



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Olasılık Dağılım
Parametreleri Kullanılarak Bölgelere Göre Analizi**

Yüksek Lisans Tezi

Ali Orhan

Haziran 2023



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Olasılık Dağılım
Parametreleri Kullanılarak Bölgelere Göre Analizi**

Yüksek Lisans Tezi

Ali Orhan

Danışman

Prof. Dr. Kürşat Ayan

Haziran 2023

TEZ JÜRİSİ ONAYI

Ali Orhan tarafından hazırlanan "Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Olasılık Dağılım Parametreleri Kullanılarak Bölgelere Göre Analizi" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kürşat AYAN
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Dr. Öğr. Üyesi Haluk BAYRAM
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Alper Nabi AKPOLAT
Marmara Üniversitesi

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin APA yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun metin içi kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

Prof. Dr. Kürşat Ayan

Etik İlkeler Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Ali Orhan

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmam süresince bana desteklerini sunan bilgi, tecrübe ve deneyimlerinden yararlanmamı sağlayan değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Kürşat Ayan'a, lisans eğitimimden beri üzerimde birçok emeği olan ve tezin içeriği olan konuya yönelmemdeki en büyük pay sahibi ve çalışmamın tüm süreçlerinde benden desteklerini esirgemeyen İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesinden kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Mohammed Vadi'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Yaşamım boyunca bana azim ve birlikteliği hissettiren, eğitim hayatımda her zaman yanımda olan aileme sonsuz sevgilerimi sunarak ithaf ederim.

Ali Orhan

ÖZET

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Olasılık Dağılım Parametreleri Kullanılarak Bölgelere Göre Analizi

Orhan, Ali

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kürşat Ayan

Haziran 2023

Rüzgar, dünyanın güneş tarafından eşit olmayan ısınması ve soğuması ve atmosfer basıncındaki farklılıklar tarafından oluşturulan kuvvetlerin neden olduğu havanın hareketidir. Rüzgâr enerjisi, rüzgârın oluşmasıyla birlikte türbin dediğimiz genellikle 3 kanatlı olan rüzgâr türbinleri sayesinde depolanır. Son yıllarda enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Hızla artan bu enerji talebini karşılayabilmek için yenilenebilir enerjiye de ilgi artmakta ve yüksek potansiyele sahip olan rüzgar enerjisi dünya çapında ilgi görmektedir. Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santrali ilk olarak 1998 yılında İzmir ili Çeşme ilçesinde kurulu gücü 1,5 MW olarak kurulmuştur. Daha sonra bölge analizleri yapılarak tüm bölgelere yayılmış ve kurulu güç gün geçtikçe arttırılmıştır. Tüm bu bilgiler ışığında bu tez çalışmasının amacı; Türkiye’deki rüzgâr enerjisinin rüzgar enerjisi potansiyel analizlerinde sıklıkla kullanılan Rayleigh, Weibull ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları kullanılarak 7 bölgeye göre rüzgar enerjisi potansiyel analizinin yapılmasıdır. Bu bağlamda analiz için Türkiye’nin 7 bölgesinden belirli il ve ilçeler seçilmiştir. Analizler yapılırken analiz yapılan bölgelerde sonuçların daha sağlıklı olması adına 2016-2020 yılları arasındaki rüzgar verileri saatlik olarak web ortamından alınıp tek parametrelili Rayleigh, iki parametrelili Weibull ve üç parametrelili Genelleştirilmiş Pareto dağılımları kullanılarak rüzgâr hızı olasılık ve kümülatif yoğunluk fonksiyonları, rüzgârın gücünün olasılık yoğunluk fonksiyonu, rüzgarın ortalama güç yoğunluğu, bölgede en sık görülen rüzgar hızı ve enerji elde etmek için en çok katkı yapan rüzgar hızı verileri de hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için dağılımlarda kullanılan iklim ve rüzgâr hızı verilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle bir web sitesinden elde edilen saatlik iklim verileri Excel ortamına işlenmiş ve tüm hesaplamalar dağılım formülleri kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar yapıldıktan sonra doğruluğunun kanıtlanması adına dağılım grafikleri oluşturulmuş ve gerçek verilere en yakın dağılım da tahmin edilmiştir. Çalışma sonunda Türkiye için en verimli rüzgâr bölgesinin ortaya çıkarılması hedeflenmiş ve ortaya çıkarılan bu bölgeye bir rüzgâr santrali kurulması durumunda maliyetinin ne kadar olacağını kestirebilmek adına Retscreen yazılım programı kullanılarak maliyet analizi yapılmıştır. Tüm işlemlerden sonra sonuç kısmı ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, Kurulu güç, Olasılık dağılımları, Olasılık yoğunluk fonksiyonu, Retscreen

ABSTRACT

Analysis of Turkey's Wind Energy Potential by Regions Using Probability Distribution Parameters

Orhan, Ali

Master's Thesis, Department of Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kürşat Ayan

June 2023

Wind is the movement of air caused by the uneven heating and cooling of the earth by the sun and the forces created by differences in atmospheric pressure. The kinetic energy of this air stream is called wind energy. Wind energy is stored with the formation of the wind, thanks to the wind turbines, which we call turbines, which generally have 3 blades. Energy demand has been increasing rapidly in recent years. In order to meet this rapidly increasing energy demand, interest in renewable energy is also increasing and wind energy, which has a high potential, attracts worldwide attention. The wind power plant in Turkey was first established in 1998 in Çeşme, İzmir, with an installed capacity of 1.5 MW. Later, regional analyzes were made and spread to all regions and the installed power was increased day by day. In the light of all this information, the aim of this thesis is; Wind energy potential analysis according to 7 regions by using Rayleigh, Weibull and Generalized Pareto distributions, which are frequently used in wind energy potential analyzes of wind energy in Turkey. In this context, certain provinces and districts from 7 regions of Turkey were selected for analysis. In order for the results to be healthier in the analyzed regions, the wind speed probability and cumulative density functions, the probability density function of the wind power, by using the single parameter Rayleigh, two parameter Weibull and three parameter Generalized Pareto distributions, hourly wind data for the years 2016-2020 are taken from the web environment. The average power density of the wind, the most common wind speed in the region and the wind speed data that contributes the most to obtain energy are also calculated. In order to make these calculations, the climate and wind speed data used in the distributions are needed. For this reason, hourly climate data obtained from a website were processed into Excel and all calculations were made using distribution formulas. After the calculations were made, scatter charts were created in order to prove their accuracy and the closest distribution to the real data was estimated. At the end of the study, it was aimed to reveal the most efficient wind region for Turkey and in order to estimate how much the cost would be if a wind power plant was established in this region, a cost analysis was made using the Retscreen software program, which is the software of the Canadian country and used in wind energy analysis. After all the procedures, the study was concluded with the conclusion part.

Keywords: Wind energy, Installed power, Probability distribution, Probability density function, Retscreen

İÇİNDEKİLER

TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. RÜZGAR ENERJİSİ NEDİR?	3
1.1.1. Rüzgâr Türbin Kısımları:	4
1.1.2. Rüzgâr Enerjisi Avantaj ve Dezavantajları:	5
1.1.3. Enerji Üretim Dinamikleri:.....	6
1.2. Dünyada Rüzgâr Enerjisi Durumu	7
1.3. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu.....	8
2. LİTERATÜR TARAMASI	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Freemeteo Web Sitesi	19
3.2. Microsoft Excel.....	19
3.3. Retscreen Yazılımı	20
3.4. Fizibilite Analizi	21
3.4.1. Rayleigh Dağılımı.....	21
3.4.2. Weibull Dağılımı	22
3.4.3. Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı.....	23
4. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ANALİZİNDEN ELDE EDİLEN BULGULAR.....	25
4.1. Maliyet Analizi	44
4.1.1. Bakım, Onarım ve Operasyon Maliyetleri:	44
4.1.2. Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarının Finansmanı:.....	44
4.1.2.1. Öz Kaynak Finansmanı:.....	45
4.1.2.2. Borç Finansmanı:	45
4.1.3. Çeşme İlçesi İçin Maliyet Analizi	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKÇA.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	65

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Rüzgâr Enerjisi Avantaj ve Dezavantajları	5
Tablo 2. Türkiye’deki Santrallerin Kurulu Güç ve Adetleri	6
Tablo 3. Ülkelere Göre Rüzgâr Santrali Kurulu Güçleri [8]	8
Tablo 4. Adıyaman İli Parametre Değerleri	32
Tablo 5. İstanbul İli Parametre Değerleri.....	32
Tablo 6. İzmir İli Parametre Değerleri	32
Tablo 7. Kırşehir İli Parametre Değerleri.....	32
Tablo 8. Mersin İli Parametre Değerleri	33
Tablo 9. Samsun İli Parametre Değerleri	33
Tablo 10. Van İli Parametre Değerleri	33
Tablo 11. Adıyaman İli Dağılım Değerleri Ortalamaları	36
Tablo 12. İstanbul İli Dağılım Değerleri Ortalamaları	36
Tablo 13. İzmir İli Dağılım Değerleri Ortalamaları	37
Tablo 14. Kırşehir İli Dağılım Değerleri Ortalamaları.....	37
Tablo 15. Mersin İli Dağılım Değerleri Ortalamaları	37
Tablo 16. Samsun İli Dağılım Değerleri Ortalamaları	37
Tablo 17. Van İli Dağılım Değerleri Ortalamaları	37
Tablo 18. Türbin Güç Ve Enerji Eğrisi Verileri.....	49
Tablo 19. Maliyet Kolları Dağılımı.....	52
Tablo 20. Dağılım Parametrelerinin İllere Göre Oranları	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Rüzgâr Türbin Kısımları [7]	5
Şekil 2. Türkiye'de 100 Metrede Bölgelere Göre Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımları [10].....	9
Şekil 3. Türkiye'deki Rüzgar Enerjisinin Kapasite Faktörü Dağılımı [10]	10
Şekil 4. Türkiye'deki Rüzgâr Enerjisinin Yıllara Göre Kümülatif Kurulum Miktarı	10
Şekil 5. Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Yıllık Kurulum Miktarı.....	11
Şekil 6. İşletmedeki RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı	11
Şekil 7. İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Dağılımı.....	12
Şekil 8. İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Harita Dağılımı.....	12
Şekil 9. İşletmedeki RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı	26
Şekil 10. 100 Metrede Ege Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]	27
Şekil 11. 100 Metrede Marmara Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10].....	27
Şekil 12. 100 Metrede Akdeniz Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]	28
Şekil 13. 100 Metrede İç Anadolu Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10].....	28
Şekil 14. 100 Metrede Karadeniz Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]	28
Şekil 15. 100 Metrede Güneydoğu Anadolu Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]29	
Şekil 16. 100 Metrede Doğu Anadolu Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10].....	29
Şekil 17. Excel Ortamındaki Saatlik İklim Verileri.....	30
Şekil 18. 2020 İstanbul için Rüzgar Hızı Kuantalama İşlemi.....	39
Şekil 19. Tüm Dağılımların Kuantalanmış Rüzgar Hızlarına Göre Olasılık Yoğunluk Değerleri ve Parametreleri	40
Şekil 20. 2020 Yılı Adıyaman İli Dağılım Grafikleri	41
Şekil 21. 2020 Yılı İstanbul İli Dağılım Grafikleri.....	41
Şekil 22. 2020 Yılı İzmir İli Dağılım Grafikleri	42
Şekil 23. 2020 Yılı Kırşehir İli Dağılım Grafikleri	42
Şekil 24. 2020 Yılı Mersin İli Dağılım Grafikleri	42
Şekil 25. 2020 Yılı Samsun İli Dağılım Grafikleri	43
Şekil 26. 2020 Yılı Van İli Dağılım Grafikleri.....	43
Şekil 27. İzmir Çeşme 100 Metrede Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı [10]	46
Şekil 28. Retscreen Yazılımından Otomatik Olarak Çekilen İklim Verileri [16].....	47
Şekil 29. Enerji Modeli [16]	48

Şekil 30. Güç-Enerji Eğrisi Verileri	49
Şekil 31. İlk Maliyetler Ve İşletme Bakım Maliyetlerinin Tanımlanması [16]	51
Şekil 32. Maliyet Analizi İçin Maliyet Kolları Fiyatlandırması [16]	52
Şekil 33. Tüm Maliyet Analizinin Gösterilmesi [16]	53
Şekil 34. Yıllık Nakit Akışı [16].....	54
Şekil 35. İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Dağılımı.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

σ : Genelleştirilmiş pareto dağılımı ölçek parametresi

ζ : Genelleştirilmiş pareto dağılımı şekil parametresi

KF: Kapasite Faktörü

ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

REPA: Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası

TÜREB: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği

RES: Rüzgar Enerjisi Santrali

MS: Microsoft

EİGM: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

CO₂: Karbondioksit

1. GİRİŞ

Nüfus artışı ve küreselleşmeyle birlikte dünyada enerji tüketiminde hızlı bir artış söz konusudur. Halihazırda 7,85 milyar olan dünya nüfusu Birleşmiş Milletler istatistiklerine göre, bu hızda artmaya devam ederse 2100 yılında, 11 milyar civarında olacağı tahmin edilmektedir [1]. Bu durum da, artan nüfusa karşılık olarak daha fazla enerji sağlanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu enerjinin sağlanabilmesi ise yenilenebilir ya da tükenmeyen ve yenilenemez ya da tükenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Enerji gerekliliğinin artışıyla beraber tükenebilir enerji rezervleri hızla azalmakta ve ülkeler de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Hızlı nüfus artışı ve endüstriyel gelişme nedeniyle sınırlı kaynaklar enerji talebini karşılayamamakta ve enerji üretimi ile tüketimi arasındaki fark genişlemeye devam etmektedir. Küresel enerji tüketiminin 1998'den 2035'e kadar iki katına ve 2055'e kadar üç katına çıkacağı tahmin ediliyor [2]. Öte yandan, yenilenemez enerji kaynaklarından olan kömür, doğalgaz, petrol ve nükleer enerji kaynakları hem çevreyi hem de doğadaki canlı yaşamını giderek daha fazla tehdit eder hale gelmiştir. Çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmelerinden ziyade bir süre sonra tükenecek olmaları da dünyayı yeni bir kaynak arayışına sürüklemek zorunda bırakmıştır. Küresel ısınmanın bu şekilde artmaya devam etmesi durumunda, 2040 yılına kadar, deniz seviyesinin bir metreye kadar yükseleceği, bu durumda dünyanın en büyük kentlerinin sular altında kalacağı yolunda görüşler ileri sürülmektedir [2]. Bütün bu gelişmelerin yanı sıra yukarıda da belirtildiği gibi bu kaynakların bir süre sonra tükenmesi söz konusu üzerine 50 yıl içinde petrolün, 200 yıl içinde de doğalgazın tükeneceğinin tahmin edilmesiyle insanlık doğa ile dost, temiz ve yenilenemez kaynaklara göre daha ucuz enerji kaynakları arayışına yönelmiştir. Bu kapsamda, dünyanın her bölgesinde var olabilme ve kullanılabilmesiyle birlikte, zaman açısından tükenmeyen ve sürdürülebilir özelliğini de taşıyan yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması yönünde adımlar atılmaya başlanmıştır. Böylelikle hem dışa bağımlılık azalacak hem de ülkeler kendi enerjisini kendileri üretebilecek ayrıca enerjinin tükeneceği korkusu da ortadan kalkacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynağı “Doğanın kendi evrimi içinde bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanmaktadır [3]. Yani doğa tarafından elde edilen ve doğa tarafından daimî olarak sürdürülebilir olan bir enerji türüdür. Böylelikle doğa tarafından takviye edilmesinden dolayı da tükenmesi söz konusu değildir. Bu kaynakların en büyük özellikleri, yukarıda da belirtildiği gibi üretim noktasında yerli kaynak üretilebilirse enerjide dışa bağımlılığın azalmasına ve karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olmalarıdır. Dünyada bu alana yönelimin artmasıyla birlikte ülkemizde de bu alana yönelim hızla artmış ve kaynaklar üretilmeye başlanmıştır. Bu nedenle kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırmaları yapılmış ve ülkemizin çeşitli ve uygun bölgelerine yapılan çalışmalar sonucunda hangi kaynağın hangi bölgede en verimli şekilde çalışacağı konusunda analizler ortaya çıkarılarak bu kaynaklar o bölgelerde kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik, jeotermal, güneş, rüzgâr, odun, bitki artıkları, biyokütle, gel-git ve dalga olarak kabul edilmektedir. Yani kısaca doğada kendi halinde varlığını sürdüren ve bir döngüye kapılan enerjileri bu kategoriye dahil edebiliriz. Bu kaynaklardan hidroelektrik santraller suyla, jeotermal enerjiler yer kürenin ısıyla, güneş santralleri güneş kaynağıyla, rüzgâr santralleri ise oluşan rüzgarlarla enerji sağlamaktadırlar. Dünyada bu enerji kaynaklarının kullanımı son derece aktif olup ülkemizde de yapılan çalışmalar sonucunda bu kaynaklar bölgelere göre inşa edilmiştir. Örneğin; hidroelektrik santraller kurulurken su gücünden enerji elde edileceğinden üzerinde şelale bulunan ve yüksek debili akarsulara ve baraj göllerine inşa edilmesi gerektiğinden ülkemizde de bu yönden uygun en verimli şehirlere hidroelektrik santralleri kurulmuştur. Ya da güneş enerjisi üretimi için de güneşin en yoğun olduğu yani kışın çok uzun olmadığı güneşli günlerin çok fazla olduğu bölgelere kurulum gerçekleştirilmektedir. Bunun dışında rüzgâr enerjisi için de geniş ve açık araziler, rüzgârın fazla olduğu deniz kenarları ve eğimin az olduğu bölgeler seçilerek santral kurulumları gerçekleştirilmektedir. Santral kurulumları her bir enerji kaynağı için en verimli çalışacak şekilde olması göz önüne alınarak bölgelerin fizibiliteleri gerçekleştirilerek santral kurulumu gerçekleştirilir ve enerji verimliliği sağlanmış olur.

Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde yakıt masrafının olmaması, karbondioksit salınımı yapmaması, üretim maliyetinin düşüklüğü ve gerek doğa dostu olması ile

gerekse işletme masraflarının diğer enerji kaynaklarına göre daha az olması ile rüzgâr enerjisi gelmektedir. “Rüzgâr enerjisi dünyada, toplam enerji tüketiminin %4,7’sini karşılamaktadır” [4].

Bu bağlamda bu çalışmada da Türkiye’deki rüzgâr enerjisi potansiyelini ortaya çıkarmak ve dağılım parametreleri yardımıyla en verimli bölgenin ispatını sağlamak hedeflenmiştir. Bunun için rüzgâr hızı hesaplamalarında sıklıkla kullanılan Weibull, Rayleigh ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları kullanılacaktır. Analizlerin gerçekleştirilebilmesi için Türkiye’nin 7 bölgesinden 7 il seçilerek rüzgâr hızı verileri elde edilecek ve analizler gerçekleştirilecektir. Analize başlamadan önce Rüzgâr enerjisi hakkında bilgi verilecek ve ardından rüzgâr enerjisinin ne olduğundan, hangi alanlarda kullanıldığından, dünyadaki rüzgar enerjisi durumu, Türkiye’deki rüzgar enerjisi durumu ve literatürde bu alanda yapılan çalışmalar değerlendirilerek daha sonrasında seçilen 7 il için iklim verileriyle hesaplanan değerlerle birlikte analiz çalışması gerçekleştirilecektir. Hesaplamalar ve analizlerin yapılmasından sonra rüzgâr potansiyeli bakımından en verimli bölge ortaya çıkarılacak ve bu bölgeye bir rüzgâr santrali kurulumu için maliyet analizi ortaya konacaktır. Maliyet analizinin de ortaya çıkarılmasından sonra sonuç kısmı ile Türkiye için rüzgâr potansiyelinin ne durumda olduğu, hangi bölgelerde en verimli olduğu, bir rüzgar santrali kurulumu için maliyetin ne kadar olacağı, bu çalışmadan sonra gelecekteki çalışmaların neler olabileceği ile ilgili bilgiler verilip çalışma sonlandırılacaktır.

1.1. RÜZGAR ENERJİSİ NEDİR?

Güneş yüzeyindeki hava alışverişi nedeniyle hava atmosfere maruz kalır ve ısınır ve bu ısınma, ısınan kütlenin aktifleşme nedeniyle genleşmesine ve yükselmesine neden olur. Yükselen bu hava kütlesi atmosferi terk edemediği için önce dikey sonra yatay hareket eder. Bu noktada, hava kütlesinin yer değiştirmesi nedeniyle rüzgâr üretilir [5]. Rüzgâr enerjisi, rüzgârın oluşmasıyla birlikte türbin dediğimiz genellikle 3 kanatlı olan rüzgâr türbinleri sayesinde depolanır. Rüzgâr türbinlerinin 2 kanatlısı da olabileceği gibi bu türbinlerde dengelemenin sağlanamayacağı, dengeleme sağlanabilse bile bu dengenin sağlanabilmesi için kullanılacak olan çeşitli parçaların getirdiği fazla maliyetten ötürü türbinler ek maliyetlere girmeden 3 kanatlı olarak tercih edilmektedir. Daha az maliyete daha fazla elektrik üretimi sağlamasından dolayı türbinler üç kanatlı

olmalarıyla iki kanatlılara göre daha avantajlıdır. Üç kanatlı türbinler gerekli torku her 120 derecelik dönüş açısıyla oluştururlar. Bu rüzgâr türbinleri sayesinde rüzgâr enerjisinden elektrik elde edilmektedir. Bu elektrik elde edilmesi ise; rüzgârın oluşmasıyla birlikte hareket halindeki hava türbin kanatlarına çarparak pervaneleri döndürür ve pervaneler rotorda havadan gelen kinetik enerjiyi rotor yardımıyla mekanik enerjiye dönüştürür. Bir sonraki aşamada türbin içerisinde bulunan rotor milinin dönme hareketi hızlandırılarak jeneratöre aktarılır. Böylelikle elektromanyetik indükleme ile elektrik enerjisi üretilmiş olur. Oluşan elektrik enerjisi de trafolar yardımıyla gerilimi yükselttilerek depolanır ve kullanıcılara ulaştırılır. Rüzgâr türbinlerinde enerji üretilirken rüzgâr türbinini oluşturan çeşitli kısımlar mevcuttur. Bu kısımlar;

1.1.1. Rüzgâr Türbin Kısımları:

Kanat: Rüzgâr güllerinde genellikle dengeyi sağlamak adına 3 adet olmasıyla birlikte rüzgârın esmesiyle dönüş hareketi sağlayarak içine çektiği havayı türbine ileten kısımdır.

Türbin: Havadan aldığı rüzgârı çekerek kanatları döndürür ve kinetik halde bulunan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek bir sonraki kısma ileten rüzgâr gülü elemanıdır.

Rotor: Rüzgârın kinetik enerjisinin büyük bir kısmını tutan ve mekanik enerjiye dönüştüren kısımdır.

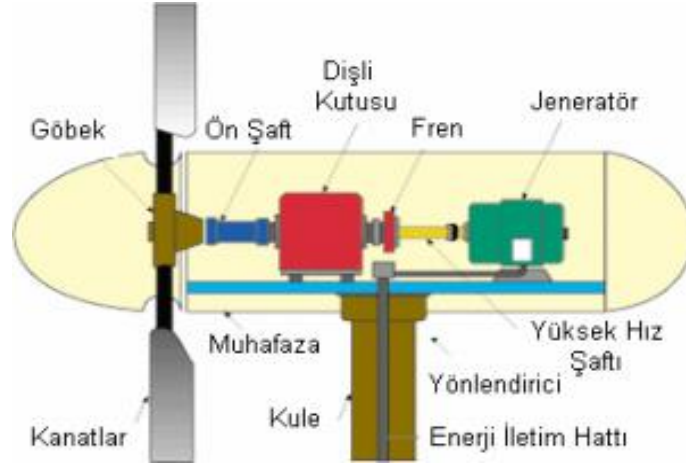
Şaft: Bir rüzgar türbininde rotordaki gücü dişli kutusuna aktarmaya yarayan yapısal elemandır.

Dişli Kutusu: Bu rüzgar gülü elemanı, normalde yavaş şekilde dönen pervane şaftının dönüş hızını arttırmaya yarar. Bu hız arttırımı sonrası şaft dönüş hızı dakikada 1000 ile 1500 rpm arasına yükseltilir. Böylelikle hızı yükseltlen pervane şaftı ile tork düşürülerek verimli elektrik üretilebilecek koşullar sağlanmış olur [7].

Jeneratör: Bu kısım ile sabit manyetik alan içerisinde hareketli iletken prensibiyle rüzgar türbinlerinde elektrik üretimi sağlanmaktadır.

Fren: Fren sistemleri rüzgâr türbinlerinde güvenlik açısından son derece önemli bir kısımdır. Bu kısım büyük sorunları çözmeye yaran kısımdır. Örneğin jeneratörün

yüksek derecede ısınması, şebekeden kopma ve yüksek şiddetteki rüzgâr hızları gibi sorunları önlemek için rüzgâr türbinlerinde kanat ucu ve mekanik fren sistemi bulunur.



