civarındayken bağıl nem %77.90791 bulunarak Tablo 5.22 Çanakkale Histogram kutuları gösterilmiştir. Tablo 5.24 te Çanakkale'nin ortalama hızı verilmiştir. Şekil 5.30 da ise Çanakkale'nin maksimum ve minimum hızları izohipsli haritada gösterilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda;

Tablo 5.24 Çanakkale Ortalama Hız [m / s]

Maximum Value	8,05 m/s at (452180, 4439670)
Minimum Value	5,20 m/s at (457420, 4442290)
Mean Value	6,26 m/s

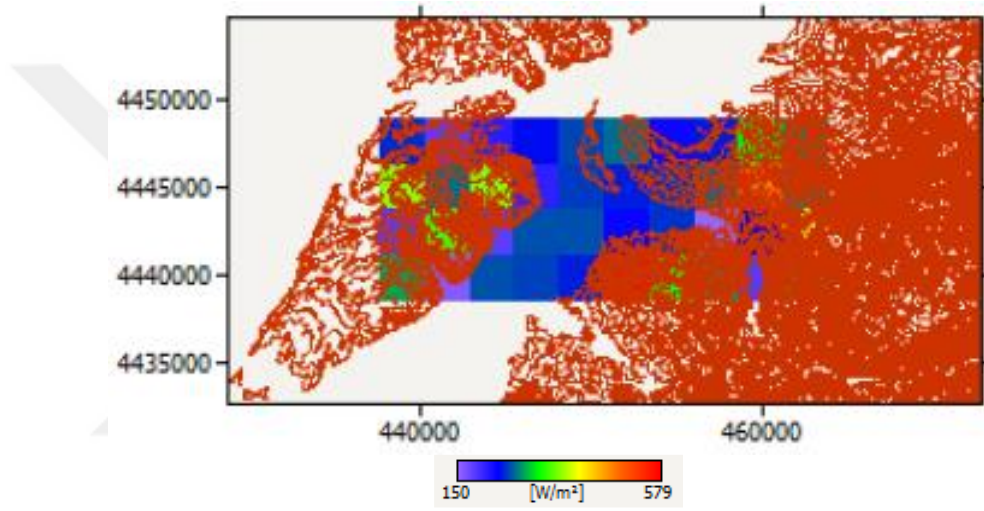


Şekil 5.30 Çanakkale Maksimum ve Minimum Hız [m / s]

Tablo 5.25 Çanakkale Güç Yoğunluğu [W / m^2]

Maximum Value	579 W/m^2 at (452180, 4439670)
Minimum Value	150 W/m^2 at (457420, 4442290)
Mean Value	271 W/m^2

Tablo 5.25 te Çanakkale'nin metre karedeki güç yoğunluğu verilerek Şekil 5.31 de Çanakkale maksimum ve minimum güç yoğunluğu [W / m^2] nun belirtildiği izohipsli harita çizildi.

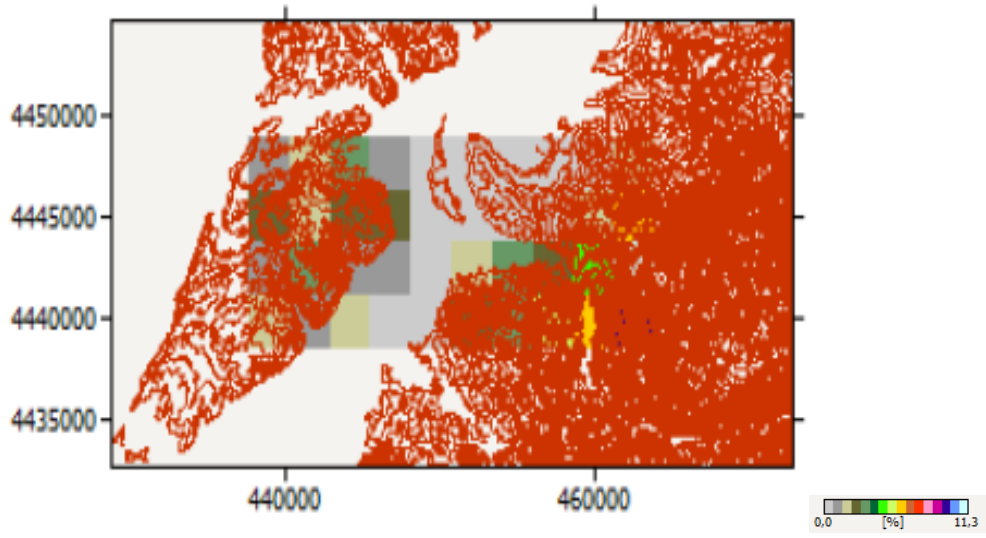


Şekil 5.31 Çanakkale Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m^2]

Çanakkale için Hızın ve gücün en yüksek olduğu konum (452180,4439670) en düşük olduğu konum ise (457420,4442290) olarak ölçülmüştür. Tablo 5.26 da Çanakkale'nin engebelilik oranı belirtilerek Şekil 5.32 de ise bu RIX belirtilen yerler izohipsli haritada gösterilmiştir.

Tablo 5.26 Çanakkale RIX [%]

Maximum Value	11,3% at (462660, 4442290)
Minimum Value	0,0% at (454800, 4447530)
Mean Value	2,2%



Şekil 5.32 Çanakkale Maksimum ve Minimum RIX [%]

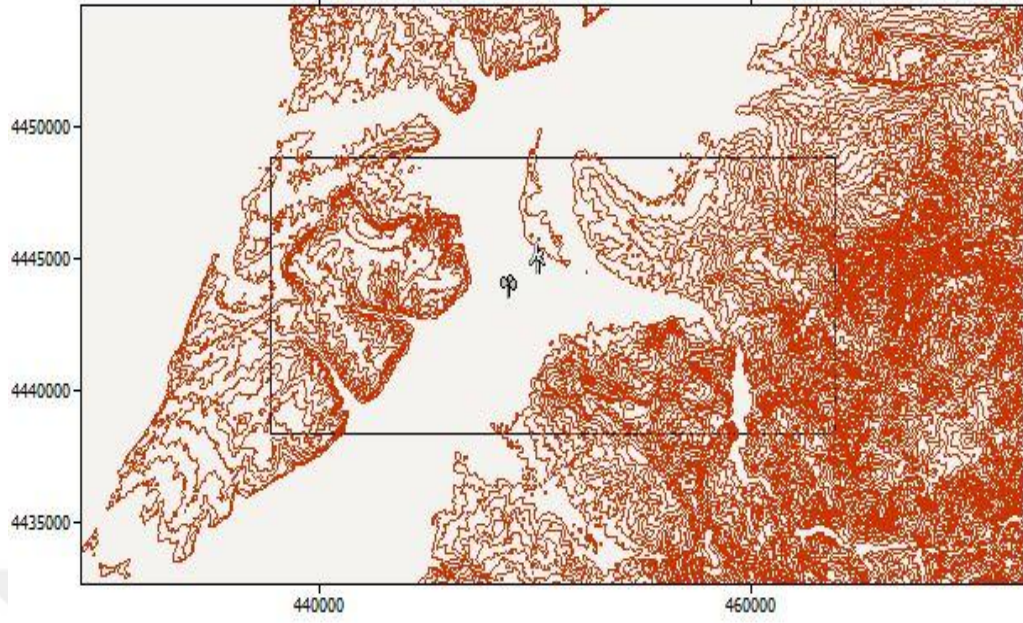
Tablo 5.27 de Çanakkale'nin site rüzgâr iklimi belirlenerek Tablo 5.28 de Çanakkale site sonuçları bulunmuştur.

Tablo 5.27 Çanakkale Site Rüzgâr İklimi

Site	Location [m]	H [m]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 001	(450209,8, 4444538,0)	55,0	6,3	2,09	5,59	195	0,1	-0,4

Tablo 5.28 Çanakkale Site Sonuçları

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m] a.s.l.	Height [m] a.g.l.	Air density [kg/m ³]	Net AEP [MWh]	Wake loss [%]
Turbine site 001	(450209,8, 4444538,0)	Vestas V52-850 kW	25,0	55,0	1,221	1416,494	0,00



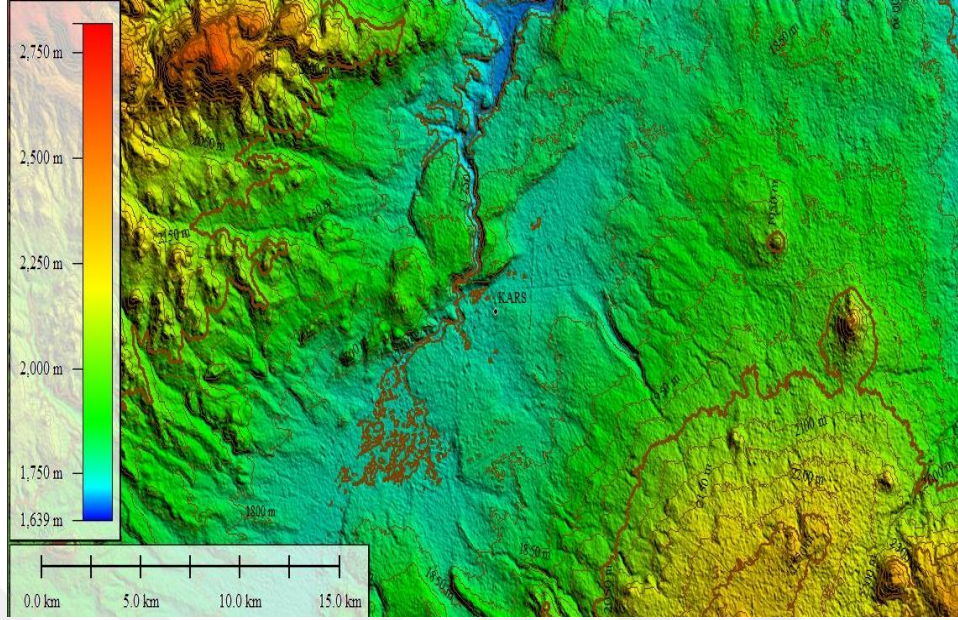
Şekil 5.33 Çanakkale için WAsP Sonuç görüntüsü

