

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEM YATIRIMLARINDA ENERJİ
POTANSİYELİ VE EKONOMİK ANALİZ TABANLI YAZILIM TASARIMI**

Yağmur ARIKAN

TEMMUZ 2014

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yağmur ARIKAN tarafından hazırlanan **YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEM YATIRIMLARINDA ENERJİ POTANSİYELİ VE EKONOMİK ANALİZ TABANLI YAZILIM TASARIMI** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ediz POLAT
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM

Danışman

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil Murat ÜNVER

23/07/2014

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil
YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEM YATIRIMLARINDA ENERJİ POTANSİYELİ VE EKONOMİK ANALİZ TABANLI YAZILIM TASARIMI

ARIKAN, Yağmur

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM

Temmuz 2014, 103 sayfa

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin potansiyel ve ekonomik analizlerini yapmak için Matlab programında bir yazılım hazırlanmıştır. Piyasada kullanılan yazılımların her türlü ekipmanı içermemesi ve ileride yapılabilecek akıllı sistemlerin eklemelerine cevap vermeyeceği düşüncesi ile bu program hazırlanmıştır. Program hem akademik hem de piyasa oyuncularına fizibilite anlamında destek verecektir. Aynı zamanda program, rahatlıkla eğitim seti olarak kullanılabilen şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan programda, örnek uygulama bölgesi olarak Bartın ilinin Amasra ilçesi seçilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, 2012-2013 yılında saatlik olarak ölçülen rüzgar hızı verileri kullanılarak, Rayleigh istatistiksel yöntemiyle bölgenin rüzgar potansiyelinin yatırım için uygun olduğu tespit edildikten sonra, beş farklı rüzgar türbini kullanılarak türbinlerden elde edilebilecek enerji miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen enerji miktarlarına bağlı olarak, yatırımların geri ödeme süresi, yıllara yayılmış elektrik enerjisi satış fiyatı ve kâr miktarları hesaplanarak yatırımın ekonomik analizi, yıllık sera gazı azalması ve buna karşılık piyasa değeri hesaplanarak emisyon analizi yapılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında, bölgenin güneşlenme süresi kullanılarak, bölgede 100 kWp gücünde güneş paneli kurulduğu

takdirde, güneş panellerinden üretebilecek enerji miktarı hesaplanmış, daha sonra çalışmanın ilk kısmındaki gibi, yatırımın ekonomik ve emisyon analizi yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü kısmında, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi verileri birleştirilerek, bölgeye hibrit enerji sistemleri kurulduğu takdirde, çeşitli senaryolar irdelenerek, üretilen enerji miktarları hesaplanmış ve yatırımın ekonomik ve emisyon analizi yapılmıştır.

Son olarak ise, bütün analizlerden elde edilen sonuçlara göre, hangi durumun bölge ve yatırımcı için daha kârlı olduğu araştırılmış, bu şekilde, bölge için en uygun yatırımın rüzgar enerjisinden elde etmek olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Rayleigh Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu, Güneş Enerjisi, Hibrit Sistemler, Ekonomik Analiz, Emisyon Analizi

ABSTRACT

A SOFTWARE DESIGN BASED ENERGY POTENTIAL AND ECONOMIC ANALYSIS FOR INVESTING IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

ARIKAN, Yağmur

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Eng., M. Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM

July 2014, 103 pages

In this study, a software has been prepared in Matlab to make potential and economic analysis of wind and solar energy systems these are from renewable energy sources. The aims of the preparation of the software are current softwares used in the market do not contain all types equipments and does not respond intelligent systems that can be developed in the future. The software will give support to both academics and market players in terms of feasibility. Also, the software can be easily used as a training set. In the software, the province of Bartın, Amasra district was selected as an application area.

In the first part of study, wind potential of the region is analyzed with Rayleigh statistical method by using hourly wind speed data of Amasra where is the county of Bartın and it has been found suitable for investment. After using five different wind turbines, annual amount of energy is calculated which is obtained from the turbines. Then, economic and emission analyses by different methods such as payback period, electricity sales price spread over the years and present values have calculated for the five different turbines. In the second part, amount of energy has calculated that will be generated from solar panels, if the solar panels install in the region with power of 100 kWp by using the region's sunshine duration. Then, as in the first part of the study, the economic and emission analysis has made of the investment. In the third

part of study, data of wind energy and solar energy have been created for combining various hybrid systems.

Finally, according to all the results obtained from the analysis, it is found that which case is more profitable for the region and investors. Thus, it is observed that the most appropriate investment for the region is to obtain from the wind energy.

Key Words: Wind Energy Potential, Rayleigh Probability Density Function,
Solar Energy, Hybrid Systems, Economic Analysis,
Emission Analysis

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin ve tez çalışmam sırasında bilgisini ve desteğini esirgemeyen tez yöneticisi hocam Sayın Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM'a, tez çalışmam boyunca yardımları esirgemeyen tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi, meslek hayatımı seçmemde ve tez çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen sevgili babam Mustafa ARIKAN ve annem Ayfer ARIKAN'a, bütün çalışmalarımnda yardımını gördüğüm Öğr. Gör. Göksenin ARIKAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamda, manevi desteklerini esirgemeyen ve tez sürecinin tüm sıkıntılarını benle paylaşan Yücel ALTINTAŐ ve Tuğba ECEVİT'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	3
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	5
2. ENERJİ VE ENERJİ KAYNAKLARI	7
2.1. Birincil Enerji Kaynakları	8
2.1.1. Kömür	8
2.1.2. Petrol	10
2.1.3. Doğal gaz	11
2.1.4. Nükleer Enerji	12
2.1.5. Kaya Gazı.....	13
2.2. Yenilenebilir Kaynaklar	13
2.2.1. Hidrolik Enerji	13
2.2.2. Güneş Enerjisi	15
2.2.3. Rüzgar Enerjisi.....	18
2.2.4. Jeotermal Enerji	18
2.2.5. Biyoyakıt Enerjisi	19
3. RÜZGAR ENERJİSİ	21
3.1. Rüzgar ve Rüzgar Enerjisi	21

3.2. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi.....	23
3.3. Dünya'da ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi.....	25
3.4. Rüzgar Enerjisi Fizibilite Çalışmaları.....	29
3.4.1. Rüzgarda Potansiyel Analiz.....	30
3.4.2. Rüzgarda Enerji Analizi.....	36
3.4.3. Rüzgar Enerjisi Ekonomik Analizi.....	43
4. UYGULAMA VE ANALİZLER.....	46
4.1. Matlab Programı ve Matlab/Gui Platformu.....	47
4.2. Rüzgar Enerjisi Fizibilite Analizi Çalışması.....	49
4.2.1. Çalışmanın Yeri ve Özellikleri.....	49
4.2.2. Rüzgar Verileri Analizi.....	50
4.2.3. Potansiyel Analiz Uygulaması ve Sonuçları.....	53
4.2.4. Enerji Analiz Uygulaması ve Sonuçları.....	59
4.2.5. Ekonomik Analiz Uygulaması ve Yatırımın Yapılabilirliği.....	75
4.2.6. Emisyon Analizi.....	84
4.3. Güneş Enerjisi Fizibilite Çalışması.....	86
4.3.1. Bölgenin Güneş Potansiyeli ve İstatiksel Veriler.....	86
4.4. Hibrit Enerji Sistemi Fizibilite Analizi.....	90
4.4.1 Analiz İçin Gerekli Veriler ve Durumlar.....	91
5. SONUÇLAR.....	95
KAYNAKLAR.....	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>		<u>Sayfa</u>
2.1.	Dünya kömür rezervlerinin kömür cinslerine göre dağılımı	8
2.2.	Kömür rezervlerinin ülkelere göre payı	9
2.3.	1974-2011 yılları arası Türkiye taş kömürü üretimi	9
2.4.	1974-2011 yılları arası Türkiye linyit üretimi	10
2.5.	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel haritası	17
2.6.	Biyoyakıt teknolojisi	20
3.1.	Türkiye rüzgar potansiyel atlası	27
3.2.	Olasılık yoğunluk fonksiyonu	31
3.3.	Kümülatif yoğunluk fonksiyonu	32
3.4.	Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu	33
3.5.	Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu	34
3.6.	Rüzgar türbini güç eğrisi grafiği	42
3.7.	C _p , maksimum güç katsayısı grafiği	42
4.1.	Matlab/Gui platformu ön panel görüntüsü	48
4.2.	Amasra bölgesinin uydu görüntüsü	49
4.3.	Amasra bölgesinin harita görüntüsü	50
4.4.	Aylara göre ortalama rüzgar hızı grafiği	52
4.5.	Rüzgar esme sayılarına göre rüzgar gücü grafiği	53
4.6.	Potansiyel analiz ara yüzünün ekran görüntüsü	54
4.7.	Aylara göre ortalama rüzgar hızı grafiği	56
4.8.	Aylara göre ölçek parametresinin değişim grafiği	56
4.9.	Aylara göre enerji yoğunluğunun değişim grafiği	57
4.10.	Aylara göre toplam enerji miktarının değişim grafiği	57
4.11.	Aylara göre en sık görülen rüzgar hızı değerleri grafiği	58
4.12.	Aylara göre enerji eldesine maksimum katkı yapan rüzgar hızı değerleri grafiği	58
4.13.a.	Nordex-N43 türbini güç eğrisi grafiği	60
4.13.b.	Enercon-44 türbini güç eğrisi grafiği	60

4.13.c.	Enercon-70 türbini güç eğrisi grafiği	61
4.13.d.	Nordex-N80 türbini güç eğrisi grafiği	61
4.13.e.	Enercon-82 türbini güç eğrisi grafiği	62
4.14.	Enerji analizi ara yüzünün ekran görüntüsü	63
4.15.a.	İlk kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları	65
4.15.b.	İlk kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri.	65
4.16.a.	İkinci kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları	67
4.16.b.	İkinci kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri	68
4.17.a.	Üçüncü kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları	69
4.17.b.	Üçüncü kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri	69
4.18.a.	Dördüncü kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları	70
4.18.b.	Dördüncü kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri	71
4.19.a.	Beşinci kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları	72
4.19.b.	Beşinci kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri.	72
4.20.a.	Türbinlerin enerji miktarlarının karşılaştırılması	74
4.20.b.	Türbinlerin kapasite faktörlerinin karşılaştırılması	74
4.21.	Türbinlere göre toplam maliyet	76
4.22.	Ekonomik analiz ara yüzünün ekran görüntüsü	77
4.23.	Nordex-N43 türbinin amorti yılı ve yıllara göre kar miktarı	83
4.24.	Emisyon analizi ara yüzünün ekran görüntüsü	85
4.25.	Güneş enerjisi yatırım analizi ara yüzünün ekran görüntüsü	88
4.26.	Hibrit sistem için hazırlanan ara yüzün ekran görüntüsü	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>		<u>Sayfa</u>
2.1.	Enerji kaynakları	7
2.2.a.	2011 yılı itibariyle işletmedeki HES'lerin kurulu güçlerine ve bölgelerine göre dağılımı	14
2.2.b.	2011 yılı itibariyle inşaatları devam eden HES'lerin kurulu güçlerine ve bölgelerine göre dağılımı	15
2.3.	Türkiye'nin yıllık güneş potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	17
3.1.	1996-2013 yılları arası kurulu rüzgar gücü kapasitesi	25
3.2.	Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı	28
3.3.	Yeryüzü şekillerine göre pürüzlülük katsayıları	37
3.4.	Hava sıcaklığına bağlı hava yoğunluğu değişimi ve sıcaklık katsayısı değişimi	38
3.5.	Yükseklığe ve basınç farkına bağlı yükseklik katsayısı değişimi	38
3.6.	Rüzgar santrali yatırımın maliyet bileşeni oranları	44
4.1.	Aylara göre günlük/aylık ortalama rüzgar hızı değerleri	51
4.2.	Rayleigh sonuçları-bölgenin aylık potansiyel analiz sonuçları	55
4.3.	Kullanılan türbinlerin bazı teknik özellikleri	59
4.4.	Rüzgar hızı değişim değerleri	64
4.5.	Nordex-N43 türbini örnek enerji üretim hesabı sonuçları	66
4.6.	Nordex-N43 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri	67
4.7.	Enercon-44 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri	68
4.8.	Enercon-70 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri	70

4.9.	Nordex-N80 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri	71
4.10.	Enercon-82 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri	73
4.11.	Türbinlerin enerji üretimi ve kapasite faktörü bakımından karşılaştırılması	73
4.12.	Rüzgar enerji sistemlerinin maliyet bileşenleri	75
4.13.	Nordex-N43 türbini için geri ödeme süresinin hesabı	78
4.14.	Türbinlerin geri ödeme süreleri	79
4.15.a.	Türbinlere göre yapılan öz kaynak yatırım tutarının yıllık geri ödeme miktarı	80
4.15.b.	Türbinlere göre yapılan yurt içi kredi borç tutarının yıllık geri ödeme miktarı	80
4.15.c.	Türbinlere göre yapılan yurt dışı kredi borç tutarının yıllık geri ödeme miktarı	80
4.16.	Türbinlerin ürettiği elektriğin yıllara yayılmış satış fiyatı	81
4.17.	Nordex-N43 türbini için bugünkü değer yöntemi analizi sonuçları	82
4.18.	Türbinlerin amorti süreleri ve toplam kar miktarları	84
4.19.	Emisyon analizi sonuçları	86
4.20.	Bölgenin güneşlenme süresi	87
4.21.	Güneş enerjisi yatırımının yıllık üreteceği enerji miktarı ve gelir hesabı	89
4.22.	Güneş enerjisi yatırımının maliyet analizi sonuçları	90
4.23.	Güneş enerjisi yatırımının emisyon analizi sonuçları	90
4.24.	Hibrit sistemden elde edilen enerji üretim miktarları	93
4.25.	Hibrit sistemlerin ekonomik analiz sonuçları	94

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının devamlılığının sağlanması ve kalitesinin artırılması için, ihtiyaç duyulan enerjinin, sürekli ve kaliteli olması gerekmektedir. Son yıllardaki teknolojik gelişmelerin artması, üretim-tüketim dengesizlikleri, nüfus artışı, enerji kaynaklarının kısıtlı rezervlere sahip olmaları veya verimli kullanılmamaları gibi çeşitli sebeplerden dolayı enerji konusunda çeşitli endişeler mevcuttur. Bunlara ek olarak, iklim değişimleri ve küresel ısınma gibi çeşitli ekolojik bozukluklarının temelinde, enerji eldesinin genelde fosil yakıt kaynaklı olması ve bu kaynaklara bağlı sera gazları (CO₂, CH₄) salınımı bulunmaktadır. Bu sorunlar, ülkeleri enerji konusunda bilinçlendirmeye başlamış, enerji programlarını bu sorunları azaltıcı yönde önlemler alacak şekilde hazırlamaya yönelmişlerdir. Bu önlemlerin başında, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması konusunda insanların bilinçlendirilmesi gelmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada serbest olarak bulunmakta ve fosil yakıt kaynaklarına iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi, günümüzde en çok kullanılan ve giderek yaygınlaşan yenilenebilir enerji çeşitleridir.

Atmosferdeki havanın hareketi sonucu oluşan rüzgar enerjisi, çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Kullanım amacı, ilk zamanlarda sulama, buğday öğütme gibi sebepler iken, 1891 yılında Dane Poul La Cour tarafından, ilk defa elektrik üretmek için, rüzgar türbinleri inşa edilmiştir [1]. Günümüze bakıldığında ise rüzgar enerjisinin kullanımı giderek artmaktadır.

Dünyada rüzgar enerjisi kurulu gücü 2000 yılından beri katlanarak artmaktadır. 2001 yılında dünyadaki kurulu rüzgar gücü 24 GW iken, 2013 yılı itibariyle yaklaşık olarak 300 GW'a ulaşmış durumdadır. Dünyadaki rüzgar endüstrisi yıllardır Çin, ABD, Almanya, İspanya ve Hindistan'ın oluşturduğu beş büyük ülke tarafından yönetilmektedir. Bu ülkeler son yirmi yılda dünya rüzgar kurulu gücünün yaklaşık %73'lük kısmını oluşturmaktadır. Son üç yıldır Doğu Avrupa ve Latin ülkelerinden Estonya, Finlandiya, Ukrayna, Romanya, Brezilya ve Arjantin gibi ülkeler kurulu

güç büyüme oranı açısından en hızlı gelişen ülkeler olup, Afrika ülkeleri ise en düşük büyüme oranına sahiptir [2].

Ülkemizde rüzgar enerjisi ile ilgili ilk çalışmalar 1980'li yıllarda Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından rüzgar enerji potansiyelini değerlendirme amaçlı olup, 1990'lı yıllarda Yap-İşlet-Devret modeli kapsamında ilk santraller kurulmuştur. 2001 yılında 'Elektrik Piyasası Kanunu' ile ilk defa yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsedilmiş, 2005 yılındaki 'Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu' ile rüzgar enerjisine gereken önem verilmeye başlanmıştır. 2002 yılındaki yok denilebilecek düzeyde olan rüzgar kurulu gücü, 2012 yılında 2.140 MW'a ulaşmıştır. Bu artışta, 2011 yılında yürürlüğe giren, Elektrik Piyasasında 'Lisansız Elektrik Üretimine İlişkin' yönetmelik ile devreye alınan lisansız rüzgar türbinlerinin de payı bulunmaktadır. Dünya Rüzgar Enerji Konseyi'ne göre, Türkiye'nin kurulu rüzgar gücü 2013 yılında 646 MW artarak 2.958 MW'a ulaşmış olup, bu verilere göre kurulu gücümüz dünya ortalamasının iki katından daha fazla artış göstererek, 2013 yılında Avrupa ülkeleri arasında 7. ve dünya sıralamasında ise 13. sıraya yerleşmiş durumdadır [3-4].

Diğer bir önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi, tüm doğal sistemlerin enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi bol ve tükenmeyecek olması, çevreye kirletici etkilerin olmaması, çok çeşitli alanlarda kullanılması gibi çeşitli avantajlara sahipken, güneş enerjisi sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerin verimlerinin düşük olması sebebiyle, güneş enerjisi potansiyeli istenen ölçüde kullanılamamaktadır.

Dünya genelinde güneş enerjisinin kullanımına bakıldığında, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, İspanya ve Fransa ilk sıralardaki ülkeler olup, bu konuda ciddi yatırımlara sahiplerdir. Özellikle güneş enerjisi bakımından düşük potansiyele sahip olan Almanya'nın yatırım ve kullanım açısından ön sıralarda olması ilginç bir tablo olarak görülmektedir [5].

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça elverişlidir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne göre, ülkemizin güneşlenme süresi 2640 saat ve toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²'dir [5]. Buna rağmen ülkemizde güneş enerjisi yatırım miktarına bakıldığında, yüksek potansiyelin kullanılmadığı görülmektedir. Ülkemizde bu

konuyla ilgili asıl problem, güneş enerji sistemlerin kurulması ve montajıyla ilgili yasaların henüz yeterli olmaması, sistemde kullanılacak çeşitli malzemelerin geliştirilmesiyle alakalı çalışmaların az sayıda olmasından kaynaklanmaktadır.

Güneş enerjisinde maliyet ve verim sorunundaki olumlu gelişmelerle, rüzgar enerjisinde yapılan teknik incelemeler ve sağlanan teşvikler sonucunda, rüzgar ve güneş enerjisinin, elektrik üretiminde ciddi paya sahip olacağı tahmin edilmektedir.

1.1. Literatür Taraması

2007 yılında M. Kurban, F. O. Hocoğlu ve Y.Kantar çalışmalarında, Anadolu Üniversitesi'ni bilimsel araştırma projesi için kurulan rüzgar ölçüm istasyonunun 15 sn. aralıklarla dört aylık periyotta ölçülen rüzgar hızı verilerine, Weibull ve Rayleigh istatistiksel metotlarını uygulayarak, bölgenin rüzgar enerji potansiyelini analiz etmişlerdir [6].

2008 yılında, A.S. Ahmet Shata ve R. Hanitsch çalışmalarında, Mısır'da rüzgar potansiyeli iyi olan Hurghada bölgesi için, 23 yıl boyunca kaydedilmiş rüzgar hızı verilerini kullanarak WAsP (The Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programını kullanarak, rüzgar hızı frekans dağılımını çıkartmışlardır. Daha sonra 10 farklı rüzgar türbini için, nominal rüzgar hızı ile kapasite faktörünün değişimini incelemişler ve kapasite faktörü arttıkça elektrik enerjisi maliyetinin düştüğünü bulmuşlardır [7].

2009 yılında, A.Uçar ve F. Balo çalışmalarında, Türkiye'deki altı farklı istasyon noktası için, dört farklı rüzgar türbini kullanarak yıllık enerji üretimi ve kapasite faktörlerini hesaplamış ve buldukları sonuçları karşılaştırmışlardır [8].

2010 yılında, Y. Yalçın, tez çalışmasında İstanbul ili Terkos bölgesi için, WAsP (The Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programını kullanarak, ilk olarak bölgeye ait rüzgar hızını ve güç yoğunluğu saptamış, daha sonra Vestas-V80 türbinleri kullanarak, üç farklı senaryo için maliyet analizi yaparak sonuçları değerlendirmiştir [9].

2010 yılında, B. Başaran yaptığı tez çalışmasında, Sakarya Üniversitesi kampüs alanının elektrik ihtiyacını karşılamak maksadıyla kurulacak olan 6 MW'lık kurulu güçteki rüzgar enerji santralının kurulması durumunda kampusun elektrik ihtiyacının yaklaşık %40'ını bu santralden sağlayacağını, geri kalan üretimin piyasaya satılması durumunda yatırımın 10-11 yılda kendini amorti edeceğini tespit etmiştir [10].

2011 yılında, M.R.Islam, R.Saidur ve N.A.Rahim çalışmalarında Malezya'da Kudat ve Labuan bölgelerinin rüzgar enerjisi potansiyelini tahmin etmek için Weibull istatistiksel metodunu kullanmış, çalışmalarının sonucunda bölgenin rüzgar potansiyelinin büyük ölçekli rüzgar enerjisi üretimi için uygun olmadığını ve küçük ölçekli rüzgar enerjisi üretimi için yaklaşık 100 m kule yüksekliğine sahip türbin kullanılması gerektiğini ortaya koymuşlardır [11].

2011 yılında, A.W.Dahmouni, M. B. Salah, F. Askri, C.Kerkeni, S.B. Nasraallah yaptıkları çalışmada, Borj-Cedria bölgesi için iki meteorolojik istasyonundan alınan verileri kullanarak rüzgar enerjisi potansiyelini, yıllık ve mevsimsel güç yoğunluklarını tahmin etmişler ve net enerji çıkışını hesaplamada kullanmışlardır. Daha sonra bölge koşulları göz önünde bulundurularak, 7 tane 1,5 MW'lık rüzgar türbininin kullanılması durumundaki sonuçları ve enerji kayıplarını hesaplayan simülasyon programı hazırlayarak bölge için en iyi koşulu bulmaya çalışmışlardır [12].

2011 yılında, M.D. Alam Mondal ve Islam A.K.M. çalışmalarında, Bangladesh bölgesinin güneş ışınımı verilerini kullanarak HOMER ve RETScreen programları aracılığıyla, bölgeye 1MW'lık şebekeye bağlı güneş paneli kurulduğu takdirde, enerji üretimi, geri ödeme süresi, bugünkü değer gibi çeşitli analizleri yapmışlar ve bu yatırımın bölge için uygun olduğunu bulmuşlardır [13].

2012 yılında, Bayındır ve arkadaşları Matlab/ Gui programını kullanarak rüzgar türbinin çeşitli analizlerini yapmışlardır. Bu programla analizlerin daha kolay yapıldığını tespit etmişlerdir. Analiz sonuçlarını karşılaştırarak en uygun türbini seçmeye çalışmışlardır [14].

2012 yılında, İ. Alishar yaptığı çalışmada, rüzgar enerjisi yöntemlerinden önemli olanlarını tanıtmış, çalışmanın bir parçası olarak Matlab tabanlı rüzgar hızı, enerji

modelleme ve geri dönüş süresi üzerine bir yazılım geliştirmiştir. Gün içi piyasasında faaliyet gösterecek bir rüzgar enerji santrali işletmesi için basit bir süreklilik modeli geliştirmiştir [15].

2012 yılında, G. Bekele ve G. Tadesse yaptıkları çalışmalarında, Etiyopya'da altı farklı bölge için, küçük ölçekli hidro, güneş ve rüzgar hibrit sistemleri için Homer paket programını kullanarak enerji optimizasyonu ve duyarlılık analizi yapmışlardır [16].

2013 yılında, A. Bektaş yaptığı çalışmada, farklı rüzgar bölgeleri için belli bölgedeki konutların elektrik ihtiyacının rüzgar enerjisinden sağlanabileceğini tespit etmiştir [17].

2013 yılında B. Taşkın yaptığı çalışmada, Niğde ili için RETScreen programı kullanarak bölgeye kurulabilecek rüzgar enerji santralinin fiziksel ve ekonomik analizini yapmışlardır [18].

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, rüzgar ve güneş enerjisinin fizibilite analizleri üzerine çalışma yapılmıştır. Analizlerde, piyasadaki paket programların, sabit ekipmanlarla kullanılması, bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi çeşitli akıllı sistemlerle kullanılmaması gibi sebeplerden dolayı paket programlar kullanılmamış, Matlab programında ara yüzler hazırlanmıştır. Ara yüzler, çalışmada kullanılan bölge dışında farklı bölgeler için kullanılabilir, değişken parametrelerle tekrarlanabilir şekilde hazırlanmıştır. Çalışmada yapılan analizler üç kısımda incelenebilir.

Çalışmanın ilk bölümde, Amasra bölgesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 2012-2013 dönemine ait saatlik rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Fizibilite analizlerine uygun olarak, ilk olarak Rayleigh istatistiksel metodu yardımıyla bölgenin aylık ve yıllık rüzgar enerjisi potansiyel analizi yapılmıştır. Bölgenin rüzgar enerjisi yatırımı için uygun potansiyele sahip olduğu tespit edildikten sonra, anma güçleri 600 kW-3000kW arasında değişen beş farklı türbinle enerji analizleri yapılmıştır. Mevsimsel ve yıllık olarak enerji üretim miktarları, kapasite faktörleri

hesaplanmıştır. Daha sonra rüzgar enerjisi yatırımcılarından alınan güncel rakamlarla türbinler için çeşitli yöntemlerle ekonomik analiz yapılmıştır. Yatırımın geri ödeme süresi, yıllara yayılmış elektrik satış fiyatı, borç ödeme miktarları, yatırımın kendini amorti ettikten sonra yıllık kar miktarları hesaplanmıştır. Son olarak yatırımın emisyon analizi yapılmış, yıllık sera gazı salınımlarının azalma miktarları ve bu miktarların diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre türbin karşılaştırılması yapılarak, bölge için en uygun türbin belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümde, Amasra bölgesinin güneşlenme süresi, ortalama sıcaklık gibi bölgeye ait özellikler kullanılarak, bölgeye 100 kWp güce sahip bir güneş panel sistemi kurulduğunda, güneş panellerinden elde edilebilecek enerji üretim miktarı, üretilen enerjinin geliri hesaplanmıştır. Daha sonra yatırımın ekonomik analizi için güncel rakamlar kullanılarak, yatırımın amorti süresi, yıllara yayılmış elektrik enerjisi satış fiyatı ve yatırımın ömrü boyunca elde edeceği kar miktarı hesaplanmıştır. Son olarak ise, emisyon analizi yapılmış, net sera gazı salınımının azalma miktarı ve bu miktara eş değer piyasa fiyatı, orman arazi miktarı, geri kazanılan atık miktarı ve tüketilmeyen benzin miktarı bulunmuştur.

Çalışmanın üçüncü kısmında, çalışmanın ilk iki kısmındaki veriler kullanılarak, çeşitli güçlerde rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi sistemlerinden oluşan, hibrit sistemlerin bölgeye kurulması takdirde sistemlerin yıllık üreteceği enerji miktarı bulunmuş ve üretilen enerjinin geliri hesaplanmış, üretilen elektriğin bölgenin yaklaşık olarak ne kadar elektrik ihtiyacını karşıladığı araştırılmıştır. Enerji analizi yapılan sistemlerin, geri ödeme süresi, yıllara yayılmış elektrik enerjisi satış fiyatı ve kar miktarı bulunarak yatırımın ekonomik karlılığı ve yapılabilirliği hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Son bölümde ise, yapılan çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir. Bölge için en uygun, yatırımcı için ise en kârlı yatırımın hangisi olduğu araştırılmıştır.

Bütün bu çalışmaların temel amacı, ileride her çeşit ekipmanın ve parametrenin kolayca eklenip çıkarılabileceği ve herhangi bir bölgeye ait rüzgar,güneş veya hibrit sistem kurulumunda hangisinin fizibil olduğunu bulabilen bir program oluşturup kullanıcılara sunmak olmuştur.

2. ENERJİ VE ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji, insan hayatının önemli ve vazgeçilmez tüketim maddelerinden biridir. Enerji elde edilirken amaç, enerjinin güvenli, kaliteli ve sürekli kullanılabilmesidir. Bu nedenle insanlar geçmişten günümüze çeşitli enerji kaynakları arayışında bulunmuşlardır.

Günümüzde enerji kaynağı olarak özellikle fosil yakıtların kullanımı söz konusudur. Fosil yakıtların gelecek için yeterli düzeyde olmayışı, nüfus artışı, teknolojinin gelişmesi gibi sebeplerden dolayı enerji üretiminin sürekli artışı, büyük çoğunluğu fosil yakıt kullanımı ile açığa çıkan ekolojik sorunlarla beraber artan çevre bilinci gibi sebeplerden dolayı ülkeler enerji modellerini yeniden değerlendirmeye başlamışlardır ve fosil yakıtlı kaynaklar yerine tükenmez, temiz ve güvenilir olan alternatif enerji kaynaklarına yönelmişlerdir.