Şekil 1. Rüzgâr Türbin Kısımları [7]

1.1.2. Rüzgâr Enerjisi Avantaj ve Dezavantajları:

Rüzgâr enerjisinin her ne kadar dezavantajları olsa da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre son derece avantajlı bir enerji kaynağı olmasıyla ön plana çıkmaktadır. Bu avantaj ve dezavantajlar Tablo 1’deki gibidir:

Tablo 1. Rüzgâr Enerjisi Avantaj ve Dezavantajları

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Emisyonu olmayan temiz bir enerji kaynağıdır.	Bazı bölgelerde uygulanmaya elverişli değildir.
CO2 salınımı yapmamaktadır.	Geniş çaplı arazi kullanımı mevcuttur.
Ekosisteme zararları minimal düzeydedir.	Peyzaj üzerinde negatif etkiye sahiptir.
Yakıt masrafı yoktur.	Yatırım ve bakım maliyetleri yüksektir.
Üretim düşük maliyetlidir.	Görüntü ve gürültü kirliliği yaratabilir.
Dışa bağımlı değildir.	Radio ve TV sinyallerini bozabilir.
Yatırım alanının çok küçük bir miktarını kullanır.	Kuş göç yollarında kuşları etkileyebilir.
Kullanılamaz durumda bulunan alanlar (âtıl) kullanılabilir.	

Tabloya göre avantajları oldukça fazla olan rüzgâr enerjisinin dezavantajları olmasına rağmen bu dezavantajların da konum belirlemesinin doğru yapılması ile ortadan kalkabileceği gibi daha çok yatırım ve bakım maliyetleri dezavantaj olarak görülmektedir.

1.1.3. Enerji Üretim Dinamikleri:

Her enerji kaynağı için belirli enerji üretim dinamikleri vardır. Bunlar rüzgâr, güneş ve hidroelektrik santraller için genel anlamda iklim koşullarıdır. Güneş santralleri için bulutluluk oranı, güneşin geliş açısı, santral enlemi gibi etkenler iken, hidrolik santraller için yağış miktarı, suyun debisi gibi etkenlerdir. Rüzgâr santralleri için ise; rüzgârın şiddeti, yönü, hava sıcaklığı gibi etkenlerdir. Bunların yanında bu enerji kaynaklarının kurulumundaki üretim dinamikleri ise kurulu güç, kapasite faktörü gibi etkenlerdir. Buna göre;

Kurulu Güç: Bir santralin anlık olarak sağlayabileceği maksimum gücüdür. Örneğin 10 MW'lık bir santral tam güçte çalıştığında bir saatte 10 MWh enerji üretir.

Kapasite faktörü: Bir santralin ekonomik ve teknik faydasını gösteren en önemli ölçüt kapasite faktörüdür. Santralin belirli bir zaman aralığında ürettiği toplam enerji miktarının tam kapasitede çalışırken üretebileceği enerjiye bölümü elektrik santralinin net kapasite faktörünün (KF) elde edilmesini sağlar.

Bu enerji dinamiklerinden yola çıkarak Türkiye Enerji Atlasına göre Türkiye'deki santral adetleri, kurulu güç miktarları ve kurulu güçteki payları Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. Türkiye'deki Santrallerin Kurulu Güç ve Adetleri

Kaynak Tipi	Kurulu Güç (MW)	Santral Sayısı	Kurulu Güçteki Payı
Hidroelektrik	31.555	708	30,62%
Doğalgaz	25.256	202	24,51%
Kömür	20.443	53	19,84%
Rüzgâr	10.930	284	10,61%
Güneş	8.335	674	8,09%
Diğer Kaynaklar	1.346	102	1,31%
Diğer Termik	5.173	180	5,02%
Toplam	103.038	2.203	100,00%

Tablo 2'ye göre en yüksek enerji kaynağı hidroelektrik santraller iken en düşük enerji kaynağı diğer termik ve kaynaklardır. Rüzgâr enerjisi ise bu kaynaklar içerisinde

yaklaşık yüzde 11'lik bir oranla 4.sırada, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ise hidroelektrik santrallerden sonra gelmektedir.

1.2. Dünyada Rüzgâr Enerjisi Durumu

Her enerji kaynağı kuruldukları bölgelere göre farklılık göstermektedir. Rüzgâr enerjisi de kurulduğu bölgelere göre farklılık göstermektedir. Bir rüzgar santralının kurulumunun gerçekleştirilebilmesi için belirli faktörler vardır. Bu faktörler kurulacak bölgenin denize kıyısının olup olmadığı, eğim oranı, arazi genişliği ve bölgenin üzerinden geçen havadaki akımların etkisi vardır [8]. Günümüzde ise; ülkeler yenilenemez enerji kaynaklarının tükenmesini göz önüne alarak yenilenebilir enerjiye büyük yatırımlar yapmış ve bu bağlamda güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi kaynakları ilk sıralara koymuşlardır. Bu nedenle dünya genelinde rüzgâr enerjisi de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlarla birlikte rüzgar enerjisi kullanımı olarak dünyadaki bölge sıralaması şu şekildedir; Okyanusya, Kuzey Amerika, Afrika, Asya, Doğu Avrupa ve Rusya. Yapılan araştırmalara göre; bu bölgelerden Doğu Avrupa ve Rusya, Afrika, Kuzey Amerika bölgelerinin dünyadaki rüzgâr enerjisi potansiyelinin yarısından fazlasına sahip oldukları gözlenmiştir [8]. Bunun bir nedeni bu ülkelerin denize kıyılarının olması ve denize kıyılarının olmasıyla birlikte bu bölgelerin açık denizden gelen rüzgarlar sayesinde rüzgar enerjisi potansiyeli diğer ülkelerden üst sıralarda olduğu söylenebilir.

Bu bilgilerden yola çıkarak Doğu Avrupa ve Rusya, Afrika, Kuzey Amerika bölgelerinin en fazla rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olduğu yapılan araştırmalarda görülse de bunun öyle olmadığı yine daha sonra yapılan araştırmalarda görülmüştür [8]. Nedeni ise; ülkelerdeki endüstrinin, gelişmişliğin, yatırım alanlarının, üretim güçlerinin seviyesinin aynı olmamasıdır. Örneğin; gelişen ülkeler sıralamasında başı çeken Amerika, Çin, Almanya gibi ülkeler, daha fazla rüzgar elde etme açısından gelişmemiş olan ülkelere göre daha avantajlıdır. Çünkü bu ülkeler dünyanın en gelişmiş ülkeleri arasında bulunmaktadır. Bu noktada en önemli faktörler, bu ülkelerdeki verimlilik, yatırım, sanayi ve sanayi kuruluşlarının düzeyi ve gelişmişlikleri ile ilgilidir. Araştırmaya göre Temmuz 2022 verilerine göre dünya sıralamasında en çok rüzgar enerjisi kullanan ülkeler şöyledir; Amerika, Almanya, Çin, Hindistan ve İspanya. Sıralama bu ülkelerden sonra yine gelişmiş olan

Danimarka, Fransa, İngiltere, İtalya ve Kanada gibi ülkelerin rüzgar gücü kullanımlarına göre değişiklik göstermektedir.

Ülkelerin bir kısmı yukarıda belirtilmiş olsa da Tablo 3'te rüzgâr enerjisinde en fazla kurulu güce sahip 15 ülkenin listesi veriler neticesinde gösterilmiştir.

Tablo 3. Ülkelere Göre Rüzgâr Santrali Kurulu Güçleri [8]

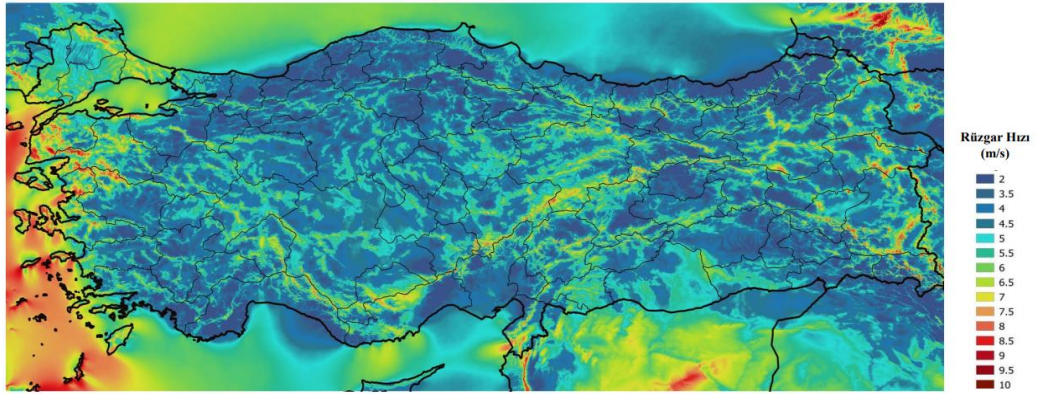
ÜLKELERE GÖRE RÜZGAR SANTRALİ KURULU GÜCÜ		
Sıra No	Ülke	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	328.973
2	Amerika Birleşik Devletleri	132.738
3	Almanya	63.760
4	Hindistan	40.067
5	İspanya	27.497
6	Birleşik Krallık	27.130
7	Brezilya	21.161
8	Fransa	18.676
9	Kanada	14.304
10	İsveç	12.080
11	İtalya	11.276
12	Türkiye	10.886
13	Avusturalya	8.951
14	Hollanda	7.801
15	Meksika	7.692

Tablo 3'ten yola çıkarak en fazla rüzgâr enerjisi kurulu gücüne sahip olan ülkelere bakıldığında Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya uzun süredir ilk 3 sırada yer almaktadır [9]. Tabloya bakıldığında Türkiye ise rüzgâr enerjisi santrali kurulu gücü olarak Avrupa'da 6'ncı, Dünyada ise 12'nci sırada bulunmaktadır. Bu da Türkiye'nin hem yenilenebilir enerji hem de rüzgâr enerjisi alanında dünya devleri ile yarış içerisinde olduğunu göstermektedir. Tabloya göre gelecek planlamasında ise ülkeler kurulu güçlerini hala arttırmakta ancak Çin ve Amerika Birleşik Devletleri açık ara farkla kurulu gücünü her geçen gün arttırmaktadır.

1.3. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Durumu

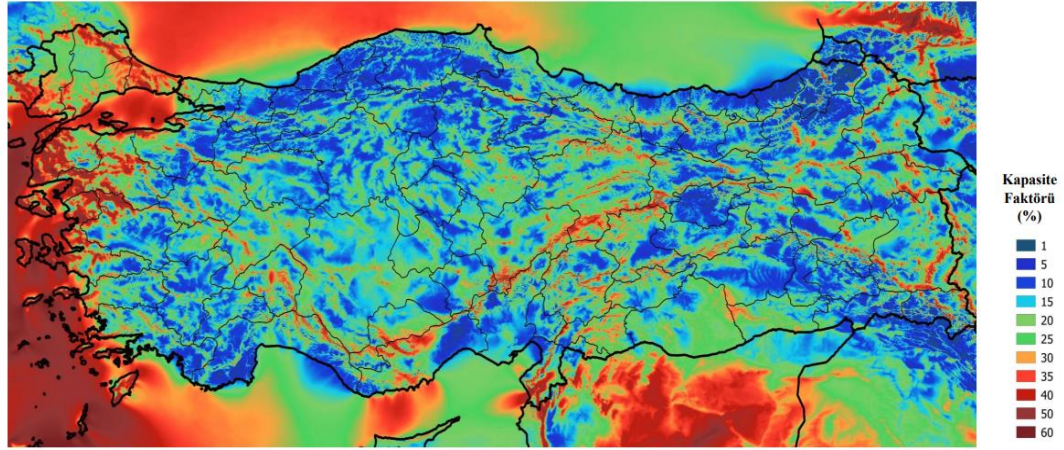
Türkiye'de ilk rüzgâr enerjisi santrali Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığından (ETKB) alınan bilgilere göre 1998 yılında İzmir ili Çeşme ilçesinde kurulu gücü 1,5 MW olarak kurulmuştur. Daha sonra yine İzmir ilinde santral kurulumları devam

ederek ülke genelinde yayılmaya başlanmıştır. Rüzgâr enerjisi için en verimli bölgelerin analizinin yapılarak bölgelere santral kurulumları gerçekleştirilmiştir. Başlarda her ne kadar rüzgâr enerjisine önem verilme de sonraları yenilenemez enerji kaynaklarının tükenmesi söz konusu göze alındığında rüzgâr enerjisine büyük yatırımlar yapılmış ve kurulu güçleri artırılarak tüm Türkiye'ye yaygınlaştırılmaya çalışılmıştır. Böylece Ege bölgesi dışına çıkılarak Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerine de yayılmıştır. "Türkiye'de 2006 yılında orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak 200 m yatay çözünürlükte hazırlanan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip kullanılabilir alanlarda kilometrekare başına 5 MW kapasiteli rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir" [10]. Şekil 2'de Türkiye'de bölgelere göre 100 metredeki ortalama rüzgar hızı dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 2. Türkiye'de 100 Metrede Bölgelere Göre Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımları [10]

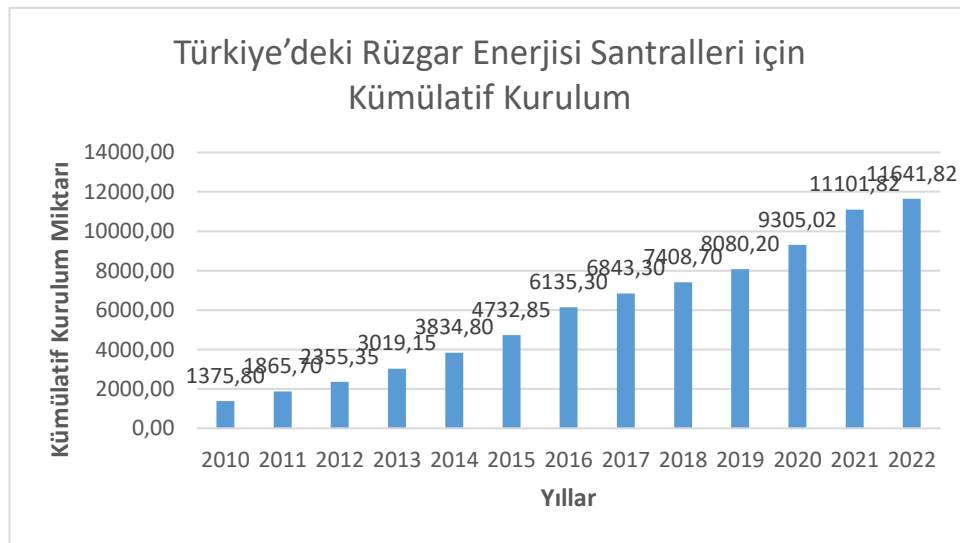
Bu şekilden yola çıkarak 10 m/s'ye ye yaklaşan rüzgar hızlarının en çok Ege bölgesinde ve Marmara bölgesinin bir kısmında olduğunu söylemek mümkündür. Diğer bölgelerde de renklere göre ayrılmış olarak belirtilmiştir. Şekil 3'te ise Türkiyedeki rüzgar enerjisinin kapasite faktörüne göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye'deki Rüzgar Enerjisinin Kapasite Faktörü Dağılımı [10]

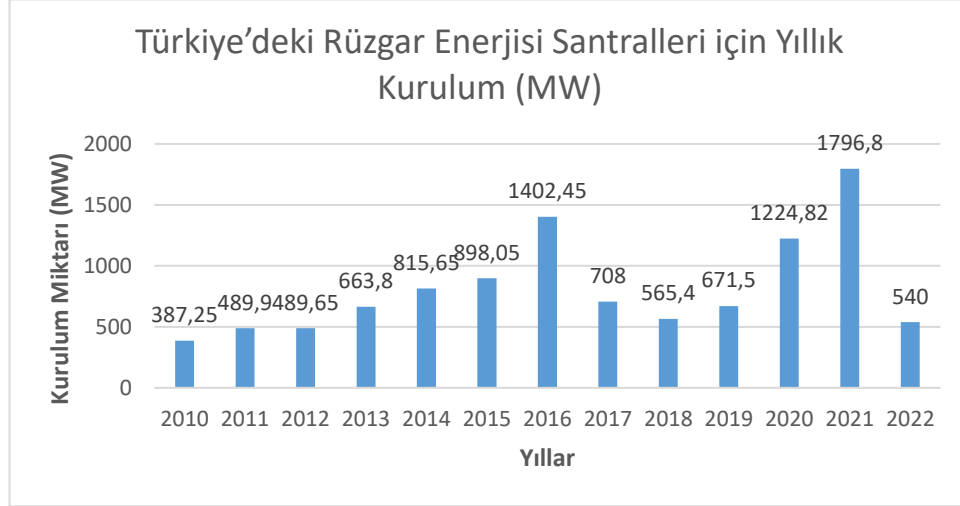
Kapasite faktörünün bir santralin ekonomik ve teknik faydasını gösteren en önemli ölçüt olduğu yukarıda belirtilmişti. Santralin belirli bir periyotta ürettiği toplam enerjinin kurulu güce bölümü kapasite faktörünü elde etmemizi sağlar. Buradan yola çıkarak yine Ege ve Marmara bölgesinin kapasite faktörünün diğer bölgelerden daha fazla olduğu görülmektedir.

Türkiye Enerji Birliği (TÜREB) 2022 yılı temmuz ayı Türkiye için Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporuna göre Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu gücü Temmuz 2022 itibarıyla bir önceki yıla göre 540 MW artışla birlikte toplamda 11.641,82 MW seviyesine yükselmiştir. 2019 yılında 180 olan rüzgar santrali sayısı da 280'e yükselmiştir [11]. Şekil 4'te Türkiye'deki rüzgâr enerjisinin 2010 ve 2022 yılları arası kümülatif kurulum miktarı verilmiştir.



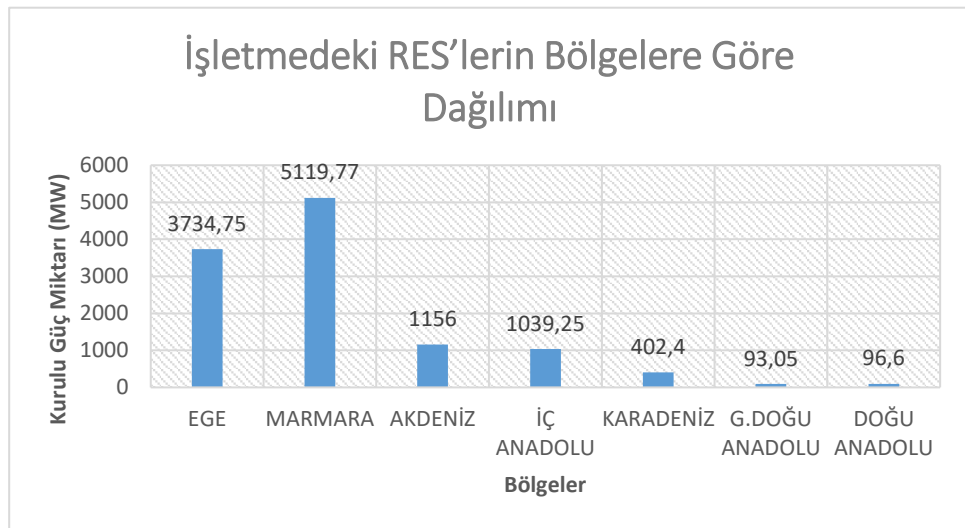
Şekil 4. Türkiye'deki Rüzgâr Enerjisinin Yıllara Göre Kümülatif Kurulum Miktarı

Bu tablodan yola çıkarak her yıl üzerine koyarak kümülatif kurulum miktarının sürekli olarak artış göstermesi Türkiye'nin rüzgâr enerjisine verdiği önemi ortaya çıkarmaktadır. Bu tablodan yola çıkarak rüzgâr enerjisi santralleri için yıllık kurulum miktarları da Şekil 5'te gösterilmiştir.



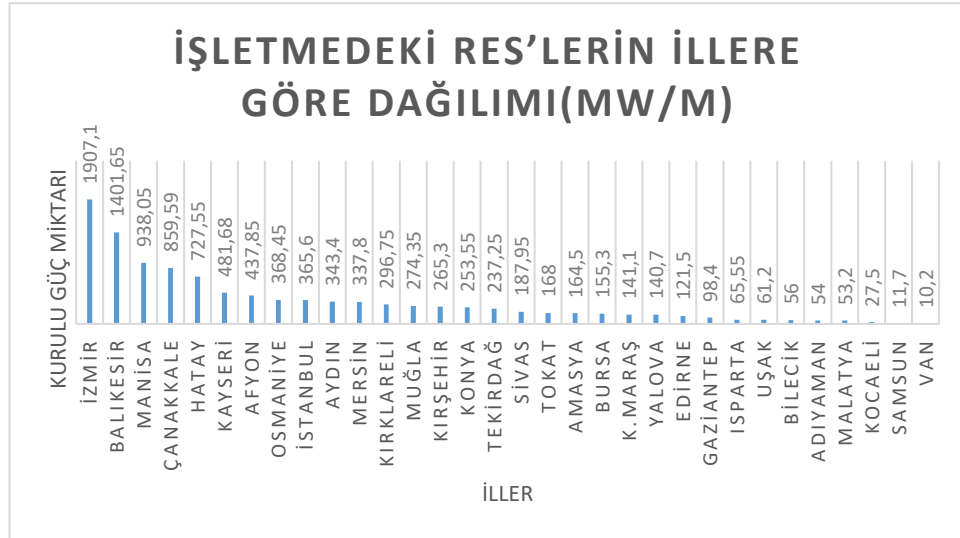
Şekil 5. Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Yıllık Kurulum Miktarı

2010'dan 2016'ya kadar yıllık kurulumlar artış göstermiş, ardından her ne kadar azalma gösterse de en yüksek yıllık kurulum oranı 2021'de iken en düşük yıllık kurulumun 2010 yılında olduğu görülmektedir. Türkiye geneli olan bu rüzgar bilgilerinden yola çıkarak bölgelere göre bir potansiyel ortaya çıkaracak olursak işletme halindeki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin (RES) 7 bölgeye göre dağılımı şekil 6'daki gibidir.

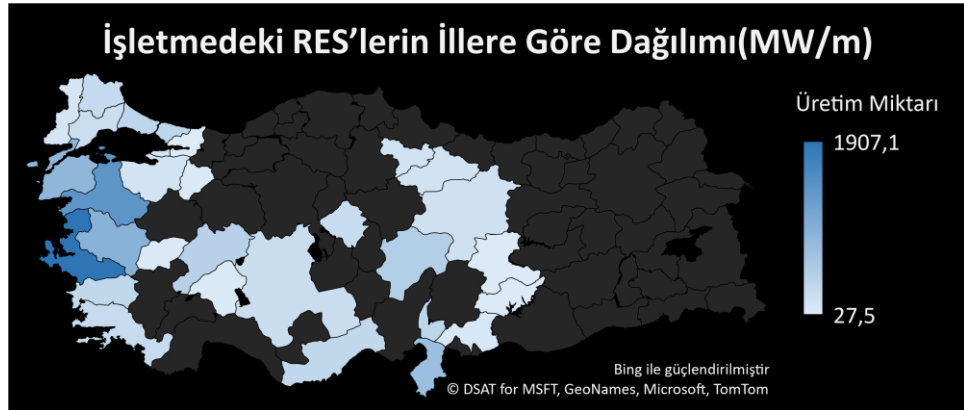


Şekil 6. İşletmedeki RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı

Şekil 2 ve şekil 3'ten yola çıkarak rüzgar hızlarına bağlı olarak şekil 6'da yine rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölgelerin 3734,75 MW güç ile Ege ve 5119,77 MW güç ile Marmara bölgesi olduğu görülmektedir. Bu iki bölgenin Türkiye yüz ölçümüne göre payları yarıyı geçmekle birlikte Marmara bölgesi %44 ve Ege bölgesi ise %32 oranında bir paya sahiptir. Bu bölgeler her ne kadar rüzgar potansiyeline elverişli olmasından dolayı tercih edilse de bölgelerin; ulaşım rahatlığı, ulusal şebekeye bağlanma kolaylığı, kurulum yapılacak arazinin yol ve diğer çalışmalar için işlenme kolaylığı, arazinin elverişliliği-eğimi, büyüklüğü, kullanış şekli vb. gibi unsurların rüzgar santrali için kolaylık sağlayacağından bu koşullara uygun bölgeler de seçilmektedir. Bölgelerin incelenmesinden sonra bölgelerde bulunan illere göre dağılımlar incelenecek olursa, İşletmedeki RES'lerin illere göre dağılımı şekil 7'deki gibidir. Ayrıca harita üzerinde gösterilmiş hali de şekil 8'deki gibidir.



Şekil 7. İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Dağılımı



Şekil 8. İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Harita Dağılımı

Şekil 7 ve Haritadan yola çıkarak en verimli bölgelerin Ege ve Marmara bölgesinin olduğu bilinmesiyle birlikte o bölgelerdeki illerde işletme halinde bulunan RES'lerin üretim miktarlarına göre dağılımı görülmektedir.