Sonuç;

WAsP modeli ile Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) analisti elde etmek için Meteorolojiden alınan veri seti içe aktarıldı bu veriler, yerden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ve yönünü içerir. Her 22.5 derecelik rüzgâr yönü sektörü için. OMWC, bir sektördeki rüzgâr frekansını, ortalama rüzgâr hızını içerir. İçe aktarılan verilerden, Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) oluşturulur. OMWC oluşturulur. Daha sonra WAsP kullanarak rüzgâr kaynağı değerlendirmesi yaptığımızda, bu OMWC'yi içe aktardık. OMWC, rüzgâr verilerinin sektörler halinde gruplandırılması ve Weibull dağılımının hesaplanmasıyla oluşturulur. Her sektör için A ve K parametreleri. Bu noktadan itibaren, alınan rüzgâr verileri kullanılmaz, bunun yerine ölçülenleri temsil eden OMWC kullanılır. Belirli bir alanın rüzgâr yönü dağılımlarını göstermektedir. Rüzgâr gülü pusulayı 12 sektöre böler ve ortalama rüzgâr hızını, rüzgârın her yönden estiği zamanın ortalama yüzdesini gösterir. Kuzey Doğu-Güney Batı yönü lokasyonda hâkim yöndür. OMWC ile girdi verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.33 Çanakkale için WAsP Sonuç görüntüsü bulunmuştur. WAsP, türbin sahalarından gelen topografik etkileri türbin sahasında bölgesel rüzgâr iklimi ve göbek yüksekliğinde (55 m) rüzgâr türbini Vestas V52'ye (850 kW) uygulandı. Ve bölgede ki toplam güç 1416.494 MWh olduğu için bölgede 1667 adet rüzgâr türbini ile rüzgâr çiftliği kurulabilir.

Kars Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde yer almaktadır. Kars 10.193 km kare yüz ölçümüne sahip olarak ortalama rakım yüksekliği 1768 metredir. Kars şehrinin temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır. Sanayi, turizm ve ticaret yeni yeni gelişmeye başlamıştır. Sanayi sektörü son zamanlarda gelişmeye başlamıştır başlıca sanayi tesisleri Ayakkabı Fabrikası, Çimento Fabrikası, Yem Fabrikası, Un Fabrikası, İplik fabrikası ve Et balık fabrikası olduğunda tesislerin işletim yönüyle enerji açığı ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak için çeşitli alternatif çözüm yöntemleri bulunmaya çalışılmıştır.

62



Şekil 5.35 Kars İzohipsli Dem Haritası

Kars da anemometrenin bulunduğu alan 100 er metre aralıkla izohipsli olarak çizilmiş ve Kars da alan olarak 2750 rakıma ulaşırken Kars'ın belirtilen konumundaki rakım 1764,4 metre olarak bulunmuştur.

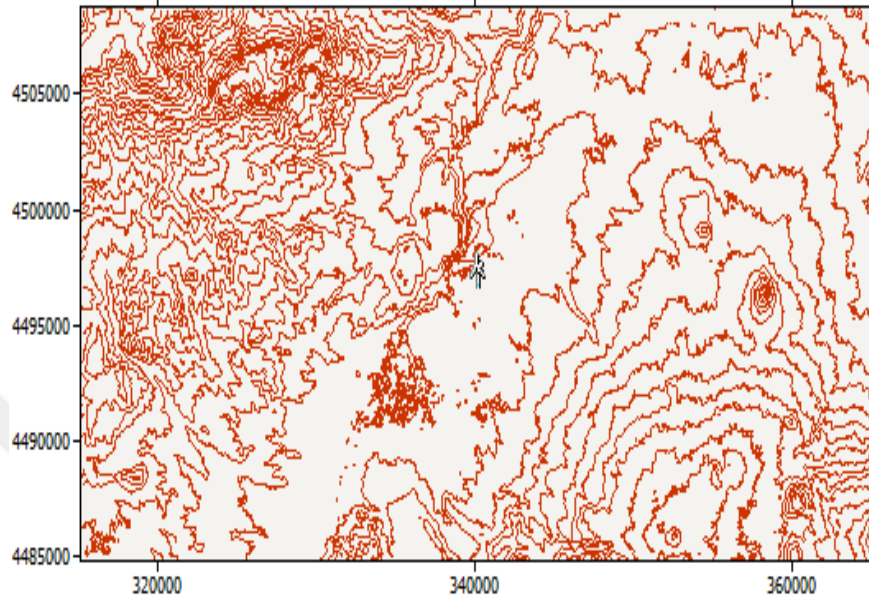
Kars için yaptığımız bu çalışmada MGM den aldığımız yerden 10 metre yükseklikteki 1 yıllık saatlik rüzgâr verileri 40.36 enlem ve 43,06 boylamlarında datalar girilerek programa yazıldı. Ve daha sonra 1774,4 metrede anemometre yeri belirtildi. Sonuç olarak anemometrenin genel rüzgâr yönü kuzeydoğu güneybatı yörüngesinde modellenmiş olup ortalama rüzgâr hızı 2,01 m/s ve birim zamanda birim alandan geçen rüzgâr gücü 28 W/m² bulunmuştur. Tablo 5.29 da Kars'ın site bilgisi belirlenerek tahmini güç yoğunluğu değerleri, 1,044 kg / m³ hava yoğunluğu için hesaplanmıştır.

Tablo 5.29 Kars Site Bilgisi

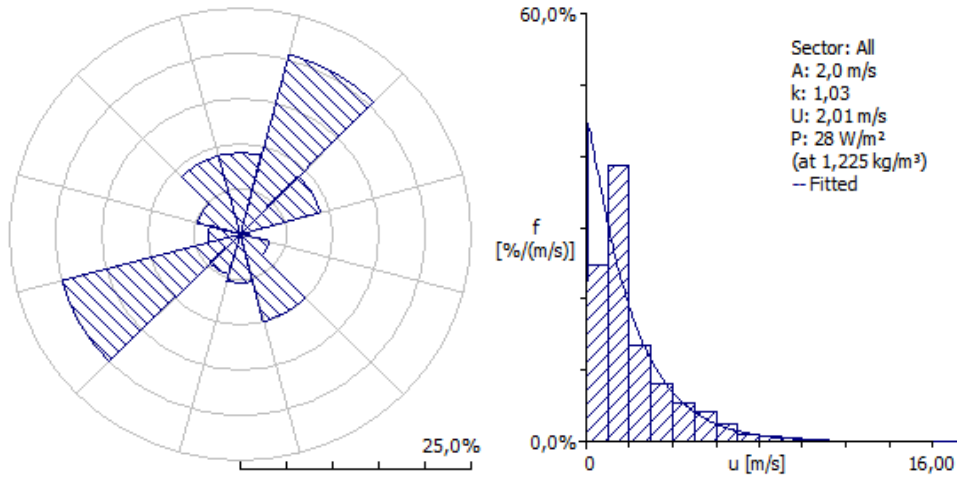
Anemometer height a.g.l	10m
Elevation a.s.l	1764,4 m
Net altitude a.s.l	1774,4 m
Mean air density	1,044 kg/m ³

Gözlemlenen rüzgar iklimi anemometre verileri 43,06°K 40,36°D'de toplanmıştır.

Buluşma. istasyon, 'KARS - Generated by Global Mapper (www.globalmapper.com)' adlı bir haritada (340277,4496763) koordinatlarında yer almaktadır. Aşağıdaki Şekil 5.36 da izohipsli Kars haritasında anemometre yeri belirlendi.



Şekil 5.36 Kars Anemometre Yeri



Şekil 5.37 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi

Yukarıda ki Şekil 5.37 de 10 metre yükseklikteki anemometrenin rüzgâr hızı ve yönü belirlenmiştir. Tablo 5.30 da ise Kars rüzgâr yönü tablosu belirlenerek Tablo 5.31 de Kars histogram kutuları belirlenmiştir.