Enerji kaynakları birincil enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki ana bölümde incelenebilir. Çizelge 2.1.'de birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli alt bölümleri görülmektedir.

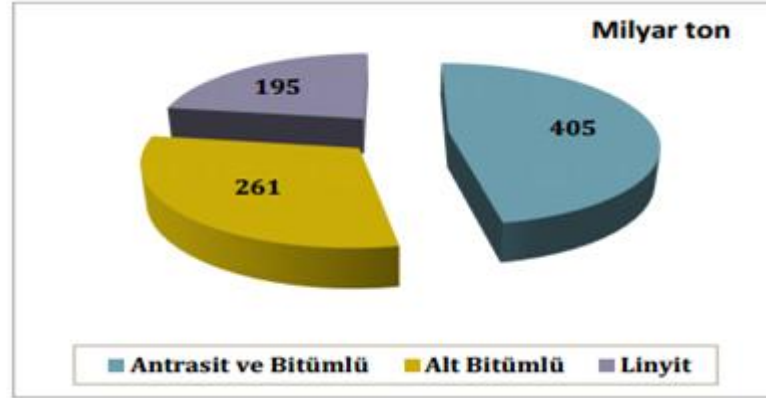
Çizelge 2.1. Enerji kaynakları

Birincil Enerji Kaynakları	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Kömür	Hidrolik Enerji
Petrol	Güneş Enerjisi
Doğal gaz	Rüzgar Enerjisi
Nükleer Enerji	Jeotermal Enerji
Kaya Gazı	Biyoyakıt Enerjisi

2.1. Birincil Enerji Kaynakları

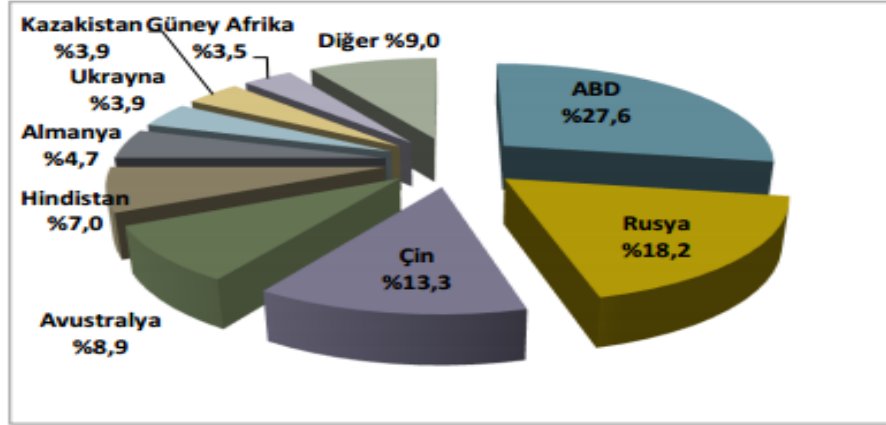
2.1.1. Kömür

Kömür, yanabilen sedimanter organik kayadır. Başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin birleşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabakaların arasında ısı, basınç ve mikrobiyotik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Diğer enerji kaynakları gibi sadece belirli bölgelerde değil, dünyanın bir çok yerinde geniş rezervlere sahip olması, kullanımı, depolanması ve taşınması açısından en emniyetli fosil yakıt olması sebebiyle yaygın tüketim alanına sahiptir. Bitümlü kömürler, antrasit, alt bitümlü kömürler ve linyit olmak üzere çeşitli şekilleri vardır. Dünya Enerji Konseyi'nin raporlarına göre, dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 861 milyar ton olup, bu rezervin 405 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 261 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 195 milyar tonu linyit kategorisindedir [19].



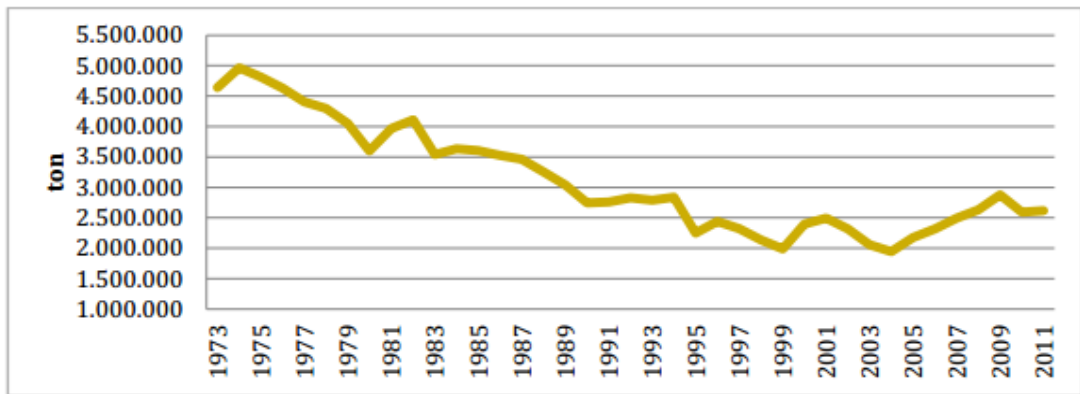
Şekil 2.1. Dünya kömür rezervlerinin kömür cinslerine göre dağılımı

Dünya kömür rezervlerinin ülkelere göre payı Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Toplam rezervin %27.6'sına sahip olan Amerika, %18.2'sine sahip olan Rusya ve %13.3'üne sahip olan Çin, en çok rezerve sahip olan ilk üç ülkedir [20].

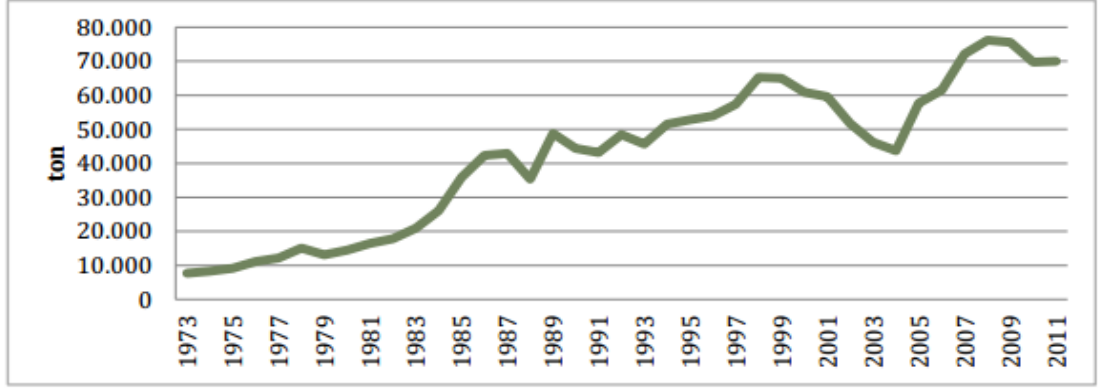


Şekil 2.2. Kömür rezervlerinin ülkelere göre payı

Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğiyle aynı, taş kömürü açısından daha az düzeydedir. Şekil 2.3.'te Türkiye taş kömürünün 1973-2011 yılları arasındaki üretim değerleri, Şekil 2.4.'de ise linyit üretim değerleri verilmiştir. Şekil 2.3.'den görüleceği üzere 1974 yılında yaklaşık 5 milyon ton olan üretimin 2011 yılına kadar genelde düşüş eğiliminde olduğu ve 2004 yılında en düşük üretimin gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 2.4. incelendiğinde ise linyit üretiminin 8.4 milyon tondan yaklaşık 75 milyon tona çıktığı görülmektedir [20].



Şekil 2.3. 1974-2011 yılları arası Türkiye taş kömürü üretimi



Şekil 2.4. 1974-2011 yılları arası Türkiye linyit üretimi

2013 yılı itibariyle, ülkemizde 515 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1.3 milyar ton taş kömürü ve 10.8 milyar tonu görünür olmak üzere 11.8 milyar ton linyit rezerv bulunmaktadır. 2013 yılsonu itibariyle ülkemizin kömüre dayalı santral kurulu gücü 12.563 MW olup, bu değer toplam kurulu gücümüzün yaklaşık %20'sidir [19].

Bu rakamlara bakıldığında, günümüzde çevre sorunları ile ilgili olarak görünen en büyük problemlerden birisi fosil yakıtların kullanımınıdır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın verilerine göre fosil yakıt kaynaklı dünya CO₂ emisyonu son 30 yılda %109.1 oranında artarak 2008 yılında 29.500 milyon ton düzeyine çıkmıştır. Kömür kaynaklı CO₂ emisyonu yaklaşık 12.600 milyon ton olup, toplam CO₂ emisyonu içerisindeki payı %43 civarındadır [20].

2.1.2. Petrol

Petrol, çoğunlukla hidrojen ve karbondan oluşan, içerisinde az miktarda nitrojen, oksijen ve kükürt içeren sıvı yakıttır. Dünyada birincil enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alan petrol, ülkeler için büyük stratejik öneme sahiptir [21].

2012 yılı itibariyle, dünya ispatlanmış petrol rezervi 1637 milyon varil olup bu rakamla dünya petrol ömrü yaklaşık 45 yıldır. Bu rezerv miktarı, dünya enerji

talebinin yaklaşık %33'ünü karşılayabilecektir. Petrol rezervinin, yaklaşık %55'i Orta Doğu Ülkelerinde, yaklaşık %9'u Rusya ve Bağımsız Devletler Topluluğu'nda ve yaklaşık %10'u Afrika'da bulunmaktadır [22].

Ham petrolün fiyatlarına bakıldığında ise, uluslararası piyasalarda 2011 yılında varil başına 95\$ civarında iken 2011 yılının Nisan ayında Arap Baharının etkisiyle 126 \$'a ulaşmış ve 2011 yılı Aralık ayı itibariyle 109\$ civarında seyretmiştir [19]. Günümüzde ise yaklaşık 104\$ civarındadır [23].

Türkiye'de 2012 yılında toplam 2.3 milyon ton petrol üretmiş olup, günümüze kadar toplam 140.2 milyon ton petrol üretilmiştir. 2012 yılı yurtiçi üretilebilir petrol rezervi 43.2 milyon ton civarındadır. Türkiye'nin petrol tüketimine bakıldığında ise toplam enerji tüketimi içinde petrolün payının yaklaşık %28 olduğu bilinmektedir [21-22].

Türkiye'nin sahip olduğu en eski boru hattı Irak-Türkiye petrol boru hattıdır. Hattın taşıdığı petrol miktarı 1999 yılında 305 milyon varil iken, 2009 yılında bu rakam 165 milyon varil olmuştur. Petrol taşıyan diğer boru hattımız Bakü-Tiflis-Ceyhan Boru petrol hattının günlük petrol taşıma kapasitesi 2009 yılı itibari ile 1.2 milyon varildir [21-22].

2.1.3. Doğal gaz

Doğal gaz, milyonlarca yıl süresince okyanusların dibinde hayvansal ve bitkisel atıkların taş ve toprak tabakaları ile örtülerek yüksek basınç altında hidrokarbonlara dönüşmesi sonucuyla oluşmaktadır. Renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır [24].

Dünya toplam konvansiyonel üretilebilir doğal gaz rezervleri, 2011 yılı sonu itibari ile 208.4 trilyon metre küp olarak verilmektedir ve bu rezerv; ömrü yaklaşık 64 yıldır. Bu rezervin yaklaşık %41'i Ortadoğu Ülkeleri'nde, %33'ü Rusya ve Bağımsız Devletler Topluluğu Ülkeleri'nde ve % 17'si ise Afrika/Asya/Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır [19].

Ülkemizde doğal gaz üretiminin çok az olması sebebiyle doğal gaz tüketiminin tamamına yakını ithalatla karşılanmaktadır. Türkiye, doğal gazı, kendisine komşu olan Rusya, İran, Azerbaycan ve Türkmenistan'dan doğal gaz olarak boru hatları ile ithal etmekte, Cezayir ve Nijerya'dan LNG olarak getirmektedir [19]. Doğal gaz Türkiye tüketimine bakıldığında, sürekli artan bir eğilimde olduğu görülmektedir. 2013 yılı Ağustos ayı sonu itibariyle doğal gaz tüketim miktarı 3.167.843 bin m³'tür. Bu rakam, tüketim içerisindeki diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, en yüksek orana sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı'na göre doğal gaz tüketiminin 2020 yılına kadar 59.3 milyar m³'e çıkması beklenmektedir [19].

2.1.4. Nükleer Enerji

Ağır radyoaktif atomların, bir nötronun çarpması ile daha küçük atomlara bölünmesine fisyon denir. Hafif radyoaktif atomların birleşerek ağır atomları oluşturmalarına ise füzyon denilmektedir. Fisyon ve füzyon sonucu büyük miktarda enerji açığa çıkar ki, bu enerjiye nükleer enerji denilmektedir. Nükleer reaktörde, fisyon reaksiyonu ile elde edilen enerji elektrik enerjisine çevrilmektedir [19].

İlk nükleer enerji üretimine 1940'lı yıllarda başlanılmıştır. Nükleer enerji terimi ilk kez, II. Dünya Savaşı sırasında Japonya'nın Hiroşima ve Nagazaki kentlerine atılan atom bombalarıyla duyulmuştur [19].

Nükleer enerjinin en önemli özelliği, yakıt olarak kullanılan Uranyum gibi atomların, diğer yakıtlara göre çok daha fazla enerji taşımasıdır. Örneğin 1 gram Uranyum 235, 2.5 ton kömüre eşit olsa dahi, insan sağlığı ve çevre yönünden risk taşıdığı için geçmişten günümüze tartışmalara neden olan bir enerji kaynağıdır [19].

Günümüzde dünya elektrik ihtiyacının %13'ü, 437 adet reaktörden karşılanmaktadır. Reaktör sayısında ABD ve Fransa önde gelen ülkelerdir [19].

Ülkemizde nükleer enerjiyle ilgili ilk çalışmalar, 1962 yılında Küçük Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nin açılmasıyla başlamıştır. 1970-1980'li yıllarda çeşitli çalışmalar olsa da, özellikle 1983 yılındaki Çernobil kazasının etkisi

sonucu çalışmalar askıya alınmıştır. 1992 yılında ise tekrar çalışmalar başlamış, Mersin-Akkuyu Nükleer Santral Projesi yatırım programına alınmıştır. 2009 yılında Rusya ile İşbirliği Ortak Beyannamesi imzalanmış ve santral inşaatına 2015 yılında başlanması kararlaştırılmıştır. İlk ünitenin 2019 yılında, diğer ünitelerin de birer yıl arayla devreye alınması düşünülmektedir. 2006 yılında ise, ikinci nükleer santral yeri olarak Sinop-İnceburun seçildiği belirtilmiş ve işbirliği yapılacak ülke olarak Japonya seçilmiştir [19].

2.1.5. Kaya Gazı

Kaya adı verilen formasyonların içine sıkışmış, hidrolik kırma yöntemleri ile yer yüzeyine taşınabilen doğal gaza, kaya gazı denilmektedir. Kaya gazının, petrol ve doğal gazdan farkı, petrol ve doğal gaz ana kayayı terk ederek farklı kayaçlar içine yerleşirken kaya gazı ana kayayla beraber kalmaktadır. Çin, Amerika, Meksika, Arjantin ve Kanada gibi ülkeler en yüksek kaya gazı rezervine sahip ülkelerdir [19]. Ülkemizde ise son yayınlanan bilgilere göre kaya gazı rezervi 4.6 trilyon m³ olarak tespit edilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, rezervlerin olduğu Trakya ve Güneydoğu Anadolu havzasında kaya gazı miktarı 680 milyar m³ olarak verilmiştir, ki bu miktar yaklaşık 14-15 yıllık tüketime karşılık gelmektedir [19].

2.2. Yenilenebilir Kaynaklar

2.2.1. Hidrolik Enerji

Hidroelektrik santrallerde, belirli bir potansiyele sahip akan suyun gücü, ilk olarak mekanik enerjiye daha sonra türbinler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşmektedir. Üretilen elektik enerjisi hemen kullanılabilmekte ya da bataryalarla depo edilmektedir. Hidroelektrik santraller, yenilenebilir bir kaynak olan sudan enerji elde etmeleri, sera gazı emisyonu yaratmaması, yapımının yerel olması, teknik ömrünün uzun olması, yakıt giderin olmaması ve işletme giderlerinin düşük olması sebebiyle çok tercih edilmektedir [25].

Türkiye'nin hidroelektrik santral çalışmaları, ülkemizin kuruluş tarihine kadar gitmektedir. 1923 yılında ilk barajımız Ankara-Çubuk Barajı-1 kurulmuştur. 1932 yılında, Türkiye'nin, diğer kaynaklar gibi su potansiyelini de belirlemek amacıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) kurulmuş, bundan sonra ise Seyhan, Sarıyer, Hirfanlı, Kesikköprü, Kemer ve Demirköprü barajları kurulmuştur. 1954 yılında Devlet Su İşleri (DSİ)'nin kurulmasıyla birlikte kurulu hidroelektrik gücümüz 412 MW'a ulaşmıştır ve o dönem toplam enerji üretimimizin yaklaşık %44 karşılanmıştır. 1950-1969 dönemi, hidroelektrik santrallerin DSİ, İller Bankası, Etibank ve Sümer Bank tarafından inşa edildiği süreç olup, 1970 döneminde Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) kurulmasıyla DSİ dışındaki resmi kuruluşların santral inşa etme dönemi bitmiştir. 1984'de çıkartılan Yap-İşlet-Devret Modeli ile çeşitli HES'ler kurulmuştur. 2001 yılındaki 'Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK)'nun kurulmasıyla, bazı santrallere el konulmuştur. 2003 yılında yürürlüğe giren 'Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Yönetmelik' ile birlikte, özel sektöre, yapacağı HES'lerden elektrik üretip satabilme serbestliği verilmiştir. Hidroelektrik enerji üretimindeki son süreç olan mini ve mikro HES'lerin önünü açan yönetmelik ise 2011 yılında yürürlüğe giren 'Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliktir'. 2011 yılındaki lisanslı HES'lerin ve inşa halindeki HES'lerin bölgelere ve kurulu güçlere göre sayıları Çizelge 2.2.a. ve 2.2.b.'de verilmiştir [26].

Çizelge 2.2.a. 2011 yılı itibariyle işletmedeki HES'lerin kurulu güçlerine ve bölgelerine göre dağılımı

Bölge	<10 MW	10-50 MW	>50MW	Toplam
Akdeniz	30	16	10	56
Karadeniz	21	16	15	52
Doğu Anadolu	22	10	2	34
İç Anadolu	8	10	7	25
Güney Doğu Anadolu	7	6	7	20
Ege	8	4	2	14
Marmara	11	0	0	11

Çizelge 2.2.b. 2011 yılı itibariyle inşaatları devam eden HES'lerin kurulu güçlerine ve bölgelerine göre dağılımı

Bölge	<10 MW	10-50 MW	>50MW	Toplam
Karadeniz	101	99	19	219
Akdeniz	55	32	18	105
Doğu Anadolu	34	45	17	96
İç Anadolu	26	16	4	46
Güney Doğu Anadolu	7	9	5	21
Ege	17	3	3	23
Marmara	5	7	3	15

Türkiye'nin brüt teorik hidrolik enerji potansiyeli 463 TWh/yıl, teknik yapılabilir hidrolik enerji potansiyeli 216 TWh/yıl ve ekonomik yapılabilir hidrolik enerji potansiyeli 140 TWh/yıl olarak belirlenmiştir. 2011 yılı itibariyle en çok HES lisansı alan iller arasında Trabzon, Giresun, Antalya, Artvin ve Kahramanmaraş yer almaktadır [26].

2.2.2. Güneş Enerjisi

Güneş, doğal sistemlerin büyük bir bölümünün enerji kaynağıdır. Çapı yaklaşık 1.4 milyon km olup, dünyaya yaklaşık 151.106 milyon km uzaktadır. İçinde, yoğun gazlar bulunup, sürekli füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Güneş enerjisi de hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan enerjidir [27].

Güneşten açığa çıkan enerjinin çok küçük bir kısmı yer yüzeyine ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.104 kW iken, yer yüzeyinde bu değer 1.395 kW'tır. Bu kadar düşmesinin sebepleri arasında, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların olmasının etkisi büyüktür. Güneş enerjisinin atmosfer dışına ışıma değeri 1367 W/m^2 'dir ve bu değer güneş sabiti olarak bilinmektedir [27].

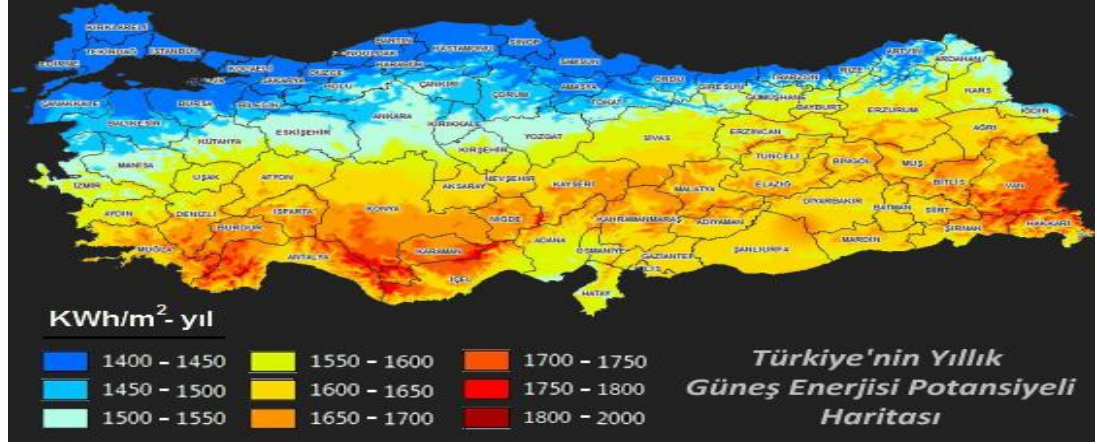
Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanım, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir. Soğutma ise yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde verimli olmaktadır. [27-28].

Güneş enerjisi bol ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, duman, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi çevreyi kirletici etkilerinin olmaması, her türlü alanda (ısıtma, soğutma, deniz feneri aydınlatması, hesap makineleri veya çakmak gibi aletlerin enerji ihtiyaçlarının sağlanması v.s) faydalanma imkânının olması, ekonomik etkilerden etkilenmemesi gibi bir çok sebepten dolayı diğer enerji kaynaklarına göre avantajlı durumdadır. Diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, birim yüzeye düşen güneş ışınımının düşük olması sebebiyle büyük yüzeylere ihtiyaç duyulması, sürekli olmaması ve depolama imkânlarının kısıtlı olması, enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında ve gece saatlerinde güneş ışınımının olmaması ve ilk yatırım maliyetinin fazla oluşu güneş enerjisinin dezavantajlarıdır [27-28].

Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlere güneş pilleri veya fotovoltaik piller denilmektedir. Klasik fotovoltaik hücreleri, genelde yarı iletken malzeme olan silikondan yapılmıştır ve bu malzeme fotovoltaik etkiye göre üzerine gelen güneş ışınını soğurarak onları elektrona dönüştürmektedir. Güneş pillerinin en büyük dezavantajı, verimlerinin düşük olmasıdır. Güneş pillerinin verimleri yaklaşık %5 ile %25 arasındadır. Modüler yapıda olmalarından dolayı birçok güneş pili bir arada seri veya paralel bağlanarak elde edilen elektrik enerjisi artırılabilir. Güneş pilleri küçük uygulamalarda (çatı, tarımsal faaliyetler v.s) kullanıldığı gibi, şehir şebekesini besleyen büyük sistemlerde de kullanılmaktadır. Dünyada özellikle Almanya, İspanya, Çin, İtalya fotovoltaik teknolojisinde önde gelen ülkelerdir [27].

Ülkemiz 36°- 42° kuzey enlemleri ve 26°- 45° doğu meridyenin bulunduğu güneş bandında bulunması sebebiyle güneş enerjisi açısından fazlasıyla elverişli bir konuma sahiptir. Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nde mevcut olan 1966 - 1982 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti değerlerini kullanılarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan çalışma sonucuna göre Türkiye' nin ortalama

günlük güneşlenme süresinin toplam 7.2 saat ve ışınım şiddetinin günlük toplam 3.6 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. Bu durumu gösteren Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli haritası Şekil 2.5.'de verilmiştir [27].



Şekil 2.5. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası

Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 2.3.'de gösterilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi en çok güneş alan bölgeler Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgesi iken, en az güneş alan Karadeniz bölgesidir. Güneş enerjisi için en verimli dönemlerin haziran ve temmuz ayları, en elverişsiz dönemlerin ise aralık ve ocak ayları olduğu bilinmektedir [28].

Çizelge 2.3. Türkiye'nin yıllık güneş potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi KWh/m ² - yıl	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Yapılan son çalışmalara göre çizelgedeki bu değerlerin Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinden yaklaşık %20-%25 oranında daha az olduğu görülmüştür ve bu sebeple Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve Devlet Meteoroloji İstasyonu gerçek veriler için, 1992 yılından itibaren ölçümler alınmaya başlanmıştır ve 57 ile ait değerler kitapçık halinde basılmaktadır [28].

2.2.3. Rüzgar Enerjisi

Temiz, güvenilir ve hızla büyüyen yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar ve rüzgar enerjisiyle ilgili bütün bilgiler 3. bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer kürenin derinliklerinde, yoğun olarak yer kürenin aktif kırık bölgelerinde, volkanik ve magmatik bölümlerin yakınında oluşan, ısıl enerjinin yer kürenin kabuk bölgesine iletilmesi, taşınması ve kullanılması olarak ifade edilir. Jeotermal enerji, elektrik üretimi, mekansal ve bölgesel ısıtma sistemleri, sera ısıtma ve endüstride ısıl uygulamalar, kimyasal madde üretimi, kurutmacılık, kaplıca sistemleri gibi bir çok alanda kullanılmaktadır [29].

Dünyanın jeotermal enerji kurulu gücü 2013 yılı içinde 11.766 MW'dır. Dünyada jeotermal enerjiyi, elektrik üretmek için kullanan ülkeler içinde ilk sıralar ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika, İtalya şeklinde olmuştur. Jeotermal enerjiyi ısı ve kaplıca şeklinde kullanan ülkelerde ise Çin, Japonya, ABD, İzlanda ve Türkiye ilk sıralarda yer almaktadır [30].

Ülkemiz Alp-Himalaya kuşağında bulunması sebebiyle jeotermal kaynak bakımından zengindir ve dünyadaki ilk yedi ülke arasındadır. Teorik olarak jeotermal potansiyelimiz, 31.500 MW'dır ki bu değer, şu andaki dünyanın kurulu jeotermal gücünün yaklaşık 3 katı kadardır. Potansiyelimizin büyük çoğunluğu Batı Anadolu'da ve Orta Anadolu bölgelerinde bulunmaktadır. Bu potansiyelin %94'

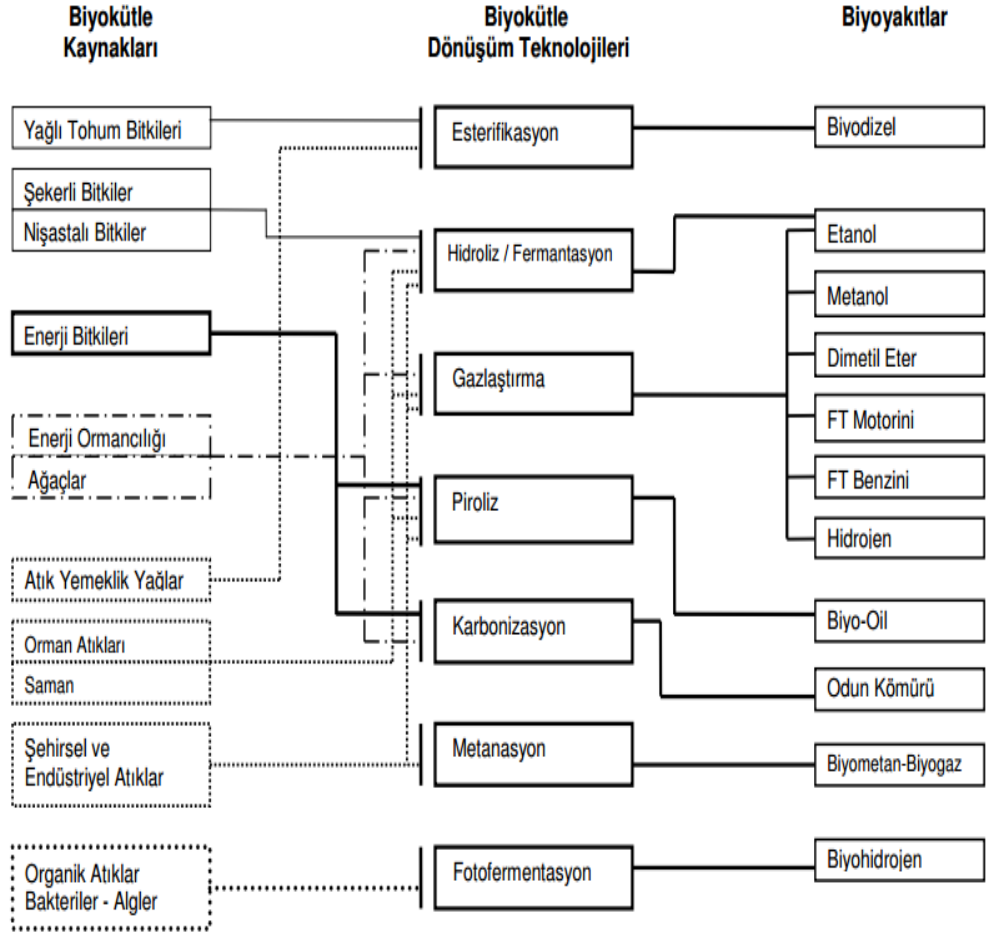
düşük ve orta sıcaklı olup, ancak geriye kalan kısmı elektrik üretimi için uygundur [30].