Tüm bu bilgiler ışığında bu tez çalışmasının amacı Türkiye'deki rüzgâr enerjisinin rüzgar enerjisi potansiyel analizlerinde sıklıkla kullanılan Weibull, Rayleigh ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları yardımıyla 7 bölgeye göre rüzgar enerjisi potansiyel analizinin yapılmasıdır. Bu bağlamda Marmara bölgesinden İstanbul Çatalca, Ege bölgesinden İzmir Çeşme, Karadeniz bölgesinden Samsun Havza, İç Anadolu bölgesinden Kırşehir Mucur, Doğu Anadolu bölgesinden Van Gevaş ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinden ise Adıyaman Sincik il ve ilçeleri seçilmiştir. Bu bölgelerin seçilmesinin nedeni o bölgelerdeki işletmedeki RES'lerin birbirleriyle hemen hemen aynı kurulu güce sahip olmalarıdır. Analizler yapılırken yukarıda sayılan bölgelerde sonuçların daha sağlıklı olması adına 2016-2020 yılları arasındaki rüzgar verileri saatlik olarak web ortamından alınıp tek parametrelili Rayleigh, iki parametrelili Weibull ve üç parametrelili Genelleştirilmiş Pareto dağılımları kullanılarak rüzgâr hızı olasılık ve kümülatif yoğunluk fonksiyonları, rüzgâr gücünün olasılık yoğunluk fonksiyonu ve ortalama güç yoğunluğu ve bölgede en sık görülen rüzgar hızı ve enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgar hızı verileri de hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için dağılımlarda kullanılan iklim ve rüzgâr hızı verilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle bir web sitesinden elde edilen saatlik iklim verileri Excel ortamına işlenmiş ve tüm hesaplamalar dağılım formülleri kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken İzmir için 77089, Samsun için 77016, İstanbul için 75774, Kırşehir için 68683, Mersin için 40872, Van için 40363 ve Adıyaman ili için ise 1783, toplamda ise yaklaşık 400.000 saatlik iklim verisi kullanılmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar yapıldıktan sonra Türkiye için en verimli rüzgâr bölgesinin ortaya çıkarılması hedeflenmiş ve ortaya çıkarılan bu bölgeye bir rüzgâr santrali kurulması durumunda maliyetinin ne kadar olacağını kestirebilmek adına Kanada ülkesi yazılımı olan ve rüzgar enerjisi analizlerinde kullanılan Retscreen yazılım programı kullanılarak maliyet analizi yapılacaktır. Tüm işlemlerden sonra sonuç kısmı ile çalışma bitirilecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının farkındalığının ortaya çıkmasıyla birlikte ülkeler bu kaynakların en doğru şekilde kullanılıp maksimum verim alınabilmesi için birçok araştırma yollarına başvurmuşlardır. Örneğin hidroelektrik santraller için su gerektiğinden baraj veya akarsu yakınları, güneş enerjisi için gündüz güneş süresinin ve güneşli günlerin uzun olduğu bölgelerin seçimi ya da rüzgâr enerjisi için sürekli rüzgarların bulunduğu, rüzgâr hızının belirli bir hızın üstünde olduğu durumların belirlendiği çalışmalar yapılmıştır. Sadece bu kaynaklar için değil diğer birçok yenilenebilir enerji kaynakları için bu çalışmalar yapılmıştır. Buradan yola çıkarak literatürde bu alanlarla ilgili birçok çalışmanın var olduğu görülmüştür. Rüzgâr enerjisi kaynakları ile ilgili olarak ise literatürde sınırsız sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar; Rüzgâr enerjisi santrali kurulumunda dikkat edilecek hususlar, belirli bir bölge seçilerek o bölgeye rüzgâr santrali kurulumunun gerçekleştirilmesinin nasıl ve ne maliyetle olacağı, rüzgâr enerjisi analizlerinde sıklıkla kullanılan dağılımlar ile hesaplamalar yaparak en verimli bölgelerin ortaya çıkarılması, rüzgar hızlarına bağlı olarak belirli mega watt güçlerinde santral kurulumlarının karşılaştırılması gibi birçok çalışma yapılmıştır.

Bunlar ve benzeri çalışmalardan yola çıkarak rüzgâr enerjisi analiz edilirken çeşitli matematiksel ve olasılıksal dağılımlar kullanılır ki bu dağılımlara göre analiz yapılır ve bir rüzgâr türbinin kurulumu için dağılımlar karşılaştırılarak en verimli bölgenin seçilmesi gerçekleştirilir. Bu olasılıksal dağılımlardan en yaygın olanı Weibull dağılımı olmakla birlikte Rayleigh, Gama, T-Lokasyon Ölçü, Burr Tipi, Genelleştirilmiş Ekstrem Değer ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları gibi dağılımlar kullanılmaktadır [30]. Bu dağılımlarda bulunan parametrelerle birlikte rüzgâr hızına bağlı olarak analizler gerçekleştirilmekte, sayısal ve grafiksel olarak yorumlanarak belirli bir bölgeye rüzgâr santralinin kurulumunun gerçekleştirebileceğinin ya da gerçekleştiremeyeceğinin analizi yapılmaktadır. Literatürde bu konuyla alakalı olarak birçok çalışma yapılmıştır.

Kaplan [12], “Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi” adlı makalesinde 2013 yılı için saat başı olarak

elde ettiği rüzgar hızı verilerine dayanarak, Osmaniye’deki rüzgar enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz etmiştir. Çalışmasında Rayleigh ve Weibull dağılımlarını kullanarak parametreler yardımıyla analiz gerçekleştirmiştir. Bu analizleri gerçekleştirirken saatlik rüzgar hızı verileriyle birlikte Rayleigh ve Weibull dağılımlarının ölçek ve şekil parametrelerinin hesabını gerçekleştirerek analizi ortaya koymuştur. Çalışmada Weibull ve Rayleigh dağılımının parametrelerinin hesabını yapabilmek için 2 yöntem kullanılmış olup bu yöntemler Moment ve Grafik metotlarıdır. Grafik metoduyla yaptığı hesaplamada şekil parametresi ‘k’yı 1.0046 ve ölçek parametresi ‘c’yi de 1.7744 (m/s) olarak hesaplamıştır. Moment metodunda ise şekil parametresini 1.6394 ve ölçek parametresi ‘c’yi ise 2.5391 (m/s) olarak hesaplamıştır. Sonuç olarak da, Weibull modeli ile elde ettiği sonuçların, Rayleigh modeli ile elde ettiği sonuçlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Wadi ve diğerkleri [13], üç yıllık rüzgâr verileri için iki parametrelili Weibull dağılım işlevine dayalı bir istatistiksel çalışmayı İstanbul ili Çatalca ilçesi için sunmuşlardır. Weibull parametreleri için üç tahmin yöntemi olan; yaklaşım, grafik ve enerji model faktörü yöntemleri ile çalışılmış ve karşılaştırılmıştır. Weibull dağılımına dayalı rüzgâr potansiyelini değerklendirmek için 3 farklı algoritmaya göre modellenmiştir ve bu modeller: Grey wolf optimization(GWO), Particle Swam Optimisation(PSO) ve Cucko Search Optimisation(CSO) modelleridir. Ayrıca 4 sayısal yöntem: EPF, Method of moments(MOM), Empirical method of Justos(EMJ), ve Modified Maximum LikeliHood(MML) tahmin metotları kullanılmıştır. Junk ve Schindler [13] dünya çapındaki farklı sahalarda 4 yıllık rüzgar hızı verilerine dayanarak Goddness of Fit değerklendirmek için 24 dağılım sunmuş ve dağılım parametreleri bir ile beş parametre arasında değışmiştir. Bu parametreleri değerklendirmek için; MOM, L-Moment (LM), Maximum Likelihood (ML) ve least-squares (LS) yöntemleri kullanılmıştır.

Koç [14], çalışmasında rüzgâr enerjisi ve rüzgâr türbini seçim esasları ele alınarak dünyada rüzgar enerjisinin genel durumu ele alınmış ve daha sonra Türkiye’de rüzgar enerjisinin genel durumuna değinilmiştir.

Doğank [15], bu çalışmada 1-5 ve 10 MW güçlerindeki 3 adet rüzgâr enerji santrali için analiz çalışması gerçekleştirildiği ve çalışmada öncelikle potansiyel rüzgâr enerjisi

araştırması yapılmış daha sonra Retscreen analiz programı [16] kullanılarak analiz çalışmasına başlandığı belirtilmiştir.

Çalışkan [17], “Rüzgar Enerjisi ve Santralleri” adlı seminerde enerji sektörünün günümüzün en önemli sektörlerinden biri olduğuna değindiği belirtilmiş ve yapılan çalışmada ülkelerin özellikle sıfır salımı olan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını güvenilir, ekonomik ve olumlu yönde birçok yönünün olmasından dolayı tercih ettiklerini bildirilerek rüzgar kaynak bilgisi ile alakalı olarak enlem, boylam, arazi eğimi, deniz derinliği gibi ölçümler yapılarak noktasal enerji hesaplanması yapıldığı belirtilmiştir.

Gülersoy [18], “Menemen Bölgesinde Rüzgâr Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması” adlı makalede 2008 – 2009 yıllarında saatlik olarak ölçülmüş olan rüzgâr hızı verilerine dayanarak, Menemen bölgesindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada Menemen bölgesi için rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Rüzgâr elektriği eldesinde, rüzgâr türbini parametrelerinin yanında, türbin kurulum alanındaki rüzgâr hız dağılımının da önemli rol oynadığı belirtilerek bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmasında Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanıldığı belirtilmiştir. Weibull dağılımı yapılırken iki parametrelili dağılım fonksiyonu formülünden yola çıkarak hesaplama yapılmıştır. Ayrıca tek parametrelili Rayleigh dağılımı formülü de kullanılarak hesaplamaları yapılmıştır. Ancak bu çalışmada sadece yıllık bazda gerçek, Rayleigh ve Weibull dağılım fonksiyonlarına göre rüzgâr hızı esme süreleri belirtilmiştir.

Wadi [19], “Feasibility Study of Wind Energy Potential in Turkey Case Study of Çatalca District in Istanbul” adlı makalede öncelikle Türkiye’nin genel durumundan bahsedilmiş olup daha sonra rüzgâr verilerini elde ederek Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyeli atlasını ortaya koymuşlardır. Daha sonra bu verilerle birlikte 2008 ve 2010 yılları arası Çatalca ilçesini saatlik olarak Weibull olasılık yoğunluğu hesaplanmış ve tabloya dökülmüştür. Ardından rüzgar rejiminin analizi yapılarak veriler yine parametreleriyle birlikte tabloya dökülmüştür. Daha sonra elde edilen tüm verilerle Probability Density Function(PDF) ve Capacity Function(CF) grafikleri

oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafiklerle birlikte 60 metre ve 80 metre yükseklikte farklı rüzgar türbin modelleri karşılaştırılmıştır.

Özcan [20], “Rüzgar Enerjisi Yatırımları ve Isparta ilinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi” adlı yüksek lisans tezinde 3 bölüme ayrılmış olarak ilk bölümde enerji kaynakları ve rüzgar enerjisi hakkında bilgi verilmiş olup, ikinci bölümde rüzgar enerjisi yatırımları, maliyetler, finansman kaynakları ve teşvik uygulamalarına değinilmiş olup son bölümde ise Isparta iline ait bir analiz yapılmıştır. Bu çalışmadan yola çıkarak kullanılan yöntem ve verilerle yapılan varsayımlar altında ülkemizde uygulamada olan rüzgar enerjisi santrallerinde üretilen elektriğin satış fiyatı baz alınarak rüzgar enerji santralinin kurulup kurulamayacağı analiz edilmiştir.

Bu çalışmada da Türkiye’deki rüzgar enerjisinin yukarıda belirtilen dağılımlardan tek parametrelili Rayleigh, iki parametrelili Weibull ve üç parametrelili Genelleştirilmiş pareto dağılımları kullanılarak 7 bölgeye göre analizi, fizibilitesi ve en verimli bölge için maliyet analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu analizler gerçekleştirilirken 2016 ve 2020 yılları arası yaklaşık 450.000 iklim verisi kullanılmış olup 5 yıllık olarak analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken Rayleigh, Weibull ve Genelleştirilmiş Pareto dağılım fonksiyonlarının dağılım formülleri kullanılmış ve gerekli hesaplamalar yapılarak Excel üzerinde tablo ve olasılık yoğunluk grafiklerine dönüştürülmüştür. Elde edilen yaklaşık 450 bin iklim verisi 7 bölge için Türkiye’nin 1.3. madde de bahsedilen 7 bölgeden il ve ilçeleri seçilerek analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu ilçelerin iklim verileri bir internet web sitesinden alınmış [21] ve Excel tablosuna dökülmüştür. Veriler ise 2016-2020 yılları arası her gün için yarımşar saat aralıklı veriler olmakla birlikte yaklaşık 450 bin iklim verisi kullanılmış ve hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar ise her bir dağılım için parametre hesaplamaları, olasılık yoğunluk fonksiyonu hesaplamaları, kümülatif dağılım fonksiyonu hesaplamaları, bölgede en sık görülen rüzgâr hızı hesaplamaları olmakla birlikte bu hesaplamalar sonucunda da analiz gerçekleştirilmiş ve Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyeli ortaya çıkarılmış ve rüzgar enerjisi bakımından en verimli bölgesinin ispatı yapılmıştır. Çalışmanın sonunda ise en verimli bölgenin ortaya çıkarılmasıyla bu bölgeye bir rüzgâr santrali kurulumunun maliyet analizi gerçekleştirilmiş ve ortaya konmuştur. Bu çalışmayı yukarıda belirtilen diğer çalışmalardan ayıran en önemli noktalar ise; dağılım analizlerinin gerçekleştirildiği

yılların 5 yıl gibi uzun bir süreyi kapsaması, 3 adet dağılım kullanarak bu dağılımlarla analizlerin daha gözle görülebilir olmasını sağlamak, iklim ve rüzgar hızı verilerinin yarımşar saat aralıklarla olması nedeniyle gerçeğe en yakın sonuçların alınmasını sağlamak bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellikler olarak ortaya koymaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma gerçekleştirilirken çeşitli yazılım programları, office programları, web siteler, olasılık dağılımları gibi faktörler kullanılmıştır. Bu faktörler iklim verilerinin alınabildiği internet web sitesi, bu web sitesinden alınan iklim verilerinin hesaplamasının gerçekleştirilebilmesi için Microsoft (MS) Excel, Excel’de hesaplanan iklim verilerinin analizlerinin yapılabilmesi için kullanılan Rayleigh, Weibull ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları ve son olarak rüzgar potansiyeli açısından en verimli bölgenin ortaya çıkarılmasıyla birlikte bu bölgeye kurulabilecek bir rüzgar santralının maliyet analizinin yapılacağı Kanada hükümeti yazılımı olan ve rüzgar enerjisi analizlerinde kullanılan Retscreen yazılım programı kullanılmıştır.

3.1. Freemeteo Web Sitesi

Rüzgâr hızı analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için iklim verilerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle freemeteo web sitesi tüm bu iklim verilerinin sağlandığı bir web portalıdır. Bu web portalında hem Türkiye hem de Dünyada birçok ülkenin aylık, günlük, saatlik iklim verileri sağlanmaktadır. İklim verilerini almak istediğiniz il veya ilçenin bilgisini girerek seçtiğiniz tarihler için gün gün veya aylık olarak iklim verileri elde edilebilmektedir. Bu iklim verileri bir tablo olarak verilmekte olup verinin saati, sıcaklık, hissedilir sıcaklık, rüzgârın yönü, rüzgârın şiddeti, bağıl nem, çiğ oluşma derecesi ve basınç gibi iklim verileridir. Ayrıca portal, seçilen bölgenin enlem ve boylam değerlerini de göstermektedir. Buradan elde edilen veriler MS Excel ortamına aktarılarak hesaplamalar gerçekleştirilebilmektedir.

3.2. Microsoft Excel

Microsoft Excel genellikle üzerinde hesaplama yapmaya yarayan ve matematiksel işlemleri içeriğinde bulunan formüller sayesinde daha kısa şekilde yaparak hesap yapma avantajı sunan bir hesap tablosu yani elektronik tablo programıdır. Excel her türlü veriyi özellikle sayısal verileri tablolar ya da listeler şeklinde tutma ve bu verilerle ilgili ihtiyaç duyulan analizleri kolaylıkla yapma imkânı sunan bir uygulama programıdır. Çok uzun işlemli veya çok uzun verili olan matematiksel hesaplamalar birkaç işlem ile Excel’de kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Burada yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar kolaylıkla grafik haline dönüştürülebilir ve

kaydedilebilir. Bu bilgilerle birlikte; verileri yeniden düzenlemeye, ekleme yapmaya veya önceki işlemleri değiştirebilmeye oldukça uygun bir programdır. Bu çalışmada da Excel son derece önem arz eden bir programdır. Web siteden elde edilen iklim verileri Excel'e aktarılmış ve Excel'in matematiksel hesap yapma, grafik oluşturma, kendi içerisinde bulunan formüller ile iş kolaylaştırma gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Aktarılan iklim verilerinin analizi yapılırken veriler Excel üzerinde alt alta dizilerek ve sayfa sayfa ayrılarak yapılmıştır. İklim verilerinin aktarılmasından sonra ise Rayleigh, Weibull ve Genelleştirilmiş pareto dağılımlarının parametre değerlerinin hesabı yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra kendi içerisinde fonksiyon olarak bulunan Weibull.Dağ fonksiyonu ile de olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği oluşturulmuştur. Diğer dağılımların formülü bulunmadığından kendi matematiksel formülleri kullanılarak grafikleri oluşturulmuştur.

3.3. Retscreen Yazılımı

RETScreen Temiz Enerji Yönetim Yazılımı (kısaca RETScreen) Kanada hükümeti tarafından geliştirilmiş olan yenilenebilir enerji kaynakları için bilgi ve analiz işlemi sunan, temel seviyede ücretsiz profesyonel seviyede ise ücretli bir yazılım paketidir. Bu yazılım temel seviyede çeşitli yenilenebilir enerji biçimlerinin üretim miktarlarını, çevreye etkilerini, teknik ve ekonomik uygulanabilirliklerini değerlendirmek üzere kullanılmaktadır.

RETScreen Microsoft Excel programı altyapısını kullanarak çalışmaktadır. Bu sebeple birçok analizi bünyesinde gerçekleştirebilir. Bu analizlere; kıyaslama analizi, performans analizi veya fizibilite analizi örnek verilebilir. Gerçekleştireceğimiz Fizibilite analizi sayesinde ne kadar enerji üretebileceğimizi veya ne kadar enerji tasarrufu yapabileceğimizi öğrenebiliriz.

Analiz yapabilmemiz için ilk olarak iklim verilerini elde etmemiz gerekir. Bu bağlamda Retscreen bizlere otomatik olarak seçilen bölgenin iklim verilerini ortalama olarak sağlamaktadır. İklim verilerinin gelmesiyle birlikte de analiz gerçekleştirilebilmektedir. Programda birçok analiz türü olduğu yukarıda da bahsedilmiştir. Bu analiz türlerinden bölge seçimi yapıldıktan sonra bir sonraki aşamada Enerji modeli kısmı bulunmaktadır. Bu kısımda analiz yapılmasında kullanılacak olan türbin tipi seçilerek seçilen bu türbinden yıllık alınabilecek

maksimum enerji miktarı hesaplanmıştır. Türbin seçimiyle birlikte bu türbinin spesifik özellikleri de görülebilmektedir.

Programın-Yazılımın bir sonraki kısmı olan maliyet analizi kısmında ise iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntem öngörülen genel maliyetlerin başlıklar halinde girilmesine olanak tanırken; ikinci yöntem her başlığın altındaki farklı kalemlerin maliyetlerinin girilmesine olanak tanıyarak detaylı bir çalışma yapılmasını sağlar.

Programın bir sonraki kısmı olan ekonomik analiz kısmı ise beş bölümden oluşur. Bunlar: “Finansal Parametreler”, “Yıllık Gelir”, “Proje Maliyetleri ve Gelir Özeti”, “Finansal Sürdürülebilirlik” ve “Yıllık Nakit Akışı” bölümleridir. “Proje Maliyetleri ve Gelir Özeti” ile “Yıllık Gelir” bölümleri; enerji modeli, maliyet analizi ve emisyon analizi çalışma sayfalarının bir özeti niteliğindedir. “Finansal Sürdürülebilirlik”, bölümünde ise kullanıcının “Finansal Parametreler” bölümüne girmiş olduğu veriler kullanılarak projenin finansal göstergeleri elde edilir. “Yıllık Nakit Akışı” bölümü kullanıcının vergi öncesi, sonrası ve toplam nakit akışını görüntülemesini sağlar. Bu çalışmada da rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölgenin ortaya çıkarılmasıyla birlikte yapılan araştırmalara neticesinde elde edilecek maliyet birimleriyle birlikte program üzerine girilerek ortaya ne kadar maliyetle kurulabileceği, ne kadar emisyon miktarı oluşturacağı, kaç yılda geri dönüş sağlayacağı vb. gibi bilgileri çıktı olarak verecektir.

3.4. Fizibilite Analizi

Analiz gerçekleştirilirken rüzgar enerjisi analizinde en yaygın kullanılan tek parametrelili Rayleigh, iki parametrelili Weibull ve üç parametrelili Genelleştirilmiş Pareto dağılımları kullanılmıştır. Bu dağılımlara ilişkin tanımlamalar ve formüller aşağıdaki gibidir:

3.4.1. Rayleigh Dağılımı

Rüzgarın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, enerji üretimi değerlendirmeleri için çok önemlidir. Bir yerde sadece ortalama rüzgar hızı (V_{ort}) biliniyorsa; Rayleigh Dağılım Fonksiyonu yardımıyla herhangi bir rüzgar hızının (V_r), esme saati (h_r) yüzdesi bulunabilir. Bunun sonucunda ortaya çıkan rüzgar hızları bir olasılık yoğunluğu dağılımıdır. Dağılım şematik olarak çizildiğinde bu dağılımın altında kalan

alan bire eşittir. Çünkü, rüzgarın sıfır dahil herhangi bir hızda esme olasılığı %100'dür. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu formülü

$$f_r(v) = (\frac{v}{c^2}) \exp[-(\frac{v^2}{2c^2})] \quad (1)$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu formülü;

$$F_R(v) = 1 - \exp[-(\frac{v^2}{2c^2})] \quad (2)$$

Olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonu formüllerinden yola çıkarak buradaki V ortalama rüzgar hızı, c ölçek parametresini ifade etmektedir. Bu dağılımın en büyük avantajı sadece ortalama rüzgar hızı kullanılarak dağılımın belirlenmesidir. Bu bağlamda bu parametre rüzgar hızı ile ilişkilendirilmektedir. Rayleigh parametresi olan c ölçek parametresi ile ortalama rüzgâr hızı arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$c \cong 1.128 V_m \quad (3)$$

Bir ölçek parametresi, parametrik bir olasılık dağılımlarının özel bir tür sayısal parametresidir. Dağılımın yayılabilmesi için ölçek parametresinin de o denli büyük olması gerekir.

Rayleigh dağılımı kullanılarak bölgede en sıklıkla görülen rüzgar hızı ve enerji eldesine maksimum katkıda bulunan rüzgâr hızı değerleri bulunabilir. V_{Emaks} enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgar hızı, V_{Fmaks} ise bölgedeki en sık görülen rüzgar hızıdır. Buna göre formülleri aşağıdaki gibidir:

$$V_{Emaks} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} V \quad (4)$$

$$V_{Fmaks} = 2 * \sqrt{\frac{2}{\pi}} V \quad (5)$$

3.4.2. Weibull Dağılımı

Bu dağılım oldukça esnek ve basit olmasının yanında gerçek verilerle uyum sağlamaktadır. Başka bir deyişle, Weibull dağılımı rüzgar hızı verilerine uygun olduğundan, rüzgar enerjisi analizlerinde genel olarak kabul görmektedir [22]. Rüzgar hızı dağılımını tanımlayan matematiksel fonksiyon olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Weibull dağılımı iki parametrelidir olup, rüzgar hızı için iki parametrelidir. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi şöyledir:

$$f_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{(k-1)} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (6)$$

Burada k şekil parametresi, c ölçek parametresi ve f_w ise gözlemlenen rüzgar hızı olasılığıdır. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ise şu şekildedir:

$$F_w(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (7)$$

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir. Bu formüllerden yola çıkarak ölçek parametresinin rüzgar hızı ile bağlantılı olmasının bilinmesiyle birlikte ölçek parametresi için Rayleigh dağılımında kullanılan ölçek parametre formülü ile aynı formül kullanılmaktadır. Şekil parametresi de elde edilen rüzgar hızlarının ortalama değeri ve tamamının standart sapmasıyla ilişkili olmasıyla birlikte formülü aşağıdaki gibidir:

$$k = \left(\frac{V_{ort}}{V_{s.sapma}}\right)^{-1.086} \quad (8)$$

Burada Vort rüzgar hızı ortalamasını, Vs.sapma ise rüzgar hızlarının standart sapmasını ifade etmektedir. Bu formüle göre rüzgar hızı ortalamaları ve standart sapma hesaplamalarından yola çıkarak k şekil parametresi değerinin hesaplanması sonucu çıkan sonuç 1 ile 3 değerleri arasında çıkması beklenmektedir. Çıkan sonuç 1 değerine ne kadar yakınsa o bölgedeki rüzgar hızları sabit rüzgarlar eğer 3 değerine yakın bir sonuç çıkarsa o bölgedeki rüzgar hızlarının değişken rüzgarlar olabileceğini söylemek mümkündür.