Tablo 5.30 Kars Rüzgâr Yönü

-	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
A [m/s]	1.6	2.0	2.3	1.9	3.6	4.0	2.8	2.0	1.9	1.7	1.5	1.6
k	1.35	1.06	1.15	0.94	1.38	1.53	1.28	1.07	1.15	0.83	0.90	1.21
U [m/s]	1.45	1.98	2.18	1.98	3.30	3.64	2.57	1.94	1.81	1.87	1.62	1.54
P [W/m²]	6	24	27	33	69	78	37	23	16	40	21	9
f [%]	9.1	20.5	9.0	0.9	3.3	9.9	5.4	4.6	20.0	3.4	4.8	9.0

Tablo 5.31 Kars Histogram kutuları

U [m/s]	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All
1.0	370	169	218	357	181	81	162	280	269	424	433	359	249
2.0	518	471	377	322	231	215	308	354	395	267	315	456	387
3.0	55	130	133	37	137	184	215	205	160	86	80	90	135
4.0	24	86	103	49	112	146	89	62	86	52	45	42	80
5.0	13	54	62	80	131	130	80	26	36	49	37	27	54
6.0	16	44	64	74	110	85	67	23	26	24	46	13	43
7.0	1	24	19	56	23	66	39	28	16	25	27	9	24
8.0	1	9	13	0	13	29	21	2	5	30	8	3	10
9.0	3	5	5	25	17	30	15	10	4	30	2	1	9
10.0	0	5	2	0	25	18	2	7	1	7	4	1	5
11.0	0	2	4	0	11	7	2	2	0	7	0	0	2
12.0	0	0	1	0	4	4	0	0	0	0	2	0	1
13.0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0
14.0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
15.0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 5.32 Kars Barometrik Referans bilgisi

Mean temperature	12,76 °
Ref. altitude for temperature a.s.l	1,9 m
Mean pressure	101.515 Pa
Ref. altitude for pressure a.s.l	-,1 m
Relative humidity	78,03644 %

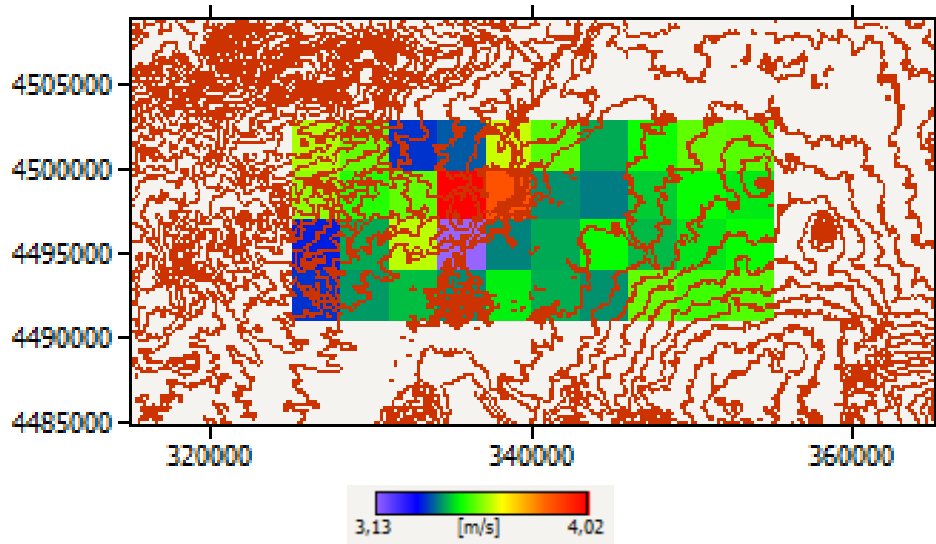
Yukarıdaki Tablo 5.32'e göre sıcaklık ortalama 12.76 derece civarındayken bağıl nem %78.03644 bulunmuştur.

Yapılan hesaplamalar sonucunda;

Kars'ın ortalama hızı Tablo 5.33'te de gösterildiği gibi 3,49 m/s bulunmuştur. Şekil 5.38 ise Kars'ın maksimum ve minimum hızı izohipsli harita da gösterilmiştir.

Tablo 5.33 Kars Ortalama Hız [m / s]

Maximum Value	4,02 m/s at (335675, 4498255)
Minimum Value	3,13 m/s at (335675, 4495265)
Mean Value	3,49 m/s

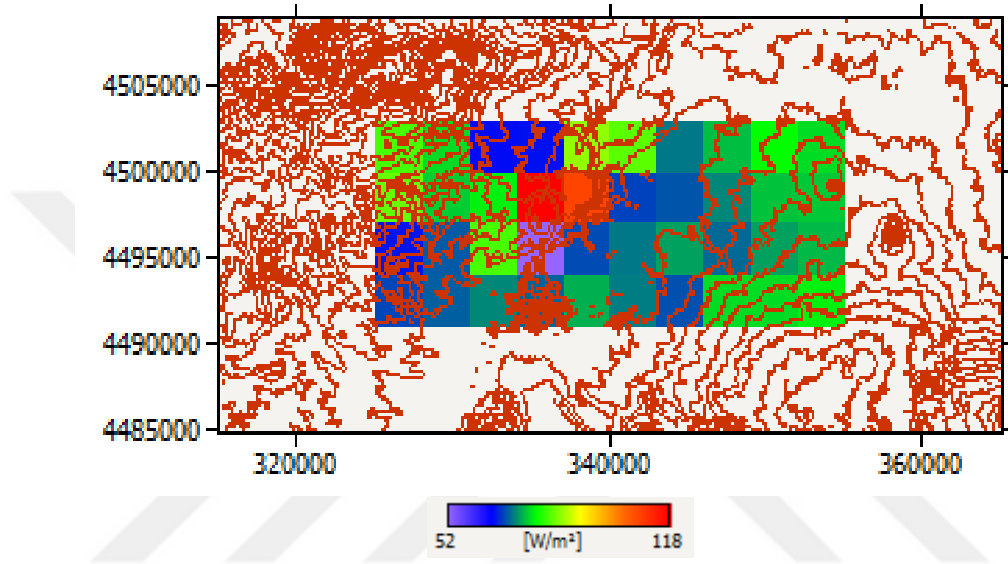


Şekil 5.38 Kars Maksimum ve Minimum Hız [m / s]

Tablo 5.34 te Kars'ın metre karedeki güç yoğunluğu belirlenerek Şekil 5.39 da Kars'ın maksimum ve minimum güç yoğunluğu izohipsli haritada gösterilmiştir.

Tablo 5.34 Kars Güç Yoğunluğu [W / m^2]

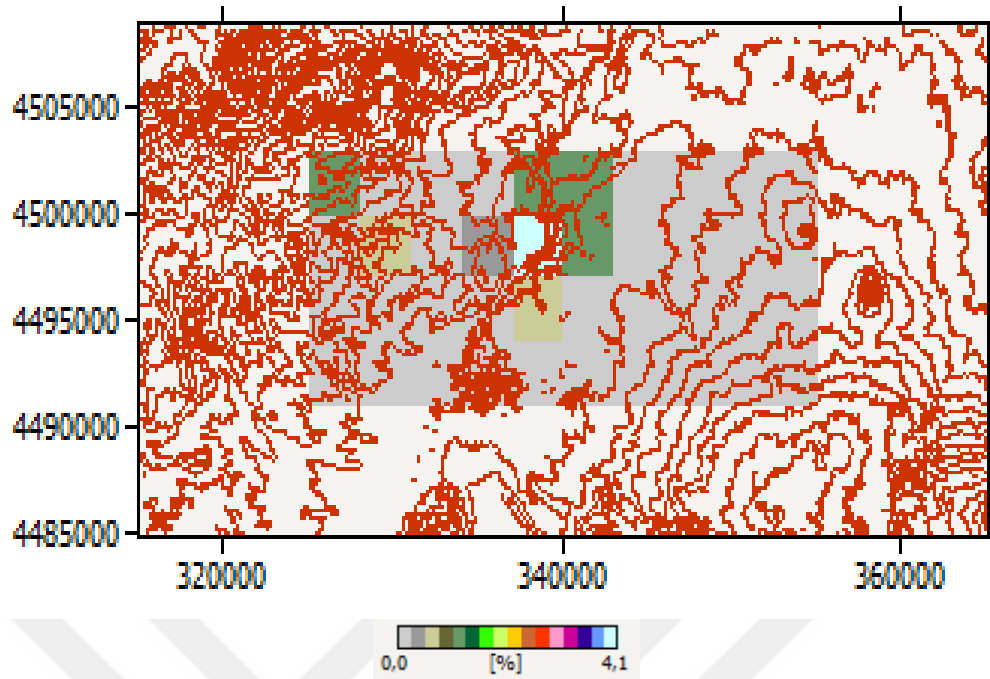
Maximum Value	118 W/m^2 at (335675, 4498255)
Minimum Value	52 W/m^2 at (335675, 4495265)
Mean Value	75 W/m^2

**Şekil 5.39** Kars Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m^2]

Kars için hızın ve gücün en yüksek olduğu konum (335675,4498255) en düşük olduğu konum ise (335675,4495265) olarak ölçülmüştür. Tablo 5.35 te Kars'ın engebелilik yüzdesi belirlenerek Şekil 5.40 te engebелilik oranı izohipsli harita da gösterilmiştir.