Ülkemizdeki jeotermal enerjiden elektrik enerjisi olarak faydalanmak için uygun yüksek sıcaklıklı bölgeler Denizli-Kızıldere (242°C), Aydın-Germencik (232°C), Manisa-Alaşehir, Kavaklıdere (213°C), Aydın-Kuyucak, Pamukören (188°C) çevreleridir. Bu bölgelerde yaklaşık 13 adet jeotermal elektrik santralleri bulunmaktadır [19].

2.2.5. Biyoyakıt Enerjisi

Biyoyakıtlar katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırabilen, ulaşım araçlarında, doğal gazın kullanıldığı her alanda (ısınma, elektrik, pişirme v.s) kullanabilen hammaddeleri bitkisel veya hayvansal kökenli ürünlerdir. İnsanoğlunun ilk biyoyakıt kullanması, Mısırlılar tarafından aydınlatma maksatlı kullanılan hint tohumu yağıdır. Günümüzde sıvı biyoyakıtlar biyoetanol ve biyodizeldir. Özellikle biyodizel, akaryakıt sektöründe motorinle beraber veya motorin yerine kullanılmaya başlanmıştır. Biyogaz, doğalgazın kullanıldığı her alanda kullanılabilir. Katı biyokütller (biyobriketler, biyopelletler) kömür ve odun yerine kullanılmaktadır. Biyoyakıt isim olarak yeni kullanılsa dahi, kullanımı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Yer fıstığı yağı, hint yağı, biyodizel uzun süredir insanlar tarafından kullanılmaktadır. Biyoetanol, en çok üretilen biyoyakıt olup, en çok üreten ülkeler arasında ABD, İtalya, Fransa ilk sıralarda yer almaktadır [19-31].

Şekil 2.6.'da biyoyakıt hammaddeleri, bu maddelerin geçirdiği işlemler ve son kısımda biyoyakıt çeşitleri görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, biyoyakıt hammaddeleri çeşitli bitkiler, insan, hayvan ve sanayi atıkları gibi çok çeşitlidir. Hammadde çeşitlerine göre geçirdikleri kimyasal işlemler de çeşitlilik göstermektedir [19-31].



Şekil 2.6. Biyoyakıt teknolojisi

Ülkemiz için biyoyakıt yeni bir enerji kaynağı olarak düşünebilir. İlk çalışmalar 2000'li yıllarda başlamıştır. Günümüzde ise 56'sı lisanslı yaklaşık 200'den fazla biyodizel tesisi kurulmuş ancak hammadde sıkıntısından çoğu tesis kapanmaya yüz tutmuştur [19].

Önemli bir enerji kaynağı olan biyoyakıtların ülkemizde önem kazanması için, biyoyakıt üretimi önemsenmeli, istikrarlı bir biyoyakıt programı oluşturulmalı, biyogaz ile çalışan araçların kullanımı teşvik edilmelidir [19].

3. RÜZGAR ENERJİSİ

3.1. Rüzgar ve Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, kısaca atmosferdeki havanın hareketi olarak tanımlanır ve oluşum sebebi güneş enerjisidir. Dünyanın dönüşü, dönme ekseninin eğikliği ve yer yüzeyinin topografik yapısı gibi sebeplerden dolayı yer yüzeyi güneşten homojen bir radyasyon alamaz. Bu durum bölgeler arasında sıcaklık ve basınç farklılıklarının oluşmasına neden olur. Bu farklılıklar hava hareketlerinin temel nedenidir. Rüzgar; yüksek basınç alanından alçak basınç alanına yer değiştiren havanın hareketidir. Bölgeler arasındaki basınç farkı rüzgarın hızını belirlerken, dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu Kuzey ve Güney Yarım Küre'de oluşan Coriolis Kuvveti rüzgarın yönünü belirler [32].

Rüzgar hızı anemometre adı verilen ölçüm cihazıyla ölçülür. 10 m yükseklikteki rüzgar hızları sınıflandırıldığında 0.0 m/sn-1.4 m/sn arasındaki rüzgar hızı sakin rüzgar, 1.8 m/sn-5.8 m/sn arasındaki rüzgar hızı hafif rüzgar, 5.8 m/sn-11.0 m/sn arasındaki rüzgar hızı orta rüzgar, 11.0 m/sn-17 m/sn arasındaki rüzgar hızı güçlü rüzgar ve 17.0 m/sn-25 m/sn arasındaki rüzgar hızı sert rüzgar sınıfı olarak isimlendirilir. Basınç gradyanlarının yüksek olduğu yerler, hakim rüzgar yönüne dik vadiler, yüksek ova ve platolar kuvvetli rüzgar bölgeleri iken; hakim rüzgar yönüne paralel vadiler, engebeli araziler, kısa ve dar vadiler zayıf rüzgar bölgeleridir [33].

Rüzgarlar oluşum bölgelerine göre küresel rüzgarlar, yüzey rüzgarlar, yerel rüzgarlar, dağ ve vadi rüzgarları olmak üzere 4 ana başlıkta incelenebilir [32-33].

-Küresel rüzgarlar: Her mevsim, kuzey ve güney yarım kürede 30° enlem üzerindeki yüksek basınç alanından ekvatora yani alçak basınç alanına doğru hareket ederler.

-Yüzey rüzgarları: Yer yüzeyinden yaklaşık 100 metre yükseklikte oluşmaktadır ve bu sebeple rüzgar enerjisi için en önemli rüzgar çeşididir.

-Yerel veya Meltem rüzgarları: Karaların denizlerden daha çabuk ısınması veya soğuması nedeniyle oluşmaktadır.

-Dağ ve vadi rüzgarları: Dağ ve vadi arasında oluşan basınç farkından meydana gelir.

Rüzgar yönleri, rüzgar gülleri ile belirlenir. Rüzgar yönlerini belirleyen temel neden enlemdir. 90-60° kuzey enlemine hakim olan rüzgar yönü kuzey-doğu, 60-30° kuzey enlemine hakim rüzgar yönü güney-batı, 30-0° kuzey enlemine hakim rüzgar yönü kuzey-doğu yönündedir. 0-30° güney enlemine hakim rüzgar yönü güney-doğu, 30-60° güney enleminde hakim rüzgar yönü güney-doğu, 60-90° güney enlemine hakim rüzgar yönü güney-doğu rüzgar yönündedir. Rüzgar gülü ile tespit edilen yönler ileride hesaplamalarda kullanılacaktır [1-33].

Rüzgar oluşumundan da anlaşılacağı üzere rüzgar enerjisi güneş enerjisinin dönüşmüş bir şeklidir. Yenilenebilir özelliğe sahip, temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş ve Dünya var oldukça rüzgar enerjisi de devamlılığını sürdürecektir.

Rüzgar enerjisi hem mekanik enerjiye hem de elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılabilir. İlk zamanlarda genelde mekanik enerjiye dönüştürülerek kullanımı mevcutken, günümüzde hem şebekeden bağımsız hem de enterkonnekte şebekeye bağlı olarak elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılır. Rüzgar enerjisinin hızlı ivmeyle büyümesinin nedeni sahip olduğu avantajlarıdır. Bunlardan bazıları aşağıda sayılmıştır [10-34].

- Hammaddesinin atmosferde bol ve serbest olarak bulunması, bu sebeple hammaddenin bedava oluşu,
- Kullanımı sırasında ve sonrasında herhangi bir radyoaktif ışınım, artık madde meydana getirmemesi,
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltması,
- Tükenmez ve güvenilir oluşu,
- Diğer enerji kaynaklarının maliyetleri artarken, giderek ucuzlayan maliyeti,
- Sera gazı etkilerinin ve ısı emisyonlarının olmayışı,

- Rüzgar türbinlerinin modüler oluşu, istenilen büyüklükte imal edilebilir olması, tek veya gruplar halinde kullanabilmesi ve bakımlarının kolay olması,
- Rüzgar türbinlerinin ömürleri tükendiğinde kolay kaldırılabilir oluşu ve arazinin yeniden kullanılabilmesi,
- Rüzgar enerjisi projelerinin basit olması, inşaat halinden enerji üretim süresine kadar geçen sürenin kısa oluşudur [10-34].

Rüzgar enerjisi bu kadar avantaja sahip iken bazı dezavantajları vardır. Kurulacak santralin yer seçimi iyi yapıldığında bu dezavantajların etkisi azalmaktadır. Rüzgar enerjisinin dezavantajları için,

- Rüzgar hızlarının değişken olması sebebiyle enterkonnekte şebekeye dengesiz güç vermesi,
- Büyük güçlü santrallerinin fazla yer kaplaması,
- En önemli çevre etkisi gürültü ve kuş ölümleri sayılabilir [10-34].

3.2. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgar enerjisinin kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. İlk olarak özellikle Orta Doğu ülkelerinde nehirdeki kayıkları hareket ettirmek, su pompalamak ve tahıl öğütmek amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. İlk yazılı bilgilerde M.Ö. 2000-3000' li yıllarda yatay eksenli yel değirmenlerinin, M.Ö. 700'lü yıllarda İran'da dikey eksenli yel değirmenlerinin kullanıldığı bilgisi mevcuttur. Haçlı seferleri sayesinde rüzgar enerjisinin kullanımı doğudan batı ülkelerine geçmiştir. 11. ve 12. yy.'da İngiltere ve Fransa'da kullanılan yel değirmenleri bunun göstergesidir [9-10].

Elektrik üretmek amacıyla rüzgar türbinleri kullanımının ilk örneği, 1888'de Charles F. Brush tarafından Ohio'da gerçekleştirilen uygulamadır. 17 m rotor çapı ve 12 kW güce sahip olan makine çok kanatlı ve düşük devirli olduğu için başarısız bir deneme olarak görülmektedir. 1800'lü yılların sonunda, meteorolog Poul La Cour, Danimarka'da, elektrik üreten ilk rüzgar türbinini geliştirmiştir. Bu türbin 4 kanatlıdır

ve yapımında, ilk kez, aerodinamik bilgi kullanılmıştır Poul La Cour, daha sonraki çalışmalarda, üretilen elektriği depolamak için, suyu elektroliz yoluyla ayrıştırarak hidrojen elde etmiştir. Elde edilen hidrojen gaz lambalarında aydınlatma amaçlı kullanılmıştır [36].

1931 yılında, Rusya tarafından Hazar Denizi'nde 100 kW gücündeki Balaclava rüzgar türbini şebekeye elektrik vermek maksadıyla inşa edilmiştir. Yaklaşık 2 yıl çalışan, türbin şebekeye 200.000 kWh enerji sağlamıştır. 1940'lı yıllarda büyük güçte rüzgar türbinleri üretimi denenmeye başlanmış ve bunun en önemli örneği 53.3 m rotor çapına ve 1.25 MW gücüne sahip Smith-Putnam türbinidir. Fakat bu zamandaki kurulan büyük güçlü rüzgar türbinleri fazla ömürlü olmamıştır. 1956 yılında Poul La Cour'un öğrencisi Johannes Juul'un tasarladığı 200 kW'lık türbin Danimarka'nın Gedser kentinde kurulmuştur. Gedser türbini olarak da adlandırılan bu türbin günümüz türbinlerinin de öncülüğünü yapmıştır ve Danimarka'nın rüzgar enerji endüstrisinde öncü olmasını sağlamıştır [36].

II. Dünya Savaşı sonrasında, petrol fiyatlarının düşüşü ve buhar ile çalışan türbinler, rüzgar enerji sanayisindeki çalışmaların gerilemesine sebep olmuştur. 1970'li yıllara kadar bir gelişme gözlenmemiştir. Daha sonrasında meydana gelen petrol krizi ve 1977 yılında imzalanan Kyoto Protokolü gereğince çevre bilincinin artması, rüzgar enerji endüstrisini yeniden canlandırmıştır [32-37].

1980'li yıllardan başlayarak, günümüze kadar geçen sürede, maliyetlerin kısa sürede kendini amorti etmesi, hükümetlerden sağlanan devlet teşvikleri ve vergi indirimleri sayesinde, rüzgar enerjisi pozitif ivmeyle hızla gelişmektedir. 1995'li yıllarda kW'lardan MW mertebesine geçilmiş, türbin boyları artmış, tek bir rüzgar türbininden bir çok rüzgar türbinlerinin bulunduğu rüzgar çiftlikleri kurulmuş ve kıyıda uzakta deniz üstünde rüzgar santralleri kurulmaya başlanmıştır [32].

3.3. Dünya'da ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

Dünya genelindeki rüzgar türbinleri, yıllık olarak küresel elektrik ihtiyacının 580 TWh'ını sağlarlar. Küresel rüzgar enerji konseyinin Aralık 2013 yılında hazırladığı rapora göre, 2013 yılı itibari ile dünyadaki toplam kurulu rüzgar gücü yaklaşık 320.000 MW'tır. Çizelge 3.1.'de 1996 yılından itibaren, kurulu rüzgar gücünün günümüze kadar değişimi ve kurulu rüzgar gücün günümüze kadar kümülatif olarak değişimi verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere kurulu güç artan bir ivmeyle büyümektedir. Dünyadaki rüzgar kurulu gücü, 2012-2013 yılında tüm zamanların rekor seviyesine ulaşmış olsa da, yatırım miktarında yavaşlama söz konusudur. 1996-2010 yılları arasındaki ortalama artış oranı yaklaşık %25 civarı iken, 2010 yılında büyüme oranı % 23.3, 2011 yılında % 20.2, 2012 yılında bu rakam %19.2'dir [2-38-39].

Çizelge 3.1. 1996-2013 yılları arası kurulu rüzgar gücü kapasitesi

Yıllar	Kurulu Rüzgar Gücü (MW)	Kümülatif Rüzgar Gücü (MW)
2000	3.760	17.400
2001	6.500	23.900
2002	7.270	31.100
2003	8.133	39.431
2004	8.207	47.620
2005	11.531	59.091
2006	14.703	73.938
2007	20.285	93.889
2008	26.872	120.624
2009	38.467	158.975
2010	39.059	198.001
2011	40.636	238.126
2012	45.169	283.194
2013	35.289	318.105

Dünya kümülatif rüzgar gücünün ülkelere göre dağılımına bakıldığında 4-5 ülke göze çarpmaktadır. Bunlar 91.412 MW'la kapasitenin yaklaşık %30'unu oluşturan Çin, 61.916 MW' la kapasitenin yaklaşık %20'sini oluşturan Amerika, 34.250 MW 'la kapasitenin yaklaşık %12'sini oluşturan Almanya ve son olarak 22.959 MW'la kapasitenin yaklaşık %7.5'ini oluşturan İspanya'dır [2].

Rüzgar enerjisi sektörünün hızla büyümesi, rüzgar türbinleri teknolojisinin ilerlemesi ile orantılı olarak hareket eder. Rüzgar türbinlerinin gelişiminde, kule yüksekliği ve kanat çapının artırılması ile güç kapasitelerini artırmak esastır. 2012 yılı itibariyle, 127 m rotor kanat çapına sahip olan 7.5 MW'lık rüzgar türbinleri mevcuttur. Fakat en çok kullanılan rüzgar türbinleri 1.5 MW ve 2.5 MW güce sahip olanlardır. Türbinlerin bu kadar gelişmesinin diğer sebeplerinden biri de, giderek azalan maliyetlerdir. Rüzgar türbini yatırım maliyeti günümüzde yaklaşık olarak, 1.45\$/W ve 2.60\$/W arasında değişmektedir [40].

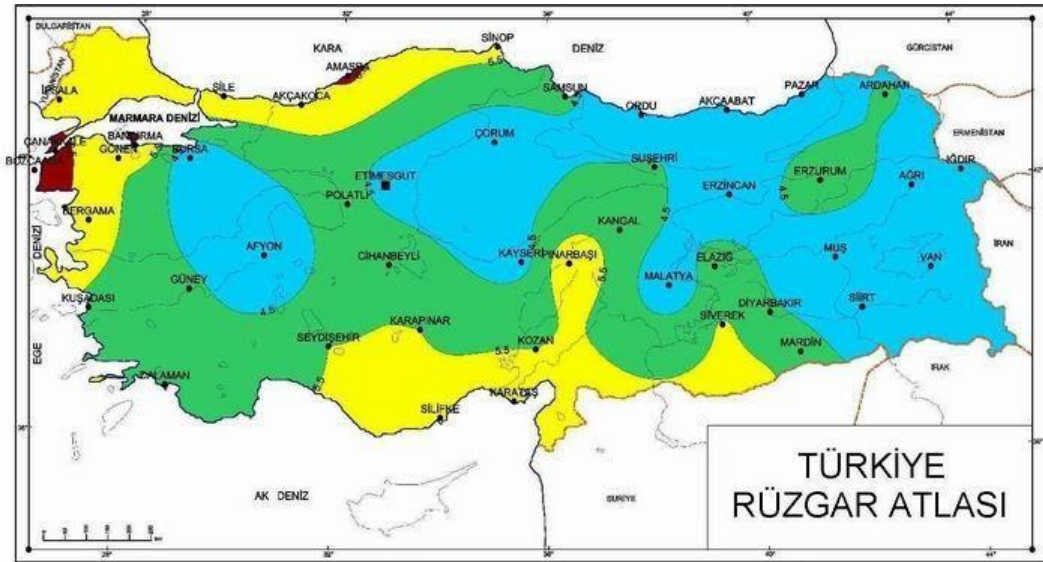
Günümüzde dikkat çeken diğer bir gelişme ise, deniz tipi rüzgar türbinleridir. Deniz tipi kurulu rüzgar gücü 2010 yılında 1.162 MW, 2011 yılında 3.97 MW ve 2012 yılı sonunda 5.416 MW'tır. 2012 yılı itibariyle, dünyada deniz tipi rüzgar türbinine sahip 13 ülke bulunmaktadır [40].

Rüzgar enerjisi gelecek senaryolarına bakıldığında, Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, 2050 yılında, Çin 1600 TWh-2300 TWh arasındaki enerji üretimi ile ilk sırada, Avrupa ülkeleri 1300 TWh-1400 TWh arasındaki üretim ile ikinci, ABD ise 1000 TWh-1200 TWh arasındaki üretim ile üçüncü sırada yer alacaktır [40].

Ülkemizde rüzgar enerjisi ile ilgili ilk bilimsel çalışmalar, 1960-1970'li yıllarda Ankara Üniversitesi, Ege Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından yürütülmüştür. Tarım Bakanlığı tarafından gerçekleştirilen ve 1960-1980 yıllarını kapsayan Tarım ve Enerji Anketlerine göre, bu yıllarda rüzgar enerjisinden su çıkarma amaçlı kullanıldığı ve 1 kW'dan düşük türbinlerin olduğu bilinmektedir [41].

1989 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından Rüzgar Enerjisi Şube Müdürlüğü, 1992 yılında ise Avrupa Rüzgar Enerjisi Türkiye Şubesi açılmıştır. 1993 yılından itibaren ise, Devlet Meteoroloji İstasyonu Genel Müdürlüğü tarafından meteorolojik veriler kullanılarak Türkiye Rüzgar Atlası çıkarılmaya başlanmıştır [42]. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası sayesinde farklı yüksekliklerde yıllık, aylık ve günlük rüzgar hızı ortalamaları, yıllık ve aylık güç yoğunlukları, rüzgar sınıfları, aylık sıcaklık ve basınç farkları bulunabilir [42].

Türkiye rüzgar kaynağı açısından zengindir. Potansiyel açıdan zengin bölgelerimiz Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz kıyı kesimleridir. Yerleşim alanları dışında 50 m. yükseklikteki Marmara, Batı Karadeniz ve Doğu Karadeniz kıyılarında ortalama rüzgar hızı 6.0 m/sn-7.0 m/sn, iç kesimlerde ise 5.5 m/sn-6.5 m/sn, Batı Akdeniz kıyılarında ortalama rüzgar hızı 5.0 m/sn-6.0 m/sn, iç kesimlerde ise 4.5 m/sn-5.5 m/sn, Kuzey Batı Ege kıyılarında ortalama rüzgar hızı 7.0 m/sn-8.5 m/sn iç kesimlerde ise, 6.5 m/sn-7 m/sn civarındadır. Şekil 3.1.'de Türkiye rüzgar potansiyel atlası gösterilmiştir [43].



U (m/s)	> 7.5	6.5 – 7.5	5.5 – 6.5	4.5 – 5.5	< 4.5
P (W / m²)	> 500	300 - 500	200 - 300	100 - 200	< 100

* Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgar potansiyeli sınıf aralıkları

Şekil 3.1. Türkiye rüzgar potansiyel atlası

Ülkemizde rüzgar enerjisiyle ilgili ilk kanunlar, genellikle rüzgar enerji potansiyelini belirlemek amaçlıdır. 1 Mayıs 1998'de Resmi Gazete'de kabul edilen 'Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Dışındaki Kuruluşlara Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi Kurma ve İşletme İzni Verilmesi' esaslarını belirleyen yönetmelikle, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi ile çalışan elektrik üretim tesislerinin yapılması teşvik edilmeye çalışılmıştır. 1990'lı yıllarda 3096 sayılı kanun 'Yap-İşlet-Devret Modeli' kapsamında ilk rüzgar enerjisi santralleri kurulmaya başlanmıştır. Bu modelle ilk işletmeye açılan tesis, 1998 yılında Alaçatı-Ares rüzgar çiftliğidir ve 12 adet türbinden oluşmaktadır. 2001 yılında 'Elektrik Piyasası Kanunu' ve 2005 yılındaki 'Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu' ile rüzgar enerjisine gereken önem verilmeye başlanmıştır. Rüzgar enerjisinin günümüzde ciddi hızla büyümesinin yolunu açan ise 2011 yılında yürürlüğe giren Elektrik Piyasasında lisansız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik ile devreye alınan lisansız rüzgar türbinleridir [41-44].

Türkiye rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç bakımından yıllara göre dağılımı ve kümülatif dağılımı Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere 2013 yılı itibariyle Türkiye'nin rüzgar enerjisi kurulu gücü yaklaşık 2958.45 MW'a ulaşmış durumdadır ve son yıllarda hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir [3].

Çizelge 3.2. Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllara göre dağılımı

Yıllar	Kurulu Rüzgar Gücü (MW)	Kümülatif Rüzgar Gücü (MW)
2005	0	20.1
2006	30.90	51
2007	95.30	146.3
2008	217.40	363.7
2009	427.90	791.6
2010	537.55	1329.15
2011	476.70	1805.85
2012	506.30	2312.15
2013	646.30	2958.45

Türkiye 2023 yılına kadar rüzgar enerji potansiyelini 20.000 MW'a çıkartmayı, rüzgar santrali elamanlarını yerel yapmayı, böylece reel rüzgar enerji pazarında yükselmeyi hedeflemektedir.

3.4. Rüzgar Enerjisi Fizibilite Çalışmaları

Fosil yakıtlara iyi bir alternatif enerji olan çevre dostu rüzgar enerjisi, günümüzde, yatırım yapılan projelerin başında gelir. İşletme giderlerinin az olması, fiyat belirsizliğinin olmaması ve/veya gelecek dönemler için rahatlıkla tahmini yapılması ve riskin asgari boyutta olması bu durumu desteklemektedir [45].

Rüzgar enerjisi yatırımcısının yapması gereken işlemleri sırasıyla;

- Yönetmeliklerin incelenmesi,
- Rüzgar santrali kurulacak sahanın seçimi,
- Rüzgar ölçüm direklerinin yerleşim yerlerinin belirlenmesi,
- Ölçüm yapılması, ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi ve meteorolojik veriler satın alınarak karşılaştırılması,
- Gelecek için çeşitli yöntemler kullanılarak tahmin yapılması,
- Sahanın topografik yapısının tespiti,
- Elektrik üretim kapasitesi,
- Türbin tipinin seçilmesi ve net üretim miktarı hesabı,
- Yatırım maliyeti,
- Çeşitli hesaplamalarla (yatırım geri dönüş süresi, net bugünkü değer hesabı, v.s) yatırımın ekonomik kârlılığına karar verilmesi şeklinde sayılabilir [46].

Fizibilite çalışmalarında yapılacak işlemler, potansiyel analiz, enerji analizi ve ekonomik analiz olarak üç ana kısımda ayrıntılı olarak incelenebilir.

3.4.1. Rüzgarda Potansiyel Analiz

Rüzgar santrali kurulacak bölge seçiminde, Türkiye Rüzgar Potansiyel Atlas'ından yararlanılmaktadır. Bu atlasta, rüzgar enerjisi uygulamalarını içeren bütün parametreler yer almakta ve 200 m çözünürlükte rüzgar verilerinden oluşmaktadır. Bu atlasta hesaplamaya dahil edilmeyen alanlar bulunmaktadır. Bunlar;

- Karayollarına 100 m emniyet şeridi içinde kalan alanlar,
- Demiryollarına 100 m emniyet şeridi içinde kalan alanlar,
- Deniz kıyılarına 100 m sahil koruma şeridi içinde kalan alanlar,
- Hava alanlarına 3 km emniyet şeridi içinde kalan alanlar,
- Şehirsiz alanlar ve 500 m emniyet şeridi içinde kalan alanlar,
- Milli parklar ve tabiat alanları ve 500 m emniyet şeridi içinde kalan alanlar,
- Göller, nehirler ve sulak alanlar,
- Belirli orman tipine (fidanlık, sazlık, ağaçlandırma alanları v.s) sahip alanlar,
- Rüzgar hızı 6.5 m/sn'den küçük alanlar olarak açıklanmıştır [46].

Rüzgar santrali kurulacak saha belirlendikten sonra, bu sahada en az bir yıllık süre zarfında rüzgar hızı ölçümleri yapılmalı ve kaydedilmelidir. Ölçümler, sahanın belli bölgelerine dikilen en az 50 metrelik ölçüm direkleriyle yapılır. Yapılan ölçümlerdeki ufak hatalar, rüzgar gücü rüzgar hızının küpüyle orantılı olduğu için, yatırımın ekonomik karlılığını büyük ölçüde etkileyecektir. Bu yüzden yapılan ölçümler, en yakın meteoroloji istasyonu tarafından kayıt edilen verilerle karşılaştırılmalıdır [45-46].

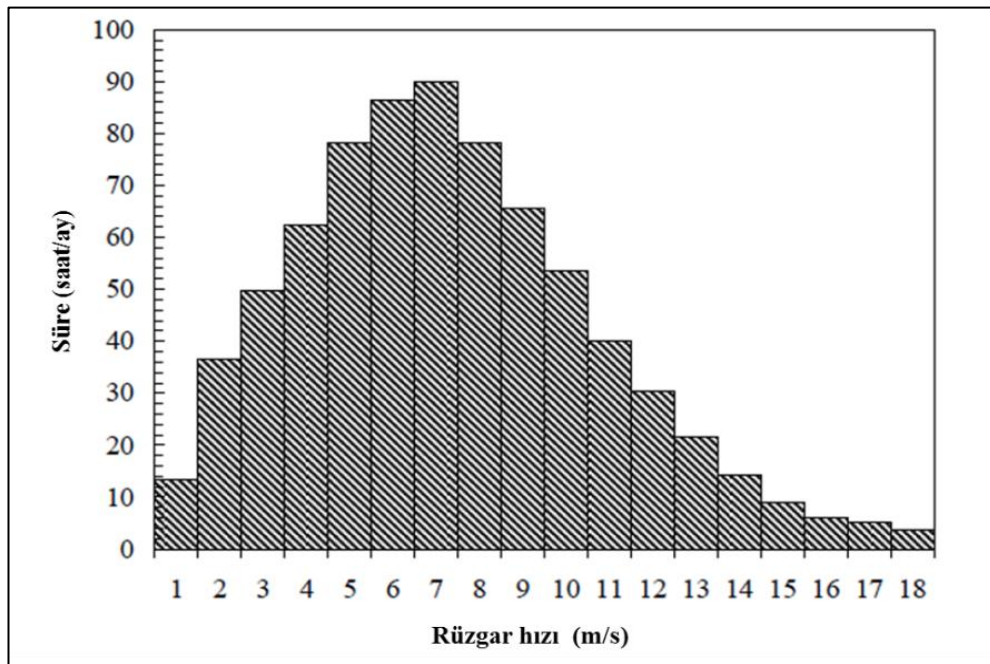
Rüzgar hızının, yeryüzü şekillerinin, hava durumunun sürekli değişken olması yatırımcılar için riskli bir durumdur. Bu durum için 2 çözüm önerisi mevcuttur. Bunlar;

- Eldeki ölçüm miktarını artırmak: Yatırımcılar ölçüm için gereken süreyi beklemek istemezler.

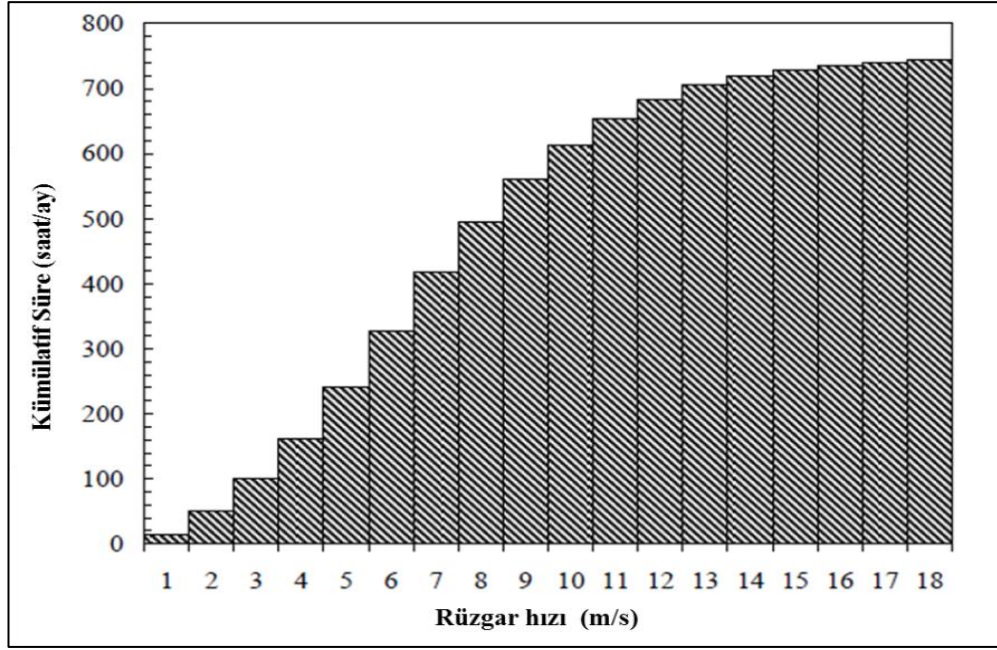
- İstatiksel yöntemler kullanmak: Çeşitli istatiksel yöntemlerle rüzgar parametrelerinin ne kadar sıklıkla değiştiğini gözlemleyerek gelecek için tahmini rakamlar elde etmek.