3.4.3. Genelleştirilmiş Pareto Dağılımı

Genelleştirilmiş Pareto dağılımı, olasılık kuramı ve istatistik bilim dallarında geliştirilen, iki parametrelili olan pareto dağılımının daha geliştirilmiş hali olarak üç parametrelili bir halidir. Pareto dağılımı, olasılık kuramı ve istatistik bilim dallarında birçok pratik uygulaması bulunan ve "küçük" bir nesnenin bir "büyük" nesneye dağılımında kararlılık elde edildiği hallerde kullanılan bir sürekli olasılık dağılımı veya bir güç kuramıdır. Bu analiz ismini “dağılımı ilk olarak kullanan bir İtalyan iktisatçısı Vilfredo Pareto tarafından servet dağılımını göstermek için kullanılmıştır” [23]. Genelleştirilmiş pareto dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif dağılım fonksiyonu formülleri aşağıdaki gibidir:

$$f_g(v) = \left(\frac{1}{\sigma}\right)(1 + \zeta * z)^{-\left(\frac{1}{\zeta+1}\right)} \quad (9)$$

$$Fg = 1 - (1 + \zeta * z)^{-\left(\frac{1}{\zeta}\right)} \quad (10)$$

Genelleştirilmiş pareto dağılımı 3 parametreden oluşmaktadır. Buna göre formülден yola çıkarak σ ölçek parametresi, ζ şekil parametresi ve z ifadesi ise konum parametresinin yardımıyla hesaplanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Z ifadesinin formülü ise şu şekildedir:

$$z = \left(\frac{Vort - \mu}{\sigma}\right) \quad (11)$$

Bu formüle göre Vort ortalama rüzgar hızı, μ pareto dağılımı için konum parametresi ve σ ise bilindiği gibi ölçek parametresidir. Konum parametresi grafiğin nerede olduğunu belirtir. Yani standart normal modele göre “bir grafiğin yatay eksenде nerede ortalandığını söyler” [39]. Standart normal dağılım eğrisi 0’da ortalanan, ancak rüzgar hızlarıyla elde edilen sonuca göre grafiğin nerelerde konumlandığını bildirilir. Örneğin 5 parametresi, grafiğin eğrinin merkezinin 5 birim sağında, $x = 5$ ’te ortalandığını bilmemizi sağlar. Ölçek ve şekil parametreleri ise Rayleigh ve Weibull dağılımlarından farklılık göstermektedir. Buna göre ölçek ve şekil parametre formülleri de aşağıdaki gibidir:

$$\sigma = \left(\frac{Vort\left(\frac{Vort^2}{s} + 1\right)}{2}\right) \quad (12)$$

$$\zeta = \left(\frac{\left(\frac{Vort^2}{s} - 1\right)}{2}\right) \quad (13)$$

Buradaki Vort ifadesi rüzgar hızı ortalamasını ifade ederken, s değeri ise rüzgar hızı verilerinin varyansını ifade etmektedir. Dolayısıyla formüllerden yola çıkarak tüm formüllerin rüzgar hızlarıyla bağlantılı olduğu görülmektedir. Bu nedenle rüzgar verilerinin doğru olarak elde edilmesi son derece önem arz etmektedir.

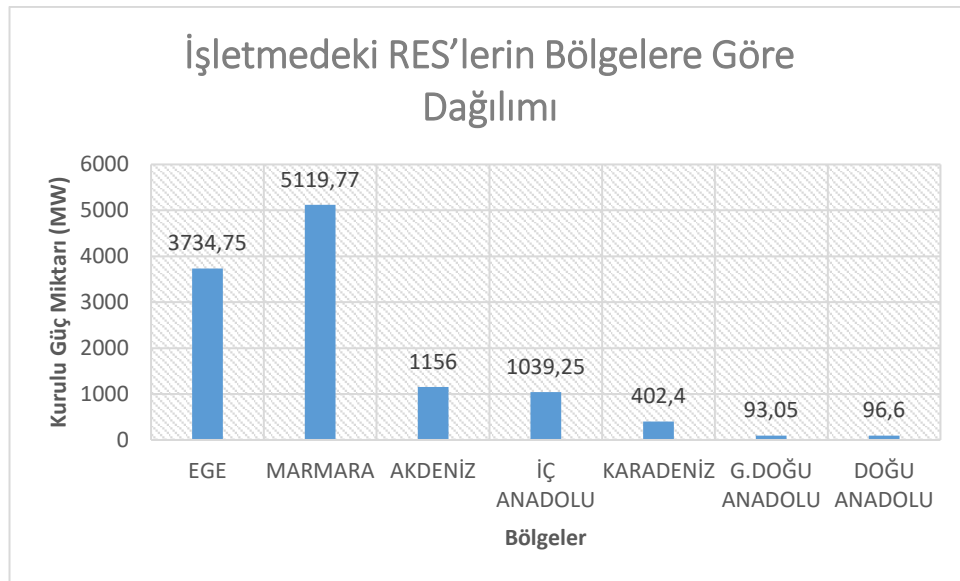
4. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ANALİZİNDEN ELDE EDİLEN BULGULAR

Rüzgar, doğada kendiliğinden oluştuğundan ortaya çıkan kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Rüzgar enerjisi; arazi yüzey yapısı, topografya ve perdeleyici engeller gibi faktörlerden etkilendiği için diğer enerji kaynaklarına nazaran konum itibarıyla daha fazla değişmekte ve daha zor tahmin edilebilmektedir. Rüzgar türbinleriyle enerji üretimi yapılabilmesi için rüzgar hızının belirli bir aralıkta olması gerekmektedir. Bu nedenle, burada öncelikli ve en önemli konu enerji üretim sisteminin kurulacağı yörenin rüzgar rejiminin bilinmesidir. Rüzgar enerjisinin miktarı, rüzgarın hızına bağlıdır. Rüzgarın sağlayacağı enerji, gücüne ve esme süresine bağlıdır. Rüzgar hızının dağılımın belirlenmesi için kullanılan pek çok dağılım fonksiyonu vardır. Materyal ve yöntem kısmında bahsedilen dağılımlar bu dağılımlardan en çok kullanılanları olup başka dağılımlar da mevcuttur. Daha önce ölçülmüş ve elde edilmiş olan değerlerden faydalananarak o bölgenin performansını tahmin edebilme işlemi bir bölgenin rüzgar veri analizinin hazırlanmasıdır. Herhangi bir noktada ilgili değerler yani saatlik rüzgar hızı ve yön bilgileri gözlemlenir ve elde edilen sonuçların frekans ve olasılığını modellemek için istatistiksel sonuçlar bulunur.

Bu bölümde, Türkiye'nin 7 bölgesinden seçilen illerin elde edilen iklim verileriyle birlikte rüzgar potansiyelleri bakımından dağılım parametreleri yardımıyla hesaplanmış ve bölgelerin karşılaştırması yapılarak analiz çalışması ortaya konmuştur. Bu bağlamda seçilen bölgeler Marmara bölgesinden İstanbul Çatalca, Ege bölgesinden İzmir Çeşme, Karadeniz bölgesinden Samsun Havza, İç Anadolu bölgesinden Kırşehir Mucur, Doğu Anadolu bölgesinden Van Gevaş ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinden ise Adıyaman Sincik il ve ilçeleridir. Bölgelerin seçilmesinin ardından bu bölgelere ait iklim verileri freemeto adlı web sitesinden elde edilmiş, Excel ortamına işlenmiş ve tüm hesaplamalar dağılım fonksiyonlarının formülleri kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamaların yapılabilmesi için rüzgar hızı son derece önem arz etmektedir. Bu nedenle saatlik rüzgar hızları bu çalışma için son derece önemli bir faktördür. “Bir yörenin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenebilmesi için, o yöreye ait uzun yıllara dayalı rüzgar ölçümleri yapılmalıdır” [38]. Bu nedenle çalışmanın daha sağlıklı sonuçlar vermesi için 2016-2020 yılları arası 5 yıllık iklim verileri günlük ve saatlik

olarak elde edilmiş ve dağılım parametreleri yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken İzmir için 77089, Samsun için 77016, İstanbul için 75774, Kırşehir için 68683, Mersin için 40872, Van için 40363 ve Adıyaman ili için ise 1783, yaklaşık olarak ise 400.000 saatlik iklim verisi kullanılmış ve hesaplamalar yapılmıştır.

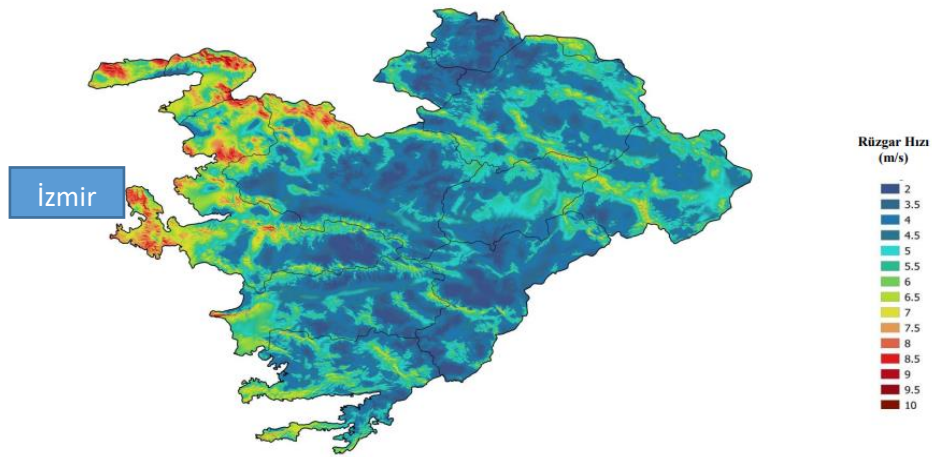
Türkiye'nin rüzgar enerjisi durumu için giriş kısmında detaylı bilgiler verilmiştir. Buna göre Türkiye'de ilk rüzgâr enerjisi santrali Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığından (ETKB) alınan bilgilere göre 1998 yılında İzmir ili Çeşme ilçesinde kurulu gücü 1,5 MW olarak kurulmuştur. Daha sonra yine İzmir ilinde santral kurulumları devam ederek ülke genelinde yayılmaya başlamıştır. "Türkiye'de 2006 yılında orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak 200 m yatay çözünürlükte hazırlanan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA-V1) verilerine göre yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip kullanılabilir alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir" [24]. Bu bilgiden yola çıkarak Türkiye'nin de rüzgar enerjisine verdiği önemin artmasıyla birlikte uzun yıllardır rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölgelerin araştırması gerçekleştirilmektedir. Buna göre de rüzgar türbinleri bölgelere yerleştirilmiş ve yerleştirilmeye devam etmektedir. Buna göre işletmedeki RES'lerin bölgelere göre dağılımı kurulu güç miktarına göre şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. İşletmedeki RES'lerin Bölgelere Göre Dağılımı

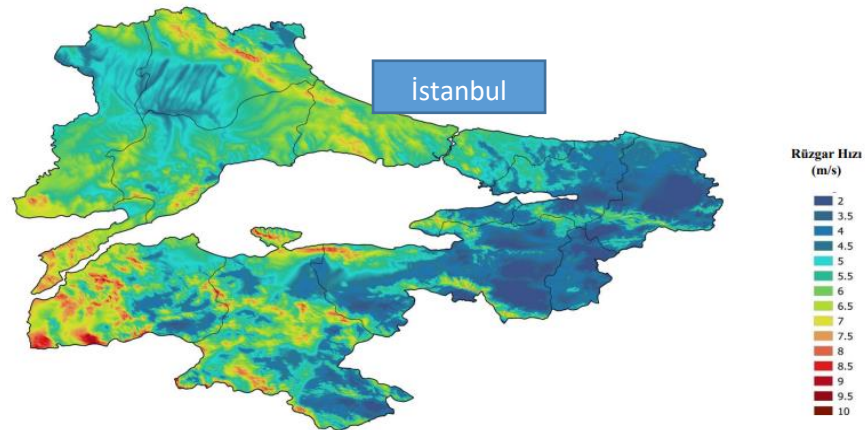
Buna göre şekil 9'dan yola çıkarak işletmedeki RES'lerin en verimli bölgelerinin Ege ve Marmara bölgesinin olduğu bilinmesiyle birlikte o bölgelerdeki illerde işletme halinde bulunan RES'lerin üretim miktarlarına göre dağılımı görülmektedir. İşletmedeki RES'lerin bölgelere göre dağılımı incelendikten sonra bu çalışma için bu bölgelerden seçilen illerin rüzgar enerjisi potansiyel durumları ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Müdürlüğünden alınan bilgilere göre aşağıdaki şekillerdeki gibidir:

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



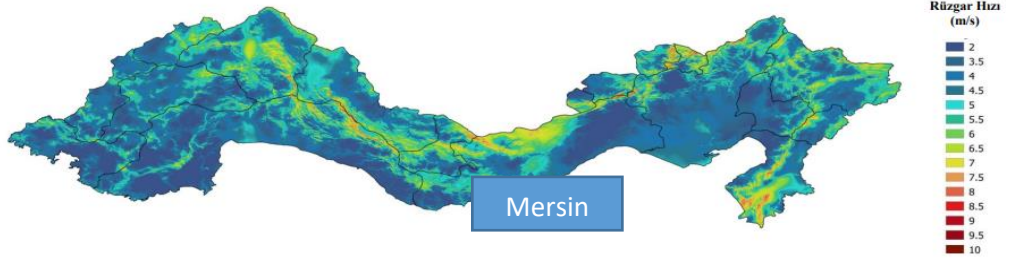
Şekil 10. 100 Metrede Ege Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



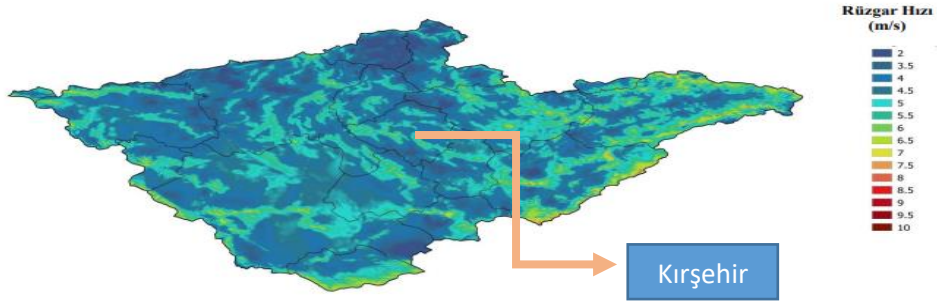
Şekil 11. 100 Metrede Marmara Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



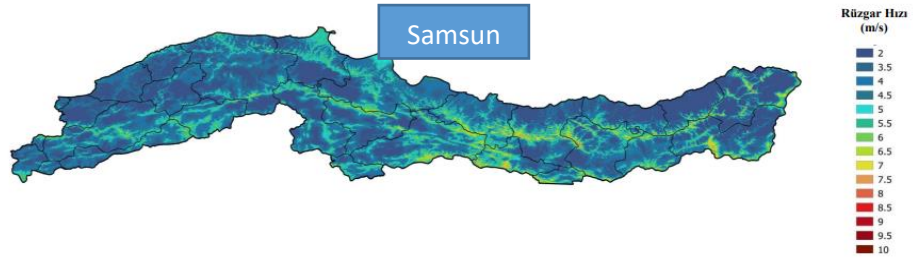
Şekil 12. 100 Metrede Akdeniz Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



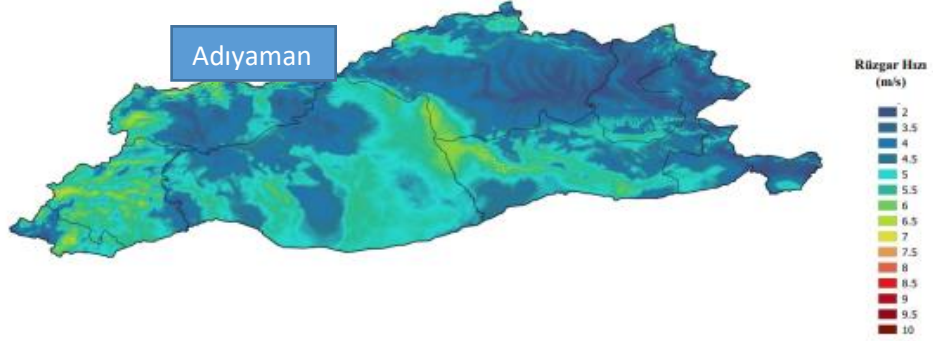
Şekil 13. 100 Metrede İç Anadolu Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



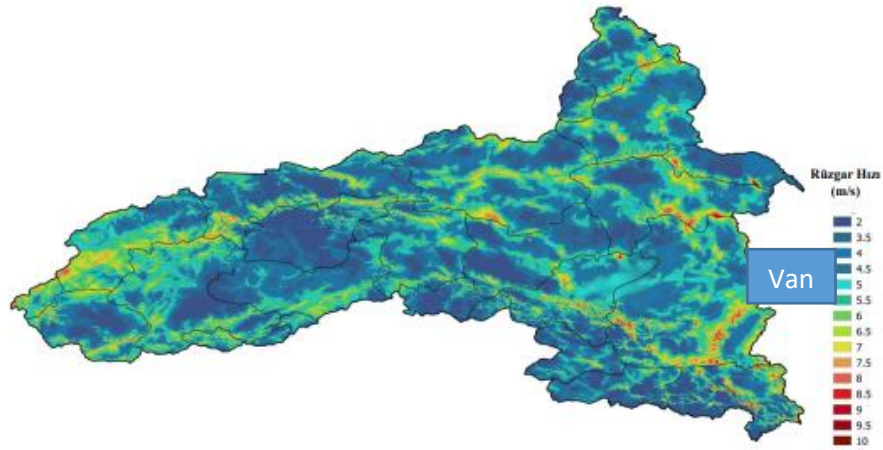
Şekil 14. 100 Metrede Karadeniz Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



Şekil 15. 100 Metrede Güneydoğu Anadolu Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



Şekil 16. 100 Metrede Doğu Anadolu Bölgesi İçin Rüzgar Potansiyeli Dağılımı [10]

Haritalardan yola çıkarak bu çalışma için seçilen iller de haritalarda işaretlenmiştir. Bu bölgelerin rüzgar potansiyellerine bakıldığında genellikle deniz kenarları, çok yüksek rakımlı yerler, geniş arazilerin bulunduğu yerler potansiyel bakımından yüksek gözükmektedir. Bu bölgeler türbülans ve perdelemenin az olduğu kıyı kesimler ve tepeler olduğundan yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline sahiptirler. Bunun nedeni ise bu bölgelerin sürekli ve sabit rüzgar almasıdır. Seçilen illerin dışında bölgelerdeki diğer illerin rüzgar potansiyelleri de yüksek olmasına rağmen bu noktalardaki illerin çok yüksek dağ kesimlerinde olması nedeniyle ve çalışmada kıyaslamanın daha doğru sonuçlar vermesi için seçilen tüm iller yaklaşık aynı özelliklere sahip iller olarak

seçilmiştir. Bu bilgiler neticesinde haritalardan yola çıkarak en yüksek rüzgar potansiyeline Marmara bölgesi sahip gözükmektedir. Ancak her ne kadar işletmedeki RES santralleri en çok Marmara bölgesinde gözükse de Ege bölgesi diğer bölgelere göre rüzgar potansiyeli bakımından oldukça önde gözükmektedir. Bunun kanıtlanmış ifadesi iklim verileriyle birlikte dağılım parametreleri kullanılarak aşağıda karşılaştırılmıştır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırlamış olduğu rüzgar potansiyeli atlaslarına göre haritalardan yola çıkarak işletmedeki RES'lere göre en fazla potansiyelli bölgeler ortaya çıkarılmıştır. Ancak bunun bilimsel olarak sayısal verilerle kanıtlanmış bir çözümü yoktur. Bu nedenle bu karşılaştırmanın bilimsel olarak kanıtlanabilmesi için iklim verilerine ihtiyaç vardır. Bu iklim verileri özellikle rüzgarın şiddeti, yönü, hava sıcaklığı gibi etkenlerdir. Bu nedenle bir yöreye ait uzun yıllara dayalı rüzgar ölçümleri yapılmalı ki o yörenin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenebilsin. Böylelikle bu çalışmada da verilerin daha sağlıklı olabilmesi için 2016-2020 yılları arası iklim verileri elde edilmiş ve 5 yıl gibi uzun bir süre üzerinden analiz çalışması dağılım parametreleri kullanılarak hesaplanmış ve bölgelere göre karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma hazırlanırken ilk olarak 2016-2020 yılları arası iklim verileri saatlik olarak seçilen 7 il için elde edilmiş ve Excel ortamına aktarılmıştır. Excel ortamına aktarılan saatlik verilerden bir bölüm şekil 17'deki gibidir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Saat	Sıcaklık	Hissedilir Sıcaklık	Rüzgar	Rüzgarın Şiddeti	Bağıl Nem	Çiğ oluşma derecesi	Basınç	Rüzgar (km/h)	Rüzgar (m/s)
2	00:20	6°C	1°C	35 Km/h	N/A	66%	0°C	1014,0mb	35	9,72
3	00:50	6°C	1°C	37 Km/h	N/A	66%	0°C	1014,0mb	37	10,28
4	01:20	5°C	0°C	33 Km/h	N/A	70%	0°C	1014,0mb	33	9,17
5	01:50	6°C	1°C	35 Km/h	N/A	66%	0°C	1014,0mb	35	9,72
6	02:20	5°C	-1°C	39 Km/h	N/A	70%	0°C	1013,0mb	39	10,83
7	02:50	5°C	-1°C	41 Km/h	N/A	70%	0°C	1013,0mb	41	11,39
8	03:20	5°C	-1°C	39 Km/h	N/A	66%	-1°C	1014,0mb	39	10,83
9	03:50	5°C	-1°C	39 Km/h	N/A	66%	-1°C	1013,0mb	39	10,83
10	04:20	5°C	0°C	33 Km/h	N/A	66%	-1°C	1013,0mb	33	9,17
11	04:50	5°C	0°C	31 Km/h	N/A	66%	-1°C	1013,0mb	31	8,61
12	05:20	5°C	0°C	30 Km/h	N/A	66%	-1°C	1013,0mb	30	8,33
13	05:50	4°C	-1°C	31 Km/h	N/A	70%	-1°C	1013,0mb	31	8,61
14	06:20	4°C	-2°C	33 Km/h	N/A	70%	-1°C	1013,0mb	33	9,17
15	06:50	4°C	-1°C	30 Km/h	N/A	70%	-1°C	1013,0mb	30	8,33
16	07:20	4°C	-1°C	26 Km/h	N/A	70%	-1°C	1013,0mb	26	7,22
17	07:50	4°C	-1°C	31 Km/h	N/A	70%	-1°C	1013,0mb	31	8,61
18	08:20	5°C	0°C	31 Km/h	N/A	66%	-1°C	1013,0mb	31	8,61
19	08:50	5°C	0°C	30 Km/h	N/A	66%	-1°C	1013,0mb	30	8,33
20	09:20	5°C	0°C	30 Km/h	N/A	66%	-1°C	1014,0mb	30	8,33

Şekil 17. Excel Ortamındaki Saatlik İklim Verileri

İklim verilerinin 5 yıllık olması, günlük ve yarımsar saatlik aralıklarla elde edilmesinin ardından ilk olarak ölçümlerin yapılabilmesi için iklim verisinde km/h cinsinden bulundan rüzgar hızının m/s cinsine çevrilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu da aşağıdaki formüle göre gerçekleştirilmiştir.

$$Vm/s = Vkm/h * \left(\frac{1000}{3600}\right) \quad (14)$$

Bu işlemin tüm rüzgar hızları için gerçekleştirilmesiyle birlikte tüm iller için birim dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Saatlik iklim verilerinin dönüştürülmesiyle birlikte analizde tüm saatler için rüzgar hızı kullanılamayacağından, birimi dönüştürülen bu rüzgar hızlarının ortalaması alınarak parametre hesaplarına geçilmiştir. Rüzgar hızı ortalaması ise aşağıdaki formüle göre alınmıştır.