Tablo 5.35 Kars RIX [%]

Maximum Value	4,1% at (338665, 4498255)
Minimum Value	0,0% at (353615, 4501245)
Mean Value	0,3%



Şekil 5.40 Kars Maksimum ve Minimum RIX [%]

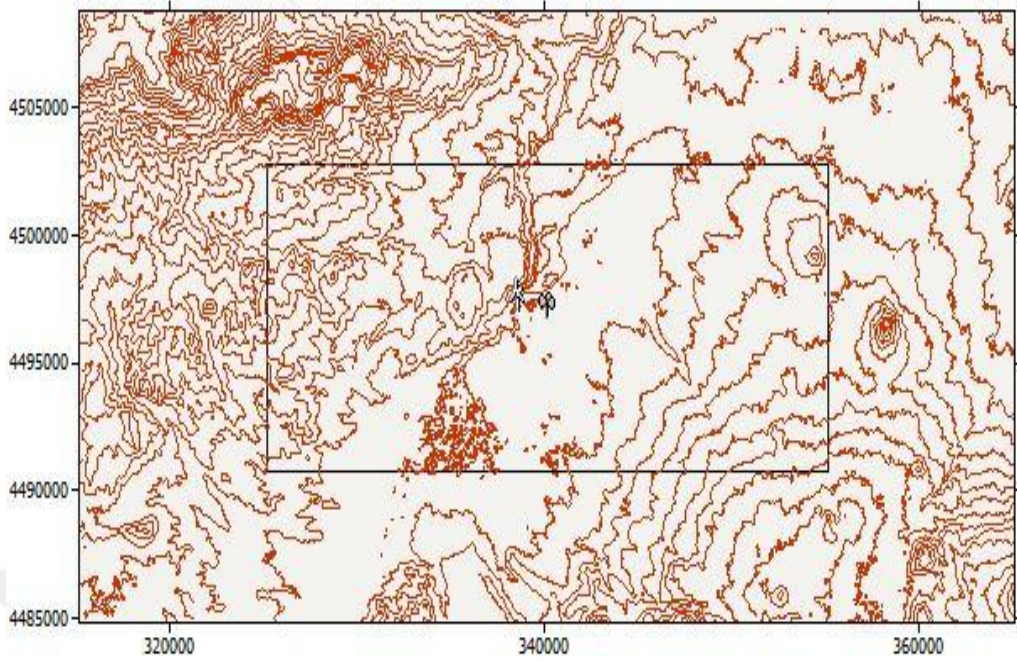
Tablo 5.36 da Kars'ın Site rüzgâr iklimi belirlenerek Tablo 5.37 de Kars'ın site sonuçları bulunmuştur.

Tablo 5.36 Kars Site rüzgâr iklimi

Site	Location [m]	H [m]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 001	(338661,2, 4497111,0)	55,0	3,3	1,28	3,03	51	1,5	0,4

Tablo 5.37 Kars Site sonuçları

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m] a.s.l.	Height [m] a.g.l.	Air density [kg/m ³]	Net AEP [MWh]	Wake loss [%]
Turbine site 001	(338661,2, 4497111,0)	Vestas V52-850 kW	1758,2	55,0	1,040	346,460	0,00



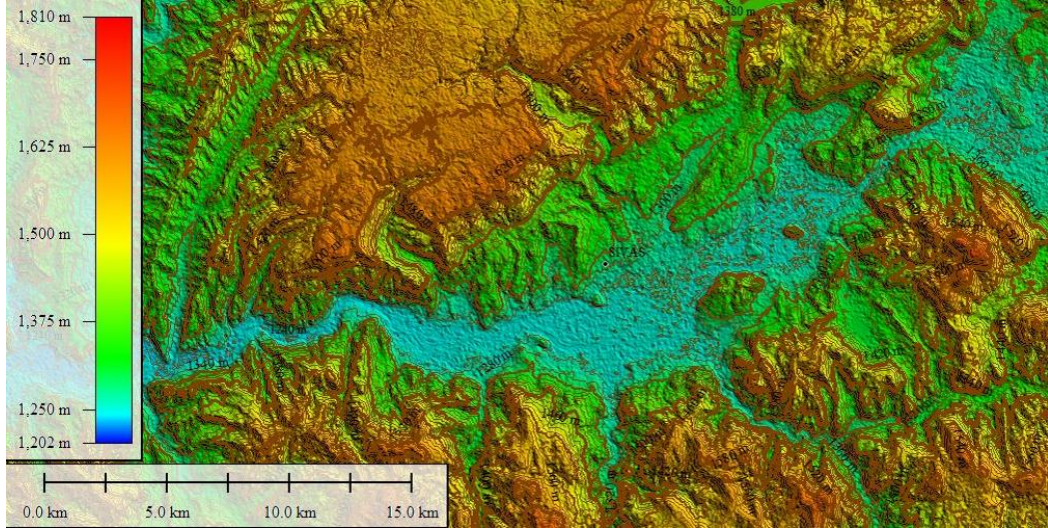
Şekil 5.41 Kars için WASP Sonuç görüntüsü

Sonuç;

WASP modeli ile Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) analisti elde etmek için Meteorolojiden alınan veri seti içe aktarıldı bu veriler, yerden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ve yönünü içerir. Her 22.5 derecelik rüzgâr yönü sektörü için. OMWC, bir sektördeki rüzgâr frekansını, ortalama rüzgâr hızını içerir. İçe aktarılan verilerden, Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) oluşturulur. OMWC oluşturulur. Daha sonra WASP kullanarak rüzgâr kaynağı değerlendirmesi yaptığımızda, bu OMWC'yi içe aktardık. OMWC, rüzgâr verilerinin sektörler halinde gruplandırılması ve Weibull dağılımının hesaplanmasıyla oluşturulur. Her sektör için A ve K parametreleri. Bu noktadan itibaren, alınan rüzgâr verileri kullanılmaz, bunun yerine ölçülenleri temsil eden OMWC kullanılır. Belirli bir alanın rüzgâr yönü dağılımlarını göstermektedir. Rüzgâr gülü pusulayı 12 sektöre böler ve ortalama rüzgâr hızını, rüzgârın her yönden estiği zamanın ortalama yüzdesini gösterir. Kuzey Doğu-Güney Batı yönü lokasyonda hâkim yöndür. OMWC ile girdi verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.41 Kars için WASP Sonuç görüntüsü bulunmuştur. WASP, türbin sahalarından gelen topografik etkileri türbin sahasında bölgesel rüzgâr iklimi ve göbek yüksekliğinde (55 m) rüzgâr türbini Vestas V52'ye (850 kW) uygulandı. Ve bölgede ki toplam güç 346.460 MWh olduğu için bölgede 408 adet rüzgâr türbini ile rüzgâr çiftliği kurulabilir.

Sivas Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde yer almaktadır. 28.488 km kare yüz ölçümüne sahip olan Sivas Türkiye'nin 2. Büyük ilidir ve ortalama rakım yüksekliği 1285 metredir. Sivas şehrinin temel geçim kaynağı tarıma dayanmaktadır. Sanayi yeni yeni gelişmeye başlamıştır. Küçük sanayi etkin olduğundan başlıca sanayi kuruluşları süt fabrikaları, demir çelik fabrikaları, dikimevi, tuğla fabrikaları, un ve yem fabrikaları olduğundan tesislerin işletim yönüyle enerji açığı ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak için çeşitli alternatif çözüm yöntemleri bulunmaya çalışılmıştır.

70



Şekil 5.43 Sivas İzohipsli Dem Haritası

Sivas da Şekil 5.43 deki gibi anemometrenin bulunduğu alan 100'er metre aralıkla izohipsli olarak çizilmiş ve Kars da alan olarak 1810 rakıma ulaşırken Kars'ın belirtilen konumundaki rakım 1286,2 metre olarak bulunmuştur.

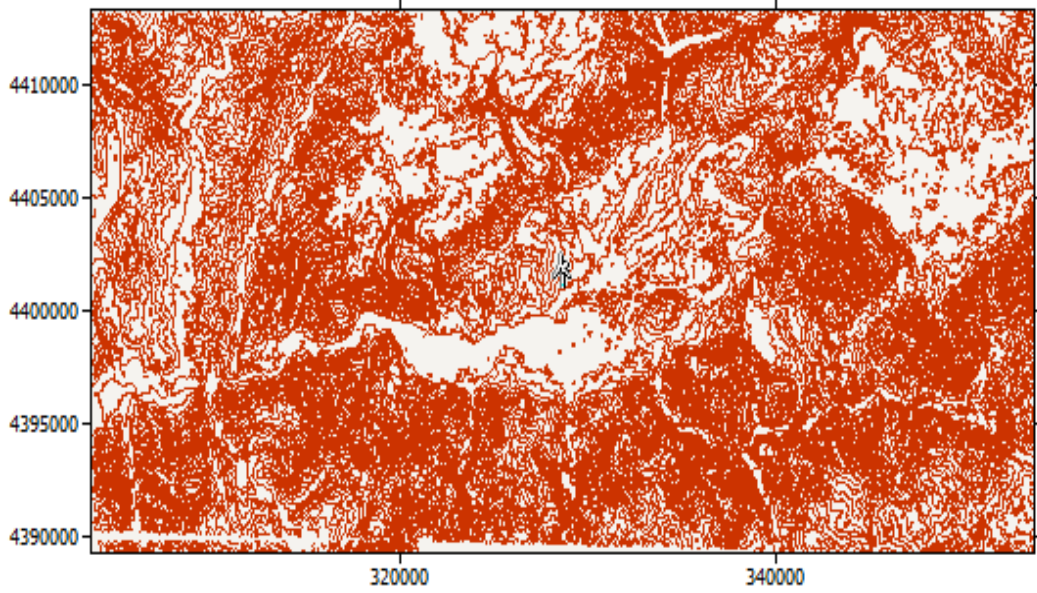
Sivas için yaptığımız bu çalışmada MGM den aldığımız yerden 10 metre yükseklikteki 1 yıllık saatlik rüzgâr verileri 39.44 enlem ve 37 boylamlarında datalar girilerek programa yazıldı. Ve daha sonra 1286,2 metrede anemometre yeri belirtildi. Sonuç olarak anemometrenin genel rüzgâr yönü kuzeydoğu güneybatı yöreğinde modellenmiş olup ortalama rüzgâr hızı 1,12 m/s ve birim zamanda birim alandan geçen rüzgâr gücü 4 W/m² bulunmuştur. Tablo 5.38 de Sivas'ın site bilgisinden tahmini güç yoğunluğu değerleri, 1,091 kg / m³ hava yoğunluğu için hesaplanmıştır.