3.4.1.1. Weibull Dağılımı ve Rayleigh Dağılımı

Bir bölgedeki rüzgar hızı karakteristiğini anlamak için, rüzgar hızı frekans dağılımına ihtiyaç duyulur. Frekans dağılımı genelde, olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilir. Olasılık yoğunluk fonksiyonu, en sık görülen rüzgar hızlarının belirlenmesinde kullanılırken, kümülatif yoğunluk fonksiyonu, ortalama rüzgar hızının geometrik olarak bulunmasını sağlar. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'te rüzgar hızına göre değişen olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiksel olarak gösterilmiştir [6].



Şekil 3.2. Olasılık yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.3. Kümülatif yoğunluk fonksiyonu

1930 yılında Profesör Waloddi Weibull tarafından bulunan Weibull dağılımı, bir çok doğal olayın hesaplamasında gerçeğe yakın sonuçlar verdiği için, en çok tercih edilen olasılık dağılımlardan biridir. Son yıllardaki çalışmalarda rüzgar dağılımları belirlemede en çok kullanılan yöntemlerin başında Weibull dağılımının kullanıldığı görülmektedir. Weibull dağılımının rüzgar dağılımına çok iyi uyması, parametre sayısının az olması, parametrelerinin bir yükseklik için belirlenmesinin ardından farklı yükseklikler için tahmin edilmesi gibi faktörler bu yöntemin çok kullanılmasının başlıca nedenleridir [33-47].

Weibull dağılımı, boyutsuz şekil (k) ve rüzgar hızı ile aynı birime sahip ölçek (c) parametrelerinden oluşan iki parametrelili bir dağılımdır. İki parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel ifadesi 3.1 eşitliğinde gösterilmiştir. Burada $f(v)$, gözlemlenen rüzgar hızı olasılığı, k , şekil parametresi ve c ise, ölçek parametresidir. k parametresi rüzgar sıklığıyla değişirken, c parametresi ise ortalama hıza bağlı olarak değişmektedir. Weibull dağılımı rüzgar verilerine uygulandığı zaman, şekil parametresinin ekvator yakınında bir civarında, ılıman

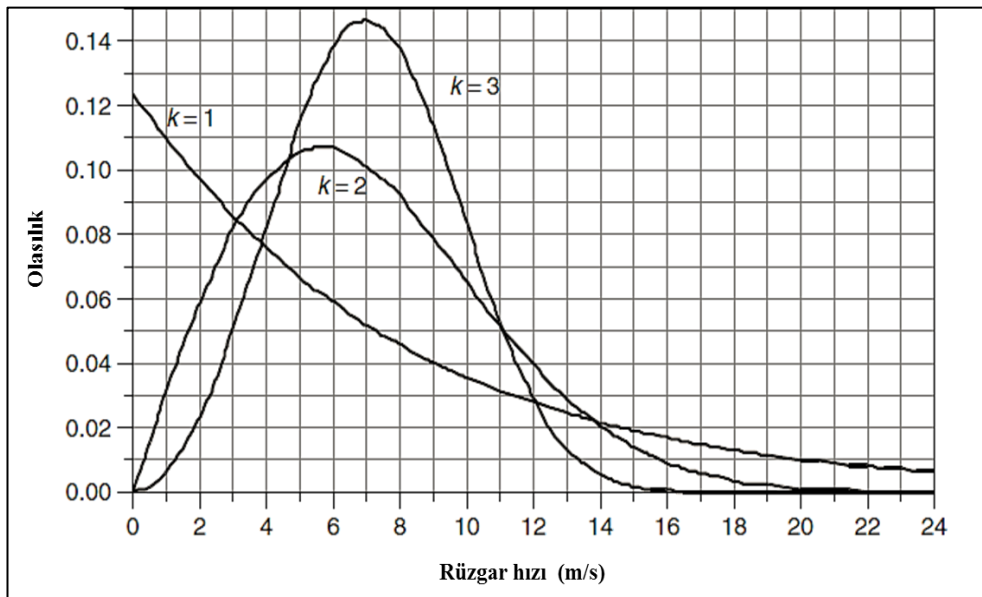
enlemler için iki ve sürekli rüzgar alanları için ise üç civarında olduğu görülmüştür [9-33-47].

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3.1)$$

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir. Kümülatif dağılım fonksiyonu eşitlik 3.2'de verilmiştir [33-47]

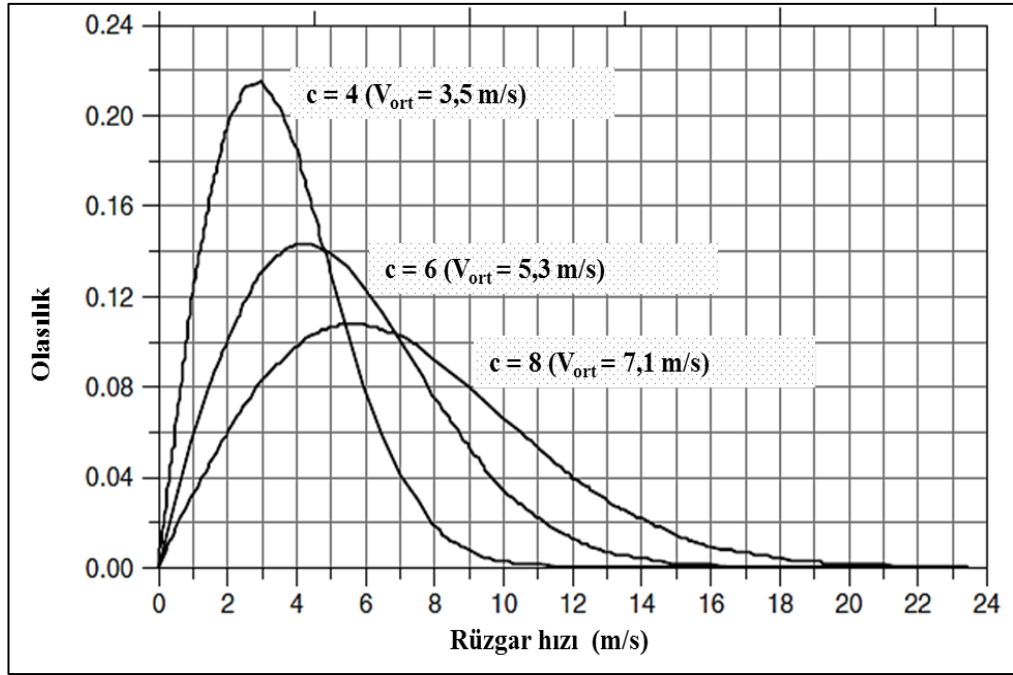
$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3.2)$$

Şekil 3.4.'de şekil parametresine bağlı olarak değişen Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun grafiği görülmektedir.



Şekil 3.4. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu

Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun özel halidir ve şekil parametresi ikiye eşittir. Rayleigh dağılımının en büyük avantajı sadece ortalama rüzgar hızı ile dağılım belirlenebilir. Bölgedeki herhangi bir rüzgar hızının esme süresi, enerji ve güç yoğunluğu değerleri bulunabilir. Şekil 3.5.'de ölçek parametresine bağlı olarak değişen Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonun grafiği görülmektedir [33-47].



Şekil 3.5. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu

Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu, sadece ölçek parametresiyle eşitlik 3.3 'deki gibi ifade edilir [33-47].

$$f(v) = \frac{2v}{c^2} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^2 \right] \quad (3.3)$$

V_m ortalama rüzgar hızı olmak üzere, Rayleigh dağılımında ölçek parametresiyle ortalama rüzgar hızı arasındaki ilişki eşitlik 3.4'deki gibi ifade edilir [33-47].

$$c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} v_m \cong 1.128 v_m \quad (3.4)$$

Ortalama hızla Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu arasındaki ilişki eşitlik 3.5 'deki gibidir [33-47].

$$F_R(v) = 1 - \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (3.5)$$

Rayleigh dağılımından yararlanılarak bölgede en sıklıkla görülen rüzgar hızı ve enerji eldesine maksimum katkıda bulunan rüzgar hızı değerleri kolaylıkla bulunabilir. V_{Fmaks} bölgedeki en sık görülen rüzgar hızı olup ifade edip eşitlik 3.6' dan, V_{Emaks} ise enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgar hızı olup eşitlik 3.7'den bulunur [47].

$$V_{Fmaks} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} V_m \quad (3.6)$$

$$V_{Emaks} = 2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} V_m \quad (3.7)$$

Rayleigh dağılımı ile, birim zaman aralığı için birim rotor kesit alanından üretilecek enerji yoğunluğu ve herhangi bir T zaman dilimi için, toplam enerji miktarı bulunabilir. E_Y , enerji yoğunluğunu ifade edip eşitlik 3.8'deki gibi, E_T , T zaman diliminde üretilecek toplam enerji miktarını ifade edip eşitlik 3.9'deki gibi bulunur. Eşitliklerdeki ρ hava yoğunluğunu, a rotor kesit alanını ve V_m ise ortalama hızı ifade eder [47].

$$E_Y = \frac{3}{\pi} \rho_a V_m^3 \quad (3.8)$$

$$E_T = T E_Y = \frac{3}{\pi} T \rho_a V_m^3 \quad (3.9)$$

3.4.2. Rüzgarda Enerji Analizi

Rüzgar gücü ile rüzgar hızı arasındaki ilişki eşitlik 3.10'daki gibi ifade edilir. Eşitlikteki P_R rüzgar gücü, ρ hava yoğunluğunu, A rüzgar türbinin kesit alanı, v ise rüzgar hızını ifade etmektedir. Eşitlikte de görüldüğü gibi rüzgar gücü miktarı, hava yoğunluğu ve türbin kesit alanıyla, rüzgar hızının ise küpüyle doğru orantılıdır [47]. Yatay eksenli bir rüzgar türbini için A kesit alanı ve D rotor kanat çapı olmak üzere; kesit alanı eşitlik 3.11'deki gibi ifade edilir[11].

$$P_R = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3.10)$$

$$A = (\pi/4) D^2 \quad (3.11)$$

Herhangi bir rüzgar sahasındaki belli bir T zaman aralığında, üretilen toplam enerji miktarı, $0-T$ aralığındaki rüzgar gücünün belirli integrali alınarak bulunur [47].

$$E = \int_0^T P_R dt = \int_0^T \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3.12)$$

3.4.2.1. Enerji Miktarını Belirleyen Faktörler

Rüzgardan elde edilen enerji miktarını etkileyen birçok faktör vardır. Yükseklik, pürüzlülük, sıcaklık, basınç, türbülans, wake (iz) etkisi, ve rüzgar engelleri bunlardan bazılarıdır [6].

- **Yükseklik**

Yükseklikle rüzgar hızı arasındaki ilişki Hellman bağıntısı ile ifade edilebilir. Eşitlikteki V_0 , H_0 yüksekliğindeki rüzgar hızını, V , H yüksekliğindeki rüzgar hızını, α ise pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir [9].

$$\left(\frac{v}{v_0}\right) = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (3.13)$$

- **Pürüzlülük**

Yeryüzünün bir çok yerinde yeryüzü şekilleri farklıdır. Bitki örtüsü, yapılaşma ve arazinin durumu pürüzlülük katsayısını belirler. Genel olarak yer yüzeyinin pürüzlülüğü arttıkça rüzgar hızının yavaşladığı buna bağlı olarak rüzgar enerji miktarının azaldığı bilinmektedir. Çizelge 3.3.'de yeryüzü yapısıyla pürüzlülük katsayısının nasıl değiştiği gösterilmiştir [9].

Çizelge 3.3. Yeryüzü şekillerine göre pürüzlülük katsayıları

Yeryüzü Yapısı	Pürüzlülük katsayısı (α)
Pürüzsüz sert toprak, durgun su	0.10
Toprak seviyesinde uzun çimli bölge	0.15
Toprak seviyesinin üzerinde uzun mahsul	0.20
Kırsal orman alanları, birçok ağaç	0.25
Ağaçlıklı kasabalar	0.30
Uzun binalarla dolu büyük şehirler	0.40

- **Sıcaklık ve Basınç**

Eşitlik 3.10'dan anlaşılacağı üzere, rüzgar gücü hava yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. 15°C hava sıcaklığı ve 1 atm basınç altında hava yoğunluğunun 1.225 kg/m³ olduğu kabul edilir. Sıcaklık ve basınç değiştikçe hava yoğunluğu değişmektedir. Farklı sıcaklık ve farklı basınç değerleri için hava yoğunluğu eşitlik 3.14 'ten bulunabilir [47].

$$\rho = 1,225K_sK_y \quad (3.14)$$

Burada; K_s , sıcaklık katsayısı, K_y , yükseklik (basınç) katsayısını temsil eder. K_s ve K_y değerleri farklı sıcaklık ve farklı basınç altında aldığı değerler Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Hava sıcaklığına bağlı hava yoğunluğu değişimi ve sıcaklık katsayısı değişimi

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Sıcaklık Katsayısı (K _S)
-15	1.368	1.12
-10	1.342	1.10
-5	1.317	1.07
0	1.293	1.05
5	1.269	1.04
10	1.247	1.02
15	1.225	1.00
20	1.204	0.98
25	1.184	0.97
30	1.165	0.95
35	1.146	0.94

Çizelge 3.5. Yüksekliğe ve basınç farkına bağlı yükseklik katsayısı değişimi

Yükseklik (m)	Basınç (atm)	Yükseklik Düzeltme Faktörü (K _Y)
0	1	1
200	0.977	0.977
400	0.954	0.954
600	0.931	0.931
800	0.910	0.910
1000	0.888	0.888
1200	0.868	0.868
1400	0.847	0.847
1600	0.827	0.827
1800	0.808	0.808
2000	0.789	0.789

- **Türbülans**

Türbülans düzensiz hava hareketleridir ve rüzgar türbininden elde edilecek enerji miktarını etkilemektedir. Türbülans yoğunluğu ise rüzgar hızlarının standart sapmalarının ortalama rüzgar hızına oranı olarak ifade edilebilir. Özellikle rüzgar türbinlerinde yorulma, yırtılma ve sökölme gibi olumsuz etkilere sebep olur. Bu sebeple yer yüzeyine yakın yerlerde türbülans yoğunluğu fazla olduğu için rüzgar türbinleri kurulacağı yükseklik önemlidir [9].

- **Rüzgar Engelleri**

Rüzgar engellerini, doğal engeller ve insan yapımı engeller olarak ikiye ayırmak mümkündür. Evler, silolar insan yapımı engeller iken, ağaç ve bitki kümeleri, rüzgar kırıcılar doğal engeller grubuna girer. Rüzgar engellerinin etkisini azaltmak için rüzgar türbinleri; rüzgar üstü bölgelerde, bina yüksekliğinin en az iki katı mesafede ve rüzgar altı bölgelerde ise bina yüksekliğinin en az 10 katı mesafede konumlandırılması gerektiği belirlenmiştir [9].

- **Wake (iz) Etkisi**

Wake (iz) etkisi, rüzgar sahasında rüzgar türbinlerinin arka kısımlarına daha düşük rüzgar hızı bırakmaları nedeniyle enerji üretime yapacakları etki olarak tanımlanmaktadır. Bu olumsuz etkiyi en aza indirmek için rüzgar türbinlerinin arasında belli bir mesafe konulur. Bu mesafe yaklaşık olarak ikinci türbinin kanat çapının yaklaşık 6-10 katı kadardır [9].

- **Tepe Etkisi**

Rüzgar türbinleri bazı bölgelerde tepe üstlerinde veya yamaçlara yerleştirilmiştir. Rüzgarın hakim olduğu yerde, rüzgar türbinlerinin önünde herhangi bir engel olması istenen bir durum değildir. Tepelik bölgeler etrafında geniş bir alana yayılmış olan yüksek basınç alanları hava akımının tepeye ulaşmadan yükselerek sıkışmaya başlamasına neden olur. Hava akımı tepenin sırtına eriştiğinde ise tepenin diğer yamacında oluşan düşük basınç alanına doğru genişleyerek hareketini devam ettirir.

Tepe etkisi denilen bu olay bazen rüzgar hızını artırıcı etki gösterdiği için enerji üretim miktarını artırsa da türbülans durumunu meydana getirdiğinden istenmeyen bir durumdur [9].

- **Tünel Etkisi**

Rüzgarın oluşmasını sağlayan hava akımları dağların veya binaların arasından geçerken sıkışmasını sağlayan etkiye tünel etkisi denir. Tepe etkisi gibi bu durum da rüzgarın hızını artırıp enerji üretim miktarında olumlu etkiye sahip olsa da türbülans meydana getirip rüzgar türbinlerinin ömürleri açısından olumsuz etki yarattığından istenen bir durum değildir [9].

3.4.2.2. Rüzgar Türbinleri

Rüzgardaki kinetik enerjiye önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere rüzgar türbini denir. Bir rüzgar türbinin başlıca elamanları; rotor, kule, kanatlar, generatör, dişli kutusu, anemometredir [48].

Rüzgar türbinleri literatürde çeşitli açılardan sınıflandırılmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi incelenebilir [48].

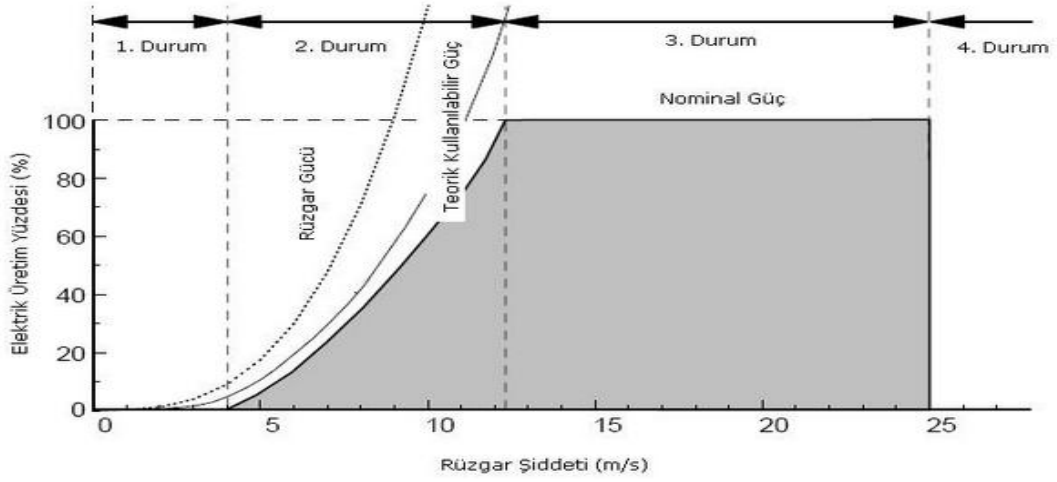
- **Eksenlerine Göre:** Yatay eksenli ve dişey eksenli türbinler olarak ikiye ayrılır. Dişey eksenli türbinler verimlerinin düşük olması, yere yakın kanatlara sahip olduğu için düşük rüzgar bölgelerinde çalışması sebebiyle günümüzde fazla tercih edilmezler [48].
- **Güçlerine Göre:** Küçük güçlü, orta güçlü, büyük güçlü ve çok büyük güçlü türbinler olmak üzere dörde ayrılır. 30 kW'dan daha az güce sahip türbinler küçük güçlü, 30 kW-100 kW arasındaki güce sahip türbinler orta güçlü türbin, 100 kW-1000 kW arasındaki güce sahip türbinler büyük güçlü ve gücü 1 MW'dan fazla olan türbinler ise çok büyük güçlü olarak sınıflandırılır [48].

- Dişli özelliklerine göre: Dişli kullanan ve dişli kullanmayan türbinler olarak ikiye ayrılır. Dişli kullanan türbinlerin jeneratörleri az kutuplu ve yüksek devirli iken, dişli kullanmayan türbinlerin jeneratörleri çok kutuplu ve az devirlidir [48].
- Kanat sayılarına göre: Tek kollu, çift kollu ve üç kollu olarak üçe ayrılır. Tek kollu türbinler ilk zamanlarda kullanılan türbinlerdir. MOD serisi çift kollu türbinlere örnek verilebilir. Günümüzde ise üç kollu türbinler kullanılmaktadır [48].
- Rüzgar etkisine göre: Üst rüzgarlı ve alt rüzgarlı olarak ikiye ayrılır. Üst rüzgarlı türbinlerde rüzgar önce kanatlara sonra gövdeye gelirken, alt rüzgarlı türbinlerde rüzgar önce gövdeye daha sonra kanatlara gelmektedir [48].

3.4.2.3. Rüzgar Türbinlerinden Elde Edilen Güç

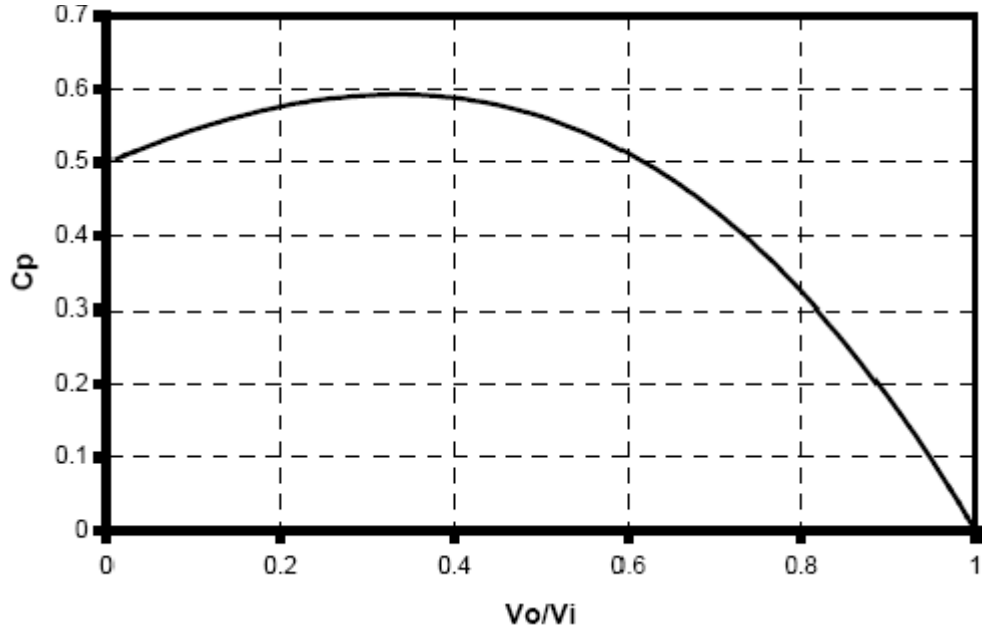
Bir rüzgar türbininin güç eğrisi ortalaması ile üreteceği güç miktarı dolayısıyla üreteceği enerji miktarı hesaplanabilir. Rüzgar türbini güç eğrisi 4 bölümde incelenilir [49].

Şekil 3.6.'da görülen egride 1. durumda ortalama rüzgar şiddeti türbininin başlama hızından (cut-in) küçük olduğu elektrik üretimi sıfırdır. 2. durumda sistem elektrik üretmeye başlayacaktır. Türbinin üreteceği maksimum elektrik için gerekli rüzgar hızı sistem tarafından ayarlanmaya çalışır. 3. durumda ortalama rüzgar şiddeti nominal şiddeti geçerse türbin içindeki fren sistemi ile hız istenen duruma getirilmeye çalışılır. 4. durumda ise ortalama rüzgar şiddeti türbinin tasarlandığı en yüksek hızı (cut-off) aşarsa sistem mutlaka kapatılmalıdır. Aksi halde sistemde arızalar meydana gelecektir [49].



Şekil 3.6. Rüzgar türbini güç eğrisi grafiği

Betz teorisine göre bir türbinden elde edilebilecek maksimum verim %59'dur. Bu diğer bir deyişle, rüzgar türbinin üreteceği enerjinin gelen rüzgara oranı teorik olarak maksimum %59'dur şeklinde de açıklanabilir. Günümüz türbinlerinde bu değer % 45- 50 civarındadır. Şekil 3.7.'de maksimum güç katsayısı grafiği gösterilmiştir [49].



Şekil 3.7. Cp, maksimum güç katsayısı grafiği

Bir rüzgar türbinin performansını gösteren diğer bir unsur olan kapasite faktörü, rüzgar rejimine bağlı olarak türbinin üreteceği enerji ile türbinin anma gücünde üreteceği enerji arasındaki orandır ve eşitlik 3.15'den bulunabilir. Kapasite faktörü genelde 0.25 ile 0.40 arasında değer alıp, kapasite faktörü bir bölgede 0.40 ve üzeri bir değer alıyorsa, o bölgenin rüzgardan enerji üretmek için verimli olduğu söylenebilir. Burada K_F , kapasite faktörünü, P_R , rüzgar türbinin anma gücünü, 8760 ise yıllık hesaplandığı için toplam süreyi göstermektedir [47].

$$K_F = \frac{\text{Üretilen toplam enerji}}{P_R \times 8760} \quad (3.15)$$

3.4.3. Rüzgar Enerjisi Ekonomik Analizi

Herhangi bir yatırım projesinde en önemli konulardan biri olan finansal analiz, rüzgardan elde edilen elektriğin yatırım maliyetinin diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında daha yüksek olması sebebiyle rüzgar enerjisi yatırımcısı için en ciddi ve en zorlu kısımdır. Yatırım yapılması düşünülen bölgede potansiyel analiz ve enerji analizi sonucu elde edilen veriler toplandıktan sonra ekonomik fizibilite süreci başlar. Projenin bütün finansal analizleri yapıp ekonomik olarak karlı bulunması halinde yatırım için uygulama kararı alınır ve yapım kısmına geçilir [45].

Maliyet analizi yapılırken rüzgar enerji sisteminin yıllık ürettiği enerji miktarı ve elektrik enerjisi birim satış fiyatı dikkate alınmaktadır. Rüzgar türbinlerinin yıllık getirisi; yıllık ürettiği enerji miktarı ve elektrik enerjisi birim satış fiyatı çarpımı ile oluşturulmaktadır [47].

Rüzgar enerji sistemlerinin yatırımda maliyetin yaklaşık yüzde %75'ini rüzgar türbinleri oluşturmaktadır ve maliyet sınıflandırmasında en yüksek paya sahiptir. Buna rağmen rüzgar türbinlerin 2002 yılından itibaren fiyatlarının giderek düştüğü görülmektedir. Bir rüzgar türbinini yatırım maliyet oranları için sınıflandırma yapılabilir. Çizelge 3.6.'da bir rüzgar türbinin yatırım harcamalarındaki oranları göstermektedir. Bir rüzgar enerjisi sisteminin toplam maliyeti türbin maliyeti ve

diğer maliyetlerin toplamına eşittir. Bu maliyetler türbinlere göre, bölgenin yapısına göre, şebekeye bağlantısına gibi bir çok sebepten dolayı değişkenlik gösterebilmektedir. Çizelgedeki değerler piyasa araştırması sonucunda elde edilmiş değerlerdir.

Çizelge 3.6. Rüzgar santrali yatırımın maliyet bileşeni oranları

Maliyet Bileşenleri	Yatırım Harcamaları (%)
Türbin Maliyeti	70-75
İnşaat ve Montaj Maliyeti	20-25
Proje ve Danışmanlık Maliyeti	4
Bakım-Onarım Maliyeti	2-3
Diğer maliyetler	3

3.4.3.1. Yatırımın Yapılabilirlik Hesabı için Çeşitli Yöntemler

Yatırım için gerekli fiyatlar çıkarıldıktan sonra yatırımın ekonomik olup olmadığını anlamak için bazı analizler yapılır. Bunlardan bazıları yatırımın sermaye geri dönüş faktörü, yıllık borç ödeme miktarı, geri ödeme süresinin bulunması, net bugünkü değerinin hesaplanmasıdır.

- **Sermaye Geri Dönüş Miktarı**

Borç ile finanse edilen bir rüzgar yatırımı için, sermaye maliyetini uygun bir sermaye geri dönüş (SGDF) faktörü kullanarak yıllara yayılmış olarak hesaplanabilir. Sermaye geri dönüş faktörü i faiz oranı ve n borçlanma süresine bağlıdır ve eşitlik 3.16'dan bulunabilir. Sermaye geri dönüş faktörü ve yatırım için kullanılacak banka borç miktarı kullanılarak banka borcunun yıllık geri ödeme miktarı eşitlik 3.17'den bulunabilir [47]. Eşitlikteki YBBGM, banka borcu yıllık geri ödeme miktarını, BBM, banka borç miktarını ifade eder.

$$SGDF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.16)$$

$$YBBGM = BBM.SGDF = BBM. \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (3.17)$$

- **Geri ödeme Süresi**

Bu yöntem 'sıfır' faiz oranı yatırımın getirisinin maliyeti ne kadar sürede karşılayacaktır. Örnek verilecek olursa 10.000 YTL 'bir yatırım 1.yıl 2000 YTL, 2.yıl 3000 YTL, 3.yıl 3000 YTL, 4.yıl 2000 YTL getiriyorsa yatırım kendisini 4 sene içerisinde karşılamaktadır. Tek başına yeterli bir analiz değildir [10].