$$V_{ort.m/s} = \left(\frac{V_{topl.m/s}}{n}\right) \quad (15)$$

Buna göre bu formülden yola çıkarak V_{topl} ifadesi, o ay için elimizde bulunan rüzgar hızlarının toplamını, n ifadesi ise o ay için elimizde bulunan rüzgar hızları sayısını temsil etmektedir. Böylelikle bu formüle göre tüm iller için ortalama bir rüzgar hızı verisi elde edilmiştir. Weibull, Rayleigh ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları hesaplamalarında kullanılacak olan ortalama rüzgar hızının hesaplanmasıyla birlikte 3.kısım olan Materyal ve Yöntem kısmında verilen formüllere göre parametre hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda hesaplanan parametreler; yıllara göre rüzgar hızı ortalaması Weibull-Rayleigh ölçek parametresi, Weibull şekil parametresi, varyans, Pareto ölçek-şekil-lokasyon ve lokasyon hesaplaması için z ifadesidir. Parametreler tüm iller için ay ay hesaplanmış olup çalışmaya eklendiğinde çok uzun sayfalar süreceğinden hesaplanan veriler ortalama olarak çalışmaya eklenmiştir. Buna göre bu parametrelere göre seçilen iller için hesaplanan veriler aşağıdaki tablolardaki gibidir:

Tablo 4. Adıyaman İli Parametre Değerleri

Yıllar	Rüzgar Hızı (V)	Ölçek Parametresi (c)	Şekil Parametresi (k)	Varyans	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
2016	3,86	4,35	2,13	3,91	9,90	1,56	6,64	-0,31
2017	3,64	4,10	2,09	3,61	9,27	1,49	6,51	-0,37
2018	3,61	4,07	2,22	3,48	9,77	1,79	6,24	-0,31
2019	3,46	3,90	2,06	3,94	8,41	1,45	8,45	-0,88
2020	3,76	4,24	2,12	3,92	9,48	1,48	6,76	-0,36
Ort.	3,67	4,13	2,12	3,77	9,36	1,55	6,92	-0,45

Tablo 5. İstanbul İli Parametre Değerleri

Yıllar	Rüzgar Hızı (V)	Ölçek Parametresi (c)	Şekil Parametresi (k)	Varyans	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
2016	4,51	5,09	2,06	5,61	10,86	1,41	7,91	-0,33
2017	4,44	5,00	2,24	4,46	12,35	1,73	7,06	-0,23
2018	4,21	4,74	2,13	4,64	13,48	1,91	7,23	-0,22
2019	4,38	4,94	2,23	4,52	12,15	1,73	7,11	-0,25
2020	4,48	5,05	2,04	5,65	10,99	1,40	8,15	-0,41
Ort.	4,40	4,96	2,14	4,98	11,97	1,64	7,49	-0,29

Tablo 6. İzmir İli Parametre Değerleri

Yıllar	Rüzgar Hızı (V)	Ölçek Parametresi (c)	Şekil Parametresi (k)	Varyans	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
2016	4,70	5,30	1,73	8,19	9,88	0,95	11,36	-1,00
2017	4,48	5,06	1,73	7,39	9,97	0,98	12,57	-1,74
2018	4,50	5,08	1,72	7,82	9,93	0,99	11,91	-1,23
2019	4,11	4,64	1,56	7,45	7,39	0,68	12,91	-1,93
2020	4,59	5,18	1,60	8,96	8,53	0,74	12,87	-1,48
Ort.	4,48	5,05	1,67	7,96	9,14	0,87	12,32	-1,48

Tablo 7. Kırşehir İli Parametre Değerleri

Yıllar	Rüzgar Hızı (V)	Ölçek Parametresi (c)	Şekil Parametresi (k)	Varyans	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
2016	3,35	3,78	1,62	4,82	5,81	0,74	8,47	-0,94
2017	3,32	3,74	1,72	4,21	6,14	0,86	7,39	-0,67
2018	3,49	3,93	1,72	4,44	7,19	0,89	7,81	-0,78
2019	2,79	3,15	1,41	4,17	4,15	0,46	10,34	-2,19
2020	3,19	3,60	1,56	4,75	5,28	0,65	9,71	-1,47
Ort.	3,23	3,64	1,60	4,48	5,72	0,72	8,74	-1,21

Tablo 8. Mersin İli Parametre Değerleri

Yıllar	Rüzgar Hızı (V)	Ölçek Parametresi (c)	Şekil Parametresi (k)	Varyans	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
2016	3,79	4,27	1,62	6,21	7,02	0,77	11,82	-1,72
2017	3,54	3,98	1,91	4,79	7,18	0,95	10,24	-1,54
2018	3,81	4,30	1,68	5,73	7,24	0,83	9,77	-1,13
2019	3,43	3,86	1,69	4,65	6,60	0,86	9,09	-1,22
2020	3,54	3,99	1,57	5,61	6,10	0,68	10,36	-1,53
Ort.	3,62	4,08	1,69	5,40	6,83	0,82	10,26	-1,43

Tablo 9. Samsun İli Parametre Değerleri

Yıllar	Rüzgar Hızı (V)	Ölçek Parametresi (c)	Şekil Parametresi (k)	Varyans	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
2016	2,86	3,22	1,16	6,10	3,55	0,18	150,70	-61,13
2017	2,90	3,27	1,20	6,13	3,68	0,21	23,70	-7,87
2018	3,11	3,51	1,16	7,32	3,90	0,18	20,78	-4,81
2019	2,87	3,23	1,17	6,11	3,54	0,18	26,56	-8,29
2020	3,09	3,48	1,19	7,29	3,81	0,20	14,57	-2,91
Ort.	2,97	3,34	1,17	6,59	3,69	0,19	47,26	-17,00

Tablo 10. Van İli Parametre Değerleri

Yıllar	Rüzgar Hızı (V)	Ölçek Parametresi (c)	Şekil Parametresi (k)	Varyans	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
2016	2,74	3,09	1,45	4,05	4,11	0,50	9,82	-1,89
2017	2,62	2,96	1,42	3,69	3,83	0,45	8,91	-1,74
2018	2,63	2,97	1,55	3,36	4,33	0,64	9,71	-2,25
2019	2,65	2,99	1,58	3,34	5,56	0,81	10,92	-2,97
2020	2,62	2,96	1,44	3,85	3,90	0,49	14,14	-3,84
Ort.	2,65	2,99	1,49	3,66	4,34	0,58	10,70	-2,54

Tablolardan yola çıkarak formülleri aynı olduğundan Weibull ve Rayleigh için şekil ve ölçek, Genelleştirilmiş Pareto için ise formülleri farklı olduğundan ölçek, şekil, lokasyon ve z parametreleri tek tek aylık olarak 5 yıl için hesaplanmış ve ortalamalarının yukarıdaki tablolardaki gibi oldukları saptanmıştır. Bu tablolardan ve hesaplanan verilerden yola çıkarak 7 ilin parametrelere göre karşılaştırılması sağlandığında daha önce, Weibull parametresi olan k şekil parametresinin 1 ila 3 değerleri arasında olması gerektiğini ve eğer çıkacak sonuç 1'e yakın ise o bölgedeki rüzgarların sabit ve sürekli rüzgar, 3'e yakın veya yüksek bir sonuç çıktığı takdirde de değişken ve süreksiz rüzgarların olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda sabit ve sürekli rüzgarlar için ideal değer bu iki değer yaklaşık ortalaması olan 1,8 civarında olması beklenmektedir. Buna göre tabloların incelenmesiyle birlikte 2016-2020 yılları arası 5 yıl içinde k şekil değerlerinin Adıyaman için 2,12, İstanbul için 2,14, İzmir için 1,67, Kırşehir için 1,60, Mersin için 1,69, Samsun için 1,17 ve Van için ise 1,49 ortalamaya sahip olduğu görülmektedir.

Bu değerlerden çalışma kapsamında seçilen tüm bölgelerin k şekil parametresine göre belirtilen aralıklar arasında olup rüzgar potansiyellerinin olduğu görülmektedir. Bu noktada k parametresi için yukarıdaki açıklama baz alınacak olursa bu parametreye göre en ideal bölgenin 1,69 ortalama ile Mersin ve ardından 1,67 ortalama ile İzmir bölgesinin olduğu görülmektedir. Ancak hangi bölgenin daha verimli olduğunu net olarak söyleyebilmek için bakılması gereken sadece şekil parametresi değil diğer parametrelerinde incelenmesi gerekmektedir. Buna göre rüzgar hızı ortalamalarına bakıldığında 4,48 ortalama rüzgar hızı ile İzmir ilinde ve yine ortalama rüzgar hızıyla ilişkili olan c ölçek parametresi de yine 5,05 ile İzmir iline aittir. Mersin iline bakacak olursak da bu noktada ortalama rüzgar hızı 3,62 ve ortalama ölçek değeri ise 4,08 olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak Weibull ve Rayleigh dağılımları için şekil parametresi yönünden Mersin ili ideal olmasına rağmen rüzgar hızı ve ölçek parametreleri bakımından İzmir ilinin ideal olduğu görülmektedir.

Weibull ve Rayleigh parametrelerinin ortalama sonuçlarının analiz edilmesiyle, analiz için rüzgar hızı bu noktada son derece önem arz ettiğinden İzmir ilinin dolayısıyla Ege bölgesinin k şekil, c ölçek ve ortalama rüzgar hızına göre en verimli bölge olduğu Weibull ve Rayleigh dağılımları ile ortaya konmuştur. Weibull ve Rayleigh dağılımına göre İzmir ilinin rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölge olarak ortaya

konmasıyla birlikte Genelleştirilmiş Pareto dağılımının parametre ortalamalarına bakacak olursak bu dağılım aşırı rüzgar dağılımlarını belirtmektedir. Bu noktada ölçek ve şekil parametreleri son derece önem arz etmektedir. Buna göre tabloları inceleyecek olursak pareto dağılımına göre şekil parametresi olan k değeri İzmir, Kırşehir, Mersin, Samsun ve Van illerinde ortalama değeri 1 değerinin altında kalmakla birlikte Adıyaman ve İstanbul illerinde sırasıyla 1,55 ve 1,64 ortalama değere sahiptir.

Bu dağılım için ölçek parametresi incelenecek olursa bu parametre de özellikle rüzgar hızıyla ve bu hızların varyansı ile doğrudan ilişkilidir. Buna göre rüzgar hızı ve varyansına bağlı olarak en ideal ölçek değerinin 11,97 ortalama ile yine İstanbul ilinde olduğu görülmektedir. Tablolarda gözüktüğü gibi hesaplanan z ifadesi Pareto dağılımının olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonunun ortaya çıkarılması için hesaplanmıştır. Z ifadesinin hesaplanmasında kullanılan lokasyon parametresi ise hesaplanacak olan genelleştirilmiş pareto dağılımının olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonlarının grafiklerindeki konumu belirlemek için hesaplanmıştır. Bu lokasyon parametresi grafiğin nerede olduğunu belirtir. Yani standart normal modele göre bir grafiğin yatay ekseninde nerede ortalandığını söyler [23]. Standart normal dağılım eğrisi 0'da ortalananır, ancak rüzgar hızlarıyla elde edilen sonuca göre grafiğin nerelerde konumlandığı bildirilir. Örneğin yukarıdaki tablolarda hesaplanmış olan lokasyon parametresine göre İstanbul için ortalama konum parametresinin 7,49 olduğu görülmektedir. Bu değer grafiğin, eğrinin merkezinin 7,49 birim sağında ve bu değerde ortalandığında bilmemizi sağlar. Tüm parametrelere göre Weibull ve Rayleigh dağılımları parametrelerine göre en verimli bölgenin İzmir ve dolayısıyla Ege bölgesinin, Genelleştirilmiş Pareto dağılıma göre ise İstanbul ve dolayısıyla Marmara bölgesinin olduğu görülmektedir. Parametrelerin hesaplanmasıyla diğer bölgeler de ortaya çıkarılacak olur ise her ne kadar parametreler önem arz etse de parametreler arasında bağlantı kurmak gerektiğinden hesaplanan parametrelerden ve rüzgar hızları ortalamalarından yola çıkarak sıralanacak olursa sırasıyla bu iller; İzmir, İstanbul, Mersin, Kırşehir, Adıyaman, Samsun ve Van olarak sıralanmakta Türkiye'nin 7 bölgesine göre sıralayacak olursak Ege, Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu olarak sıralanmaktadır. Aslında rakımının yüksek ve bol rüzgar alması, bazı illerinde geniş ve düz arazilerin olması bakımından Doğu Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli bakımından son derece uygun

bir bölgedir. Van ilinde rüzgar hızının ortalamalarının bu şekilde düşük çıkmasının nedeni yaz aylarının sıcak kış aylarının soğuk olması ve kış aylarında sert rüzgarlar olurken yaz aylarının rüzgarsız geçmesidir. Ancak sadece kış ayları rüzgar türbinleri için verimli olmamaktadır. Ayrıca kış ayları bu bölgede oldukça sert geçmektedir. Bu bağlamda buraya bir türbin kurulumu gerçekleştirilse bile kış aylarında türbin kanatları donma tehlikesi altında bulunduğundan dönme hareketi yaptığı takdirde büyük bir maddi ve çevre hasarına yol açabilecek arızalara sebebiyet verebilecektir. Bu nedenle Doğu Anadolu bölgesi düşük rüzgar potansiyelli bölge olarak belirlenmiştir.

Weibull, Rayleigh ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımlarının parametrelerinin hesaplanmasıyla ve analizlerinin ortaya çıkarılmasıyla birlikte bu dağılımlar için olasılık yoğunluk ve kümülatif yoğunluk dağılım hesaplamaları yapılmıştır. 3.kısım olan Materyal ve Yöntem kısmında dağılımlar için verilen formüller kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Burada $f_x(v)$ o dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonunu, $F_x(v)$ ise o dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Ayrıca V_{fmax} ve V_{emaks} değerleri de bölgedeki en yüksek ve en düşük rüzgar hızlarını göstermektedir. Bu hesaplanan değerler de yine her yılın ayları için hesaplanmış ve ardından o il için 5 yıl için ortalaması alınmıştır. Buna göre hesaplanan olasılık yoğunluk, kümülatif dağılım fonksiyonu ve rüzgar hızları sonuçları her il için aşağıdaki gibidir:

Tablo 11. Adıyaman İli Dağılım Değerleri Ortalamaları

YILLAR	$f_{w(v)}$ Weibull	$F_{w(v)}$ Weibull	$f_{r(v)}$ Rayleigh	$F_{r(v)}$ Rayleigh	$f_{g(v)}$ Pareto	$F_{g(v)}$ Pareto	V_{fmax}	V_{emaks}
2016	0,20	0,53	0,14	0,32	0,14	-0,59	3,07	6,15
2017	0,20	0,54	0,14	0,32	0,18	-0,76	2,90	5,81
2018	0,22	0,54	0,15	0,32	0,14	-0,54	2,87	5,75
2019	0,22	0,54	0,16	0,32	0,27	-0,95	2,76	5,52
2020	0,20	0,54	0,14	0,32	0,15	-0,91	3,00	6,00

Tablo 12. İstanbul İli Dağılım Değerleri Ortalamaları

YILLAR	$f_{w(v)}$ Weibull	$F_{w(v)}$ Weibull	$f_{r(v)}$ Rayleigh	$F_{r(v)}$ Rayleigh	$f_{g(v)}$ Pareto	$F_{g(v)}$ Pareto	V_{fmax}	V_{emaks}
2016	0,16	0,54	0,12	0,32	0,16	0,25	3,60	7,19
2017	0,18	0,53	0,12	0,32	0,16	0,26	3,53	7,07
2018	0,18	0,53	0,11	0,32	0,15	0,26	3,66	7,32
2019	0,18	0,53	0,12	0,32	0,17	0,26	3,50	6,61
2020	0,16	0,54	0,12	0,32	0,17	0,24	3,57	7,14

Tablo 13. İzmir İli Dağılım Değerleri Ortalamaları

YILLAR	$f_{w(v)}$ Weibull	$F_{w(v)}$ Weibull	$f_{r(v)}$ Rayleigh	$F_{r(v)}$ Rayleigh	$f_{g(v)}$ Pareto	$F_{g(v)}$ Pareto	V_{fmaks}	V_{emaks}
2016	0,13	0,56	0,12	0,32	0,27	-17,05	3,75	7,49
2017	0,14	0,56	0,12	0,32	0,55	-7,76	3,57	7,15
2018	0,14	0,56	0,12	0,32	0,32	-9,84	3,59	7,18
2019	0,14	0,56	0,14	0,32	0,60	-11,61	3,28	6,56
2020	0,13	0,56	0,12	0,32	0,42	-11,89	3,66	7,32

Tablo 14. Kırşehir İli Dağılım Değerleri Ortalamaları

YILLAR	$f_{w(v)}$ Weibull	$F_{w(v)}$ Weibull	$f_{r(v)}$ Rayleigh	$F_{r(v)}$ Rayleigh	$f_{g(v)}$ Pareto	$F_{g(v)}$ Pareto	V_{fmaks}	V_{emaks}
2016	0,18	0,56	0,16	0,32	0,32	-5,28	2,67	5,35
2017	0,19	0,56	0,16	0,32	0,26	-1,94	2,64	5,29
2018	0,18	0,56	0,16	0,32	0,30	-2,83	2,78	5,56
2019	0,19	0,57	0,19	0,32	0,82	-786103,77	2,22	4,45
2020	0,18	0,56	0,17	0,32	0,49	-51947,02	2,54	5,09

Tablo 15. Mersin İli Dağılım Değerleri Ortalamaları

YILLAR	$f_{w(v)}$ Weibull	$F_{w(v)}$ Weibull	$f_{r(v)}$ Rayleigh	$F_{r(v)}$ Rayleigh	$f_{g(v)}$ Pareto	$F_{g(v)}$ Pareto	V_{fmaks}	V_{emaks}
2016	0,15	0,56	0,14	0,32	0,51	-16294,73	3,02	6,04
2017	0,18	0,56	0,16	0,32	0,50	-22442,97	2,82	5,64
2018	0,16	0,56	0,14	0,32	0,36	-129,95	3,03	6,08
2019	0,18	0,56	0,16	0,32	0,43	-1680,28	2,73	5,47
2020	0,16	0,56	0,16	0,32	0,53	-28,87	2,82	5,64

Tablo 16. Samsun İli Dağılım Değerleri Ortalamaları

Yıllar	$f_{w(v)}$ Weibull	$F_{w(v)}$ Weibull	$f_{r(v)}$ Rayleigh	$F_{r(v)}$ Rayleigh	$f_{g(v)}$ Pareto	$F_{g(v)}$ Pareto	V_{fmaks}	V_{emaks}
2016	0,16	0,58	0,20	0,32	1,81	-8493,38	2,27	4,55
2017	0,16	0,58	0,20	0,32	3,29	-108,28	2,31	4,63
2018	0,14	0,58	0,19	0,32	3,67	-50920,06	2,48	4,97
2019	0,16	0,58	0,21	0,32	5,40	-703,83	2,24	4,57
2020	0,16	0,58	0,20	0,32	2,17	-2960,68	2,46	4,93

Tablo 17. Van İli Dağılım Değerleri Ortalamaları

Yıllar	$f_{w(v)}$ Weibull	$F_{w(v)}$ Weibull	$f_{r(v)}$ Rayleigh	$F_{r(v)}$ Rayleigh	$f_{g(v)}$ Pareto	$F_{g(v)}$ Pareto	V_{fmaks}	V_{emaks}
2016	0,20	0,57	0,20	0,32	0,68	-62,76	2,18	4,28
2017	0,20	0,57	0,21	0,32	0,68	-425,26	2,09	4,09
2018	0,21	0,56	0,21	0,32	0,93	-36,06	2,093	4,187
2019	0,21	0,56	0,21	0,32	1,29	-105,89	2,112	4,223
2020	0,20	0,57	0,21	0,32	1,47	-2105,39	2,088	4,177

Rüzgar enerjisi potansiyeli olan bir bölgenin oluşturulması için rüzgar hız dağılımının belirlenmesi gerekmektedir. Rüzgar gücü yoğunluk dağılımı rüzgar hızı tanımına göre belirlenir. 7 ildeki rüzgar enerjisi potansiyeli, 2016-2020 yılları arasında saatlik olarak ölçülen rüzgar hızı verilerine dayalı olarak istatistiksel olarak analiz edilmiş ve tablolarda gösterilmiştir. 7 bölge için 2016-2020 yıllarında olasılık ve kümülatif yoğunluk fonksiyonlarına bakıldığından düşükten yükseğe doğru sıralamanın İzmir, İstanbul, Mersin, Adıyaman, Kırşehir, Samsun ve Van illerinde olduğu görülmektedir. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının bu şekilde çıkmasının nedeni ise kış ve sonbahar aylarında ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerlerinin düşük olmasıdır. Bu bakımdan genel olarak yaz aylarında ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri yüksektir. Bu bakımdan Doğu bölgelerinde kışın sert geçmesi sonuçların bu şekilde çıkmasına sebep olmuştur. Ancak ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu sadece önemli değil, aynı zamanda veri dağılımı da enerji üretimi için önemlidir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu rüzgar hızlarının dağılımını tanımlayan matematiksel bir fonksiyondur. Bu olasılık yoğunluk, kümülatif yoğunluk fonksiyonları ve rüzgar hızlarından yola çıkarak Weibull için ortalama rüzgar hızı, şekil parametresi ve ölçek parametresi; Rayleigh için ölçek parametresi ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları için ise ölçü, şekil ve z parametre değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır.

Parametre ve Dağılım değerlerinin hesaplanmasının ardından kullanılan dağılımların gerçek verilerle uygunluğunu görebilmek için Olasılık yoğunluk dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Bu bağlamda çalışma yapılırken 2016-2020 yılları arası seçilen 7 il için yaklaşık 400 bin iklim verisi kullanılmıştır. Grafiklerin oluşturulabilmesi için rüzgar hızlarına ihtiyacımız vardır. Ancak bir yıl için grafik oluşturmak istesek yaklaşık 10 bin iklim verisini grafiğe sığdırmamız gerekir. Bu da mümkün olamayacağından grafiklerin oluşturulabilmesi için ilk olarak kuantalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Çok fazla olan büyük bir veri kümesinin daha az sayıda istenilen miktarda ve ayırık değerlere dönüştürülmesine nicemleme veya "kuantalama" denir [25]. Kuantalama işlemi gerçekleştirilirken rüzgar hızı verileri bir yıldaki tüm aylar için Excel ortamında alt alta dizilmiş ve ardından belirli bir değer aralığında rüzgar hızı belirlenerek frekans ya da sıklık değeri hesaplanmış ve bu 10 bin iklim verisi belirlenen rüzgar hızı aralıklarına yuvarlanarak kuantalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Örneğin İstanbul ilini örnek verecek olursak, İstanbul'da 2020 yılında 17664 iklim

verisi mevcuttur. Ancak bu verileri grafiğe dönüştürmek zor olduğundan yeni bir rüzgar hızı aralığı belirlenmiştir. Yani elimizdeki rüzgar hızlarını yuvarlayacağımız yeni rüzgar hızları belirlenmiştir. Bu da bu çalışma için 0 ila 20 değeri arasında belirlenmiştir. Daha sonra elimizde bulunan rüzgar hızlarının yeni belirlenen rüzgar hızlarına yuvarlamasını sağlamak için frekans hesaplaması yapılmıştır. Frekans hesaplaması yapılabilmesi için Excel’de komut olarak bulunan “SIKLIK” formülü kullanılmıştır. 2020 yılı İstanbul için bir örneği şekil 18’de gösterilmiştir.