Tablo 5.38 Sivas Site Bilgisi

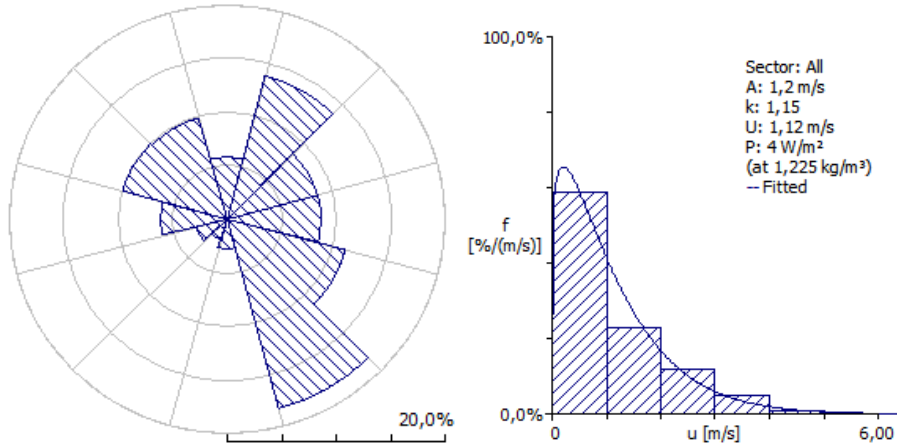
Anemometer height a.g.l	10m
Elevation a.s.l	1286,2 m
Net altitude a.s.l	1296,2 m
Mean air density	1,091 kg/m ³

Gözlemlenen rüzgar iklimi anemometre verileri 37,00°K 39,44°D'de toplanmıştır.

Buluşma. istasyon 'SiVAS - Generated by Global Mapper (www.globalmapper.com)' adlı bir haritada (328784,4401200) koordinatlarında yer almaktadır. Şekil 5.44 da anemometre yeri belirlenmiştir.



Şekil 5.44 Sivas Anemometre Yeri



Şekil 5.45 10 metre yükseklikteki anemometrenin Rüzgâr Yönleriyle birlikte hızlarının gösterilmesi

Şekil 5.45 te anemometrenin 10 metre yükseklikteki rüzgâr yönü ve hızı belirlenmiş olup Tablo 5.39 da mevcuttaki Sivas'ın rüzgâr yönü bulunmuştur. Sonrasında ise tablo 5.40 da histogram kutuları belirlenmiştir.

Tablo 5.39 Sivas Rüzgâr Yönü

	-	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
A [m/s]		1.5	1.4	0.9	1.0	0.8	0.8	0.7	0.6	1.0	2.0	1.8	2.2
K		1.33	1.26	1.47	1.40	1.25	0.93	1.52	2.04	1.14	1.57	1.79	2.18
U [m/s]		1.37	1.30	0.85	0.95	0.72	0.84	0.61	0.56	0.93	1.76	1.60	1.92
P [W/m ²]		5	5	1	2	1	3	0	0	2	9	5	8
f [%]		5.8	13.9	8.5	8.5	11.3	18.3	2.8	1.9	3.0	6.2	10.0	9.8

Tablo 5.40 Sivas Histogram kutuları

U [m/s]	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	All
1.0	514	537	680	615	838	732	936	959	643	333	335	295	590
2.0	207	213	282	313	128	180	45	35	265	309	364	243	229
3.0	169	154	35	61	26	41	16	6	54	205	224	321	118
4.0	101	82	3	11	7	29	2	0	35	104	66	129	51
5.0	9	12	0	0	1	16	0	0	4	40	8	12	10
6.0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	9	3	0	2

Tablo 5.41 Sivas Barometrik Referans bilgisi

Mean temperature	13,60 °
Ref. altitude for temperature a.s.l	2,5 m
Mean pressure	101.554 Pa
Ref. altitude for pressure a.s.l	,5 m
Relative humidity	77,55447 %

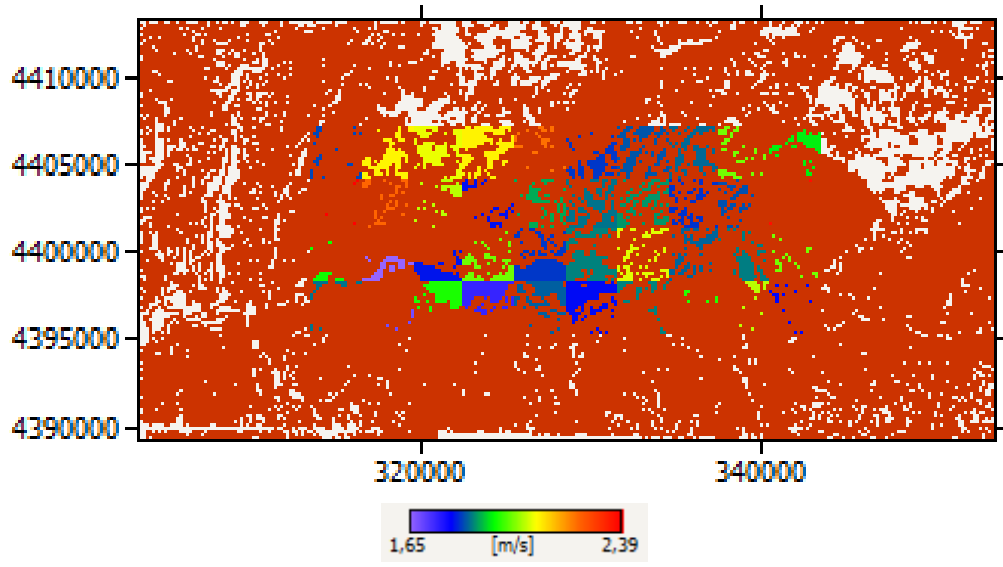
Yukarıdaki Tablo 5.41'e göre sıcaklık ortalama 13.60 derece civarındayken bağıl nem %77.55447 bulunmuştur.

Yapılan hesaplamalar sonucunda;

Sivas'ın ortalama hızı Tablo 5.42 deki gibi 1,94 m/s olup Şekil 5.46 da da izohipsli haritada maksimum ve minimum hız yerleri izohipsli harita da gösterilmiştir. Tablo 5.43 da ortalama Sivas Güç Yoğunluğu belirlenerek Şekil 5.47 Sivas maksimum ve minimum güç yoğunluğunun olduğu yerler izohipsli harita da gösterilmiştir.

Tablo 5.42 Sivas Ortalama Hız [m / s]

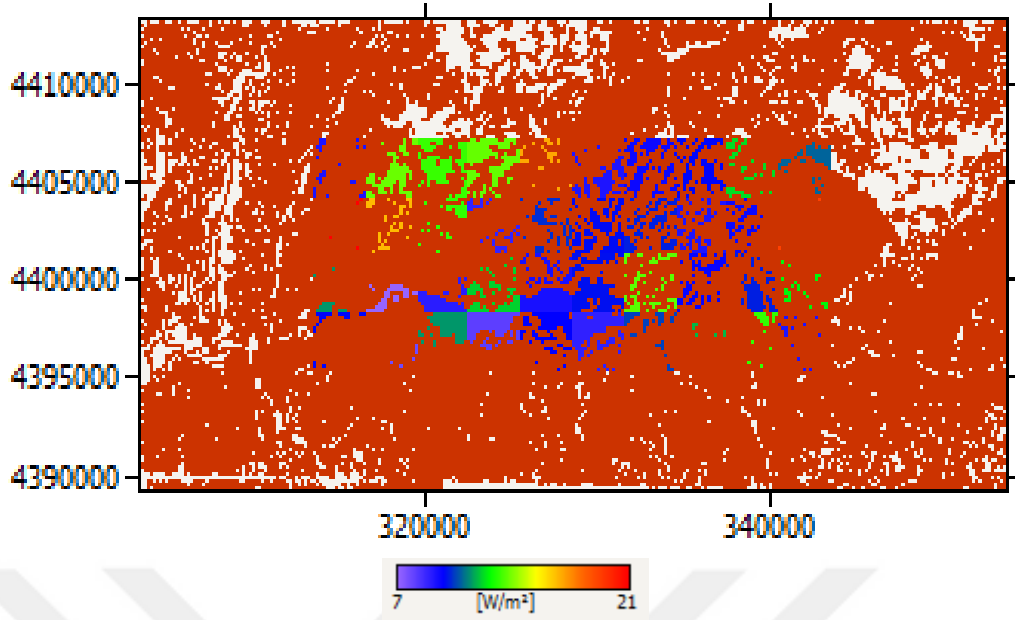
Maximum Value	2,39 m/s at (315255, 4402735)
Minimum Value	1,65 m/s at (318245, 4399745)
Mean Value	1,94 m/s



Şekil 5.46 Sivas Maksimum ve Minimum Hız [m / s]