- **Net (Bugünkü) Değer Metodu**

Yatırıma ilişkin tüm “Nakit Akış” değerlerinin yani gelir ve giderlerinin başlangıç zamanı (t = 0) itibariyle belirli bir faiz (i) oranı ile iskonto edilerek bugünkü değerlerinin (başlangıç değerlerinin) bulunması yöntemidir. Bugünkü değer yöntemi eşitlik 3.18'den hesaplanmaktadır [10]. Burada P_v yatırımın bugünkü değerini, t süreyi, h yatırımın ömrünü, i ise faiz oranını temsil eder.

$$Pv = \sum_{t=0}^h At(1+i)^{-t} \quad (3.18)$$

4. UYGULAMA VE ANALİZLER

Bu tez çalışmasında, iki önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar ve güneş enerjisinin fizibilite analizleri üzerine çalışma yapılmıştır. Çalışmada genelde kullanılan paket programlar kullanılmamış, analizler için Matlab programı kullanılmıştır. Analizlerin görsel olması, veri giriş ve sonuç ekranlarının kolay olması açısından Matlab programında çeşitli ara yüzler hazırlanmıştır. Hazırlanan ara yüzler verileri bilinen her bölge için kullanılabilir, parametreleri değiştirebilir.

Çalışmanın ilk bölümde, Amasra bölgesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan 2012-2013 dönemine ait saatlik rüzgar hızı verileri kullanılmıştır [43]. Fizibilite analizlerine uygun olarak, ilk olarak Rayleigh istatistiksel metodu yardımıyla bölgenin aylık ve yıllık rüzgar enerjisi potansiyel analizi yapılmıştır. Bölgenin rüzgar enerjisi yatırımı için uygun potansiyele sahip olduğu tespit edildikten sonra, anma güçleri 600 kW-3000 kW arasında değişen beş farklı türbinle enerji analizleri yapılmıştır. Mevsimsel ve yıllık olarak enerji üretim miktarları, kapasite faktörleri hesaplanmıştır. Daha sonra rüzgar enerjisi yatırımcılarından alınan güncel rakamlarla türbinler için çeşitli yöntemlerle ekonomik analiz yapılmıştır. Yatırımın geri ödeme süresi, yıllara yayılmış elektrik satış fiyatı, borç ödeme miktarları, yatırımın kendini amorti ettikten sonra yıllık kâr miktarları hesaplanmıştır. Son olarak yatırımın emisyon analizi yapılmış, yıllık sera gazı salınımlarının azalma miktarları ve bu miktarların piyasa değerleri bulunmuştur.

Analizlerin ikinci kısmında ise, Amasra bölgesinin enlem, rakım gibi coğrafik özellikleri ve Meteoroloji istasyonundan alınan ortalama güneşlenme süresi ve güneş ışınım değerleri kullanarak, bölgeye kurulu gücü 100 kWp olan güneş paneli kurulduğu takdirde, güneş panellerinin ürettiği yıllık enerji miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra enerji miktarına bağlı olarak, yatırımın geri ödeme süresi, yıllara yayılmış elektrik enerjisi satış fiyatı ve kâr miktarı bulunarak ekonomik analizi, sera gazı azalma miktarı ve bu miktara bağlı piyasa değeri hesaplanarak emisyon analizi yapılmıştır.

Çalışmanın diğer kısmında ise, çalışmanın ilk kısmındaki veriler kullanılmıştır. Bölge için rüzgar ve güneş enerjisi verileri birleştirilerek çeşitli hibrit sistemler oluşturulmuştur. Farklı hibrit sistemlerde üretilen enerji miktarı, bölgenin enerji ihtiyacının karşılanma yüzdesi ve diğer kısımlarda olduğu gibi çeşitli yöntemlerle ekonomik analizi ve emisyon analizi yapılmıştır.

Son olarak ise tez çalışmasının bütün kısmındaki sonuçlar değerlendirilerek, bölge için en uygun ve yatırımcı için en kârlı yöntem araştırılmıştır.

4.1. Matlab Programı ve Matlab/Gui Platformu

Matlab kelimesi, Matrix Laboratory kelimesinin kısaltılmasıyla oluşmuştur. Adından da anlaşıldığı üzere programın ilk kullanım amacı sadece matris işlemlerinin kullanıcılar tarafından kolaylıkla yapılması iken, günümüzde sahip olduğu geniş kütüphaneye mühendislik alanları, ekonomi gibi bir çok bilim dalı tarafından kullanılan program haline gelmiştir. Kütüphanesi sayesinde çeşitli lineer cebir hesaplamaları, veri çözümlenmeleri gibi matematik alanlarının yanı sıra, çeşitli dinamik problemler (maliyet, işaret ve görüntü işleme v.s) modellenebilmekte, sahip olduğu araç kutuları sayesinde bir çok karmaşık işlem hazır fonksiyonlarla rahatlıkla çözülmektedir. Matlab'ın piyasada çok fazla sürümü olup, bu çalışmada, Matlab 2013-a versiyonu kullanılmıştır.

Bu çalışmada, bütün analizlerde, Matlab'ın kullanıcı ara yüzü-Gui platformu kullanılmıştır. Bunun sebebi analizlerin daha kolay anlaşılması, çok sayıda analizin tamamının bir anda yapılması, girdilerin ve sonuçların ekranda görsel bir şekilde gözükmeleridir. Bu görsellik ve kolaylık, programın hem fizibilite çalışmalarında kullanılmasını sağlayacak, hem de eğitim aracı olarak rahatlıkla kullanabilecektir.

Açılımı graphical user interface olan Gui, içinde bulunduğu nesnelere kullanıcıyla etkileşim sağlayan ve bir programın çalışmasını sağlayan grafiksel ara yüzüdür.

Pushbutton, slider, statix text, pop-up menu, listbox gibi Gui içindeki nesnelere sahip oldukları callback adlı dosyaların çağırılmasıyla çalışmaktadır.

Gui nesnelereinden çalışmamızda sık kullanılanlar kısaca açıklanırsa;

Push-button: Bu butona tıklandığında o anda yapılması gereken komutlar Callback altına yazılır.

Static Text: Ekranda herhangi bir bilgi verme veya sonuçları ekranda göstermek için kullanılır.

Edit Text: Kullanıcıdan herhangi bir değer girişi istendiğinde kullanılan nesnedir.

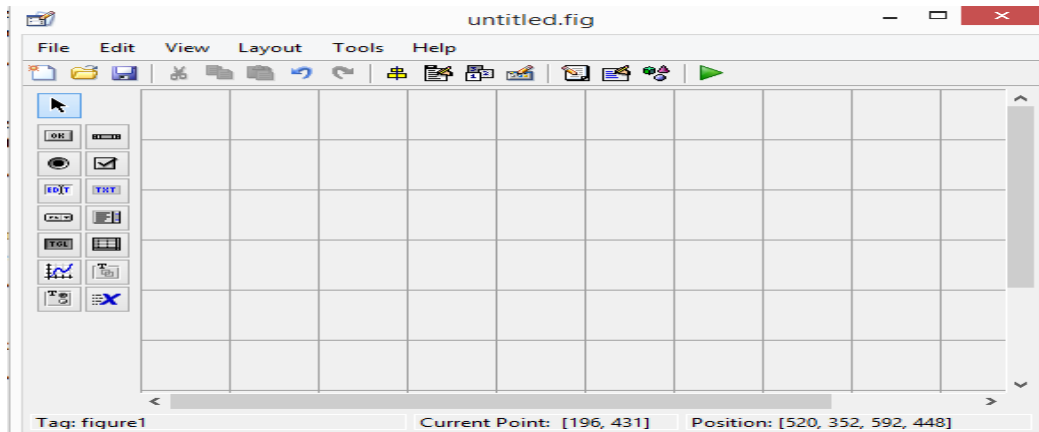
Slider: Kullanıcıdan giriş değerlerini kaydırmak suretiyle alınmasını sağlayan nesnedir.

Axes: Verilerin veya sonuçların grafik yardımıyla ekranda gösterilmesini sağlayan nesnedir.

Panel: Diğer gui nesnelereinin gruplandırılması ve bir arada kullanılmasını sağlayan nesnedir.

Table: Bu nesne verilerin veya sonuçların tablo halinde ekranda gözükmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.1.'de Matlab programının grafiksel ara yüzünün ön panel görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.1. Matlab/Gui platformu ön panel görüntüsü

Nesnelerin ismi, rengi, boyutu, yazı rengi gibi bir çok özelliği kullanılan nesnelerin üzerinde farenin sağ kısmına tıklanarak property inspector kısmından kolaylıkla değiştirilebilir.

4.2. Rüzgar Enerjisi Fizibilite Analizi Çalışması

4.2.1. Çalışmanın Yeri ve Özellikleri

Bu analiz için seçilen bölge, Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Bartın ilinin küçük bir ilçesi olan Amasra'dır. Detaylı analiz yapmak için gerekli olan veriler bu bölgede bulunduğundan seçilmiştir. Coğrafik olarak 41°45' Kuzey Enlemi ve 32°1' Doğu Boylamında yer almaktadır [50]. Amasra ilçesinin meteorolojik ve iklimsel özellikleri çalışma açısından önemlidir. Amasra genel olarak orta kuşak iklimi olan Karadeniz ikliminin etkisinde kalıp her mevsim yağış almaktadır. Bir yılın yaklaşık 250 günü açık ve ya bulutlu, 150 günü bulutlu veya yağışlı olarak geçmektedir. Meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre ilçenin ortama sıcaklığı 13.64, yıllık ortalama yağış miktarı 1000.7 mm, yıllık nem oranı %72.6'dır [50]. Amasra ilçesinin uydu görüntüsü Şekil 4.2.'de harita görüntüsü Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Amasra bölgesinin uydu görüntüsü



Şekil 4.3. Amasra bölgesinin harita görüntüsü

4.2.2. Rüzgar Verileri Analizi

Bir bölgenin rüzgar potansiyeli, bölgedeki ölçüm istasyonunun kaydettiği verilerle belirlenmektedir. Rüzgar hızı, üretilecek enerjiyi ve maliyeti doğrudan etkilediği için ölçüm verisinin fazla olması sonuçların doğruluğu açısından önemlidir.

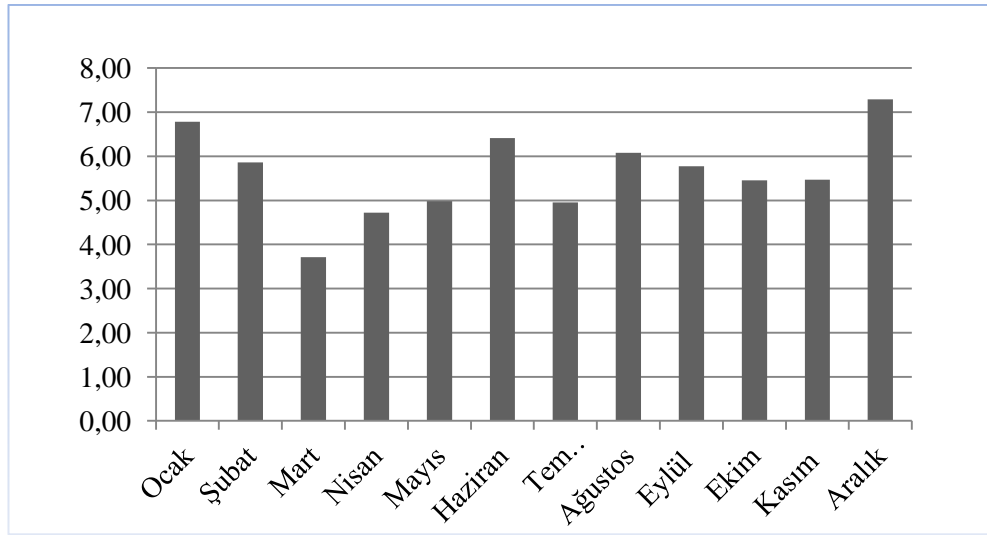
Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İstasyonunun 17602 istasyonun 2012-2013 döneminde saatlik olarak kaydedilen rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Gözlem istasyonunun olduğu bölgede rakım 12 m ve ölçüm direğinin uzunluğu 10 metredir [51].

Saatlik rüzgar hızı ölçümleri kullanılarak ilk olarak günlük ortalama hızları daha sonra aylık ortalama hız verileri metre/saniye cinsinden hesaplanmıştır. Çizelge 4.1.'de aylara göre günlük ortalama rüzgar hızı verileri ve ayların ortalama rüzgar hızı verileri görülmektedir. Çizelgede 1'den 12'ye kadar olan rakamlar Ocak ayından Aralık ayına kadar olan ayları ifade etmektedir.

Çizelge 4.1. Aylara göre günlük/aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

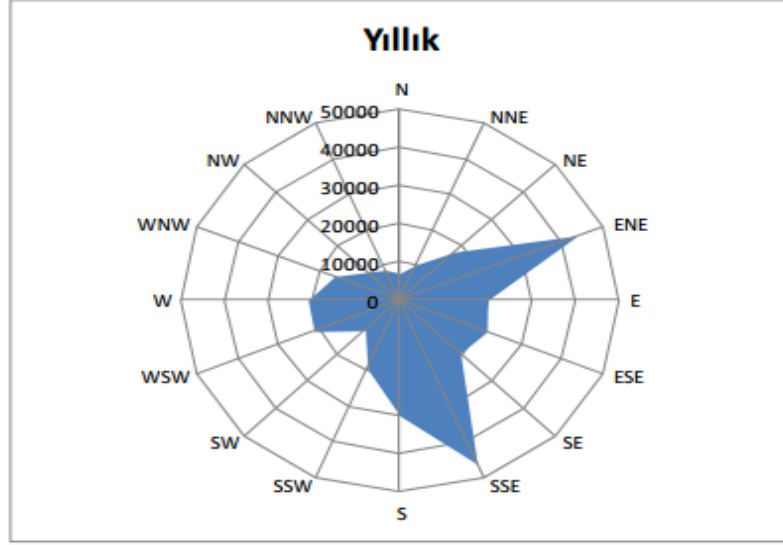
Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3.976	8.831	3.146	4.007	3.317	3.356	3.543	6.833	9.415	2.255	3.091	7.879
2	1.606	6.568	3.311	3.307	1.766	6.531	3.159	4.135	7.427	1.925	5.815	6.484
3	4.255	9.834	3.361	4.374	3.307	4.782	4.745	4.806	6.811	3.517	6.522	10.14
4	7.006	4.573	1.977	4.845	2.649	2.851	6.97	4.361	5.751	4.949	2.955	13.79
5	6.522	5.857	3.243	4.145	1.966	2.968	4.115	6.438	7.198	4.183	3.766	6.891
6	5.909	4.031	2.166	5.981	4.267	6.616	2.533	6.623	3.062	4.989	6.792	7.448
7	6.512	7.249	3.511	7.539	8.571	7.216	6.059	5.779	4.581	2.222	3.724	6.679
8	7.223	7.673	2.582	7.705	7.189	3.682	4.103	6.242	3.255	7.619	8.238	4.688
9	10.06	5.242	2.851	2.657	2.741	5.658	4.829	4.392	4.586	5.379	6.979	8.37
10	7.896	4.693	3.495	2.296	3.739	3.033	4.313	5.308	6.292	2.813	6.719	10.12
11	10.67	3.178	3.261	4.981	1.333	4.523	4.204	8.78	9.259	7.093	5.236	9.366
12	8.137	5.126	4.422	3.969	3.726	2.352	2.675	9.178	2.329	5.605	2.873	7.105
13	6.236	2.958	3.363	2.92	1.714	2.661	3.449	5.875	3.614	4.008	3.189	4.531
14	2.833	4.457	3.439	5.157	3.288	3.126	3.796	4.111	2.165	4.86	3.221	4.132
15	6.033	5.918	4.798	6.276	5.072	4.706	6.011	4.168	2.694	6.084	6.005	5.349
16	6.988	7.964	3.996	4.653	3.676	6.928	2.214	3.946	6.681	4.905	4.929	4.379
17	6.987	3.349	2.612	3.789	3.827	7.475	6.448	4.803	4.791	5.351	4.704	3.114
18	8.847	4.318	3.273	4.879	6.724	9.775	4.248	3.813	5.434	4.527	4.122	4.576
19	7.752	4.907	3.047	3.111	2.502	13.14	8.411	4.799	2.656	2.611	3.996	2.162
20	8.188	8.489	2.362	3.613	2.623	11.04	4.065	4.956	4.242	5.309	3.109	8.317
21	7.037	3.321	1.742	5.339	4.205	8.187	7.697	3.854	8.229	5.399	4.771	7.461
22	7.429	2.536	4.818	5.104	4.26	4.524	2.193	4.364	7.216	4.068	4.619	4.024
23	7.179	2.679	7.598	2.851	8.179	2.374	3.677	6.155	4.638	4.609	2.105	8.361
24	5.712	4.705	1.785	3.347	4.901	3.763	2.239	7.871	2.062	4.021	4.467	4.111
25	6.354	4.662	3.711	4.315	5.545	1.992	7.626	6.982	4.119	3.819	3.252	4.411
26	4.188	3.044	3.682	4.319	4.648	2.125	1.38	4.294	5.081	4.549	3.873	6.074
27	3.396	3.909	3.193	2.765	5.686	4.501	3.04	5.605	4.703	4.797	3.062	4.197
28	4.231	3.922	1.567	4.756	5.268	4.047	3.583	9.279	2.983	8.339	6.431	4.851
29	3.581		3.251	4.163	3.33	3.173	3.279	7.316	4.359	6.841	7.209	7.163
30	2.171		3.005	1.872	6.257	3.214	4.254	4.964	5.004	9.386	9.492	7.965
31	3.895		4.081		5.939		4.226	4.912		5.399		2.339
Ay.	6.775	5.859	3.708	4.722	4.982	6.411	4.946	6.076	5.768	5.448	5.47	7.288

Şekil 4.4.'de ise ayların ortalama rüzgar hızı verileri grafiksel olarak gösterilmiştir. Çizelgeden ve şekilden anlaşılacağı üzere 3.708 m/sn aylık ortalama rüzgar hızı ile Mart ayı, yılın en düşük, 7.288 m/sn aylık ortalama rüzgar hızı ile Aralık ayı, yılın en yüksek ortalama rüzgar hızına sahiptir. Mevsimsel olarak en yüksek ortalama rüzgar hızı verileri kış mevsimindeki aylarda, en düşük ortalama rüzgar hızı verileri ise ilkbahar mevsimindeki aylarda rastlanmaktadır. Günlük ortalamalarda en yüksek rüzgar hızı verisi 13.79 m/sn, en düşük rüzgar hızı verisi 1.33 m/sn'dir. Çizelgedeki aylık ortalama rüzgar hızları kullanılarak bölgenin yıllık ağırlıklı ortalama rüzgar hızı yaklaşık 5.77 m/sn bulunmuştur. 10 metredeki ölçümler olduğu dikkate alındığında ortalama rüzgar hızlarınının rüzgar enerjisi yatırımı için bölgenin uygun potansiyele sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4.4. Aylara göre ortalama rüzgar hızı grafiği

Yine meteoroloji istasyonundaki kayıtlara göre bölgedeki hakim rüzgar yönü, birinci derecede SSE (Güney-Güney Doğu), ikinci derecede hakim rüzgar yönü ENE (Doğu-Kuzey Doğu) ve üçüncü derecede hakim rüzgar yönü S (Güney)'dir. Şekil 4.5.'te rüzgar esme sayılarına göre oluşturulmuş rüzgar gülleri verilmiştir.

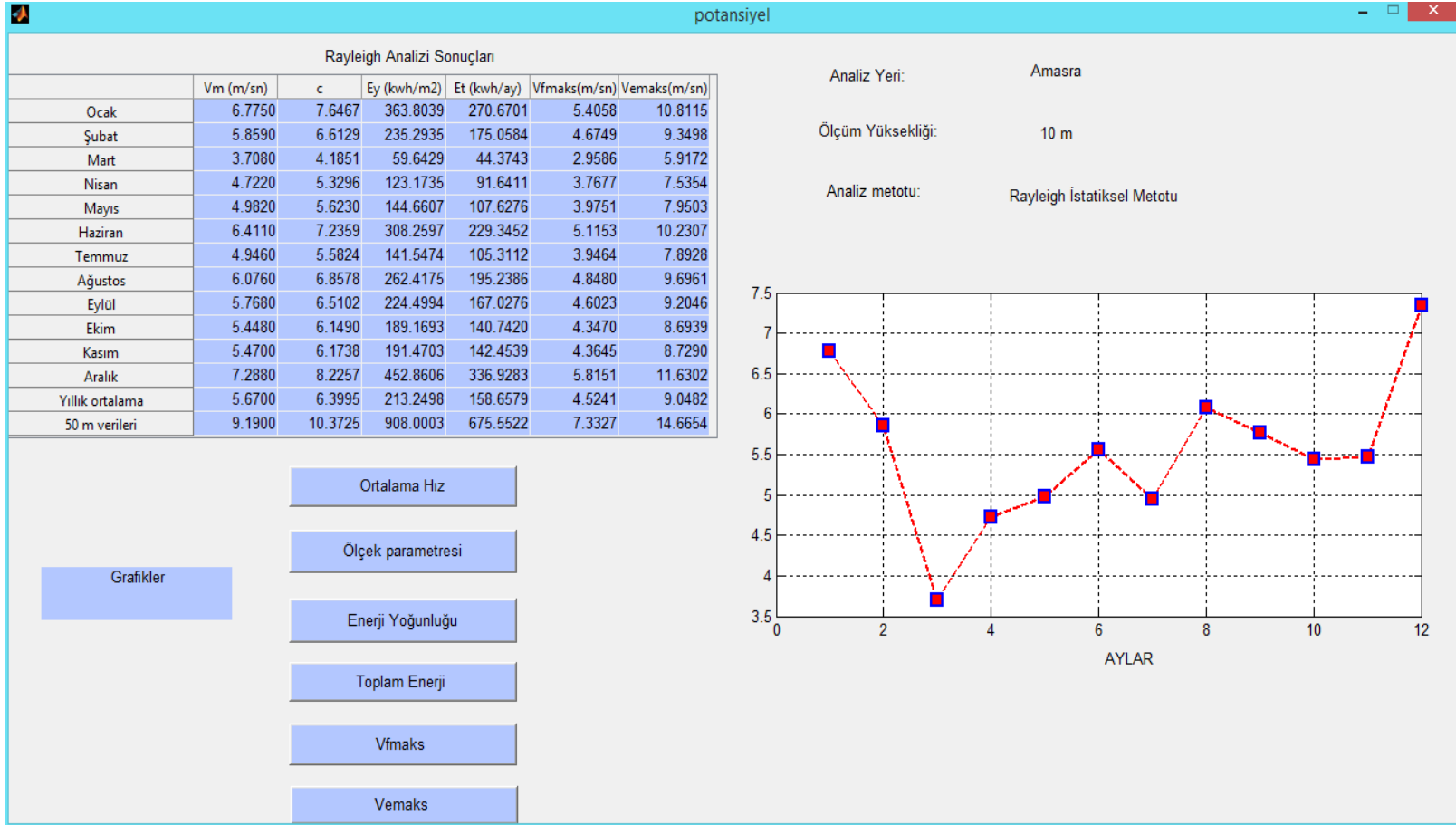


Şekil 4.5. Rüzgar esme sayılarına göre yıllık rüzgar gülü

4.2.3. Potansiyel Analiz Uygulaması ve Sonuçları

Bu çalışmada, bölgenin bir senelik saatlik rüzgar hızı verileri kullanarak, hem rüzgarın frekans dağılımını çıkartabilmek hem de geleceğe yönelik tahminlerde bulunabilmek için, Rayleigh istatiksel metodu kullanılmıştır. Rayleigh istatiksel metodu kullanmak için sadece ortalama rüzgar hızı verisi yeterli olup gerekli formüller bir önceki bölümde verilmiştir. Bölgedeki ortalama sıcaklık, 13.7°C, yaklaşık 15°C olarak ve rakım ise yaklaşık deniz seviyesinde kabul edilmiştir. Potansiyel analiz için hazırlanan ara yüzün ekran görüntüsü Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

Hazırlanan ara yüzde, aylara göre ortalama rüzgar hızı, ölçek parametresi, enerji yoğunluğu, toplam enerji miktarı, en sık rüzgar hızı ve elde edilen enerjiye maksimum katkı yapan rüzgar hızı değerleri, bu değerlerin yıllık ortalamaları ve 50 metre yükselmiş değerler ve bunların grafikleri yer almaktadır.



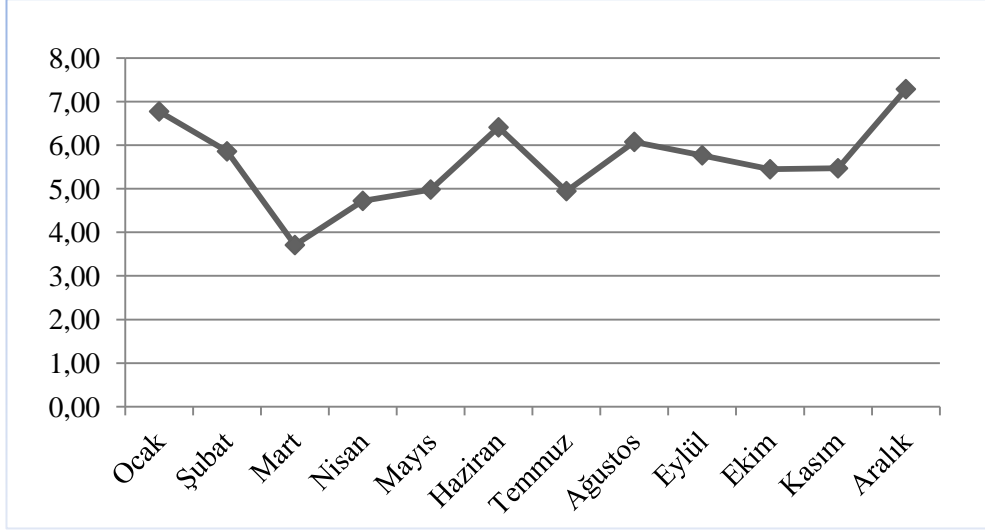
Şekil 4.6. Potansiyel analiz ara yüzünün ekran görüntüsü

Bu programa göre, aylara göre elde edilmiş potansiyel analiz sonuçları, Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelgedeki V_m ortalama rüzgar hızını, c ölçek parametresini, $E_y(w)$ enerji yoğunluğu, E_t toplam enerji miktarını, V_{fmaks} en sık görülen rüzgar hızını, V_{emaks} ise enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgar hızını ifade etmektedir.

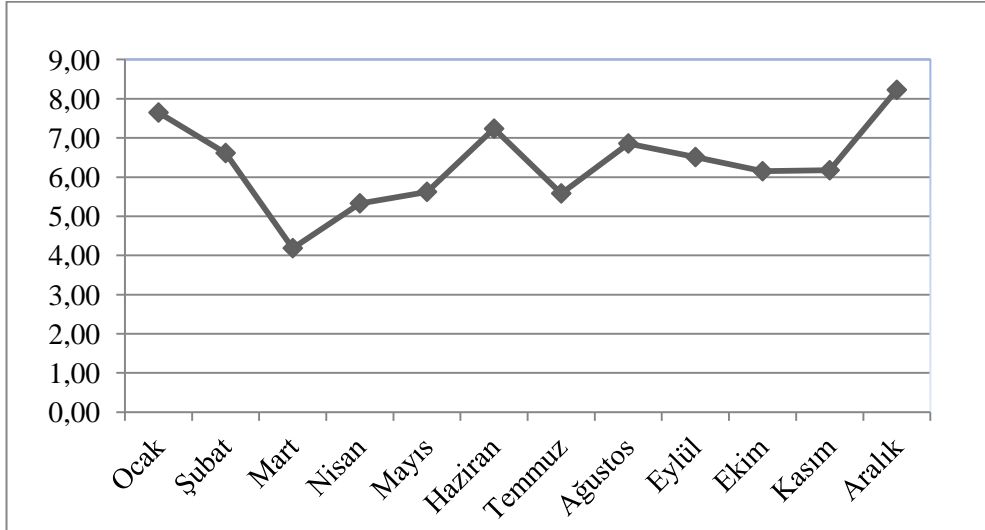
Çizelge 4.2. Rayleigh analiz sonuçları-bölgenin aylık potansiyel analiz sonuçları

Aylar	V_m (m/sn)	c	E_y (w)	E_t (w)	V_{fmaks} (m/sn)	V_{emaks} (m/sn)
Ocak	6.78	7.65	363.80	270670.11	5.41	10.81
Şubat	5.86	6.61	235.29	158117.24	4.67	9.35
Mart	3.71	4.19	59.64	44374.31	2.96	5.92
Nisan	4.72	5.33	123.17	88684.95	3.77	7.54
Mayıs	4.98	5.62	144.66	107627.58	3.98	7.95
Haziran	6.41	7.24	308.26	221947.00	5.12	10.23
Temmuz	4.95	5.58	141.55	105311.24	3.95	7.89
Ağustos	6.08	6.86	262.42	195238.60	4.85	9.70
Eylül	5.77	6.51	224.50	161639.58	4.60	9.20
Ekim	5.45	6.15	189.17	140741.99	4.35	8.69
Kasım	5.47	6.17	191.47	137858.62	4.36	8.73
Aralık	7.29	8.23	452.86	336928.30	5.82	11.63
Yıllık ort.	5.77	6.51	224.73	167.20	4.60	9.21

Aylara göre ortalama hız grafiği Şekil 4.7.'de ve aylara göre ölçek parametresi grafiği Şekil 4.8.'de verilmiştir. 10 m yükseklikte bölgenin rüzgar hızı ortalaması 3.71 m/sn ile 7.29 m/sn arasında değişmekte olup, yıllık rüzgar hızı ortalaması 5.77 m/sn'dir. Rayleigh metodu kullanıldığı için ölçek parametresi her zaman ikiye eşittir. Ölçek parametresi 4.19 ile 8.23 arasında değişmektedir. Mart ayında en düşük değere, aralık ayında en yüksek değere sahiptir. Ortalama hız da en düşük ve en yüksek değerlerini aynı aylarda almıştır, bu da ölçek parametresi ile ortalama hız arasındaki doğrudan ilişkiyi göstermektedir.