E2			
=SIKLIK(A2:A17666;C2:C32)			
	A	C	E
1	Rüzgar Hızı (Gerçek)	Rüzgar Hızı (Kuantalanmış)	Kuantalama
2	1,67	0	0
3	4,17	1	592
4	3,61	2	3165
5	2,50	3	1331
6	1,94	4	3045
7	1,67	5	2587
8	1,67	6	2116
9	2,50	7	1763
10	3,61	8	1363
11	4,72	9	876
12	3,61	10	454
13	3,06	11	185
14	3,06	12	82
15	2,50	13	47
16	2,50	14	36
17	2,50	15	17
18	2,50	16	5
19	1,94	17	0
20	3,06	18	0
21	0,56	19	0
22	1,94	20	0
23	1,94		0
24	1,11	TOPLAM	17664

Şekil 18. 2020 İstanbul için Rüzgar Hızı Kuantalama İşlemi

Şekil 18’den yola çıkarak İstanbul için 2020 yılında 17664 rüzgar hızı 0 ila 20 değerleri arasına kuantalanmış ve örneğin 0 değerine yakın olan rüzgar hızının bulunmadığı, 1 değerine yakın olan rüzgar hızının 592 adet, 2 değerine yakın olan rüzgar hızlarının 3165 adet gibi tüm rüzgar hızları için hesaplanmış ve toplamda da 17664 adet rüzgar hızının kuantalama işlemi gösterilmiştir. Bu işlem 2016-2020 yılları arası seçilen tüm iller için yapılmış ve ortaya 35 adet kuantalama listesi çıkarılmıştır. Kuantalama işleminin 5 yıl için tüm illere uygulanmasıyla birlikte ayrı bir Excel sayfasında tüm dağılımlar için hesaplanan parametrelerin ortalaması işlenmiş ve toplanan gerçek verilerin, Weibull, Rayleigh ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımlarının olasılık yoğunluk değerleri kuantalanmış rüzgar hızlarına göre hesaplanmıştır. Gerçek verilerin olasılık yoğunluk fonksiyonu için kuantalanmış değer ve toplam rüzgar

verisinin oranı kullanılmış, Weibull dağılımı için Excel üzerinde bulunan WEIBULL.DAĞ fonksiyonu, Genelleştirilmiş Pareto ve Rayleigh dağılımları için ise olasılık yoğunluk fonksiyonu formülleri (1-9) kullanılarak formüllerde bulunan rüzgar hızı ifadesi yerine kuantalanmış rüzgar hızları kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Tüm bu ifadeler tablo olarak Excel’de sunulmuş ve bir örneği aşağıdaki gibidir:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Rüzgar Hızı	Kuantalama	PDF Gerçek veri	Weibull	Pareto	Rayleigh	Şekil (k)	Ölçek (c)	Pareto ölçü	Pareto şekil	Lokasyon	Z değeri
2	0	0	0	0	#SAYII	0	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,74158
3	1	592	0,033514493	0,073328821	0,249119	0,0386	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,65059
4	2	3165	0,179177989	0,133384275	0,172125	0,072774	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,5596
5	3	1331	0,075350996	0,166532534	0,141948	0,098929	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,46861
6	4	3045	0,172384511	0,16983212	0,124484	0,114927	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,37762
7	5	2587	0,146456069	0,14933962	0,112674	0,120336	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,28662
8	6	2116	0,119791667	0,115966692	0,103972	0,11629	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,19563
9	7	1763	0,099807518	0,080529791	0,0972	0,105041	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,10464
10	8	1363	0,077162591	0,05037972	0,091726	0,089355	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	-0,01365
11	9	876	0,049592391	0,028527541	0,087176	0,071936	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,077343
12	10	454	0,025701993	0,014667006	0,083312	0,05499	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,168335
13	11	185	0,010473279	0,006861719	0,079975	0,040009	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,259327
14	12	82	0,00464221	0,002925618	0,077053	0,027754	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,350318
15	13	47	0,002660779	0,001138137	0,074464	0,018381	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,44131
16	14	36	0,002038043	0,000404332	0,072149	0,011635	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,532302
17	15	17	0,000962409	0,00013126	0,070062	0,007044	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,623294
18	16	5	0,000283062	3,89582E-05	0,068167	0,004082	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,714286
19	17	0	0	1,05756E-05	0,066435	0,002265	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,805278
20	18	0	0	2,62654E-06	0,064845	0,001204	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,896269
21	19	0	0	5,96955E-07	0,063377	0,000614	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	0,987261
22	20	0	0	1,24182E-07	0,062016	0,0003	2,03	5,04	10,99	1,4	8,15	1,078253
23	Toplam=	17664										

Şekil 19. Tüm Dağılımların Kuantalanmış Rüzgar Hızlarına Göre Olasılık Yoğunluk Değerleri ve Parametreleri

Şekil 19’dan yola çıkarak ve yukarıdaki açıklamalara göre olasılık yoğunluk değerlerinin hesaplandığı formüller şu şekildedir:

Gerçek verilerin olasılık yoğunluk fonksiyonu için kullanılan formül:

$$\text{Gerçek rüzgar hızlarının yoğunluk fonksiyonu} = \frac{\text{Kuantalanmış rüzgar hızı (0-20)}}{\text{Toplam rüzgar hızı}}$$

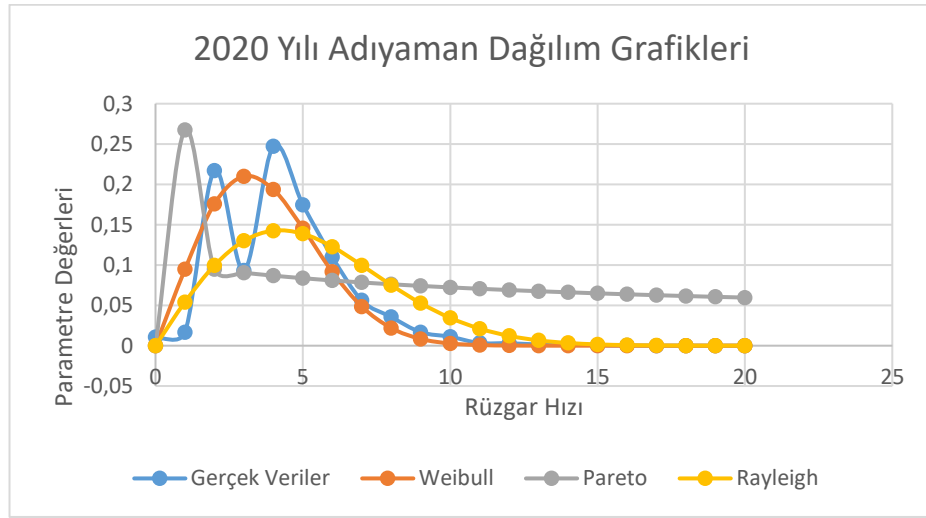
(16)

Gerçek verilerin Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu için kullanılan formül Excel üzerinde bulunan WEIBULL.DAĞ fonksiyonu ile hesaplanmıştır:

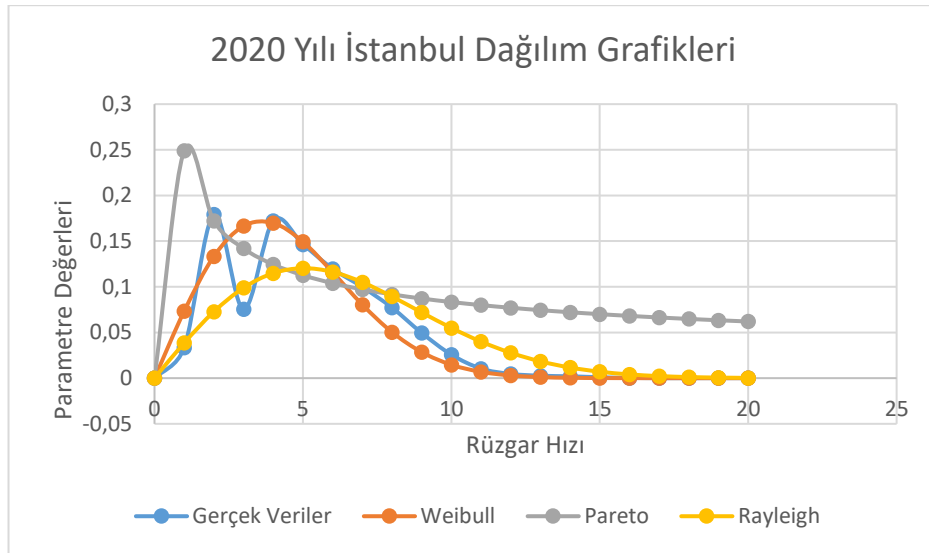
$$=\text{WEIBULL.DAĞ}(A3;\$G\$2;\$H\$2;YANLIŞ) \quad (17)$$

Diğer dağılımlar için kendi olasılık yoğunluk fonksiyonu formülleri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

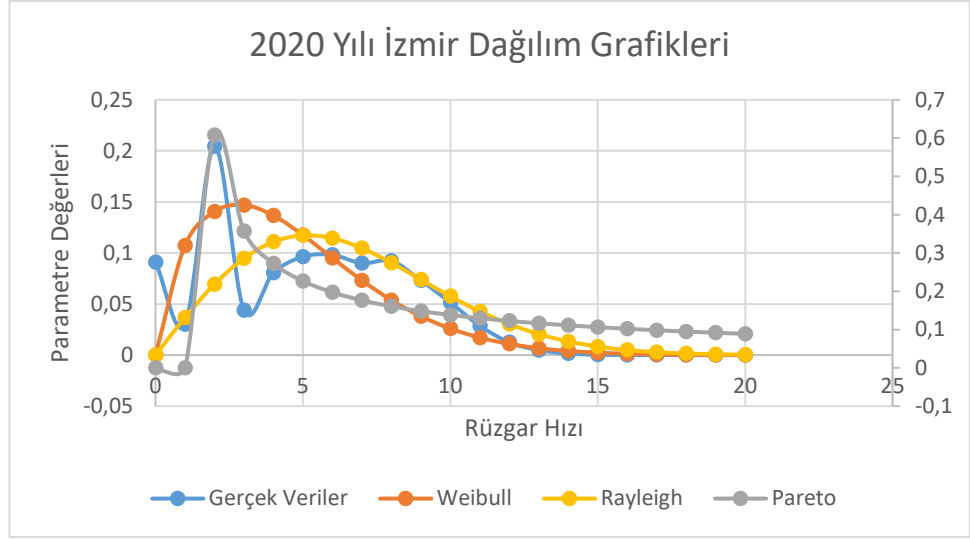
Tüm parametreler ve olasılık yoğunluk fonksiyonlarının hesaplanmasıyla birlikte seçilen 7 il için grafik dağılımları oluşturulmuş ve toplanan gerçek rüzgar verilerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu grafikleriyle, dağılımların hesaplanan olasılık yoğunluk fonksiyonlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bağlamda 2016-2020 yılları arası 7 il için 35 adet olasılık yoğunluk grafikleri oluşturulmuş ancak çok fazla grafik olduğundan güncel olması adına her ilden yalnızca 2020 yılı için grafikler aşağıda sunulmuştur:



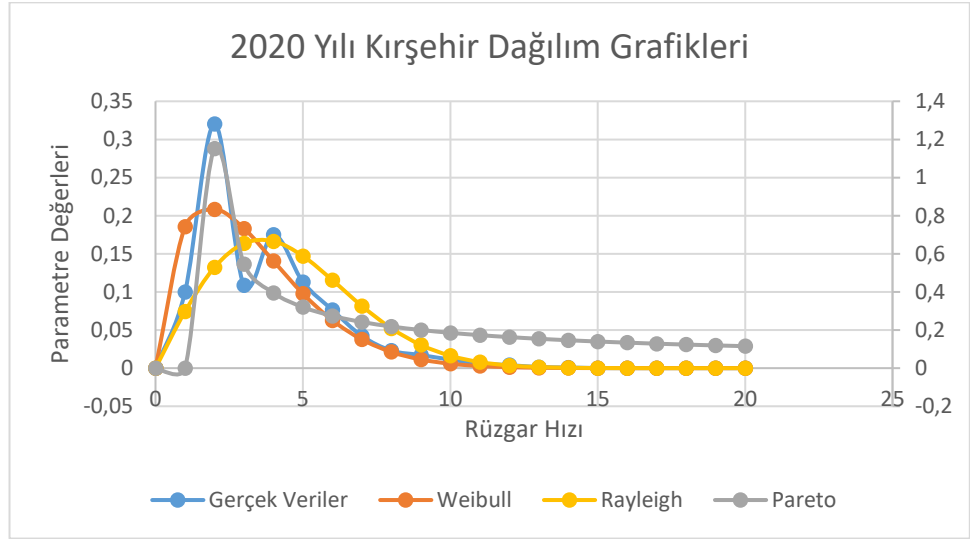
Şekil 20. 2020 Yılı Adıyaman İli Dağılım Grafikleri



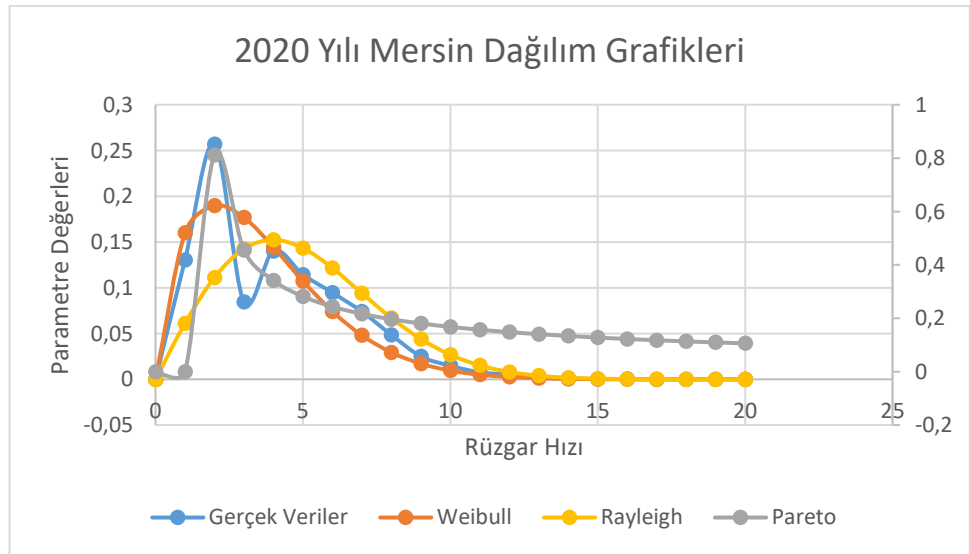
Şekil 21. 2020 Yılı İstanbul İli Dağılım Grafikleri



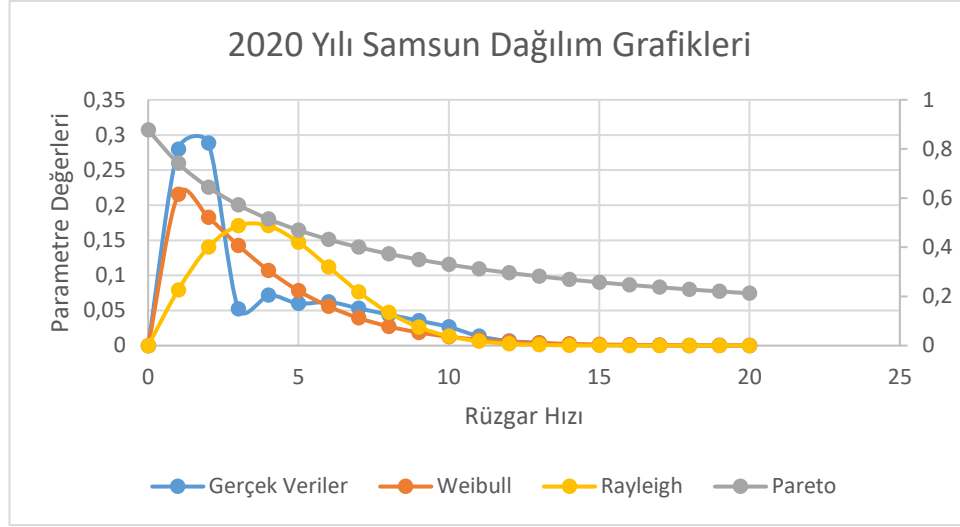
Şekil 22. 2020 Yılı İzmir İli Dağılım Grafikleri



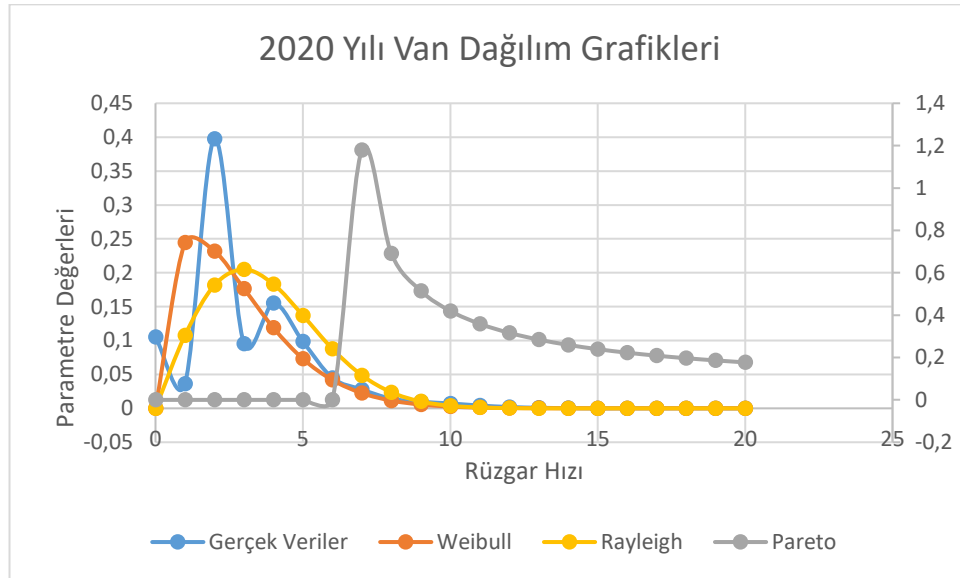
Şekil 23. 2020 Yılı Kırşehir İli Dağılım Grafikleri



Şekil 24. 2020 Yılı Mersin İli Dağılım Grafikleri



Şekil 25. 2020 Yılı Samsun İli Dağılım Grafikleri



Şekil 26. 2020 Yılı Van İli Dağılım Grafikleri

Yukarıdaki dağılım grafiklerinden yola çıkarak bazı illerde Genelleştirilmiş Pareto dağılımı aşırı rüzgar hızlarını temsil ettiğinden grafikler düzgün olarak çıkmamaktaydı. Bu nedenle bu grafikler iki eksenli olarak oluşturulmuş ve düzenli hale getirilmiştir. Grafiklerden yola çıkarak tüm dağılım değerlerinin en düzgün olarak birbirine yakın çıktığı iller İzmir, Mersin ve İstanbul illerinin olduğu görülmektedir. Aynı zamanda tüm grafiklerde gerçek verilerin grafiğine en yakın dağılım grafiğinin Weibull grafiğinin olduğu görülmektedir. Örneğin 2020 yılı İstanbul ili dağılım grafiklerine bakacak olursak; rüzgar hızını 5 olarak incelediğimizde Weibull grafiğinin gerçek veriyle neredeyse birebir aynı olasılıkta değer verdiği görülmektedir. Dolayısıyla bu grafiklerden de yola çıkarak diğer grafiklerden farklı olarak Weibull

dağılımıyla hesaplanan ifadelerin gerçek verilere en yakın sonucu verdiği de ortaya konmaktadır. Grafiklerden yola çıkarak dağılımlarında gerçek verilere yakın olması çalışmanın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

4.1. Maliyet Analizi

Maliyet analizi rüzgar türbinleri için son derece önemli bir konudur. Bu noktada yatırımcı bir bölgeye rüzgar santrali kurmayı düşündüğünde bunun kendisine maliyetini ve yıllar içerisindeki getirisini bilmek istemektedir. Bu nedenle bu kısımda daha önceki kısımlarda rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölgenin ortaya çıkarılmasıyla birlikte bu bölgeye kurulabilecek 1 MW kurulu güce sahip bir rüzgar türbininin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz gerçekleştirilirken 3.kısımda bahsedilen Retscreen yazılım programı kullanılmıştır. Buna göre rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölge olan İzmir ili Çeşme ilçesine kurulabilecek bir rüzgar santralinin maliyet analizi çalışması gerçekleştirilmiştir.

Rüzgâr enerjisi santrallerinin çeşitli maliyet kolları mevcuttur. Bu maliyet kollarından toplam santral maliyetlerinin yaklaşık %77'lik kısmını türbin maliyeti oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisi santrallerinin türbin maliyeti dışında da %23'lük kısım olan maliyet kolları da mevcuttur. Bu maliyet kolları aşağıdaki gibidir:

4.1.1. Bakım, Onarım ve Operasyon Maliyetleri:

Bu maliyetler üretilen elektriğin maliyetinin yaklaşık %20–25'lik bir kısmını teşkil etmektedir. Bakım, onarım ve operasyon maliyet kalemleri şu şekildedir; a)Türbinleri garantiye alabilmek için sigorta maliyetleri b) Periyodik zamanlarda gerçekleşecek bakımlar c) Türbinde arıza sonrası tamir d) Malzemelere gelebilecek zararlar sonrası yedek parça.

Yukarıda belirtilen maliyet kalemlerine göre sigorta maliyetleri ve periyodik zamanlarda gerçekleşecek bakım maliyetleri önceden tahmin edilebilirken, türbinde arıza sonrası tamir ve yedek parça maliyetlerinin önceden tahmini çok güçtür. Ayrıca bu maliyetler türbin ömrü azaldığından yıllar geçtikçe de artmaktadır.

4.1.2. Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarının Finansmanı:

Dünyada ve buna paralel olarak ülkemizde son yıllarda artan çevre bilinci yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Artan ilgiye karşılık hidroelektrik, güneş,

biyokütle ve rüzgar gibi enerjiler ön plana çıkmaktadır. Özellikle rüzgâr enerjisi diğer kaynaklara göre fazla maliyet gerektirmediğinden çok daha fazla ilgi çekmektedir. Ülkemizde bir yatırımın finansman aşaması o yatırımların en zorlu aşamasını oluşturmaktadır. Proje yatırımcıları, finansman aşamasında olan projelerine hem yurt içinden hem de yurt dışından finansman sağlamaya çalışmaktadır. Bu yatırımlardan rüzgâr enerjisi yatırımı için finansman yöntemleri iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar öz kaynaklarla elde bulunan finansman ve başka bir şekilde elde edilen borç finansmanıdır.

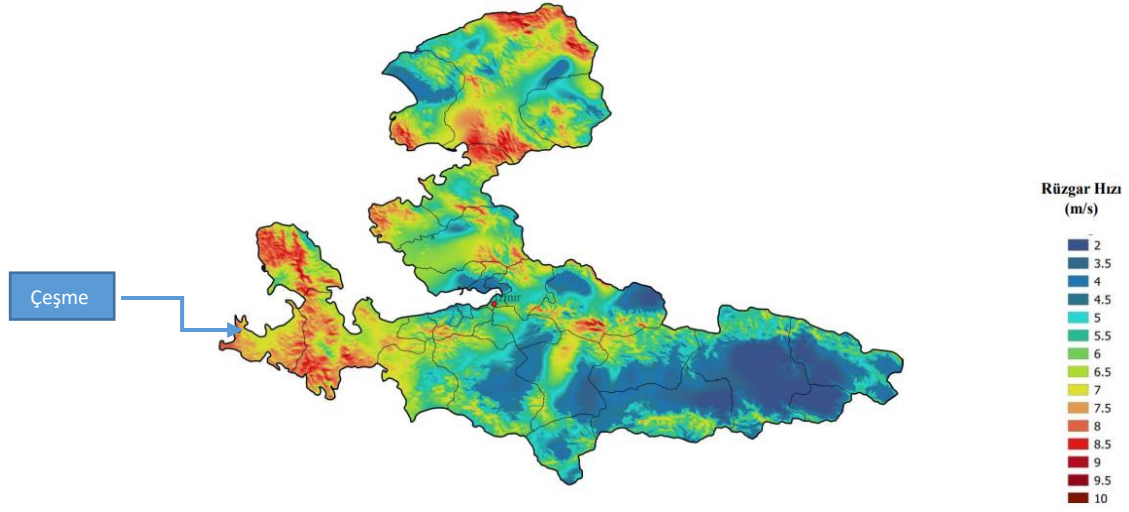
4.1.2.1. Öz Kaynak Finansmanı: Öz kaynak, bir işletmenin sahibi ya da ortakları tarafından sağlanan fondur. Bu finansman oldukça risklidir. Ayrıca bu finansman çeşitli noktalarda ödeme sırasına göre en sonda bulunan kaynaktır. Bu çeşitli noktalar ise şirket iflası veya faaliyetlere son verilmesi durumudur. Dolayısıyla bir firmaya veya bir projeye yatırım yaparak öz kaynak sağlayan yatırımcılar yüksek kar beklentisi içindedirler.

4.1.2.2. Borç Finansmanı: Bu finansman öz kaynak bulunamadığı durumlarda, proje ya da tesis finanse edilemediği takdirde dış yollarla finansman elde edilebilmesi için başvurulanan yöntemdir.

4.1.3. Çeşme İlçesi İçin Maliyet Analizi

Türkiye'de rüzgar santrali kurulabilmesi için çeşitli mevzuatlar mevcuttur. Böylelikle santral kurulacak yerin yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda olması gerekmektedir. Bu alana kilometrekare başına 1 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Rüzgâr enerjisi santrallerinin proje analizi için noktasal olarak en az bir yıllık ortalama rüzgâr hızı verileri ve sıcaklık, basınç ortalamaları gibi diğer meteorolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. REPA atlasından alınan İzmir ili için 100 metre yükseklikte rüzgâr hızları dağılımı şekilde görülmektedir:

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



Şekil 27. İzmir Çeşme 100 Metrede Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı [10]

Şekil 27’de yer alan atlas, 100 metre yükseklikte İzmir’in kıyı kesimlerinde ortalama rüzgâr hızının 6-10 m/sn arasında, diğer kesimlerde ise 2-6 m/sn arasında değiştiğini göstermektedir. Çalışmada İzmir ili Çeşme ilçesine kurulacak bir rüzgar türbinin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada RETScreen analiz programı kullanılarak şekil 27’de gösterilen İzmir’in yıllık ortalama rüzgar hızının yaklaşık 8 m/s olan ve Çeşme ilçesinde kurulması planlanan rüzgar enerjisi santrali için fizibilite çalışması yapılmış ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Projede kullanılan iklim verileri yakın değerler verdiği için RetScreen yazılımı veri tabanından otomatik olarak alınarak kullanılmıştır.