Tablo 5.43 Sivas Güç Yoğunluğu [W / m²]

Maximum Value	21 W/m ² at (315255, 4402735)
Minimum Value	7 W/m ² at (318245, 4399745)
Mean Value	11 W/m ²

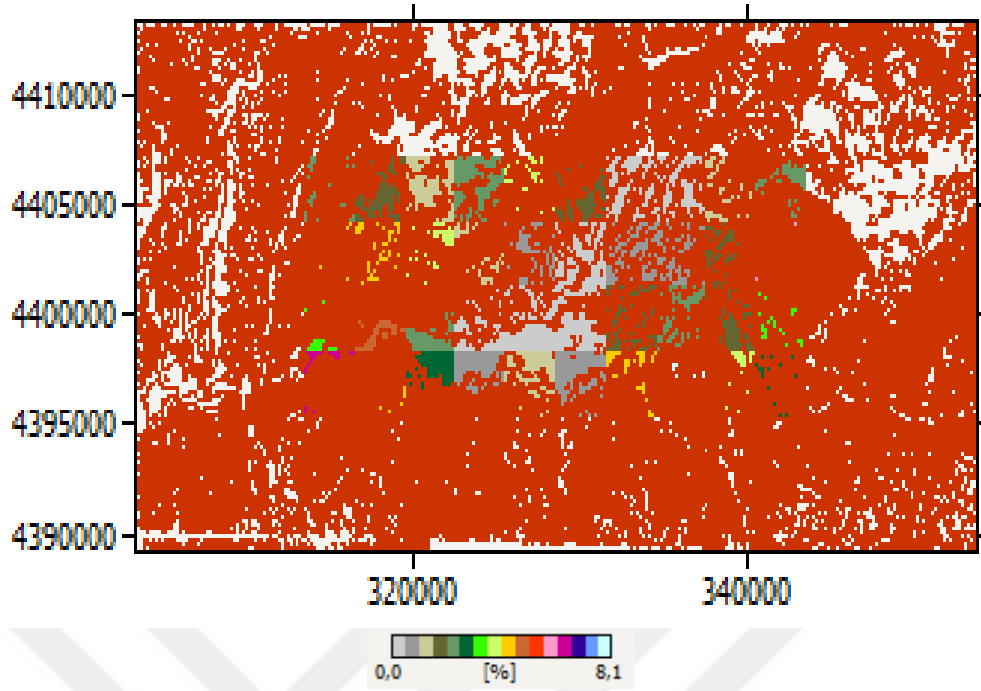


Şekil 5.47 Sivas Maksimum ve Minimum Güç Yoğunluğu [W / m^2]

Sivas için hızın ve gücün en yüksek olduğu konum (315255,4402735) en düşük olduğu konum ise (318245,4399745) olarak ölçülmüştür. Tablo 5.44 de ortalama engebelilik oranı gösterilirken Şekil 5.48 de izohipsli harita da engebelilik yerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.44 Sivas RIX [%]

Maximum Value	8,1% at (336185, 4396755)
Minimum Value	0,0% at (327215, 4399745)
Mean Value	2,4%



Şekil 5.48 Sivas Maksimum ve Minimum RIX [%]

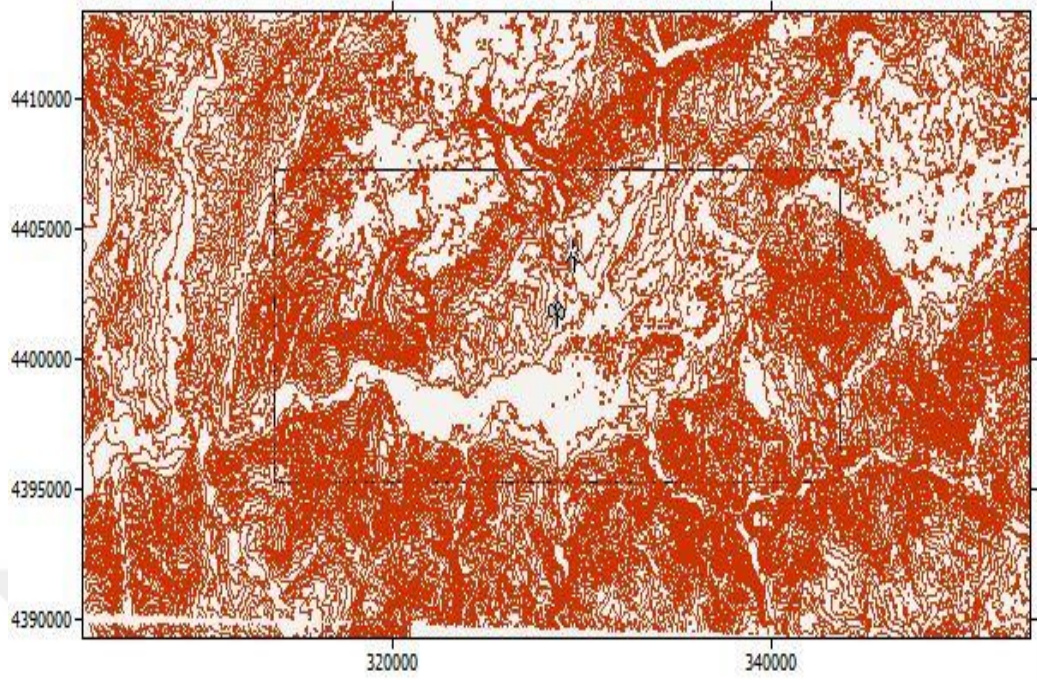
Tablo 5.45 de Site rüzgâr iklimi belirlenerek Tablo 5.46 da site sonuçları bulunmuştur.

Tablo 5.45 Sivas Site Rüzgâr İklimi

Site	Location [m]	H [m]	A [m/s]	k	U [m/s]	E [W/m ²]	RIX [%]	dRIX [%]
Turbine site 001	(329628,3, 4403463,0)	55,0	1,8	1,44	1,66	7	0,6	0,5

Tablo 5.46 Sivas Site Sonuçları

Site	Location [m]	Turbine	Elevation [m] a.s.l.	Height [m] a.g.l.	Air density [kg/m ³]	Net AEP [MWh]	Wake loss [%]
Turbine site 001	(329628,3, 4403463,0)	Vestas V52-850 kW	1297,5	55,0	1,085	22,968	0,00



Şekil 5.49 Sivas İçin WAsP Sonuç Görüntüsü

Sonuç;

WAsP modeli ile Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) analisti elde etmek için Meteorolojiden alınan veri seti içe aktarıldı bu veriler, yerden 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ve yönünü içerir. Her 22.5 derecelik rüzgâr yönü sektörü için. OMWC, bir sektördeki rüzgâr frekansını, ortalama rüzgâr hızını içerir. İçe aktarılan verilerden, Gözlemlenen Ortalama Rüzgâr İklimi (OMWC) oluşturulur. OMWC oluşturulur. Daha sonra WAsP kullanarak rüzgâr kaynağı değerlendirmesi yaptığımızda, bu OMWC'yi içe aktardık. OMWC, rüzgâr verilerinin sektörler halinde gruplandırılması ve Weibull dağılımının hesaplanmasıyla oluşturulur. Her sektör için A ve K parametreleri. Bu noktadan itibaren, alınan rüzgâr verileri kullanılmaz, bunun yerine ölçülenleri temsil eden OMWC kullanılır. Belirli bir alanın rüzgâr yönü dağılımlarını göstermektedir. Rüzgâr gülü pusulayı 12 sektöre böler ve ortalama rüzgâr hızını, rüzgârın her yönden estiği zamanın ortalama yüzdesini gösterir. Kuzey Doğu-Güney Batı yönü lokasyonda hâkim yöndür. OMWC ile girdi verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.49 Sivas İçin WAsP Sonuç Görüntüsü bulunmuştur. WAsP, türbin sahalarından gelen topografik etkileri türbin sahasında bölgesel rüzgâr iklimi ve göbek yüksekliğinde (55 m) rüzgâr türbini Vestas V52'ye (850 kW) uygulandı. Ve bölgede ki toplam güç 22.968 MWh olduğu için bölgede 28 adet rüzgâr türbini çiftliği kurulabilir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 6.1 Bölgelerin Rüzgâr durumları

Konumlar	Rüzgâr Hızı (m/s)	Rüzgâr Gücü (W/m ²)	Ortalama Hava Yoğunluğu (kg / m ³)	Sıcaklık Ortalama (°)	Bağıl Nem (%)
ANTAKYA	2.55	23	1.186	16.98	76.58075
BATMAN	2.04	30	1.148	15.62	77.31349
ÇANAKKALE	3.9	81	1.226	13.32	77.90791
KARS	2.01	28	1.044	12.76	78.03644
SİVAS	1.12	4	1.091	13.6	77.55447

Yaptığımız bu çalışmada Türkiye ve başka ülkelerdeki literatür çalışmalarını destekleyici ve benzer neticeler elde edilmiştir. Kaynak modeller için olumlu sonuçlar almamıza neden olmuştur. Kaynak model için Tablo 6.1 de de gösterildiği üzere potansiyeli en yüksek bölge Çanakkale (3,4 m/s) iken en düşük yer ise Sivas (1,12 m/s) çıkmıştır. Potansiyeli yüksek olan yerler ileri ki zamanlarda da yüksek gösterecektir. Analiz sonuçları yer yüzü şekillerinden etkilenmektedir. Potansiyeli düşük olan yerler yer yüzeyinin engebeli şartlarından etkilendiği için bu yerler maliyet hesapları yüksek olduğundan ve günümüz teknolojisiyle rüzgâr santrali kurulabilmesi zordur. Modellerin en kötü çalıştığı yer Sivas'tır. Rüzgâr enerjisi potansiyelini incelersek rüzgâr potansiyeli rüzgâr hızı ile doğru orantılıdır. Rüzgâr hızının yüksek olduğu yerde potansiyel fazla iken, düşük olduğu yerlerde ise daha düşüktür. Bağıl nemi ise en düşük olan yer Batman belirlenmiştir.