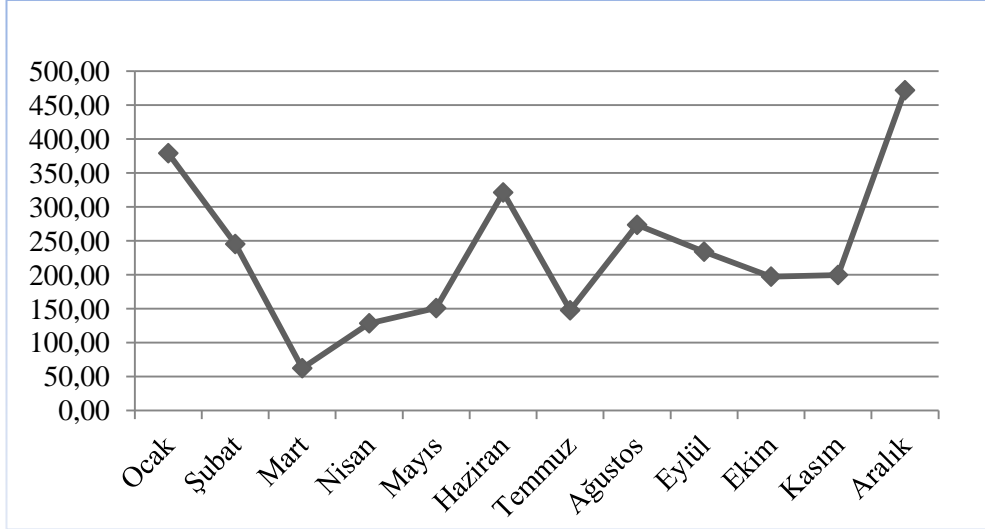
Şekil 4.7. Aylara göre ortalama rüzgar hızı grafiği



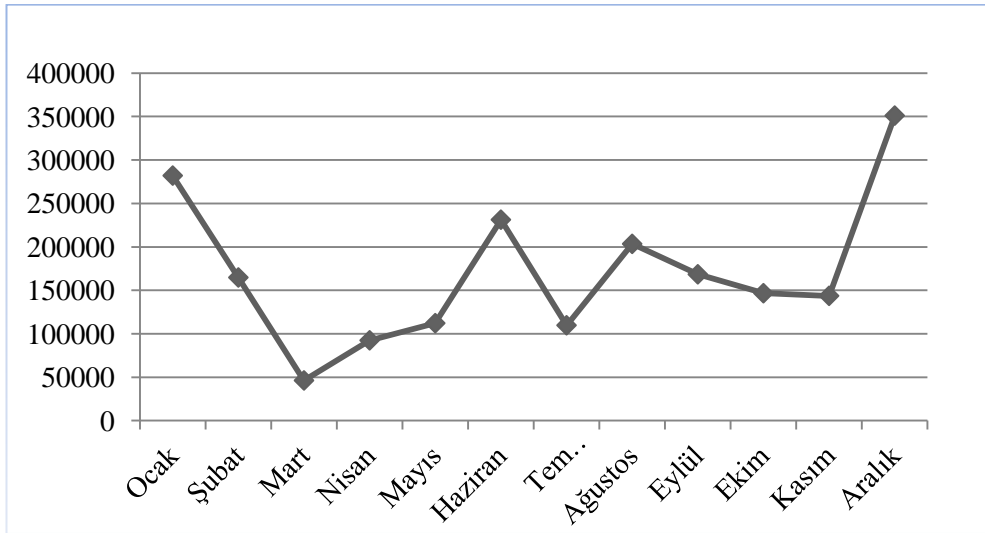
Şekil 4.8. Aylara göre ölçek parametresinin değişim grafiği

Enerji yoğunluğunun aylara göre değişim miktarı Şekil 4.9.'da, toplam enerji miktarının aylara göre değişim miktarı Şekil 4.10.'da verilmiştir. 1 m²'lik alana düşen enerji miktarı 59W ile 452W arasında değişmektedir. Toplam enerji miktarı bulunurken, şubat ayı 28 çaktığı için toplam süre 672 saat, 30 günlük aylarda toplam süre 720 saat, 31 günlük aylarda toplam süre 744 saat olarak alınmıştır. Buna göre,

aylık toplam enerji miktarı, en düşük yuvarlamayla 158.12 KW şubat ayında, en yüksek yuvarlamayla 336 KW aralık ayında hesaplanmıştır

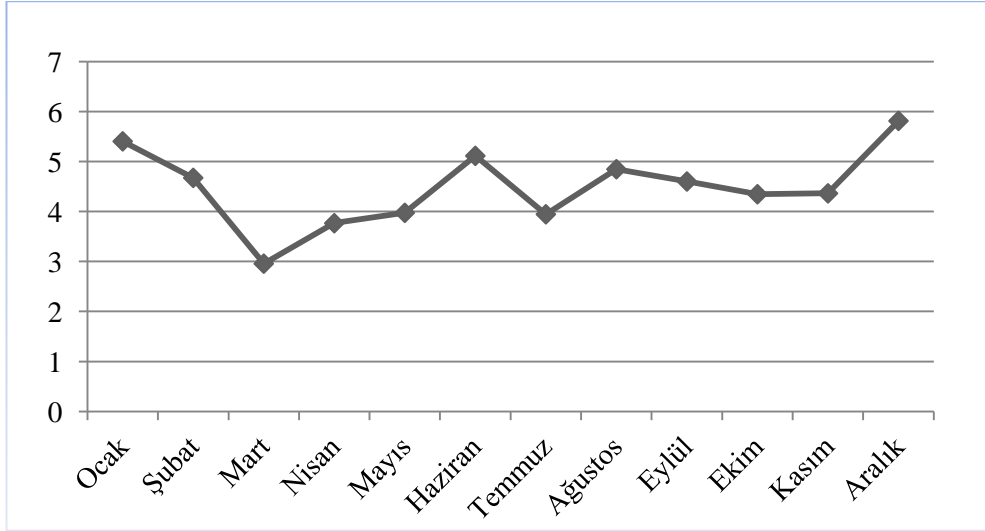


Şekil 4.9. Aylara göre enerji yoğunluğunun değişim grafiği

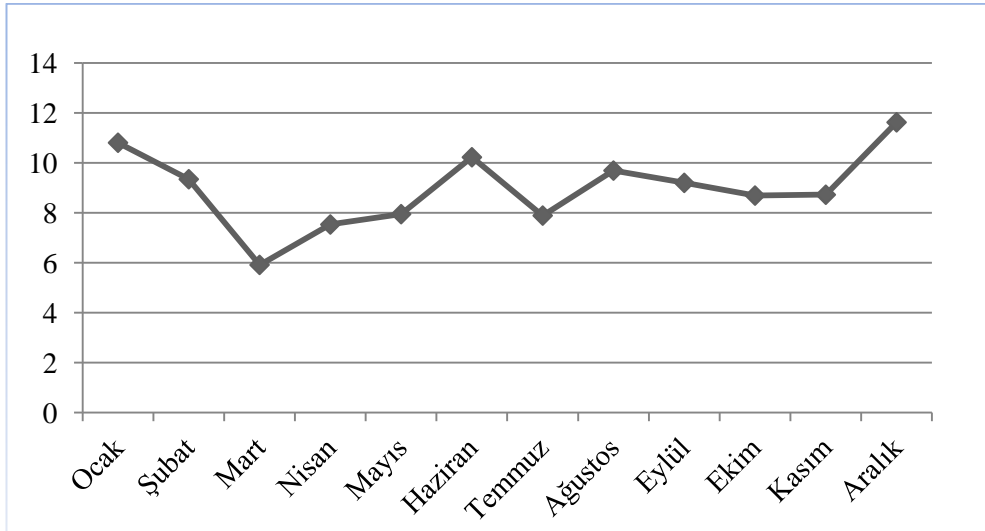


Şekil 4.10. Aylara göre toplam enerji miktarının değişim grafiği

Aylara göre en sıklıkla görülen rüzgar hızı değerleri grafiği Şekil 4.11.'de ve o ay içindeki enerjiye maksimum katkı yapan rüzgar hızı değerleri grafiği Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Aylara göre en sık görülen rüzgar hızı değerleri grafiği



Şekil 4.12. Aylara göre enerji eldesine maksimum katkı yapan rüzgar hızı değerleri grafiği

Aylar içindeki en sık görülen rüzgar hızı değerleri 2.96 m/sn ile 5.82 m/sn arasında değişmekte iken, enerji eldesine maksimum katkı yapan rüzgar hızı değerleri 5.92 m/sn ile 11.63 m/sn arasında değişmektedir. En düşük değere mart ayında, en yüksek değere aralık ayında rastlanmaktadır.

Rayleigh istatistiksel metoduyla yapılan potansiyel analiz sonucunda, bölgenin rüzgar enerjisi bakımından zengin olduğu ve yatırım için bölgenin uygun olduğu ortaya konmuştur.

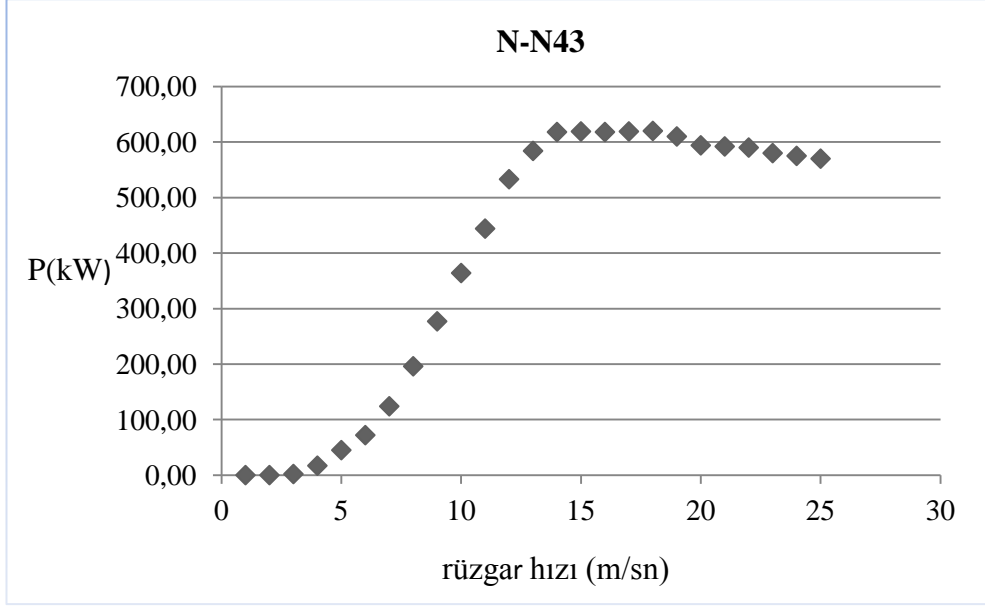
4.2.4. Enerji Analiz Uygulaması ve Sonuçları

Çalışmanın bu kısmında, bölgenin rüzgar potansiyelinden yararlanarak enerji üretimi yapabilmek için, güçleri 600 kW-3000 kW arasında değişen beş farklı türbin seçilmiştir.

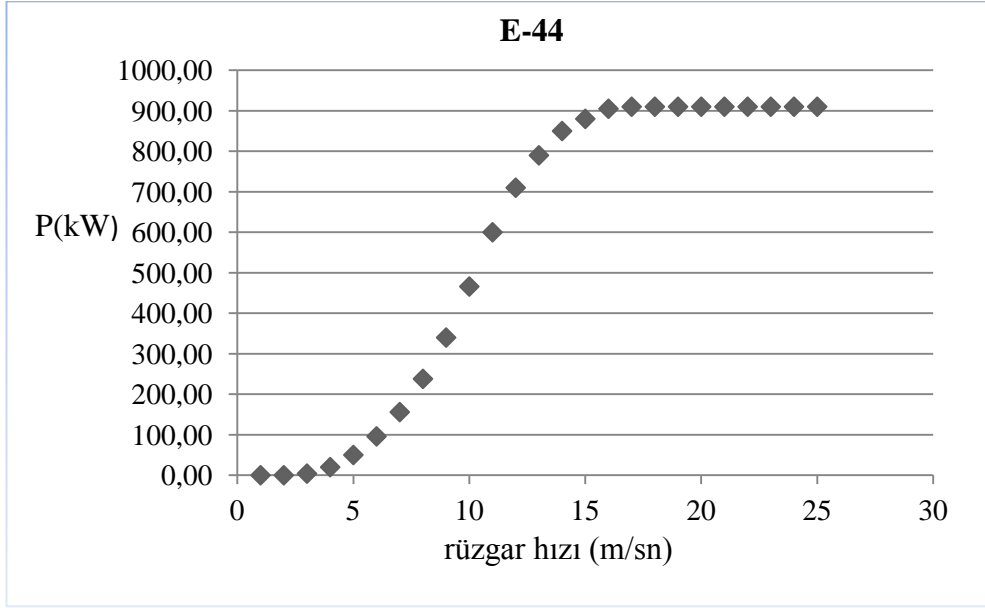
Türbinlerin bazı teknik özellikleri (anma gücü, kule yüksekliği, rotor çapı, rotor süpürme alanı) Çizelge 4.3.'de, türbinlerin güç eğrileri ise Şekil 4.13.a., 4.13.b., 4.13.c., 4.13.d., 4.13.e.'de gösterilmiştir [10-52].

Çizelge 4.3. Kullanılan türbinlerin bazı teknik özellikleri

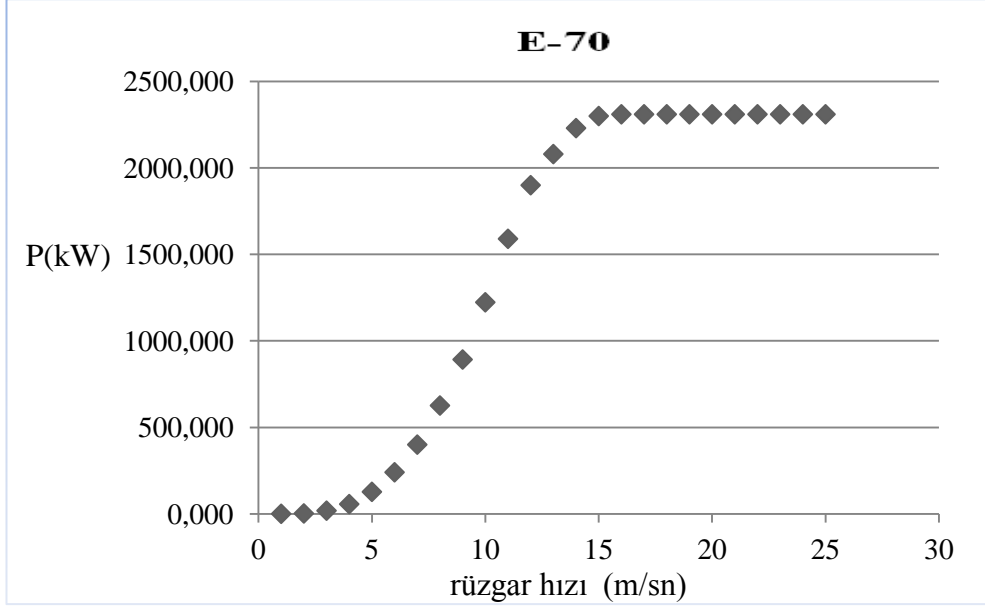
Türbin Adı	Anma gücü (KW)	Kule yüksekliği (m)	Rotor çapı (m)	Rotor süpürme alanı (m ²)
Nordex N-43	600	40/50/60/78	43	1452
Enercon-44	900	45/55/65	44	1521
Enercon-70	2300	57/64/85/98/113	71	3959
Nordex N-80	2500	60/70/80	80	5026
Enercon-82	3000	78/85/98/108/138	82	5281



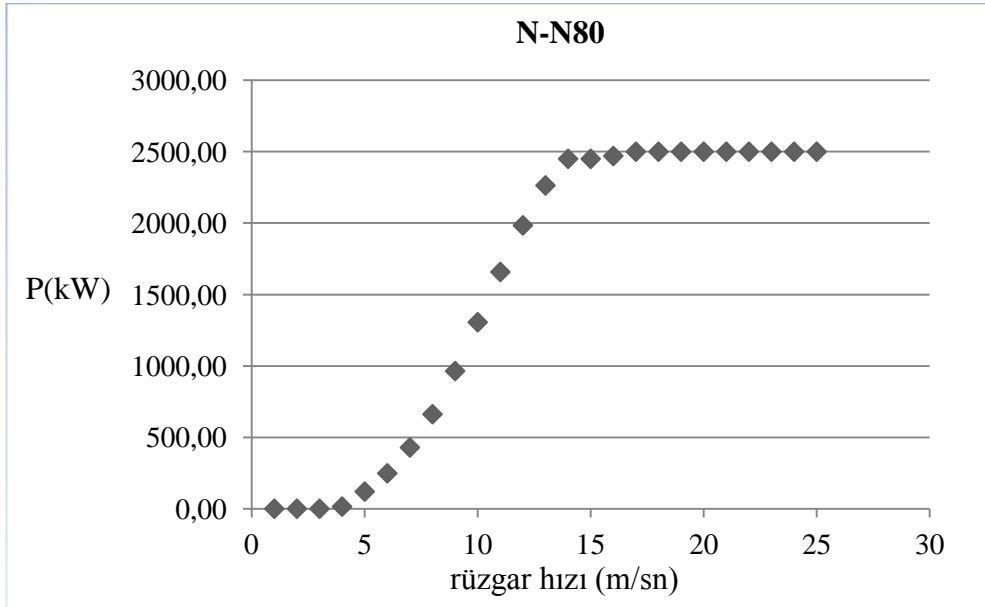
Şekil 4.13.a. Nordex-N43 türbini güç eğrisi



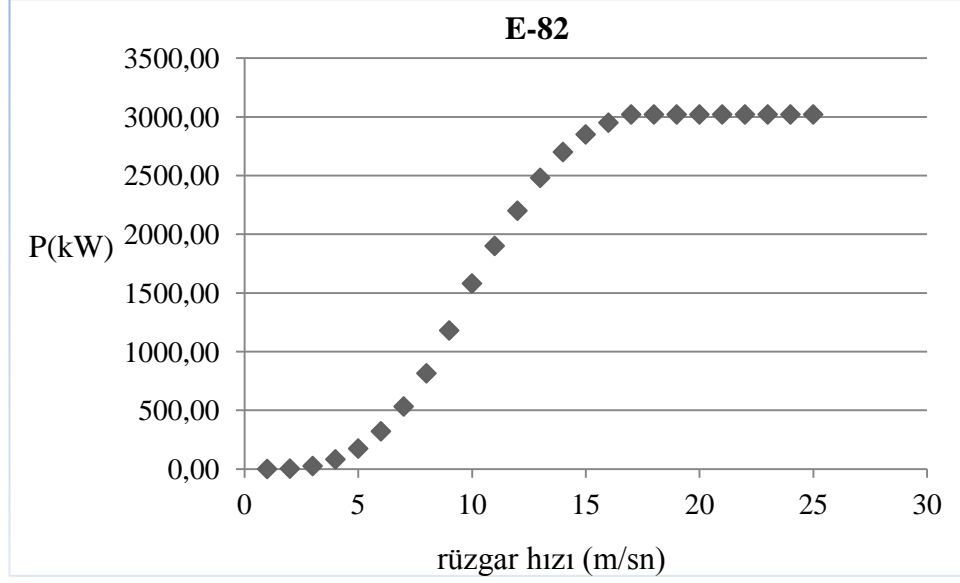
Şekil 4.13.b. Enercon-44 türbini güç eğrisi



Şekil 4.13.c. Enercon-70 türbini güç eğrisi



Şekil 4.13.d. Nordex-N80 türbini güç eğrisi



Şekil 4.13.e. Enercon-82 türbini güç eğrisi

Seçilen rüzgar türbinlerinin güç eğrileri ve türbinlerin teknik özellikleri kullanılarak, bölgenin yıllık ve mevsimlik olarak, türbinlerden elde edilecek enerji üretim miktarları, kapasite faktörlerinin hesaplandığı program parçacığı hazırlanmıştır. Bu yüzden ilk olarak Hellman bağıntısı kullanılarak bölgenin sahip olduğu on metredeki yıllık ve mevsimsel olarak ortalama rüzgar hız verileri, türbinlerin kullanılacağı kule yüksekliğindeki değerine dönüştürülmüştür.

Türbinlerin kullanacağı kule yükseklikleri Nordex-N43 türbini için 40 m, Enercon-44 için 45m, Enercon-70 türbini için 57m, Nordex-N80 türbini için 60m ve Enercon-82 türbini için 78 m tercih edilmiştir. Kullanılacak olan kule yüksekliklerini belirlerken günümüzde genelde tercih edilen değerler seçilmiştir.

Rüzgar hızı dönüşümleri yapıldıktan sonra, Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak rüzgar hızlarının olasılıkları hesaplanmış, bu değerler toplam süreyle çarpılarak rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri bulunmuştur. Türbinden elde edilen enerji miktarı ise türbin güç eğrisinde, rüzgar hızına karşılık gelen güç değeri ile esme süresi çarpılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yıllık ve mevsimsel olarak ayrı ayrı yapılarak enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri bulunmuştur. Bu hesaplamaların yapıldığı ara yüzün görüntüsü Şekil 4.14.'de verilmiştir.



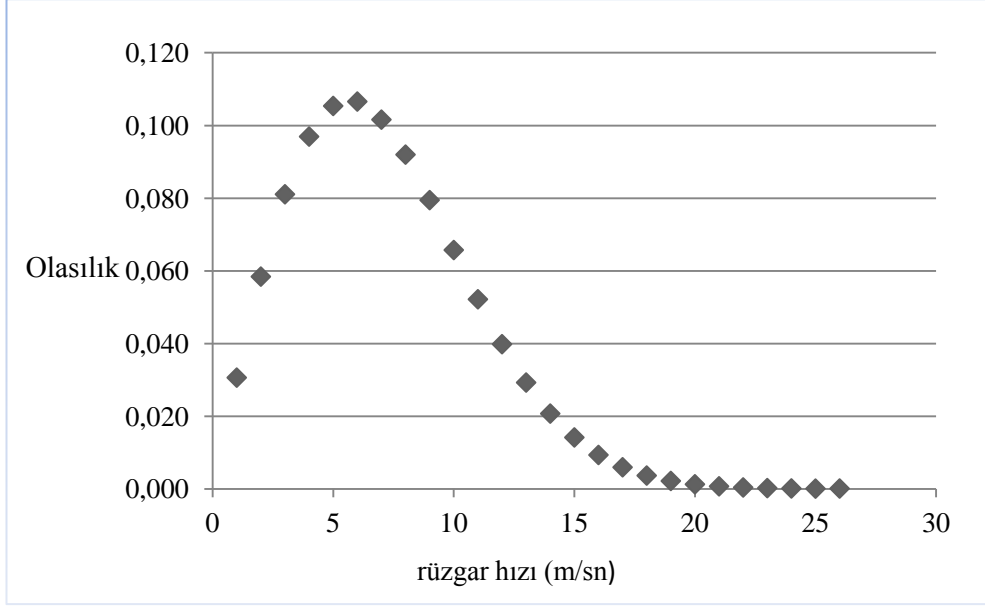
Şekil 4.14. Enerji analizi ara yüzünün ekran görüntüsü

Enerji analizinde ilk olarak sıcaklık ve yükseklik değerlerine bağlı olarak hava yoğunluğu hesaplanmış, 10 m yükseklik için ortalama hız değeri, bölgeden elde edilebilecek rüzgar gücü ve bölgenin yıllık enerji potansiyeli bulunmuştur. Sıcaklık 15°C, yükseklik ise 200 m alınmış olup, istenirse değiştirebilir. 10 metredeki yıllık ve mevsimsel olarak bulunan ortalama rüzgar hızının kullanılan türbinlerin kule yüksekliğine göre Hellman bağıntısı yardımıyla dönüştürülmüştür. Hesaplamalarda pürüzlülük katsayısı bölgenin özelliğine göre 0.15 olarak alınmıştır, Bu değer, programda kullanıcıdan isteniyor olup istenildiği takdirde değiştirebilir. Çizelge 4.4.'de, ortalama rüzgar hızlarının, Hellman bağıntısına göre kule yüksekliklerine dönüştürüldükten sonraki değerleri görülmektedir.

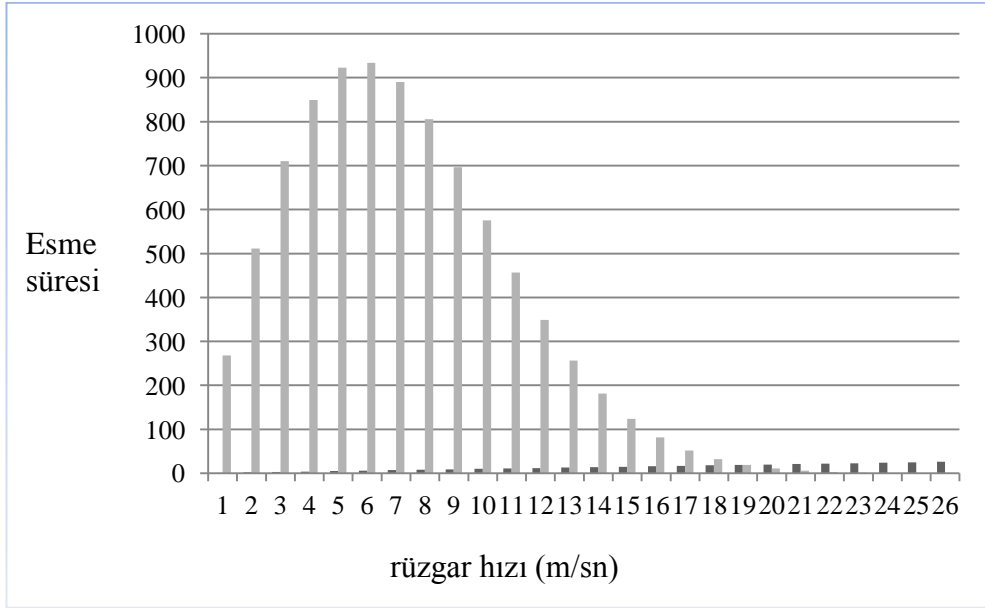
Çizelge 4.4. Rüzgar hızı değişim değerleri

Yükseklik Değerleri (m)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn-yıl)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn-sonbahar)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn-kış)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn-ilkbahar)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn-yaz)
h = 10	5.77	5.57	6.69	4.53	5.88
h = 40	7.11	6.85	8.24	5.58	7.23
h = 45	7.23	6.98	8.39	5.68	7.37
h = 57	7.49	7.22	8.69	5.88	7.63
h = 60	7.55	7.28	8.76	5.93	7.69
h = 78	7.85	7.58	9.11	6.17	7.99

Şekil 4.15.a.'da 600 kW anma gücü ve 40 m kule yüksekliğine sahip Nordex-N43 için rüzgar hızlarının görülme olasılıkları, Şekil 4.15.b.'de ise rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri görülmektedir. Bu değerlere bağlı olarak türbin güç eğrisi kullanılarak türbinden elde edilecek enerji miktarları hesaplanmıştır



Şekil 4.15.a. İlk kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları



Şekil 4.15.b. İlk kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri

Çizelge 4.5.'de Nordex-43 türbini için üretilen enerji miktarının hesaplanması görülmektedir. Benzer hesaplamalar diğer türbinler için de yapılmıştır.