RETScreen yazılım programı ile RES Projesi için Fizibilite Analizi basit veya detaylı olarak yapılabilmektedir. Bu analizlerin farklılıklarına bakılacak olursa; detaylı analiz ile bütün maliyetlerin teker teker programa tanımlanması sağlanırken, basit analizde bu maliyetler toplu olarak tanımlanmaktadır. Program üzerinden maliyet analizi gerçekleştirilirken modül halinde bulunan kısımlar kullanılmıştır. Bu kısımlar sırasıyla yer, tesis, enerji modeli, maliyet analizi, emisyon, ekonomik-finansman analizi, risk, veri, analiz ve raporlama kısımlarından oluşmaktadır.

Yer Modülü:

İlk olarak yer modülü ile analiz yapılacak bölge seçimi gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda İzmir Çeşme için analiz yapılacağından yer kısmında harita üzerinden İzmir, Çeşme seçilmelidir. Yer kısmı seçildikten sonra program otomatik olarak şekil 28’de görüldüğü gibi seçilen bölgenin iklim verilerini NASA üzerinden otomatik olarak göstermektedir.

	Birim	İklim verisi yeri	Tesisin bulunduğu yer	Kaynak
Enlem		38,3	38,3	
Boylam		26,8	26,4	
İklim bölgesi		3A - Ilık - Nemli		
Rakım	M	88	7	NASA
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	0,6		NASA - Harita
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	33,9		NASA
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,2		NASA

Ay	Hava sıcaklığı °C	Bağıl nem %	Yağış mm	Günlük güneş radyasyonu - yatay kWh/M ² /g	Atmosferik basınç kPa	Rüzgar hızı M/s	Yer sıcaklığı °C	Isıtma derece-gün 18 °C	Soğutma derece-gün 10 °C
Ocak	9,8	77,5%	96,10	2,17	100,7	5,5	11,7	254	0
Şubat	9,8	76,5%	95,76	3,03	100,6	5,8	11,8	230	0
Mart	11,6	73,7%	67,89	4,43	100,5	5,3	13,1	198	50
Nisan	15,0	71,2%	46,20	5,82	100,3	4,5	15,7	90	150
Mayıs	19,2	67,3%	24,18	7,28	100,3	4,1	19,6	0	285
Haziran	23,6	60,1%	6,60	8,34	100,1	4,6	23,9	0	408
Temmuz	26,2	54,2%	1,86	8,23	99,9	5,7	26,4	0	502
Ağustos	26,4	54,3%	1,24	7,34	99,9	5,6	26,7	0	508
Eylül	23,1	59,4%	13,50	5,86	100,3	4,9	23,9	0	393
Ekim	18,8	67,7%	40,61	4,07	100,6	4,9	19,9	0	273
Kasım	14,5	74,6%	85,80	2,56	100,7	5,0	15,8	105	135
Aralık	11,1	78,7%	113,15	1,82	100,7	5,5	13,0	214	34
Yıllık	17,5	67,9%	592,89	5,09	100,4	5,1	18,5	1.091	2.738
Kaynak	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Ölçüm yeri:						M	10	0	

Şekil 28. Retscreen Yazılımından Otomatik Olarak Çekilen İklim Verileri [16]

Şekilden yola çıkarak ortalama yıllık 5,1 m/s olan rüzgar hızı tablo 13’teki veriler ile karşılaştırıldığında 2016-2020 yılları arası bölgede görülen maksimum ve minimum rüzgar hızlarının ortalamasıyla yakın sonuç verdiği görülmektedir. Bu bağlamda program tarafından çekilen iklim verilerinin de doğruya yakın değerler ifade ettiği ortaya konmaktadır. İklim verilerinin doğruluğunun da ortaya konmasından sonra santral kurulacak yerin belirlenip, iklim verilerinin çekilerek kaydedilmesinin ardından enerji modeli modülüne geçiş yapılmıştır.

Enerji Modeli Modülü:

Bu modülde basit veya detaylı analiz için 3 seviye bulunmaktadır. Buna göre ne az ne de fazla detay veri olmayan seviye 2 seçilerek analiz yapılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda öncelikle kullanılacak olan türbin tipi seçilerek, bu türbinden alınabilecek yıllık maksimum enerji miktarı hesaplanır. Rüzgar türbinin seçimi ve seçilen bu

türbinin tüm spesifik özellikleri, RETScreen yazılım programına entegre halde bulunan ürün veri tabanından otomatik olarak yapılır. Bu çalışmada, 50 m göbek yüksekliğinde bulunan 1000 kW gücündeki Siemens-50M yükseklikteki türbin seçilmiş ve Çeşme ilçesinde kurulmak üzere 1 MW türbin kullanımı için analiz yapılmıştır. Şekil 29’da kurulması planlanan rüzgar türbini özellikleri, program üzerinden referans alınan iklim verilerinin bir kısmı ve seçilen markanın rüzgar türbini özellikleri görülmektedir.

The screenshot displays the RETScreen software interface for a wind turbine project. The top navigation bar includes 'Rüzgar' (Wind), 'Seviye' (Level), and 'e-egitim' (e-learning). The 'Rüzgar' section shows 'Açıklama' (Description) as 'Rüzgar türbini' (Wind turbine) and 'Not' (Note) as empty. The 'Seviye' section shows 'Seviye 1', 'Seviye 2', and 'Seviye 3' tabs, with 'Seviye 2' selected. The 'e-egitim' section shows a play button icon.

The main content area is titled 'Rüzgar - Seviye 2' and contains two sections: 'Kaynak değerlendirme' (Source evaluation) and 'Rüzgar türbini' (Wind turbine).

Kaynak değerlendirme (Source evaluation):

Kaynak yöntemi	Rüzgar hızı	İklim verileri
Rüzgar hızı - yıllık	M/s 8	Türkiye - Urla 5.1
Ölçüm yeri:	M 50	10
Rüzgar kesmesi kuvveti		
Hava sıcaklığı - yıllık	°C 19.5	17.5
Atmosferik basınç - yıllık	kPa 100	100

Rüzgar türbini (Wind turbine):

Türbin başına güç kapasitesi	kW 1.000
İmalatçı	Siemens
Model	AN BONUS 1 MW - 50M
Türbin sayısı	1
Güç kapasitesi	kW 1.000
Bağlantı noktası yüksekliği	M 50
Türbin başına rotor çapı	M 54.2
Türbin başına taranan alan	M² 2.307.22
Enerji eğrisi verileri	Standart
Şekil faktörü	2

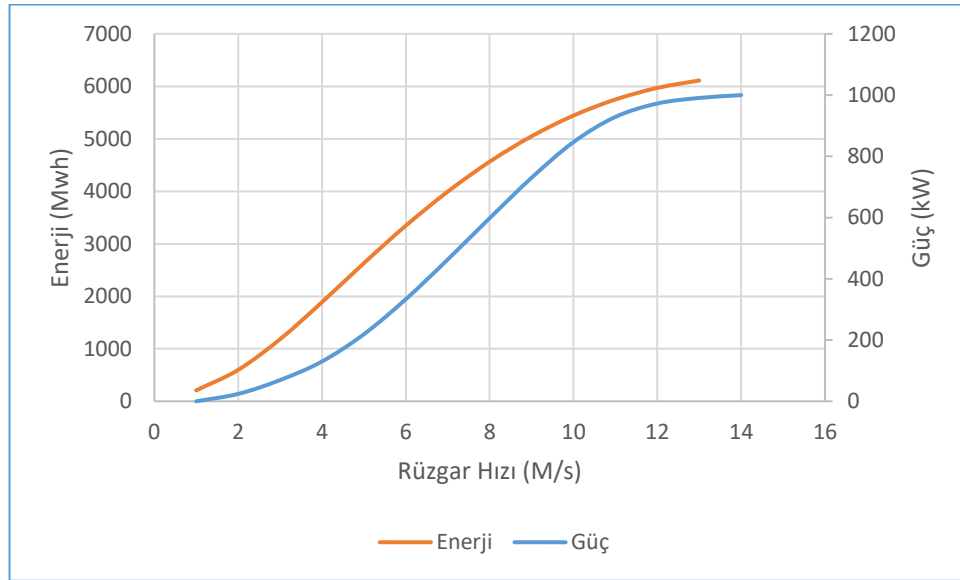
At the bottom left, there is a button labeled 'Güç ve enerji eğrileri' (Power and energy curves).

Şekil 29. Enerji Modeli [16]

Buna göre kurulacak santral için seçilen bölgenin yıllık ortalama rüzgar hızı değeri, santralin kurulacağı yükseklik, yıllık ortalama hava sıcaklığı ve atmosferik basınç gibi değerler manuel olarak girilmiştir. Ardından seçilen özelliklere göre muadil markanın rüzgar türbini seçimi yapılmıştır. Kaynak değerlendirmesi ve rüzgar türbini özellikleri seçildikten sonra tablo 18 ve şekil 30’da verilen türbin güç ve enerji eğrisi verileri yazılım tarafından entegre halde olduğundan otomatik olarak oluşturulmuştur.

Tablo 18. Türbin Güç Ve Enerji Eğrisi Verileri

Rüzgar Hızı (m/s)	Güç Eğrisi Verileri (kW)	Enerji Eğrisi Verileri (MWh)
0-3	0	208
4	24,1	598
5	69,3	1183
6	130	1889
7	219,1	2632
8	333,5	3346
9	463,1	3995
10	598,1	4565
11	730	5049
12	846,5	5444
13	928,8	5750
14	972,6	5971
15	990,8	6112
16-30	1000	



Şekil 30. Güç-Enerji Eğrisi Verileri

Seçilmiş olan 50m yükseklikteki rüzgâr türbinine ait enerji ve güç eğrisi verileri şekil 30’da verilmiştir. Ortaya çıkan bu veriler rüzgâr türbini üreticisi firma tarafından hazırlanmaktadır. Buna göre tablo 18 ve şekil 30’a göre seçilen rüzgâr türbini 3 m/sn rüzgâr hızında 208 MWh elektrik üretmeye başlayacaktır. İklim verileri 17,5°C sıcaklık ve 100,4 kPa basınç altında ölçülmüş olup bu veriler santralin kurulacağı yerin özelliklerine göre değişebilecektir. Buna göre mevcut veriler kullanılarak seçilen rüzgâr türbininin gücü aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$P = 0,5 * ro * V^3 * Cp * A \quad (16)$$

Burada ro değeri havanın yoğunluğunu ifade eder. Uluslararası atmosfer koşullarında yani deniz seviyesinde, +15°C sıcaklıkta ve 1013,25 mb atmosfer basıncında havanın yoğunluğu 1,225 kg/m³ kabul edilmektedir. Ayrıca formüle göre V değeri rüzgar hızını, Cp değeri rüzgar enerjisi güç katsayısını yani rüzgar türbin veriminin yüzdelik ifadesini temsil etmektedir. Burada sabit ve değişmeyen bir değer olan “Cp” değerinin maksimumu yaklaşık olarak 0.5926’dır [26]. Bu da yüzdelik olarak bir rüzgar türbininin maksimum %59.26 verimlilikle çalışacağı anlamına gelir. Son olarak A değeri ise rüzgar türbininin kanatlarının dönme alanını belirtir ve bu ifadenin birimi de metrekaaredir. Bu değer rüzgar türbinlerinin tanımlamasında verilebilir veya rotor yarıçapından hesaplanabilmesi mümkündür. Bu da dairenin alanı formülüne denk gelen $A = \pi r^2$ formülüne denk gelmektedir. Ancak seçilen marka rüzgar türbininin şekil 29’da verilen bilgilerinden yola çıkarak bu değer 2307,22 m² alana denk geldiği görülmektedir. Böylece analiz yapılan bölge olan İzmir Çeşme için nihai değerler; Ro = 1,225 kg/m³, V=8 m/s, Cp= 0,5926 A=2307,22 m² olarak belirlenmiştir. Böylece rüzgar enerjisinin gücü formül 16’ya göre 428.772,28 Watt olacaktır. Buradan yola çıkarak 1 yılda üretilebilecek elektrik enerjisi kWh cinsinden aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$kWh = \frac{(watt*saat)}{1000} \quad (17)$$

Buna göre 1 yıl toplam 8760 saat yapmaktadır ve toplam üretilen güç miktarı da 428.772,28 Watt olarak hesaplandığından, tüm işlemler gerçekleştirildiğinde türbinin yıllık üreteceği elektrik enerjisi miktarı 3.756.045,172 kWh olarak ortaya konmuştur.

Yıllık elektrik enerjisi miktarının matematiksel olarak hesaplanmasıyla birlikte bu modülde yapılması gereken son işlem elektrik satış fiyatının girilmesidir. Bu bağlamda elde edilen bilgilere göre kWh başına 2,60 TL olan elektrik satış fiyatı [27] programın dolar bazında çalışmasından dolayı güncel dolar kuru ile bölünerek dolar bazında 0,14 \$/kWh satış fiyatı olarak girilmiştir. İşletme ve bakım maliyetleri ise yıllık 30.000\$ olarak girilmiştir. Bu işlemler şekil 31’de gösterilmiştir.

Kayıplar	
Dizilim kayıpları	%
Kanat kayıpları	%
Çeşitli kayıplar	%
Kullanılabilirlik	%

Özet	
Kapasite faktörü	%
İlk maliyetler	\$/kW 0,14
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)	\$/kW-yıl 30
Elektrik ihracat fiyatı	\$ 30.000
Şebekeye verilen elektrik	\$/kWh 0,10
Elektrik ihracat geliri	\$ 0

Diğer bilgiler	
Düzeltilmemiş enerji üretimi	MWh
Başıncı katsayısı	0,987
Sıcaklık katsayısı	0,985
Brüt enerji üretimi	MWh
Kayıp katsayısı	
Özgül randıman	kWh/m ²

Şekil 31. İlk Maliyetler Ve İşletme Bakım Maliyetlerinin Tanımlanması [16]

Fiyatların tanımlanmasıyla birlikte bir sonraki aşama olan maliyet analizi modülüne geçiş yapılmıştır.

Maliyet Analizi:

Programda Çeşme ilçesinde 1 MW gücünde inşası planlanan santral için detaylı maliyet analizi yapılmıştır. Analiz yapılırken çeşitli maliyet kolları mevcut olup yaklaşık olarak güncel değerlere göre fiyatlar girilmiştir. Bu maliyet kolları; fizibilite etüdü, geliştirme maliyeti, mühendislik maliyeti, elektrik sistemi maliyeti ve sistem dengesi ve diğer parçalar olarak kollara ayrılmıştır. Yapılan araştırmalara göre fizibilite etüdü maliyeti yapabilmek için; saha incelemesi, kaynak değerlendirmesi, çevresel değerlendirme, ayrıntılı maliyet tahmini, seyahat ve konaklama gibi projenin temel uygulanabilirliğinin araştırılması için kullanılan maliyetlerin bilinmesi gerekmektedir. Geliştirme maliyeti için ise; sözleşme müzakereleri, izinler ve onaylar, saha etüdü ve arazi hakları, hukuk ve muhasebe, proje yönetimi gibi maliyet kalemlerinin bilinmesi gereklidir. Mühendislik maliyeti için ise; saha ve bina tasarımı, mekanik tasarım, elektrik tasarımı, inşaat tasarımı, ihale ve sözleşme, inşaat kontrolörlüğü gibi maliyet kalemlerinin bilinmesi gerekmektedir. Elektrik sistemi maliyeti için ise; türbin maliyeti, yol yapımı ve iletim hattı gibi maliyet kalemlerinin bilinmesi gerekmektedir. Son olarak sistem dengesi ve diğer maliyetler için ise program tarafından yedek parçalar, nakliye, eğitim giderleri gibi giderlerin girilmesi

istenmektedir. Buna göre tüm maliyet kollarından yola çıkarak girilen değerler şekil 32'deki gibi olup her bir maliyet kolunun yüzdelik dağılımı da gösterilmiştir.

RETScreen - Maliyet Analizi Abone: Viewer

İlk maliyetler (krediler)	Birim	Miktar	Birim maliyet	Miktar	Nisbi maliyetler
Fizibilite etüdü					
- Fizibilite etüdü	maliyet	1	\$ 110.000	\$ 110.000	
Ara Toplam:			\$ 110.000		5,2%
Geliştirme					
- Geliştirme	maliyet	1	\$ 50.000	\$ 50.000	
Ara Toplam:			\$ 50.000		2,4%
Mühendislik					
- Mühendislik	maliyet	1	\$ 60.000	\$ 60.000	
Ara Toplam:			\$ 60.000		2,8%
Elektrik sistemi					
Rüzgar türbini	kW	1.000	\$ 1.000	\$ 1.000.000	
Yol yapımı	km	1	\$ 140.000	\$ 140.000	
İletim hattı	km	1	\$ 500.000	\$ 500.000	
Trafo Merkezi	proje		\$ 30.000	\$ -	
Enerji verimliliği önlemleri			\$ -	\$ -	
- Kullanıcı tanımlı	maliyet		\$ -	\$ -	
Ara Toplam:			\$ 1.640.000		77,6%
Sistem dengesi ve diğer					
Yedek parçalar	%	1,0%	\$ 150.000	\$ 1.500	
Nakliye	proje	1	\$ 50.000	\$ 50.000	
Eğitim ve işletmeye alma	p-g	1	\$ 100.000	\$ 100.000	
- Kullanıcı tanımlı	maliyet		\$ -	\$ -	
Öngörülmemen giderler	%	5,0%	\$ 2.011.500	\$ 100.575	
İnşaat dönemi faizi		0%	\$ 2.112.075	\$ 0	
Ara Toplam:			\$ 252.075		11,9%
Toplam ilk maliyetler			\$ 2.112.075		100,0%

Şekil 32. Maliyet Analizi İçin Maliyet Kolları Fiyatlandırması [16]

Buna göre maliyet analizi için maliyet kolları tablo 19'daki gibidir:

Tablo 19. Maliyet Kolları Dağılımı

İLK MALİYETLER	Maliyet (\$)	Nisbi Maliyet Oranı
Fizibilite Etüdü	110.000	5,20%
Geliştirme	50.000	2,40%
Mühendislik	60.000	2,80%
Elektrik Sistemi	1.640.000	77,60%
Sistem Dengesi ve Diğer	252.075	11,90%
Toplam İlk Maliyetler	2.112.075	100,00%

Buna göre tablo 19 ve maliyet kollarından yola çıkarak İzmir Çeşme ilçesine 1 MW kurulu gücünde rüzgar türbini kurulumu yaklaşık olarak 2 milyon 115 bin dolar olarak ortaya konmuştur.

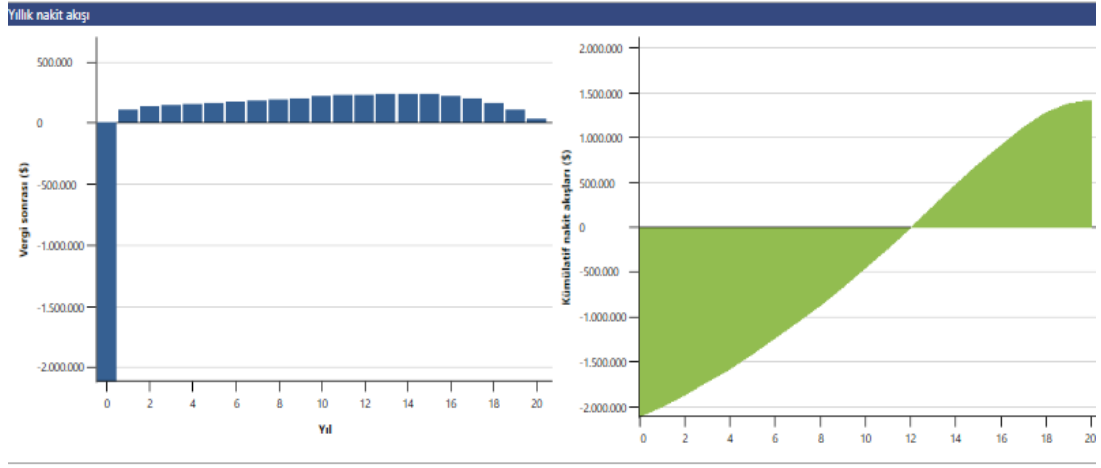
Ekonomik-Finansman Analiz:

Finansal analiz yapılırken; finansal parametrelerin tahmini ve projenin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu analizdeki finansal parametreler; enflasyon, iskonto, yeniden yatırım oranı, proje ömrü, borç oranı, borç faiz oranı ve borç vadesi girdileridir. Programın ekonomik analiz kısmı Finansal Parametreler, Yıllık Gelir, Proje Maliyetleri ve Gelir Özeti, Finansal Sürdürülebilirlik ve Yıllık Nakit Akışı olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır. Kullanıcının “Finansal Parametreler” bölümüne girmiş olduğu verileri kullanılarak projenin finansal göstergelerini oluşturan bölüm “Finansal Sürdürülebilirlik” bölümüdür. “Yıllık Nakit Akışı” bölümü ise kullanıcının vergi öncesi, vergi sonrası ve toplam nakit akışını görüntülemesini sağlayan bölümdür. Bu analiz çalışmasında kullanılacak yatırımın tamamının öz sermaye ile yapılacağı, santral ömrünün 20 yıl olduğu kabul edilmiş; bu bağlamda yıllık enflasyon oranı %20 baz alınmış, yıllık gelir vergisi oranı %40, elektrik ihracat fiyatı eskalasyon oranı ise %15 [28] olarak alınmıştır.