Hız, güç ve %kayıpları;

Antakya için hız, güç %kayıpları;

Antakya için ölçülen en yüksek hız 4,56 m/s iken en düşük 3,7 m/s olduğundan dolayı hız kaybı %32.6754 olarak bulunmuştur ve yine maksimum güç yoğunluğu 108 W/m² iken minimum güç yoğunluğu 34 W/m² olduğundan güç kaybı ise %68.5185 olarak bulunmuştur. Rüzgâr türbinin

enerji üretebilmesi için gerekli olan hız değeri hesaplanarak Vestas V52(850 kw) rüzgâr türbini için kuruluma uygun görülmüştür.

Batman için hız, güç %kayıpları;

Batman için ölçülen en yüksek hız 3,19 m/s iken en düşük 2,86 m/s olduğundan dolayı hız kaybı %10.3448 olarak bulunmuştur ve yine maksimum güç yoğunluğu 67 W/m² iken minimum güç yoğunluğu 51 W/m² olduğundan güç kaybı ise %23.8805 olarak bulunmuştur. Rüzgâr türbinin enerji üretebilmesi için gerekli olan hız değeri hesaplanarak Vestas V52(850 kw) rüzgâr türbini için kuruluma uygun görülmüştür.

Çanakkale için hız, güç %kayıpları;

Çanakkale için ölçülen en yüksek hız 8,05 m/s iken en düşük 5,20 m/s olduğundan dolayı hız kaybı %35.4037 olarak bulunmuştur ve yine maksimum güç yoğunluğu 579 W/m² iken minimum güç yoğunluğu 150 W/m² olduğundan güç kaybı ise %74.0932 olarak bulunmuştur. Rüzgâr türbinin enerji üretebilmesi için gerekli olan hız değeri hesaplanarak Vestas V52(850 kw) rüzgâr türbini için kuruluma uygun görülmüştür.

Kars için hız, güç, %kayıpları;

Kars için ölçülen en yüksek hız 4,02 m/s iken en düşük 3,13 m/s olduğundan dolayı hız kaybı %22.1393 olarak bulunmuştur ve yine maksimum güç yoğunluğu 118 W/m² iken minimum güç yoğunluğu 52 W/m² olduğundan güç kaybı ise %55.9322 olarak bulunmuştur. Rüzgâr türbinin enerji üretebilmesi için gerekli olan hız değeri hesaplanarak Vestas V52(850 kw) rüzgâr türbini için kuruluma uygun görülmüştür.

Sivas için hız, güç, %kayıpları;

Sivas için ölçülen en yüksek hız 2,39 m/s iken en düşük 1,65 m/s olduğundan dolayı hız kaybı %30.9623 olarak bulunmuştur ve yine maksimum güç yoğunluğu 21 W/m² iken minimum güç yoğunluğu 7 W/m² olduğundan güç kaybı ise 66,666 olarak bulunmuştur. Rüzgâr türbinin enerji üretebilmesi için gerekli olan hız değeri hesaplanarak Vestas V52(850 kw) rüzgâr türbini için kuruluma uygun görülmüştür.

Yüzde olarak en büyük hız ve güç farkı Çanakkale'de çıkmıştır. En düşük hız ve güç farkı ise Batman'da çıkmıştır.

Tablo 6.2 5 Farklı Yerin Farklı Yükseklikteki Toplam Rüzgâr Gücü

Site	Location(m)	Turbine	Elevation(m) a.s.l.	Height (m) a.g.l.	Air density (kg/m ³)	Net AEP (MWh)	Wake loss (%)
Antakya	234430.5- 4010131.0	Vestas V52- 850 kW	209.4	55.0	1.187	156.951	0.00
Batman	684106.2- 4190786.0	Vestas V52- 850 kW	651.4	55.0	1.147	275.618	0.00
Çanakkale	450209.8- 4444538.0	Vestas V52- 850 kW	25.0	55.0	1.221	1416.494	0.00
Kars	338661.2- 4497111.0	Vestas V52- 850 kW	1758.2	55.0	1.040	346.460	0,00
Sivas	329628.3- 4403463.0	Vestas V52- 850 kW	1297.5	55.0	1.085	22.968	0.00

Yukarıdaki Tablo 6.2’de 5 farklı konumda aynı marka rüzgâr türbini örneği için parametreler verilmiştir. Rüzgâr türbinlerinin minimum çalışma hızı 2 m/s dir ve verilen tüm yer için ise kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Rüzgâr verimi yüzey pürüzlülüğü az olan en güzel yer Çanakkale (450209.8-4444538.0) konumundaki 25,0 metre yükseklikteki kurulabilecek rüzgâr türbinleri Vestas V52-850 kW rüzgâr türbini ile 1416.494 (mWh) ile Çanakkale seçilmiştir. Çanakkale de verilen konumda toplamda 1667 adet rüzgâr türbini ile rüzgâr çiftliği kurulabilir. 5 il içerisinde rüzgâr türbini sayısı olarak en az etkin kurulabilecek yer (329628.3-4403463.0) konumundaki Sivas’ın toplam gücü 22.968 MWh olduğundan bu bölgede 28 adet rüzgâr ile rüzgâr çiftliği kurulabilir. Ama elde edilebilir enerji çıktısı çok düşüktür.

Örnek, 1 MegaWatt üretim kapasitesine sahip rüzgâr çiftliğinin oluşturabileceği maliyetler şöyledir;

- Kule tahmini olarak 220 Bin Euro,
 - Türbin yaklaşık 1 ila 1.2 milyon Euro,
 - Senelik bakım onarım maliyeti ortalama 48 Bin Dolar,
 - Türbinin kurulacağı arazi maliyeti, bunların hepsi baz alınarak 1 MW üretim kapasiteli rüzgâr çiftliği fiyatı 1.75 Milyon Dolara kurulabilmektedir [45].
- Vestas V52 850 Kw rüzgâr türbini çiftlik maliyetleri hariç 1.4875 Milyon Dolara mal edilmektedir.

Yukarıda ki maliyet hesaplamaları sonucunda;

Antakya için 185 adet rüzgâr türbini kullanılmak istendiğinden toplam maliyet 275.1875 Milyon Dolara mal edilmektedir.
 $1.4875 \times 185 = 275.1875$ Milyon Dolar

Batman için 325 adet rüzgâr türbini kullanılmak istendiğinden toplam maliyet 483.4375 Milyon Dolara mal edilmektedir.
 $1.4875 \times 325 = 483.4375$ Milyon Dolar

Kars için 408 adet rüzgâr türbini kullanılmak istendiğinden toplam maliyet 606.9 Milyon Dolara mal edilmektedir.
 $1.4875 \times 408 = 606.9$ Milyon Dolar

Sivas için 28 adet rüzgâr türbini kullanılmak istendiğinden toplam maliyet 41.65 Milyon Dolara mal edilmektedir.
 $1.4875 \times 28 = 41.65$ Milyon Dolar

Çanakkale için 1667 adet rüzgâr türbini kullanılmak istendiğinden toplam maliyet 2479.6625 Milyon Dolara tekabül etmektedir.
 $1.4875 \times 1667 = 2479.6625$ Milyon Dolar

Yukarıdaki maliyetlere ilave olarak arazi satın alma veya kiralanma maliyeti ve danışmanlık ücretleri de eklenmelidir.

7. SONUÇLAR

Artan nüfusla birlikte ülkelerin gelişmesi dünyayı genel olarak enerji sıkıntısına sokmaktadır. Türkiye fosil yakıtlı enerji üretimi az olduğundan enerji ihtiyacı yönünden yaklaşık olarak %70 dışa bağımlı hale gelmiştir. Enerji talebini karşılamak için bir taraftan enerji üretim yaparken diğer taraftan da enerji yoğunluğunu azaltmak için sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Son yıllardaki fosil temelli yakıtların gitgide azalması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak amacıyla yapılan araştırmalar yoğunlaşmıştır. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında ülkemizde büyük bir potansiyele sahip olduğundan rüzgâr enerjisi üzerine çalışmalar son yıllarda daha da fazlalaşmıştır. Enerjinin üretimi maliyetlidir ve enerji en fazla binalar ve işletmeler tarafından kullanılmaktadır.