Çizelge 4.5. Nordex-N43 türbini örnek enerji üretim hesabı sonuçları

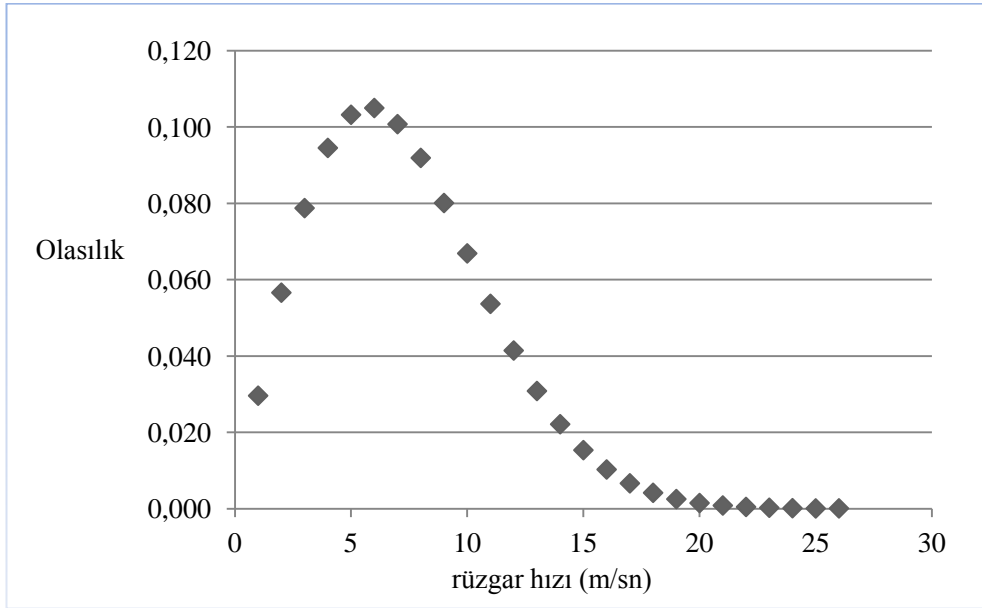
Rüzgar hızı	Olasılık	Esme (saat)	Güç (KW)	Enerji (KWh)
1	0.031	268.002	0.000	0.000
2	0.058	511.594	0.000	0.000
3	0.081	710.035	2.000	1420,070
4	0.097	849.155	17.000	14435.627
5	0.105	922.933	45.000	41532.002
6	0.107	933.535	72.000	67214.496
7	0.102	889.941	124.000	110352.715
8	0.092	805.643	196.000	157906.024
9	0.079	695.969	277.000	192783.342
10	0.066	575.635	364.000	209531.076
11	0.052	456.925	444.000	202874.654
12	0.040	348.693	533.000	185853.573
13	0.029	256.166	584.000	149600.908
14	0.021	181.354	618.000	112076.705
15	0.014	123.827	619.000	76649.056
16	0.009	81.597	618.000	50427.178
17	0.006	51.921	619.000	32138.998
18	0.004	31.916	620.000	19787.857
19	0.002	18.960	610.000	11565.517
20	0.001	10.888	594.000	6467.707
21	0.001	6.047	592.000	3579.583
22	0.000	3.248	590.000	1916.147
23	0.000	1.688	580.000	978.764
24	0.000	0.848	575.000	487.837
25	0.000	0.413	570.000	235.282

Çizelge 4.6.'da Nordex-43 türbini kullanılarak bölgeden yıllık ve mevsimsel olarak üretebilecek enerji miktarı ve bu dönemler için hesaplanan kapasite faktör değerlerinin sonuçları verilmiştir.

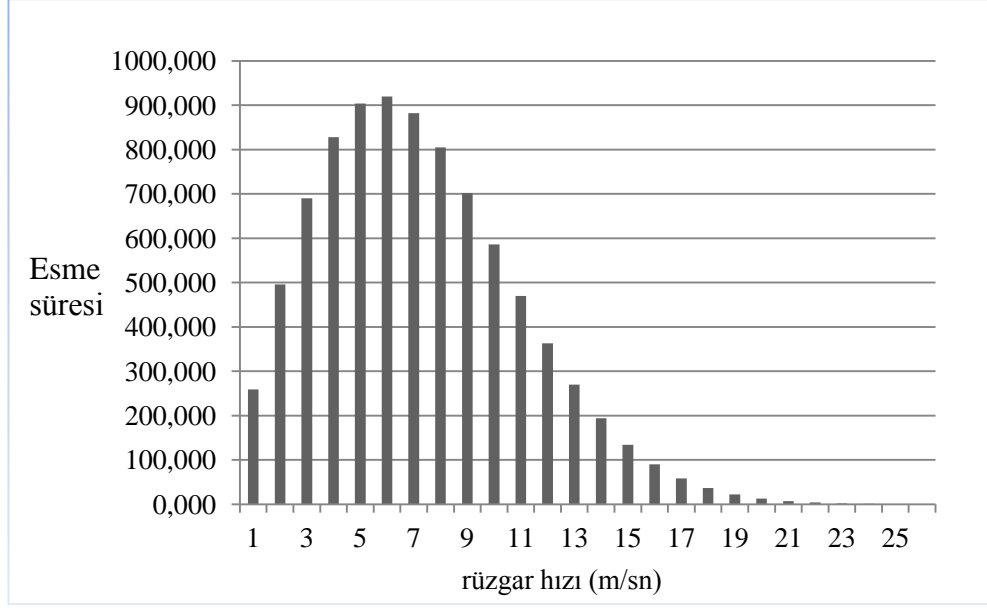
Çizelge 4.6. Nordex-N43 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri

	Kapasite Faktörü (%)	Enerji Üretim Miktarı (MWh)
Sonbahar	29.16	382.09
Kış	40.79	528.57
İlkbahar	18.11	240.02
Yaz	32.49	430.4
Yıllık	31.35	1647.84

Bölgeden elde edilecek enerji üretim miktar analizleri, 900 kW anma gücü ve 45 m kule yüksekliğine sahip ikinci türbinimiz Enercon-44 için yapılmıştır. Bu kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları ve esme süreleri Şekil 4.16.a ve Şekil 4.16.b.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.16.a. İkinci kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları



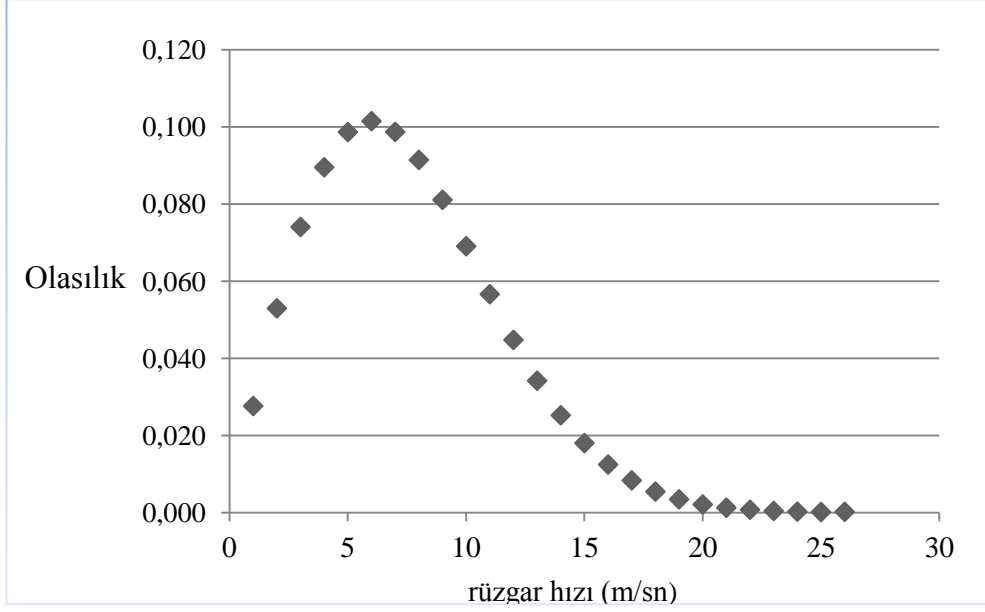
Şekil 4.16.b. İkinci kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri

Çizelge 4.7.'de ise bölgeden ikinci türbinle üretebilecek enerji üretim miktarı ve kapasite faktör değerleri gösterilmiştir.

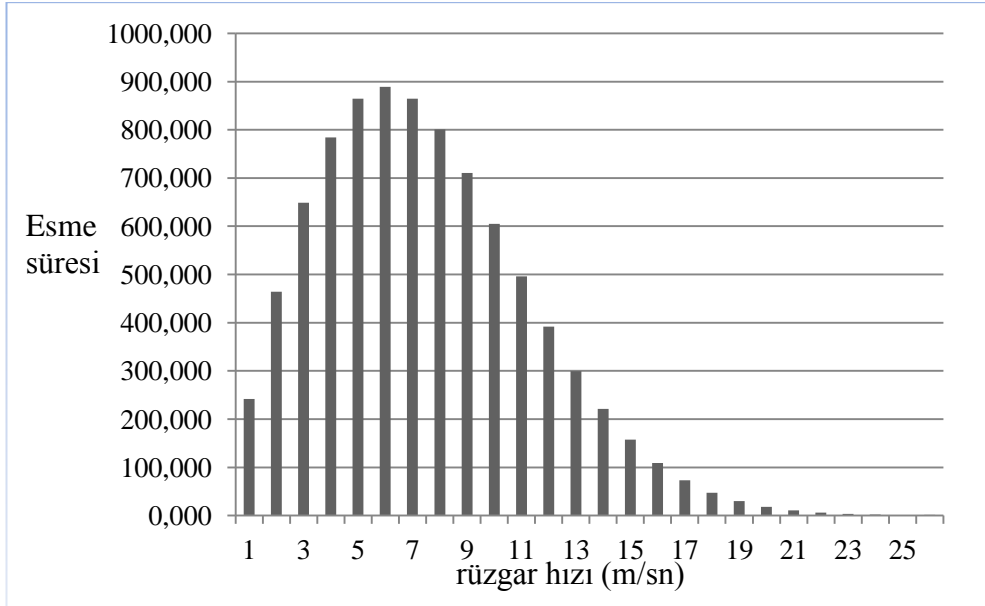
Çizelge 4.7. Enercon-44 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri

	Kapasite Faktörü (%)	Enerji Üretim Miktarı (MWh)
Sonbahar	26.4	518.95
Kış	37.48	728.69
İlkbahar	16.6	321.27
Yaz	29.54	587.08
Yıllık	28.47	2244.4

2300 kW anma gücüne sahip 57 m kule yüksekliğindeki üçüncü türbin Enercon-70 için, kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları ve esme süreleri grafiksel olarak Şekil 4.17.a. ve Şekil 4.17.b.'de verilmiştir.



Şekil 4.17.a. Üçüncü kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları



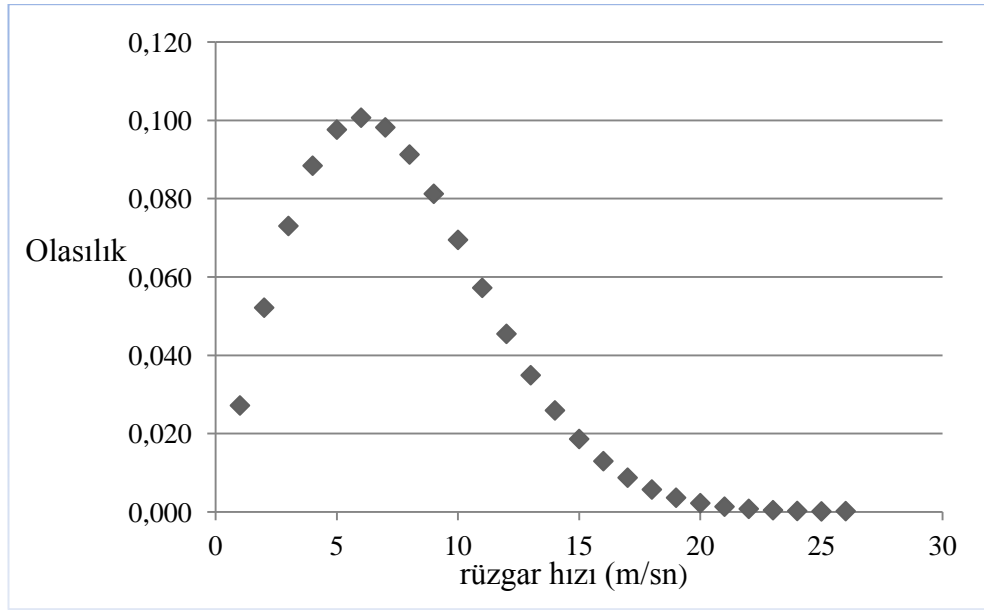
Şekil 4.17.b. Üçüncü kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri

Çizelge 4.8.'de ise bölgeden üçüncü türbinle üretebilecek enerji üretim miktarı ve kapasite faktör değerleri gösterilmiştir.

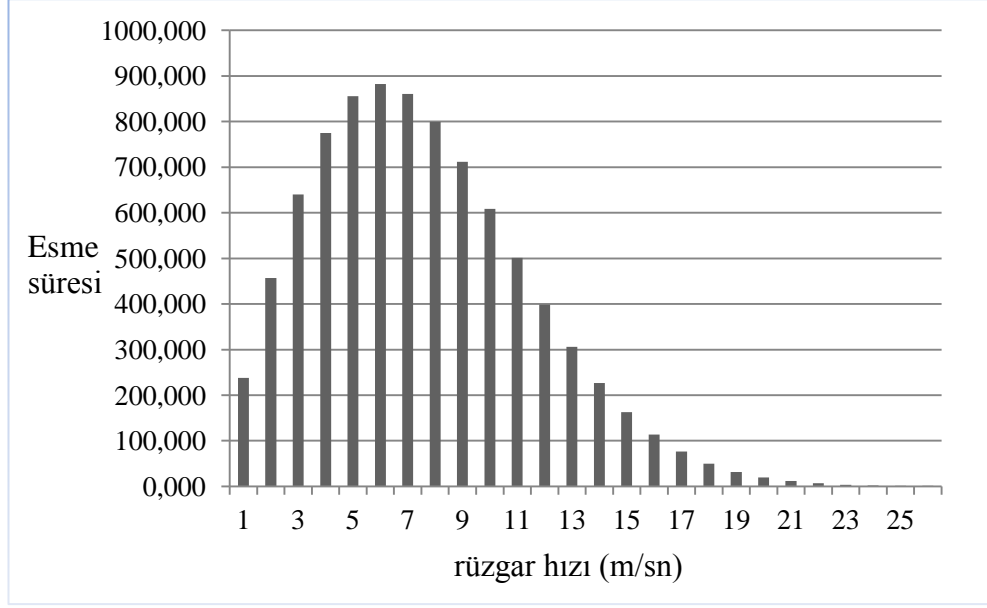
Çizelge 4.8. Enercon-70, Enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri

	Kapasite Faktörü (%)	Enerji Üretim Miktarı (MWh)
Sonbahar	29.15	1464.4
Kış	40.58	2015.8
İlkbahar	18.19	923.5
Yaz	32.44	1647.42
Yıllık	31.32	6310.12

2500 kW anma gücü ve 60 metre kule yüksekliğine sahip Nordex N-80 türbini kullanılarak kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılığı ve esme süreleri Şekil 4.18.a. ve Şekil 4.18.b.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.18.a. Dördüncü kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları



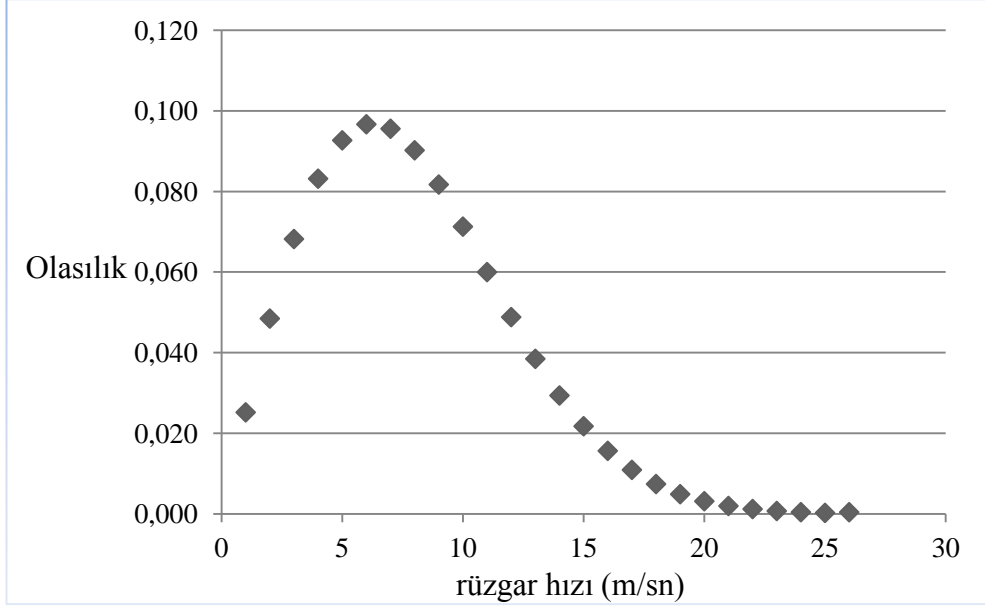
Şekil 4.18.b. Dördüncü kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri

Çizelge 4.9.'da ise bölgeden dördüncü türbinle üretebilecek enerji üretim miktarı ve kapasite faktör değerleri gösterilmiştir.

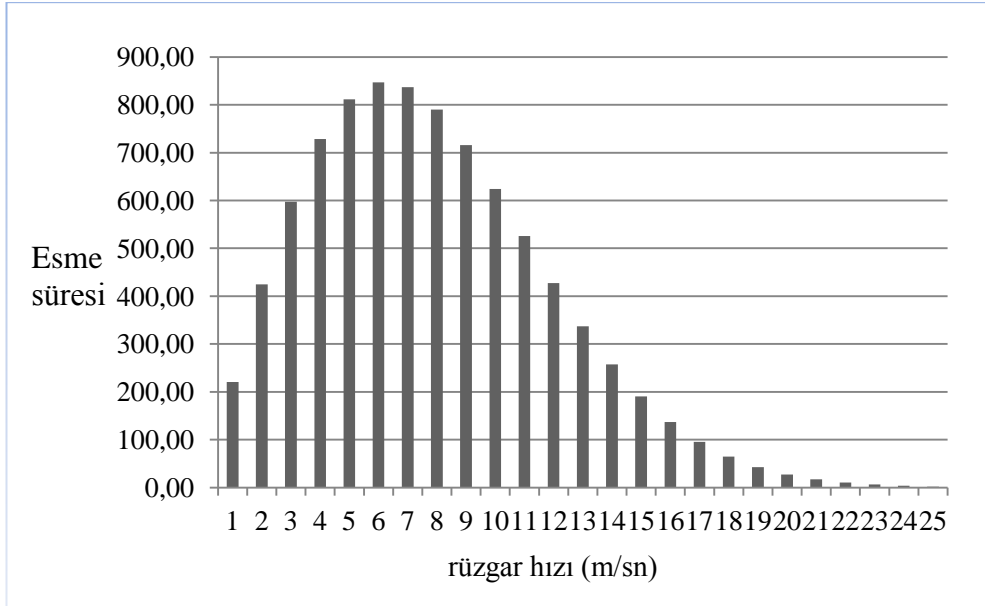
Çizelge 4.9. Nordex-N80 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri

	Kapasite Faktörü (%)	Enerji Üretim Miktarı (MWh)
Sonbahar	28.76	1570.05
Kış	40.17	2169.04
İlkbahar	17.76	980.15
Yaz	32.04	1768.8
Yıllık	30.92	6772.04

Son olarak 3000 kW anma gücüne ve 78 metre kule yüksekliğine sahip Enercon-82 türbini kullanılmıştır. Kule yüksekliğindeki rüzgar hızlarının yıl içerisindeki görülme olasılığı şekil 4.19.a.'da, esme süreleri şekil 4.19.b.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.19.a. Beşinci kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki görülme olasılıkları



Şekil 4.19.b. Beşinci kule yüksekliğinde rüzgar hızlarının yıl içindeki esme süreleri

Çizelge 4.10.'da ise bölgeden üçüncü türbinle üretebilecek enerji üretim miktarı ve kapasite faktör değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Enercon-82 için enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri

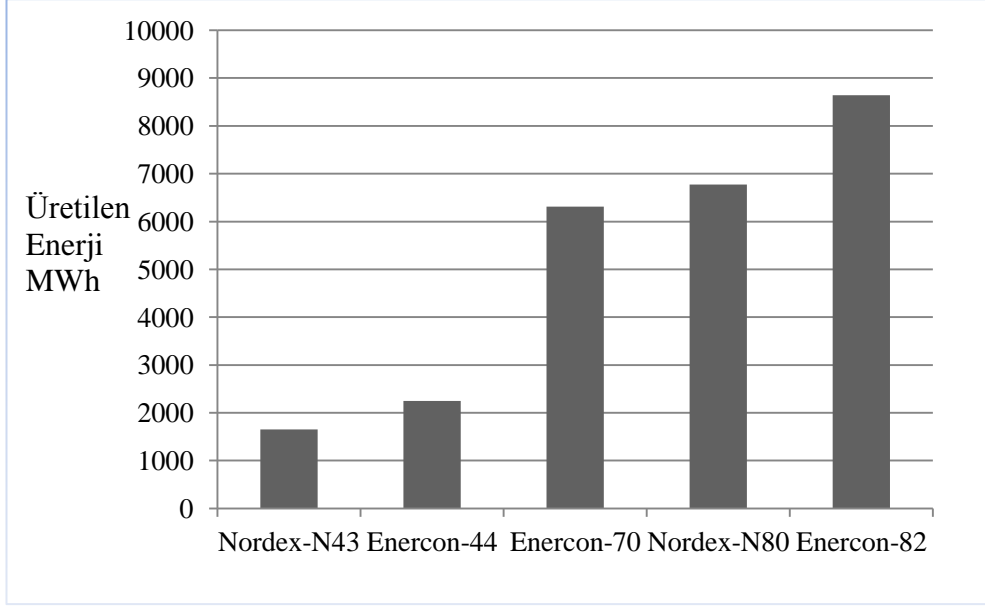
	Kapasite Faktörü (%)	Enerji Üretim Miktarı (MWh)
Sonbahar	30.78	2016.78
Kış	41.8	2708.69
İlkbahar	19.92	1319.52
Yaz	33.98	2250.78
Yıllık	32.89	8643.74

Beş farklı türbin kullanılarak elde edilen değerler Çizelge 4.11'de, elde edilen enerji üretim miktarları ve kapasite faktörleri sütun grafiği olarak Şekil 4.20.a ve Şekil 4.20.b.'de gösterilmiştir. Çizelgedeki değerlerden görüldüğü üzere, türbin anma gücü arttıkça üretilen enerji miktarının da arttığı gözükmemektedir. Bütün türbinlerde, kış mevsiminde, en yüksek enerji üretim miktarı ve kapasite faktörü, ilkbahar mevsiminde ise en düşük enerji üretim miktarı ve kapasite faktörü görülmüştür.

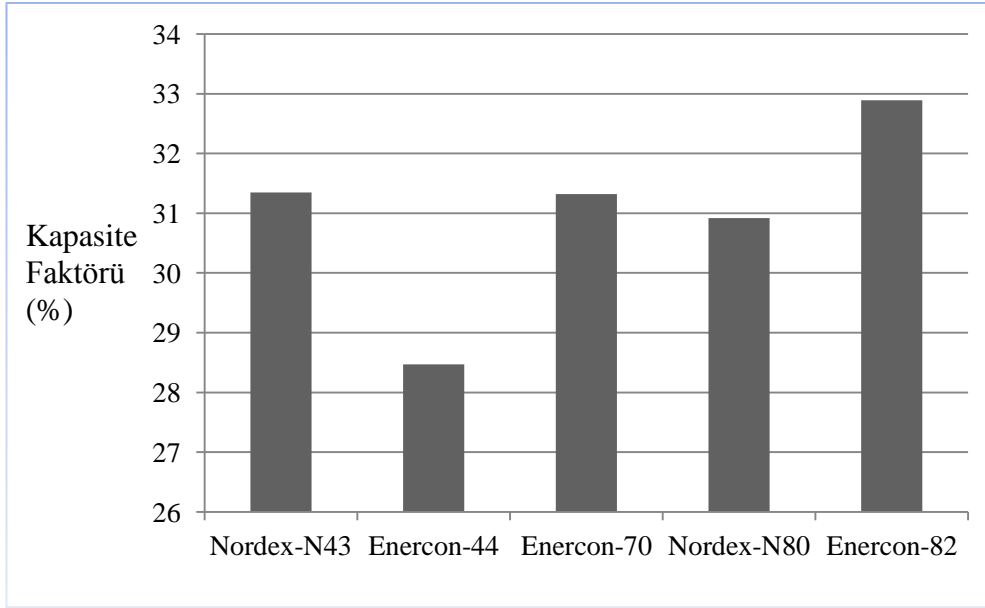
Türbin anma gücü ve kule yükseklikleri arttıkça, üretilen enerji miktarının artmasına rağmen, kapasite faktörünün her zaman artmadığı bulunmuştur. En yüksek enerji üretimi ve kapasite faktörü bölge için Enercon-82 rüzgar türbini kullanıldığında elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. Türbinlerin enerji ve kapasite faktörü bakımından karşılaştırılması

Türbin Adı	Anma Gücü (kW)	Kule Yüksekliği (m)	Üretilen Enerji (Mwh/yıl)	Kapasite Faktörü (%)
Nordex-N43	600	40	1647.84	31.35
Enercon-44	900	45	2244.4	28.47
Enercon-70	2300	57	6310.12	31.32
Nordex-N80	2500	60	6772.04	30.92
Enercon-82	3000	78	8643.74	32.89



Şekil 4.20.a. Türbinlerin ürettikleri enerji miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4.20.b. Türbinlerin kapasite faktörlerinin karşılaştırılması

4.2.5. Ekonomik Analiz Uygulaması ve Yatırımın Yapılabilirliği

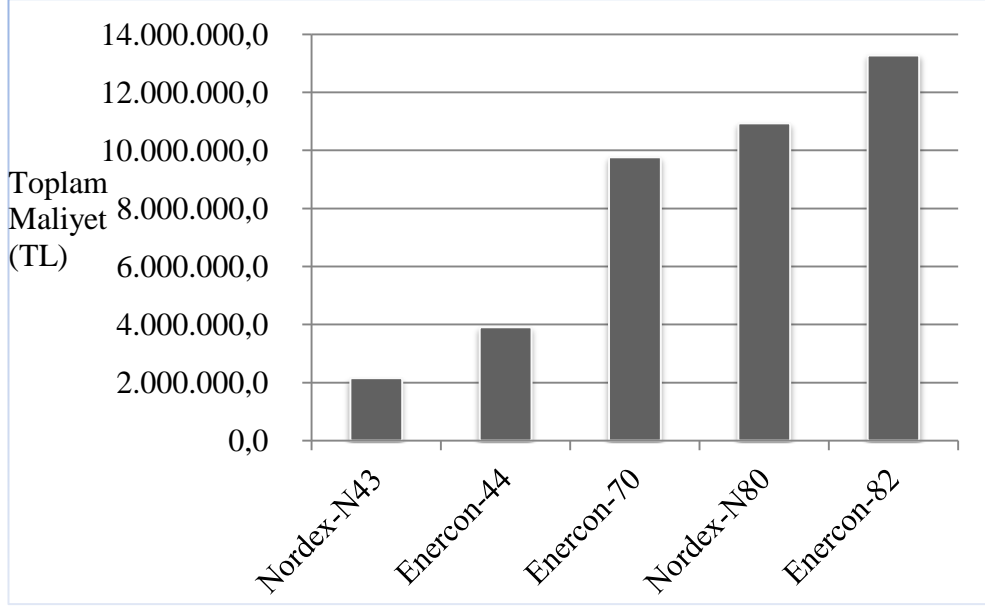
Bölge için en iyi yatırımı yapabilmek ve bölgeye en uyumlu olabilecek türbini bulabilmek için enerji analizi yapıldıktan sonra ekonomik analizler yapılmıştır. Ekonomik analizlerde doğru rakamlara ulaşabilmek için çalışma öncesinde piyasa araştırması yapılmış, yatırım için gerekli olan maliyetlerde doğru ve güncel rakamlara ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bir rüzgar enerji santrali için gerekli olan kalemlerin fiyatları Çizelge 4.12.'de rakamsal olarak, türbinlerin toplam maliyetlerin karşılaştırılması ise Şekil 4.21.'de grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 4.12. Rüzgar enerji sistemlerinin maliyet bileşenleri

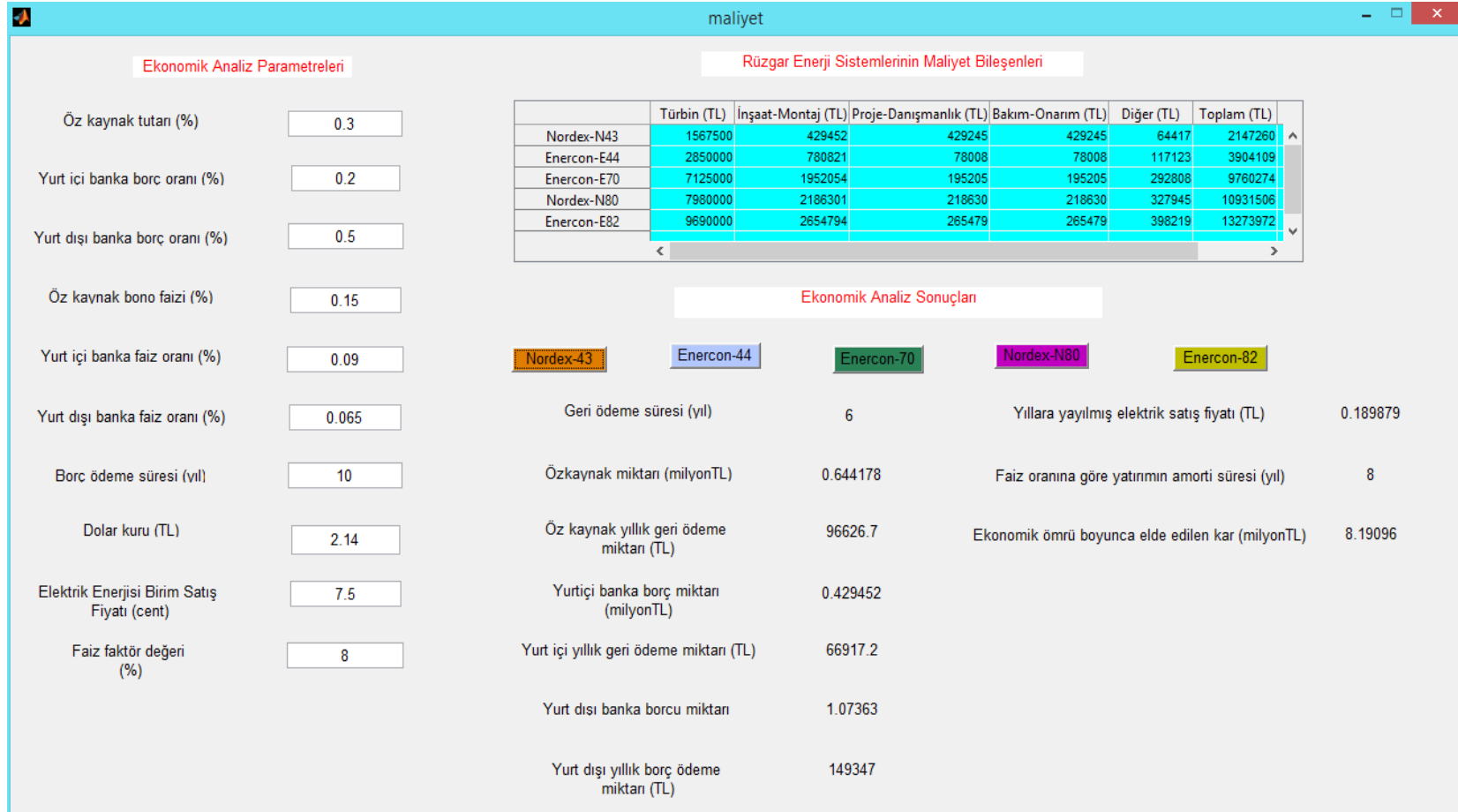
Türbin Adı	Türbin Maliyeti (TL)	İnşaat-Montaj Maliyeti (TL)	Proje-Danışmanlık Maliyeti (TL)	Bakım-Onarım Maliyeti (TL)	Finansal Maliyetler (TL)
Nordex-N43	1.567.500,	429.452,1	42.945,2	42.945,2	64.417,8
Enercon-44	2.850.000,	780.821,9	78.082,2	78.082,2	117.123,3
Enercon-70	6.555.000,	1.795.890,4	179.589,0	179.589,0	269.383,6
Nordex-N80	7.125.000,	1.952.054,8	195.205,5	195.205,5	292.808,2
Enercon-82	9.690.000,	2.654.794,5	265.479,5	265.479,5	398.219,2

Toplam maliyette rüzgar türbinlerinin payı %73, inşaat ve montaj maliyetlerinin payı %20, proje ve danışmanlık maliyetlerinin payı %2, bakım ve onarım maliyetlerinin payı %2 ve finansal maliyetlerin payı %3 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sırasında, maliyet bileşenleri Euro cinsinden öğrenildiği için 05.06.2014 tarihinde Türkiye İş Bankası'ndan alınan verilere göre 1 Euro 2.850 TL üzerinden işlem görmektedir [53].