RETScreen - Finansal Analiz				Abone: Viewer			
Finansal parametreler				Maliyetler Tasarruflar Hasılat			
Genel				İlk maliyetler			
Yalıtım maliyeti eskalasyon oranı	%			Fizibilite etüdü	5.2%	\$	110.000
Enflasyon oranı	%	20%		Geliştirme	2.4%	\$	50.000
İskonto oranı	%	10%		Mühendislik	2.8%	\$	60.000
Yeniden yatırım oranı	%	0%		Elektrik sistemi	77.6%	\$	1.640.000
Proje ömrü	yıl	20		Sistem dengesi ve diğer	11.9%	\$	252.075
Finansman				Toplam ilk maliyetler	100%	\$	2.112.075
Tepvikler ve hibeler	\$			Yıllık nakit akışı - Yıl 1			
Borç oranı	%	0%		Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri			
Gelir vergisi analizi				İşletme ve bakım	\$	92.000	
Geçerli gelir vergisi oranı	%	40%		Borç ödemeleri	\$	0	
Zarar beyanı?		Hayır		Toplam yıllık maliyetler	\$	92.000	
Amortisman yöntemi		Azalan denge		Yıllık tasarruflar ve gelir			
Yan yıl kuralı - yıl 1	evet/hayır	Evet		SG azaltım geliri	\$	0	
Amortisman vergi matrahı	%	100%		Diğer gelir (maliyet) - 20 yıl	\$	217.400	
Amortisman oranı	%	5%		Toplam yıllık tasarruflar ve gelir	\$	217.400	
Vergi tatili var mı?	evet/hayır	Hayır		Net yıllık nakit akışı - Yıl 1	\$	125.400	
Yıllık ciro				Finansal sürdürülebilirlik			
SG azaltım geliri				Vergi öncesi İGO - özsermaye	%	9,2%	
Brüt sera gazı azaltımı	tCO ₂ /yıl	0		Vergi öncesi DDGO - özsermaye	%	4,4%	
Brüt sera gazı azaltımı - 20 yıl	tCO ₂	0		Vergi öncesi İGO - varlıklar	%	9,2%	
SG azaltım geliri	\$	0		Vergi öncesi DDGO - varlıklar	%	4,4%	
Diğer gelir (maliyet)				Vergi sonrası İGO - özsermaye	%	5,3%	
Enerji	kWh	1.000		Vergi sonrası DDGO - özsermaye	%	2,6%	
Fiyat	\$/kWh	217.40		Vergi sonrası İGO - varlıklar	%	5,3%	
Diğer gelir (maliyet)	\$	217.400		Vergi sonrası DDGO - varlıklar	%	2,6%	
Süre	yıl	20		Basit geri ödeme	yıl	16,8	
Eskalasyon oranı	%	15%		Özsermaye geri ödeme	yıl	12	
				Net Şimdiki Değer (NPV)	\$	-673.116	
				Yıllık yaşam döngüsü tasarrufları	\$/yıl	-79.064	
				Maliyet-Fayda oranı		0,68	
				Borç çevrilebilirliği		Borç yok	
				Seragazi azaltma maliyeti	\$/tCO ₂	Azaltma yok	

Şekil 33. Tüm Maliyet Analizinin Gösterilmesi [16]

Şekil 33'ten yola çıkarak RETScreen tarafından sunulan veriler madde madde alt başlıklar halinde elde edilmiştir. Bu çalışmada, kullanılmak üzere seçilen türbin için projenin nakit akışlarına ise şekil 34'te yer verilmiştir. Buna göre projenin nakit akışı negatif değerlerden başlayarak yıllar içinde artmakta ve pozitif değerlere dönüşmektedir. Kümülatif nakit akışının 0 değerini alması ise projenin başa baş noktasını göstermektedir. Bu çalışmada Çeşme ilçesi için seçilen türbinin kümülatif nakit akışı değerlendirildiğinde şekil 33'te bulunan finansal sürdürülebilirlik kısmından ve şekil 34'teki kümülatif nakit akış diyagramından yola çıkarak söz konusu türbin için geri dönüş süresinin 12 yıl olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 34. Yıllık Nakit Akışı [16]

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlarla birlikte literatürde bulunan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında iklim verilerinin 5 yıllık olması, günlük ve saatlik verilerin olması, farklı olasılık dağılımlarının kullanılması bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmaktadır. Böylece sonuçların doğruluğu da diğer çalışmalara göre daha kesin şekilde görülmektedir. Bu çalışmanın diğer çalışmalara benzerlik yönüne bakılacak olursa; örneğin Kaplan'ın [12], "Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi" adlı makalesi ile yüksek derecede benzerlik göstermektedir. Bu çalışmayla benzerlik yönleri olarak saatlik rüzgar hızı verilerinin kullanılması, Rayleigh ve Weibull dağılımı kullanılması gösterilebilmektedir. Ancak belirtilen makale sadece bir ili kapsamaktayken yapılan çalışma 7 bölgeden 7 ili kapsamakta bu çalışmadan da ayrılmakta ve daha detaylı bir çalışma ortaya konmaktadır. Ayrıca benzer olarak da

Koç'un [14] çalışmasıyla örtüşmektedir. Koç'ta [14] çalışmasında rüzgâr enerjisi ve rüzgâr türbini seçim esasları ele alınarak dünyada rüzgar enerjisinin genel durumu ele alınmış ve daha sonra Türkiye'de rüzgar enerjisinin genel durumuna değinmiş iken bu çalışmada da aynı şekilde önce dünyadaki rüzgar enerjisinin durumuna ardından Türkiye'deki rüzgar enerjisinin durumuna değinilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olmasına rağmen toplam enerji tüketiminin yaklaşık dörtte birini kendi öz kaynaklarından, kalan kısmını ise ithalat yoluyla karşılamaktadır [29]. Bu bağlamda dışa bağımlılığı azaltacak yeni kaynaklara yönelim gün geçerek artmaktadır. Bu nedenle de yenilenebilir enerji kaynakları son derece önem arz etmektedir. Türkiye de dışa bağımlılığı azaltmak adına bu kaynaklara yönelim 1998 yılından itibaren her yıl giderek artmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde de rüzgar enerjisi en çok kullanılan kaynaklar içerisinde hidroelektrik santrallerden sonra gelmektedir. Rüzgar enerjisi rüzgarın hızını kullandığından hiç tükenmeyecek ve dışa bağımlı olmayan bir enerji türüdür. Türkiye'nin 7 bölgesinde de rüzgar santralleri bulunmaktadır. Ancak rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölgelerin araştırması gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle de rüzgar ölçüm istasyonunda ölçülen rüzgar hız değerleri; RES projesinin daha sonraki aşamaları olan verilerin değerlendirilmesi, üretilebilecek enerji miktarının tahmin edilmesi açısından önem arz etmektedir. Rüzgar enerjisi analizi yapılırken uzun yıllara dayalı iklim verilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada da Türkiye'nin 7 bölgesinin rüzgar potansiyeli analizi için 2016-2020 yıllarına ait saatlik rüzgar hızları kullanılarak, bölgelerin rüzgar hızlarının Weibull, Rayleigh ve Genelleştirilmiş Pareto dağılım fonksiyonlarına uyumları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar da yukarıda sunulmuştur. Çalışmaya başlarken öncelikle rüzgar enerjisinin ne olduğuna, avantajları dezavantajları gibi bilgilerden bahsedilmiş ve ardından dünyada rüzgar enerjisi ve Türkiye'de rüzgar enerjisi durumlarından bahsedilmiştir. Bu bilgilerin ardından konuyla ilgili olarak literatürde bulunan çalışmalar incelenmiş ve yapılan bu çalışmayla benzerlik ve farklılıkları ortaya konmuştur. Analiz yapılırken kullanılacak dağılımlar belirlenmiş ve bu dağılımlar ile ilgili de detaylı bilgiler verilmiştir. Son olarak ise dağılım fonksiyonları kullanılarak Türkiye'nin 7 bölgesinden seçilen illerin rüzgar potansiyel analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda rüzgar enerjisi analizleri için uzun yıllara dayalı verilerin olması daha sağlıklı sonuçlar vereceğinden öncelikle 2016-2020 yılları arası seçilen 7 bölge için 5 yıllık iklim verileri saatlik olarak elde edilmiştir. Ardından elde edilen bu 5 yıllık döneme ait iklim verileri kullanılarak analiz için rüzgar hızı

dağılımlarında sıklıkla kullanılan tek parametrelili Rayleigh, iki parametrelili Weibull ve üç parametrelili Genelleştirilmiş Pareto dağılım fonksiyonları kullanılmıştır.

Buna göre çalışmada dağılımlar, hesaplamalar ve grafiklerden yola çıkarak bölgelere göre en uygun dağılımlar ortaya çıkarılmış ve hem bölgeler arası hem de dağılımlar arası karşılaştırma yapılmıştır. Bu noktada 7 bölgeden seçilen illerdeki rüzgar hızlarına bağlı olarak dağılım fonksiyonlarının parametre hesaplamaları yapılmış, ardından bu parametre hesaplarına bağlı olarak rüzgar potansiyeline sahip en iyi bölgeler sıralanmıştır. Parametre hesaplarında öncelikle k şekil parametre sonuçlarına göre karşılaştırma yapılmış ardından rüzgar hızıyla bağlantılı olan c ölçek parametresi ve rüzgar hızları arasında bağlantı kurularak rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölge ortaya çıkarılmıştır. Genelleştirilmiş pareto dağılımı ise aşırı rüzgar hızları temsil ettiğinden bu noktada ölçek ve şekil parametreleri son derece önem arz etmektedir. Tablo 4'ten tablo 10'a kadar olan tablolardan yola çıkarak formülleri aynı olduğundan Weibull ve Rayleigh için şekil ve ölçek, Genelleştirilmiş Pareto için ise formülleri farklı olduğundan ölçek, şekil, lokasyon ve z parametreleri tek tek aylık olarak 5 yıl için hesaplanmış ve ortalamalarının tablolardaki gibi oldukları saptanmıştır. Bu tablolardan ve hesaplanan verilerden yola çıkarak 7 ilin parametrelere göre karşılaştırılması sağlandığında, Weibull parametresi olan k şekil parametresinin 1 ila 3 değerleri arasında olması gerektiğini ve eğer çıkacak sonuç 1'e yakın ise o bölgedeki rüzgarların sabit ve sürekli rüzgar, 3'e yakın veya yüksek bir sonuç çıktığı takdirde de değişken ve süreksiz rüzgarların olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda sabit ve sürekli rüzgarlar için ideal değerin bu iki değerin yaklaşık ortalaması olan 1,8-2 civarında olması beklenmektedir. Buna göre tabloların incelenmesiyle birlikte 2016-2020 yılları arası 5 yıl içinde k şekil değerlerinin Adıyaman için 2,12, İstanbul için 2,14, İzmir için 1,67, Kırşehir için 1,60, Mersin için 1,69, Samsun için 1,17 ve Van için ise 1,49 ortalamaya sahip olduğu saptanmıştır.

Bu değerlerden çalışma kapsamında seçilen tüm bölgelerin k şekil parametresine göre belirtilen aralıklar arasında olup rüzgar potansiyellerinin olduğu görülmektedir. Bu noktada k parametresi için yukarıdaki açıklama baz alınacak olursa bu parametreye göre en ideal bölgenin 1,69 ortalama ile Mersin ve ardından 1,67 ortalama ile İzmir bölgesinin olduğu saptanmıştır. Ancak hangi bölgenin daha verimli olduğunu net olarak söyleyebilmek için bakılması gereken sadece şekil parametresi değil diğer

parametrelerinde incelenmesi gerekmektedir. Buna göre rüzgar hızı ortalamalarına bakıldığında 4,48 ortalama rüzgar hızı ile İzmir ilinde ve yine ortalama rüzgar hızıyla ilişkili olan c ölçek parametresi de yine 5,05 ile İzmir iline aittir. Mersin iline bakacak olursak da bu noktada ortalama rüzgar hızı 3,62 ve ortalama ölçek değeri ise 4,08 olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak Weibull ve Rayleigh dağılımları için şekil parametresi yönünden Mersin ili ideal olmasına rağmen rüzgar hızı ve ölçek parametreleri bakımından İzmir ilinin ideal olduğu görülmektedir.

Weibull ve Rayleigh parametrelerinin ortalama sonuçlarının analiz edilmesiyle, analiz için rüzgar hızı bu noktada son derece önem arz ettiğinden İzmir ilinin dolayısıyla Ege bölgesinin k şekil, c ölçek ve ortalama rüzgar hızına göre en verimli bölge olduğu Weibull ve Rayleigh dağılımları ile ortaya konmuştur. Weibull ve Rayleigh dağılımına göre İzmir ilinin rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölge olarak ortaya konmasıyla birlikte Genelleştirilmiş Pareto dağılımının parametre ortalamalarına bakacak olursak; bu dağılım aşırı rüzgar dağılımlarını belirtmektedir. Bu noktada ölçek ve şekil parametreleri son derece önem arz etmektedir. Buna göre tabloları inceleyecek olursak pareto dağılımına göre şekil parametresi olan ksi değeri İzmir, Kırşehir, Mersin, Samsun ve Van illerinde ortalama değeri 1 değerinin altında kalmakla birlikte Adıyaman ve İstanbul illerinde sırasıyla 1,55 ve 1,64 ortalama değere sahip olduğu görülmüştür.

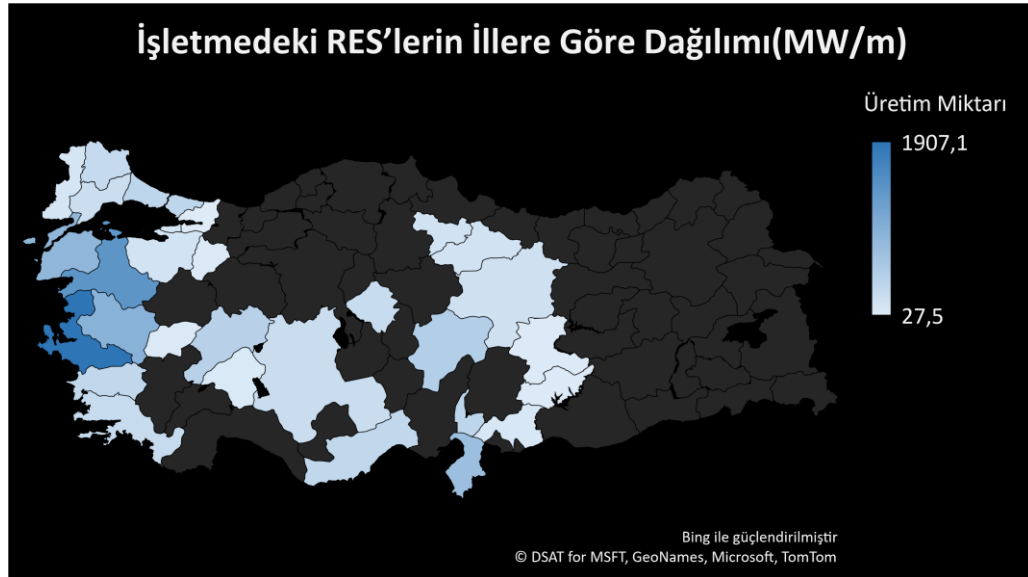
Bu dağılım için ölçek parametresi incelenecek olursa bu parametre de özellikle rüzgar hızıyla ve bu hızların varyansı ile doğrudan ilişkilidir. Buna göre rüzgar hızı ve varyansına bağlı olarak en ideal ölçek değerinin 11,97 ortalama ile yine İstanbul ilinde olduğu görülmektedir. Tablolarda gözüktüğü gibi hesaplanan z ifadesi Pareto dağılımının olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonunun ortaya çıkarılması için hesaplanmıştır. Z ifadesinin hesaplanmasında kullanılan lokasyon parametresi ise hesaplanacak olan genelleştirilmiş pareto dağılımının olasılık yoğunluk ve kümülatif dağılım fonksiyonlarının grafiklerindeki konumu belirlemek için hesaplanmıştır. Tüm parametrelere göre Weibull ve Rayleigh dağılımları parametrelerine göre en verimli bölgenin İzmir ve dolayısıyla Ege bölgesinin, Genelleştirilmiş Pareto dağılımına göre ise İstanbul ve dolayısıyla Marmara bölgesinin olduğu Tablo 20’de görülmektedir.

Tablo 20. Dağılım Parametrelerinin İllere Göre Oranları

DAĞILIMLAR		RAYLEIGH-WEIBULL		GENELLEŞTİRİLMİŞ PARETO			
İLLER	Rüzgar Hızı (V)	R-W Ölçek Parametresi (c)	Weibull Şekil Parametresi (k)	Pareto Ölçek (alfa)	Pareto Şekil (ksi)	Pareto Lokasyon (Nü)	Pareto Z Değeri
İzmir	4,48	5,05	1,67	9,14	0,87	12,32	-1,48
İstanbul	4,40	4,96	2,14	11,97	1,64	7,49	-0,29
Mersin	3,62	4,08	1,69	6,83	0,82	10,26	-1,43
Kırşehir	3,23	3,64	1,60	5,72	0,72	8,74	-1,21
Adıyaman	3,67	4,13	2,12	9,36	1,55	6,92	-0,45
Samsun	2,97	3,34	1,17	3,69	0,19	47,26	-17,00
Van	2,65	2,99	1,49	4,34	0,58	10,70	-2,54

Tablo 20’den yola çıkarak parametreler arasında bağlantı kurmak gerektiğinden hesaplanan parametrelerden ve rüzgar hızları ortalamalarından yola çıkarak verimli bölgeler tabloya göre sıralanacak olursa sırasıyla bu iller; İzmir, İstanbul, Mersin, Kırşehir, Adıyaman, Samsun ve Van olarak sıralanmakta Türkiye’nin 7 bölgesine göre sıralayacak olursak Ege, Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu olarak sıralanmaktadır.

Ortaya konan bu sonuçların Rüzgar Enerjisi Potansiyel atlasından alınan illere göre rüzgar enerjisi dağılım haritasıyla ortak bir sonuca vardığı şekil 35’te sunulmuştur.



Şekil 35. İşletmedeki RES'lerin İllere Göre Dağılımı

Şekil 35’e bakılacak olursa burada rüzgar potansiyeli olarak en verimli bölgeler renk olarak sıralandığında Ege, Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu

olarak sıralanmış, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde ise nerdeyse yok denecek kadar az olduğundan renklendirmesi yapılmamıştır. Buna göre şekilden yola çıkarak yukarıda iklim verileriyle hesaplanarak ortaya konan dağılım sonuçlarıyla sıralanan en verimli bölgelerin sıralamasının REPA'dan alınan harita ile birbirine örtüştüğü ortaya çıkmaktadır. Bu da çalışmada elde edilen sonuçların doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

Parametre hesaplamalarından sonra olasılık yoğunluk fonksiyonu hesaplamaları yapılarak kullanılan gerçek rüzgar hızlarının olasılık yoğunluk fonksiyonu ile dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonu karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda Weibull dağılımının gerçek verilere en uygun dağılım olduğu grafikler üzerinden ortaya konmuştur.

Tüm bu işlemlerden yola çıkarak; Türkiye'nin 7 bölgesine göre rüzgar potansiyeli araştırması yapılmıştır. Bu bağlamda iklim verileri, dağılım fonksiyonları, parametreleri, yoğunluk ve kümülatif fonksiyon değerleri kullanılarak çalışma ortaya konmuştur. Buna göre yapılan tüm işlemlerden yola çıkarak rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölgenin İzmir yani Ege bölgesinin, en düşük potansiyele sahip bölgenin ise Van ili yani Doğu Anadolu bölgesi olduğu saptanmıştır. Aslında rakımının yüksek ve bol rüzgar alması, bazı illerinde geniş ve düz arazilerin olması bakımından Doğu Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli bakımından son derece uygun bir bölgedir. Ancak kış ayları bu bölgede oldukça sert geçmektedir. Bu bağlamda buraya bir türbin kurulumu gerçekleştirilse bile kış aylarında türbin kanatları donma tehlikesi altında bulunduğundan dönme hareketi yaptığı takdirde büyük bir maddi ve çevre hasarına yol açabilecek arızalara sebebiyet verebilecektir. Bu nedenle yalnızca belirli zaman diliminde rüzgar alan bölgeler değil sürekli rüzgar alan bölgelerin seçimi yapılmalıdır. En uygun dağılımın ve Türkiye'nin rüzgar potansiyeli bakımından en verimli bölgesinin ortaya konmasıyla birlikte bu bölgeye bir rüzgar türbini kurulumu gerçekleştirildiğinde maliyetinin ne kadar olacağının analizi yapılmıştır. Bu bağlamda potansiyel olarak en verimli bölge olan İzmir iline türbin kurulumu gerçekleştirildiği takdirde 2 milyon 115 bin dolar bir maliyet çıkacağı ve bu maliyetin 12 yılda kendini karşılayacağı Retscreen yazılım programı ile ortaya konmuştur.

Bütün bu bilgiler ışığında Türkiye'nin rüzgar enerjisine yatırımları her yıl artarak devam etmekte olup; bu alanda araştırmalar, yatırım, istihdam sürekli olarak

artmaktadır. Bu yatırımların üzerine hala da devam etmekte olan birçok çalışma mevcuttur. Rüzgar enerjisine yönelimin bu derece büyük olmasının en büyük nedeni ise diğer kaynaklara göre daha ucuz maliyetle birçok verim alınmasıdır.

KAYNAKÇA

- [1]. Dünya nüfusu: 7,6 milyar. (2017, 10 Temmuz). <https://www.dunya.com/dunya/dunya-nufusu-76-milyar-haberi-371872> adresinden erişilmiştir.
- [2]. Dünyada yenilenebilir enerjiye yönelim artıyor. (2021, 27 Aralık). https://www.enerji-dunyasi.com/yayin/324/dunyada-yenilenebilir-enerjiye-yonelim-artiyor_29481.html adresinden erişilmiştir.
- [3]. Özkaya, S.Y., Yenilenebilir enerji kaynakları. <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa> adresinden erişilmiştir.
- [4]. Rüzgar enerjisi nedir. (t.y.). <https://www.encyzip.com/ruzgar-enerjisi-nedir> adresinden erişilmiştir.
- [5]. Yenilenebilir enerji nedir. (t.y.). https://tr.wikipedia.org/wiki/Yenilenebilir_enerji adresinden erişilmiştir.
- [6]. Rüzgar türbinleri neden 3 kanatlıdır. (2022, 20 Şubat). <https://www.elektrikport.com/universite/ruzgar-turbinleri-neden-3-kanatlidir/11802#ad-image-0> adresinden erişilmiştir.
- [7]. Rüzgar türbini dişli kutusu ne işe yarar. <https://enpopulersorular.com/library/lecture/read/48109-ruzgar-turbini-disli-kutusu-ne-ise-yarar> adresinden 25.10.2022 tarihinde erişilmiştir.
- [8]. WEB1: <https://ekolojist.net/dunyada-ruzgar-enerjisi-kullanimi/> adresinden 18.10.2022 tarihinde erişilmiştir.
- [9]. WEB2: <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-ruzgar-enerjisi.html> adresinden 18.10.2022 tarihinde erişilmiştir.
- [10]. WEB3: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar> adresinden 20.10.2022 tarihinde erişilmiştir.
- [11]. Türkiye'nin rüzgâr gücü 8 GW'ın üstüne çıktı. (2020, 27 Mart). <https://yesilekonomi.com/turkiyenin-ruzgar-gucu-8-gwin-ustune-cikti/> adresinden erişilmiştir.
- [12]. Kaplan, Y.A., (2016). "Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi," Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi cilt 20, sayı 1, 62-71.
- [13]. Wadi, M., Kekezoglu, B., Baysal, M., Tur, R., and Shobole, A., "Feasibility study of wind energy potential in turkey: Case study of catalca district in istanbul," in 2019 2nd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE). IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [14]. Şenel, M.C., Koç, E., "Dünyada ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme," Mühendis ve Makine Dergisi cilt 56, sayı 663.

- [15]. Doğan, B.T., Çolakoğlu, A., Kıncay, O., (2012). "RETSscreen Analiz Programı ile Hatay'da Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Analizi," Tesisat Mühendisliği, sayı 131.
- [16]. WEB4: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> adresinden 21.11.2022 tarihinde erişilmiştir.
- [17]. Çalışkan, M., (2011). "Rüzgar Enerjisi ve Santralleri Semineri," Rahmi Koç müzesi konferans salonu.
- [18]. Gülersoy, T, Çetin, N. (2010). Menemen Bölgesinde Rüzgar Türbinleri için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarının Kullanılması . Politeknik Dergisi , 13 (3) , 209-213 .
- [19]. Wadi, M., and Elmasry, W. "Statistical analysis of wind energy potential using different estimation methods for Weibull parameters: a case study," Electrical Engineering, pp. 1-22, 2021
- [20]. Özcan, H, H., 2009. "Rüzgar Enerjisi Yatırımları ve Isparta ilinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi"
- [21]. WEB5: <https://tr.freemeteo.com/> adresinden erişilmiştir.
- [22]. Kaplan, Y.A., (2016). "Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi," Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi cilt 20, sayı 1, 62-71.
- [23]. Exploring Heavy Tails Pareto and Generalized Pareto Distribution. (2019, 25 September) <https://statmath.wu.ac.at/~hornik/QFS1/pareto-vignette> adresinden erişilmiştir.
- [24]. Çevre Dostu Enerji: Rüzgar Enerjisi Kullanımı Ne Durumda? (2022, 17 Eylül). <https://turkiyeraporu.com/arastirma/cevre-dostu-enerji-ruzgar-enerjisi-kullanimi-ne-durumda-10728/> adresinden erişilmiştir.
- [25]. WEB6: <https://www.turkcebilgi.org/bilim/matematik/nicemleme-5821.html>
- [26]. Rüzgar enerjisi güç hesabı. (2018, 13 Mayıs). <https://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-guc-hesabi/> adresinden erişilmiştir.
- [27]. WEB7: <https://www.encazip.com/elektrik-fiyatlari>
- [28]. Bali, T.Z., Erbaş, B.Ç., Akın, Z., Akarsu, G., (2011). "A social cost-benefit analysis: Comparison of coal and wind alternatives in the case of Soma-A power plant"
- [29]. Türkiye'nin enerji politikası – EMO
- [30]. I. Mert and C. Karakus,, "A statistical analysis of wind speed data using burr, generalized gamma, and weibull distributions in antakya, turkey," Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, vol. 23, no. 6, pp. 1571–1586, (2015).
- [31]. Dinçer, İ. (2019). "Tüba Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Raporu"
- [32]. Arıkan, Y., Çam, E. (2017). "Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Fizibilite Analizlerinin Web Tabanında Gerçekleştirilmesi," cilt 9, sayı 1.

- [33]. Erduman, A., Kekezoğlu, B., Durusu, A., Tanrıöven, M. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından 500kW'a kadar Lisanssız Enerji Üretimi ve Fizibilite analizi," Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [34]. Sulukan, E., Uyar T, S., "A Comparative Wind Power Plant Feasibility Study in Gökçeada,Turkey," Journal of Naval Science and Engineering, 2009, Vol.5, No.3, pp.55-61.
- [35]. WEB8: <https://www.tureb.com.tr>
- [36]. WEB9: <https://www.mgm.gov.tr/files/tahmin/rets-kitapcik.pdf>
- [37]. Kurban, M., Kantar, Y.M., Hoccoğlu, F.O., "Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız Ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi" Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen bilimleri dergisi, cilt 7, sayı 2.
- [38]. Electrical Power Resources Surveying Administration(EIE), "The Wind Projects of EIE"
- [39]. WEB10: <https://www.enerji.gov.tr>
- [40]. Beckmann, P. (1963, 7 December). "Rayleigh distribution and Its Generalizations," University of Colorado, Department of Electrical Engineering. Vol 68D, No 9.
- [41]. WEB11: <https://accendoreliability.com/weibull-distribution/>

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ali ORHAN

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri: 15 Temmuz 1997, İstanbul

Elektronik Posta: aliorhan97@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	İZU, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı	2021
Yüksek Lisans	İMU, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı	2023

İŞ TECRÜBESİ

Tarih	Kurum	Görev
Kasım 2022-	CK Enerji Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.	AR-GE Mühendisi
Temmuz-Kasım 2022	CK Enerji Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.	Eğitim Uzman Yardımcısı
Haziran-Ağustos 2020	Zeray Enerji İnşaat Mühendislik	Stajyer
Ağustos-Eylül 2019	Akınsoft Bilişim	Stajyer

YABANCI DİLLER

İyi düzeyde İngilizce; başlangıç düzeyinde İspanyolca.

HOBİLER

Doğa yürüyüşü, takım oyunları, yeni yerler keşfetmek, yeni diller öğrenmek