Rüzgâr enerjisi, zararı olmayan sınırsız temiz enerjidir. Ekonomik olduğundan dolayı gelecekte temel enerjilerinden biri olacaktır. Rüzgâr çiftliği kurulumu yaparken arazi yapısı, rüzgâr yönü, yerleşim yerlerine uzaklığı, göçmen kuşlarının geçiş güzergahına uzak olması, maliyet hesaplarının yapılması, başa baş noktasına (amortisman) kısa vadede ulaşılmalıdır. Günümüz teknolojisini etkili şekilde kullanabilmek için yazılımla fizibilite en önemli avantajdır. Rüzgâr enerjisinin tespitinde kullanılan programlar rüzgârın hızını, türbinlerin konumunu, sıcaklık gibi faktörler kullanarak bir sistemin verimliliğinin artırmak için kullanılabilmektedir. Paket programlar kullanmadan bu tarz sistem tasarımlarına ait fizibilite çalışmalarını oluşturmak zordur. Önceki zamanlarda kullanılan programlar yalnızca birkaç işlem yapabilmiş ve zamanla geliştirilerek daha iyi konuma getirilmişlerdir. Bu çalışmada, Rüzgâr enerjisi ve bu enerjinin faydalanılabilirliğinin WAsP paket programıyla tespiti yapılarak program sonucu olarak rüzgârın hızını, yönünü, gücünü ve hangi türden rüzgâr türbini kullanılabileceğimiz program doğrultusunda elde edilmiştir.

Bu çalışmada, belli bir işletmenin enerji yönetimine rüzgâr enerjisinin dahil edilmesi ile ilgili farklı iklim bölgelerinden olmak üzere 5 farklı il seçilerek bu iller arasında rüzgâr enerjisi açısından en elverişli bölgenin belirlenmesine ilişkin bir fizibilite çalışması yapılmıştır. WAsP paket programı kullanılarak, bir işletme için rüzgâr enerjisinin desteği ile işletmenin mevcut enerji yönetimine yol gösterecek bir fizibilite çalışması literatürde bulunmamaktadır. WAsP Programı, Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen bir simülasyon programı olup akış alan modellemesi ile rüzgâr hızı verilerini değerlendirebilen bir programdır. Araştırılan ve kurulumu planlanan işletmenin rüzgâr enerjisinden yararlanabilmesi için arazi üzerindeki mevcut rüzgâr verilerini dikkate alarak modelleme yapıp verileri analiz etmektedir. Araştırılan bölgede kazanılabilecek enerji miktarının elde edilmesini sağlayarak işletmenin enerji yönetimi için şirketlere ön fizibilite konusunda referans olması açısından önemlidir. Yapılan çalışma ile Türkiye’de işletmeler için yenilenebilir enerji destekli enerji yönetimi açısından, rüzgâr enerjisi destekli bir alternatif enerji kaynağı kullanılarak tasarlanan işletme için araştırılan 5 farklı iklim bölgesinden en fizibil il olarak Çanakkale ilinin elverişliliği WAsP paket programı ile yapılan analizlerle elde edilmiştir.

Diğer iklim bölgelerinde olup rüzgâr enerjisi destekli bir alternatif enerji kaynağı kullanılması durumunda işletmelere destek olabilecek enerji miktarları karşılaştırmalı olarak çalışmada sunulmuştur.

Rüzgârın özelliği, yer seçimi, alanın özellikleri, yapısı, gürültü etkisi, küresel çevre etkileri dikkate alınarak işletme enerjisini desteklemek için kurulabilecek bir rüzgâr çiftliği için bu çalışmada kullanılan WaSP paket programı dışında yazılım şirketleri tarafından üretilmiş farklı programlar ile çalışma geliştirilebilir. Aynı şekilde farklı bölgelerin analizlerinin yapılması alternatif enerji kaynakları açısından daha elverişli yerlerin belirlenmesiyle sonuçlanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] <http://www.tureb.com.tr/turebsayfa/neden-ruzgar-enerjisi>.
- [2] http://habitatdernegi.org/tr/dl/yayin/TemizEnerjiYayinlari/Ruzgar_Enerjisi.pdf.
- [3] Levent Bilir , Mehmet _Imir, Yılser Devrim, Ayhan Albostan. An investigation on wind energy potential and small scale wind turbine performance at _Incek region – Ankara, Turkey.
- [4] Ferdi Turksoy. Energy Systems Department, Ttbitak-Marmara Research Centre, P.O. Box 21,
- [5] Adem Akpınar. Evaluation of wind energy potentiality at coastal locations along the north eastern.
- [6] Zaccheus O. Olaofe*, Komla A. Folly. Wind energy analysis based on turbine and developed site power curves: A case-study of Darling City.
- [7] Aynur Ucar , Figen Balo. Assessment of wind power potential for turbine installation in coastal areas of Turkey.
- [8] Yao Dong a, Jianzhou Wang^{a,†}, He Jiang b, Xiaomeng Shi. Intelligent optimized wind resource assessment and wind turbines selection in Huitengxile of Inner Mongolia, China.
- [9] F. Topaloğlu ve H. Pehlivan, «Analysis of Wind Data, Calculation of Energy Yield Potential, and Micrositing Application with WAsP,» 2018.
- [10] S. A. Mathew ve V. N. Mariappan, «Wind Resource Land Mapping using ArcGIS, WAsP and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA),» 2013.
- [11] V. Warudkar, P. K. Sharma ve S. Ahmed, «Analysis of a characteristic using WAsP and windPRO,» 2018.
- [12] T. Khan, T. Theppaya ve J. Taweekun, «Wind resource assessment of northern part of Thailand,» 2022.
- [13] P. K. Sharma, V. Warudkar ve S. Ahmed, «Effect of atmospheric stability on the wind resource extrapolating models for large capacity wind turbines: a comparative analysis of power law, log law, Deaves and Harris model,» 2018.
- [14] S. Luankao ve Y. Tirawanichakul, «Assessment of Wind Energy Potential in Prince of Songkla University (South Part of Thailand): Hatyai campus,» 2017.
- [15] M. Djamaı ve N. K. Merzouk, «Wind farm feasibility study and site selection in Adrar,» 2011.
- [16] B. Mohamed, B. Fadela ve K. Mounir, «Optimization of the wind turbines location in Kaberten wind farm in Algeria,» 2015.
- [17] S. M. Boudia, S. Berrached ve S. Bouri, «On the use of wind energy at Tlemcen, North- western region of Algeria,» 2016.
- [18] H. H. Başaran ve İ. Tarhan, «Investigation of offshore wind characteristics for the northwest of Türkiye region by using multi-criteria decision-making method (Moora),» 2022.
- [19] C. Fant, B. Gunturu ve A. Schlosser, «Characterizing wind power resource reliability in southern Africa,» 2016.

- [20] J. Bosch, L. Staffell ve A. D. Hawkes, «Temporally-explicit and spatially-resolved global onshore wind enegy potentials,» 2017.
- [21] W. Werapun, Y. Tirawanichakul ve J. Waewsak, «Comparative Study of Five Methods to Estimate Weibull Parameters for Wind Speed on Phangan Island, Thailand,» 2015.
- [22] A. K. Resen, A. A. Mahmood ve J. S. Nmr, «Statistical Calculations of Wind Data Utilizing WAsP Model,» 2019.
- [23] V. Rachier, «Energy Potenetial Evaluation For A Wind Turbine Used For Pumping» 2012.
- [24] Z. Đurisić ve H. Mikulović, «A model for vertical wind speed data extrapolation for improving wind resource assessment using WAsP,» 2011.
- [25] B. Lange ve J. Hojstrup, «Evaluation of the wind- resource estimation program WAsP for offshore applications,» 2001.
- [26] D. Romanic, D. Parvu, M. Refan ve H. Hangan, «Wind and tornado climatologies and wind resource modelling for a modern development situated in "Tornado Alley",» 2017.
- [27] J. F. N. Touafio, S. Malenguiza, S. Oumarou, M. Y. Kazet ve R. M. Mouangue, «Statistical analysis and elaboration of the wind potential map of the city of Bangui (Central African Republic),» 2019.
- [28] J. F. N. Touafio, O. Sanda, S. Malenguiza, J. M'Boliguipa ve R. M. Mouangue, «Analysis of a wind turbine project in the city of Bouar (Central African Republic),» 2020.
- [29] M. Argin, V. Yerci, N. Erdogan, S. Kucuksari ve U. Cali, «Exploring the offshore wind energy potential of Turkey based on multi-criteria site selection,» 2019.
- [30] H.-F. Fang, «Wind energy potential assessment for the offshore areas Taiwan west coast and Penghu Archipelago,» 2014.
- [31] N. Onat ve S. Ersoz, «Analysis of wind climate and wind energy potential of regions in Turkey,» 2011.
- [32] Temiz Enerji ve Kaynakları Prof. Dr. Zekai Şen Su Vakfı Yayınları
- [33] Alternatif Enerji Kaynakları M.Acaroğlu
- [34] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>.
- [35] <https://web.archive.org/web/20220403082413/https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyenin-ruzgar-enerjisi-kurulu-gucu-10-bin-500-megavati-asti/2440570>.
- [36] <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>.
- [37] <http://www.turk-res.com.tr/ruzgar-haritalari/> Türk- Rest Solar.
- [38] <http://www.ksrenergy.com/ruzgar.asp> Kesici Dış Ticaret ve Makine San. Ltd. Şti.
- [39] http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_en_hak.html Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
- [40] https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCrbini.
- [41] https://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_%C3%A7iftli%C4%9Fi.
- [42] <http://www.voltimum.com.tr/haberler/ruzgar-turbinleri-ve-aerodinamik-karakteristikleri>.

- [43] <https://www.wasp.dk/>.
- [44] http://www.emo.org.tr/ekler/06ea3741c03e92e_ek.doc.
- [45] <https://www.encazip.com/ruzgar-santrali>.



ÖZGEÇMİŞ

Ünal YILMAZ