Şekil 4.21. Türbinlere göre toplam maliyet

Yatırımın yapılabilirliği yapılan çeşitli hesaplamalarla test edilmiştir. Bu hesaplamalarda, rüzgar enerji sistemlerinin yıllık ürettiği enerjinin piyasaya satılacağı düşünülmüştür. Şekil 4.22.'de beş farklı türbin için ekonomik analizlerin yapıldığı ara yüzün ekran görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Ekonomik analiz ara yüzünün ekran görüntüsü

4.2.5.1. Geri Ödeme Sürelerinin Bulunması

Çalışmanın bu kısmında, üretilen enerji miktarı ve yatırım tutarları kullanılarak yatırımların geri ödeme süreleri bulunmuştur. Geri ödeme süresinin bulunmasındaki amaç, hangi türbin kendini daha kısa sürede amorti ediyorsa o türbin tercih edilmelidir. Analizde yatırım tutarının %30'unun öz kaynakla karşılanacağı ve üretilen enerjinin yıllık geliri hesaplanırken, 1 kWh elektriğin piyasaya 7.5 centten satılacağı düşünülmüş ve 1 Amerikan doları 2.140 TL'den işlem görmüştür [53]. Bu değerler istenirse programda değiştirebilir veya güncellenebilir. Çizelge 4.13.'de Nordex-43 türbini için geri ödeme süresinin hesaplanması örnek olarak gösterilmiş, diğer türbinler için de aynı yöntemle geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Nordex-N43, türbini için geri ödeme süresinin hesabı

Yıl	Maliyeti (TL)	Üretilen Enerji (MWh)	Üretilen Enerjinin Geliri (TL)	Kalan (TL)
1	1.503.082,19	1647.84	264.478,32	1.238.603,87
2	1.238.603,87	1647.84	264.478,32	974.125,55
3	974.125,55	1647.84	264.478,32	709.647,23
4	709.647,23	1647.84	264.478,32	445.168,91
5	445.168,91	1647.84	264.478,32	180.690,59
6	180.690,59	1647.84	264.478,32	-83.787,73

Aynı hesaplamalar diğer türbinler için de yapılmış, geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.14.'den görüldüğü üzere en kısa sürede kendini amorti eden türbinler Nordex-43 ve Enercon-70 iken, en geç kendini amorti eden türbin ise Enercon-44 türbinidir. Değerlerden de görüldüğü üzere genelde birbirine yakın sonuçlar çıkması, her ne kadar bu yöntemde sıfır faiz oranı kullanılsa da günlük hayatta faiz oranı hesaba katıldığı için, çalışmada diğer analiz yöntemleriyle ekonomik analiz hakkında kesin sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.14. Türbinlerin geri ödeme süreleri

Türbin Adı	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Nordex-N43	6.5-6.7
Enercon-44	8.5-8.7
Enercon-70	7.5-7.7
Nordex-N80	8-8.2
Enercon-82	7.7-7.9

4.2.5.2. Sermaye Geri Dönüş Faktörü ve Yatırımın Yıllara Yayılmış Maliyeti

Bir yatırımın, yıllara yayılmış maliyeti, yatırımcılar için en önemli parametrelerden biridir. Yıllara yayılmış maliyet, sermaye geri dönüş faktörünün bulunmasıyla rahatlıkla bulunabilir. Hesaplamalarda ekonomik koşullar düşünülerek, beş türbin için de yatırım tutarının, yüzde otuzunun öz kaynak, yüzde ellisinin dış kredilerden ve yüzde yirmisinin yurt içi ticari kredilerden sağlandığı düşünülmüştür. Güncel rakamlar olması nedeniyle, öz kaynak bono faizi %15, yurt içi ticari faiz oranı %9 ve yurt dışı kredi faiz oranı %6.5 alınmış, borç ödeme süresi 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Bu rakamlar program sırasında değiştirilebilir ve güncellenebilir.

Çizelge 4.15.a.'de, öz kaynak yıllık geri ödeme miktarı, Çizelge 4.15.b.'de yurt için kredi borcu yıllık geri ödeme miktarı, Çizelge 4.15.c.'de yurt dışı kredi borcu yıllık geri ödeme miktarlarının hesaplanması verilmiştir.

Toplam ödenecek olan yıllık borç miktarı, yıllık üretilen elektrik enerjisi miktarına bölünerek yıllara yayılmış elektrik enerjisinin satış fiyatı bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.16.'da gösterilmiştir.

Türbinler birbiriyle karşılaştırıldığında ise en düşük değerler Nordex-43 ve Enercon-82 kullanıldığında bulunmuştur.

Çizelge 4.15.a. Türbinlere göre yapılan öz kaynak yatırım tutarının yıllık geri ödeme miktarı

Türbin Adı	Öz Kaynak Yatırım Miktarı (TL)	Öz Kaynak Yıllık Ödeme Miktarı (TL/yıl)
N-43	644.178,09	96.626,71
E-44	1.171.232,88	175.684,93
E-70	2.928.082,20	439.212,33
N-80	3.279.452,04	491.917,81
E-82	3.982.191,78	597.328,77

Çizelge 4.15.b. Türbinlere göre yapılan yurt içi kredi borç tutarının yıllık geri ödeme miktarı

Türbin Adı	Banka borç miktarı (TL)	Yurt içi kredi borcu yıllık ödeme miktarı (TL)
N-N43	429.452,06	66.917,26
E-44	780.821,92	121.667,74
E-70	1.952.054,80	304.169,35
N-N80	2.186.301,36	340.669,67
E-82	2.654.794,52	413.670,32

Çizelge 4.15.c. Türbinlere göre yapılan yurt dışı kredi borç tutarının yıllık geri ödeme miktarı

Türbin Adı	Dış Kredi borç miktarı (TL)	Dış kredi borcu yıllık ödeme miktarı (TL)
N-N43	1.073.630,15	149.346,99
E-44	1.952.054,80	271.539,98
E-70	4.880.137,00	678.849,94
N-N80	5.465.753,40	760.311,93
E-82	6.636.986,30	923.235,92

Çizelge 4.16. Türbinlerin ürettiği elektriğin yıllara yayılmış satış fiyatı değerleri

Türbin Adı	Öz kaynak yıllık ödeme miktarı (TL)	Yurt içi kredi borcu yıllık ödeme miktarı (TL)	Dış kredi borcu yıllık ödeme miktarı (TL)	Üretilen Enerji Miktarı	Yıllara Yayılmış Elektrik Enerjisi Satış Fiyatı (TL)
N-N43	96.626,71	66.917,26	149.346,99	1647.84	0.190
E-44	175.684,93	121.667,74	271.539,98	2244.4	0.253
E-70	439.212,33	304.169,35	678.849,94	6310.12	0.225
N-N80	491.917,81	340.669,67	760.311,93	6772.04	0.235
E-82	597.328,77	413.670,32	923.235,92	8643.74	0.224

4.2.5.3 Bugünkü Değer Yöntemi

Bu analizin, geri ödeme süresinden daha avantajlı yanı, güncel rakamlarla ve faiz oranlarıyla yatırımın hangi yılda kendini amorti edeceği ve daha sonra hangi yılda ne kadar kâr elde edileceğinin hesaplanabilmesidir. Buna göre, faiz-faktör değerleri için analiz sırasında diğer analizde kullanılan dış kredi için faiz oranı %6.5 ve yurt içi faiz oranı %9 değerlerine uygun olması açısından faiz oranı yaklaşık %8 alınmıştır [54]. Çizelge 4.17.'de Nordex-43 türbini için bugünkü değer yöntemi analizinin sonuçları görülmektedir. Analiz hesaplamalarında yatırımın ekonomik ömrü 20 yıl olarak kabul edilmiş, yatırımın geliri türbinden üretilen enerji miktarının piyasaya 7.5 centten satılacağı düşünülerek;

$$\text{Gelir} = \text{Üretilen Enerji Miktarı} * \text{Elektrik enerjisi birim satış fiyatı} \quad (4.1)$$

$$\text{Gelir} = 1647840\text{kWh} * (2.14/100) * 7.5 = 264.478,32 \text{ ₺}$$

Yine çizelgedeki PWF, %8 faiz için geçerli, bugünkü değer çarpanlarıdır. Bu değerler kullanılarak yatırımın ilgili yıldaki gelirleri bulunmuştur. Daha sonra ise toplam yatırım tutarından çıkarılarak yatırımın kâr miktarları hesaplanmıştır.

$$P_v (\text{yatırımın bugünkü değeri}) = \text{Gelir} * \text{Bugünkü değer çarpanı} \quad (4.2)$$

1.yıl için bugünkü değer çarpanı=0.9259

$P_v = 264.478,32 * 0.9259 = 244.880,5 \text{ ₺}$

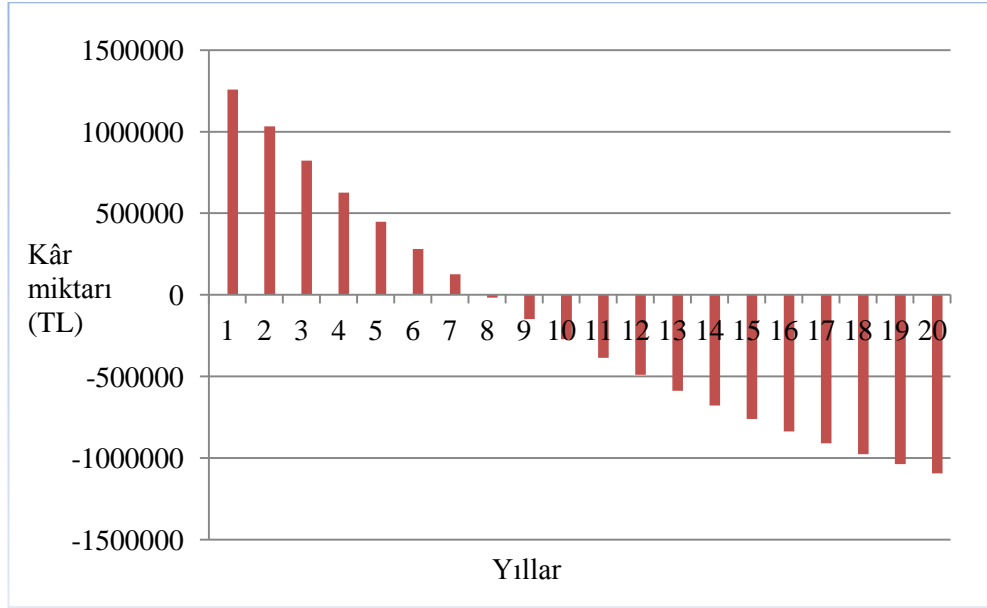
Kalan Borç= Yatırım tutarı- P_v (4.3)

Kalan Borç= 1.503.082,19-244.880,5= 1.258.201,71 olur.

Çizelge 4.17. Nordex-N43 türbini için bugünkü değer yöntemi analiz sonuçları

Yıllar	Borç Tutarı (TL)	Gelir (TL/yıl)	P_v Çarpanı	P_v	Kalan Borç (TL)
1	1.503.082,19	264.478,3	0.9259	244.880,5	1.258.201,71
2	1.258.201,71	264.478,3	0.8573	226.737,3	1.031.464,45
3	1.031.464,45	264.478,3	0.7938	209.942,9	821.521,56
4	821.521,56	264.478,3	0.735	194.391,6	627.129,99
5	627.129,99	264.478,3	0.6806	180.003,9	447.126,05
6	447.126,05	264.478,3	0.6302	166.674,2	280.451,81
7	280.451,81	264.478,3	0.5835	154.323,1	126.128,71
8	126.128,71	264.478,3	0.5403	142.897,6	-16.768,93
9	-16.768,93	264.478,3	0.5002	132.292,1	-149.060,99
10	-149.060,99	264.478,3	0.4632	122.506,4	-271.567,35
11	-271.567,35	264.478,3	0.4289	113.434,8	-385.002,10
12	-385.002,10	264.478,3	0.3971	105.024,3	-490.026,44
13	-490.026,44	264.478,3	0.3677	97.248,7	-587.275,12
14	-587.275,12	264.478,3	0.3405	90.054,9	-677.329,99
15	-677.329,99	264.478,3	0.3152	83.363,6	-760.693,56
16	-760.693,56	264.478,3	0.2919	77.201,22	-837.894,78
17	-837.894,78	264.478,3	0.2703	71.488,49	-909.383,27
18	-909.383,27	264.478,3	0.2502	66.172,48	-975.555,75
19	-975.555,75	264.478,3	0.2317	61.279,63	-1.036.835,38
20	-1.036.835,38	264.478,3	0.2145	56.730,60	-1.093.565,98

Çizelgelerde kalan borcun artıdan eksiye geçtiği durumda yatırımın kendini amorti ettiği söylenebilir. Kalan borç kısmındaki eksili miktarlar yatırımın o sene içerisindeki kar miktarı olarak adlandırılabilir. Türbinin amorti süresi ve kâr miktarı daha anlaşılabilir olması için Şekil 4.23'de sütun grafiği şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Nordex-N43 türbinin amorti yılı ve yıllara göre kâr miktarı

İlgili türbin için bugünkü değer yöntemi ile geri ödeme süresi yöntemleri birbirleriyle karşılaştırıldığında, geri ödeme süresi yöntemine göre yatırım yaklaşık 6.5 yılda kendini amorti ederken, bugünkü değer yöntemine göre bu süre yaklaşık 8 yıldır.

Aynı analiz diğer türbinler için de aynı koşullarda (öz kaynak ve faiz oranı) yapılmış, çizelge 4.18.'de diğer türbinler için hesaplanan amorti süreleri ve kâr miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.18. Türbinlerin amorti süreleri ve kâr miktarları

Türbin Adı	Anma Gücü (kW)	Borç tutarı (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)	Kâr Miktarı (TL)
Nordex-N43	600	1.503.082,19	8	8.190.096,0
Enercon-44	900	2.732.876,71	13	3.883.620,0
Enercon-70	2300	6.832.191,78	11	18.927.000
Nordex-N80	2500	7.652.054,79	11	17.115.200,0
Enercon-82	3000	9.291.780,82	10	26.614.800,0

4.2.6. Emisyon Analizi

Rüzgar enerjisinin çevreye sağladığı en büyük avantaj fosil kaynaklı yakıtların aksine sera gazı emisyonları azaltmasıdır. Türkiye için rüzgar emisyon katsayısı 1 kWh için 0,62 kg alınmıştır [55-56]. Karbon piyasaları ikiye ayrılmaktadır. Bunlar Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler zorunlu piyasalar, protokolü imzalamayan ülkeler gönüllü piyasalar olarak adlandırılmaktadır. Gönüllü piyasalarda bir ton karbon 4.5-5.5 euro/dolar arasında karşılık bulurken, zorunlu piyasalarda bu değer 12-15 euro/dolar arasında karşılık bulmaktadır. Ülkemiz Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler arasındadır fakat şu ana kadar sayılaştırılmış sera gazı azaltılması yükümlülüğüne sahip değildir [56-57]. Bu konuda kısıtlı sayıda proje bulunmakta olup bunların zamanla artması beklenmektedir. Bu yüzden, 1 ton karbondioksit salınımı azaltılması miktarı yaklaşık 13 Euro olarak kabul edilmiş, 1 Euro ise 2.850 TL olarak alınmıştır [53].

1 ton CO₂ miktarının azalması, yaklaşık olarak 429.6 l tüketilmeyen benzine, 227.6 dönüm karbon emen araziye ve 344.9 ton geri kazanılan atık miktarına eş değerdir. Çizelge 4.19.'da türbinlerden üreteceği enerji miktarına karşılık gelen sera gazı azalmasının, karbon emen orman arazi, geri kazanılan atık miktarı ve net tüketilmeyen benzin miktarına eş değer karşılıkları bulunmuştur. Emisyon analizine ait hazırlanan ara yüz Şekil 4.24.'te verilmiştir.

emision

Emision Analizi

Enerji Üretim Miktarı (kWh)	1647840	Yıllık net sera gazı salınımı azalması (ton karbondioksit)	1021.66	
Rüzgar emisyon katsayısı	0.62	Hesapla	Piyasa Değeri(TL)	37852.5
Karbon piyasası 1ton sera gazı azalması eşdeğeri (Euro)	13		Net Tüketilmeyen Benzin Eşdeğeri (lt)	438905
Euro kuru (TL)	2.85		Orman Arazisi Eşdeğeri (dönüm)	232530
			Geri Kazanılan Atık Eşdeğeri (ton)	352371

Şekil 4.24. Emisyon analizi ara yüzünün ekran görüntüsü

Çizelge 4.19. Emisyon analizi sonuçları

Türbin Adı	Net yıllık sera gazı azalması (tCO₂)	Piyasa Değeri (TL)	Net tüketilmeyen benzin (l)	Orman Arazi (dönüm)	Geri Kazanılan Atık (ton)
N-43	1021.66	37852.5	438905	232530	352371
E-44	1391.53	51556.1	597800	316712	479938
E-70	3912.27	144950	1680127	890434	1348559
N-80	4198.66	155561	1803700	955616	1448580
E-82	5359.12	198555	2303192	1219740	1848360

4.3. Güneş Enerjisi Fizibilite Çalışması

Çalışmanın ikinci kısmında, bir diğer önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisiyle ilgili bir yatırım yapıldığı takdirde, yatırımın sağlayacağı enerji miktarı ve yatırımın ekonomik kârlılığı nasıl olur sorusuna cevap aranmaya çalışılmıştır.

4.3.1. Bölgenin Güneş Potansiyeli ve İstatiksel Veriler

Amasra, Batı Karadeniz bölgesinde yer almakta ve her mevsim yağış alan bir bölgedir. Yağış miktarının fazla olması sebebiyle, güneş enerjisi yatırımı için ilk olarak olumsuz bir tablo görünse dahi, güneşlenme süreleri ve ısınım şiddetlerine bakıldığında, 29.7 TWh'lık güneş enerjisi üretimi ile en önde gelen fakat güneşlenme süresinin oldukça düşük olan (1300-1900 saat) Almanya'ya kıyasla gayet iyi durumda olduğu görülmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1954-2013 yılı arasında yaptığı çalışmada bölgenin bazı meteorolojik verileri Çizelge 4.20.'deki aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.20. Bölgenin güneşlenme süresi

Ay	Ortalama Sıcaklık (°C)	Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı
Ocak	4.1	2.5	16.3
Şubat	4.7	3.5	14.7
Mart	7.0	5.2	13.9
Nisan	11.2	6.3	12.0
Mayıs	15.7	8.4	10.2
Haziran	19.8	10.2	8.6
Temmuz	22.1	11.4	7.0
Ağustos	21.6	11.0	6.8
Eylül	17.7	9.2	8.5
Ekim	13.6	6.5	11.7
Kasım	9.1	4.4	12.9
Aralık	5.9	2.3	17.1

Bölgenin aylık güneşlenme saatlerine bakıldığında, ocak, şubat ve aralık ayındaki güneşlenme saatinin düşük olduğu, diğer aylarda güneşlenme süresinin yüksek olduğu görülmektedir.

Günümüzde verimlilikleri, uzun ömürlü olmaları sebebiyle monokristal güneş pilleri tercih edilmektedir. Mono kristal güneş pillerinin verimleri %15-24 arasında değişmekte ve 1 kW'lık bir sistem için yaklaşık yedi metrekarelik bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. 1 kW'lık kurulu güce sahip güneş panelleri yaklaşık günde altı saatlik güneşlenme süresine sahipse günde yaklaşık 6 kWh, yılda ise 2190 kWh elektrik enerjisi üretmiş olacaktır. Net enerji üretimi ise belirli kayıplara uğrayacaktır.

Bu yüzden, çalışmanın bu kısmında bölgeye güneş enerjisine dayalı bu yatırım yapıldığında yıllık enerji üretimini ve yatırımın ekonomik olup olmadığını belirlemek için ara yüz hazırlanmıştır. Ara yüz, parametrelerdeki değişkenliklere uygun olup, güncel verilerle hazırlanmaya çalışılmıştır. Güneş enerjisi yatırım çalışması için hazırlanan ara yüz Şekil 4.25.'te verilmiştir.



Şekil 4.25. Güneş enerjisi yatırım analizi ara yüzünün ekran görüntüsü

Bölgenin güneşlenme süreleri kullanılarak, 100 kWp kurulu güçlük bir sistemden üretilebilecek yıllık enerji miktarı, gerekli panel alanı ve üretilen enerjinin geliri Çizelge 4.22'de verilmiştir. Üretilen enerjinin geliri hesaplanırken, 1kWh elektriğin piyasaya 13.3 centten satılacağı düşünülmüş ve 1 dolar 2.14 TL olarak işlem görmüştür.

Çizelge 4.21. Güneş enerjisi yatırımın yıllık üreteceği enerji miktarı ve gelir hesabı

Kurulu Güç	100kWp
Üretilen Enerji (kWh)	98692
Gerekli Panel Alanı (m²)	700
Üretilen Enerjinin Geliri(TL)	28.089,72

Yatırımın maliyeti analizi yapılırken, sistem parçalarının maliyetlerinde güncel rakamlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Buna göre 100 kWp sisteminin toplam yatırım maliyeti yaklaşık 140000 Euro olarak alınmış, bir Euro 2.85 TL'den işlem görmüştür.

Yatırımın ekonomik analizinde, rüzgar enerjisi fizibilite analizinde olduğu gibi, maliyetin yaklaşık %30'unun öz kaynakla sağlanacağı, %20'sinin yurt içi bankalardan ve %50'sinin yurt dışı bankalardan sağlanacağı düşünülmüştür. Öz kaynak bono faizi %15, yurt içi banka faizi %9 ve yurt dışı banka faizi %6,5 olarak kabul edilmiştir. Buna göre yatırımın geri ödeme süresi, öz kaynak yıllık ödeme miktarı, yurt içi banka borcu yıllık ödeme miktarı, yurt dışı banka borcu yıllık ödeme miktarı, yatırımın yıllara yayılmış satış fiyatı ve yatırımından elde edilecek kâr miktarı Çizelge 4.22.'deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Güneş enerjisi yatırımın maliyet analizi sonuçları

Geri ödeme Süresi (yıl)	10
Öz kaynak yıllık ödeme miktarı (TL)	17.955,0
Yurt içi banka borcu yıllık ödeme miktarı (TL)	12.434,44
Yurt dışı banka borcu yıllık ödeme miktarı	27.751,39
Yıllara yayılmış Elektrik Enerjisi Birim Satış Fiyatı	0.58 TL/kWh
Yatırımın Kar Miktarı	449435

Son olarak yatırımın emisyon analizi yapılmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.23.'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Güneş enerjisi yatırımın emisyon analizi sonuçları

Net yıllık sera gazı azalması (tCO₂)	63.952
Piyasa değeri (TL)	2369.44
Net tüketilmeyen benzin eşdeğeri (l)	27474
Orman arazi (dönüm)	14555.6
Geri kazanılan atık (ton)	22057.2

4.4. Hibrit Enerji Sistemi Fizibilite Analizi

Çalışmanın son kısmında, iki önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar ve güneş enerjisiyle ilgili hibrit bir sistem kurulup yatırım yapıldığı takdirde, yatırımın sağlayacağı enerji miktarı ve üretilen enerjinin bölgenin enerji ihtiyacını karşılama oranı bulunmuştur. Bu orana göre çeşitli durumlarda bölge için en yararlı ve yatırımcı için en kârlı durum bulunmaya çalışılmıştır.

4.4.1 Analiz İçin Gerekli Veriler ve Durumlar

Analiz için, tez çalışmasının birinci ve ikinci kısımlarında kullanılan veriler kullanılmıştır. Bölgenin 10 metre yükseklikteki rüzgar hızı ortalaması 5.77 m/sn, güneşlenme süresi günlük ortalama 6.74 saattir.

Çalışmada, bölgede kurulacak hibrit sistemin, bölgenin enerji ihtiyacını ne kadar karşılayabileceği ve maliyetinin ne olacağı araştırılmıştır. Amasra bölgesinin nüfusu merkez ve köyler olmak üzere, 16122'dir. Analizde, hanelerin dört kişiden oluştuğu düşünülüp, hanenin günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacı 10 kWh alınmıştır. Buna göre bölgenin yıllık enerji ihtiyacı 14.711.325 kWh'dir. Bu yüzden çeşitli hibrit sistemler denenmiştir. Bu sistem için hazırlanan programda, daha farklı seçeneklerde denenebilir. Uygulanan durumlar aşağıda verilmiş olup, program için hazırlanan ara yüz Şekil 4.26.'da verilmiştir.

1. durum: 2300 Mw'lık 57 m kule yüksekliğine sahip Enercon-44 türbininden 1 adet ve 1 adet 45 m kule yüksekliğine sahip 900 kW'lık Enercon-44 türbini ve 300 kWp güce sahip güneş paneli
2. durum: 2500 MW'lık 60 m kule yüksekliğine sahip Nordex-N80 türbini ve 600 MW'lık 40 m kule yüksekliğine sahip Nordex-43 türbininden bir adet ve 500 kWp güce sahip güneş paneli
3. durum: 3000 MW'lık 78 m kule yüksekliğine sahip Enercon-82 rüzgar türbinden 1 adet ve 200 kWp güce sahip güneş paneli
4. durum: 4.durum 2500 MW'lık Nordex-N80 türbini ve 1000 kWp güce sahip güneş paneli

hibritsistem

Bölgenin Nüfus ve Enerji Tüketim Miktarları		Rüzgar Verileri ve Rüzgar Türbinleri Özellikleri		Güneş Verileri ve Kurulu Güç		--Ekonomik Parametreler--				
Nüfus	16122	Ölçüm Yüksekliği	10	Ortalama Güneşlenme Süresi	6.74	Özkaynak oranı	0.3	Faiz	0.15	
Ortalama günlük tüketim miktarı	10	Ortalama Rüzgar Hızı	5.77	Kurulu Güç	200	Yurt içi banka borç miktarı	0.2	Faiz	0.09	
Rüzgar Türbinleri		Pürüzlülük	0.15			Yurt dışı banka borç miktarı	0.5	Faiz	0.065	
Nordex-N43	0	Kule Yüksekliği	40			Borç ödeme süresi	10	Euro kuru	2.85	
Enercon-44	1	Kule Yüksekliği	45			Elektrik Enerjisi Satış Fiyatı	8	Dolar kuru	2.14	
Enercon-70	1	Kule Yüksekliği	57							
Nordex-N80	0	Kule Yüksekliği	60							
Enercon-82	0	Kule Yüksekliği	78							
--Enerji Analizi--				--Ekonomi Analizi--						
Hane Sayısı				4030.5	Toplam yatırım miktarı (milyonTL)		14.4624	Yurt dışı banka borcu (milyonTL)		7.23119
1 yıllık enerji tüketim miktarı (MWh/yıl)				14711.3	Öz kaynak tutarı (milyonTL)		4.33871	Yurt dışı yıllık ödeme		1.00589e+
Toplam enerji miktarı (MWh/yıl)				8746.69	Öz kaynak yıllık ödeme miktarı		650807	Geri ödeme süresi (yıl)		7
Üretilen Enerjinin Geliri				1.49743	Yurt içi borç miktarı		2.89248	Yıl.yayılmış satış fiyatı		0.240938
Karşılama yüzdesi				59.4555	Yurt içi yıllık ödeme		450706	Kar(milyonTL)		19.4666

Şekil 4.26. Hibrit sistem için hazırlanan ara yüzün ekran görüntüsü

Bu durumlara bağlı olarak bulunan enerji miktarları izelge 4.24.'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Hibrit sistemden elde edilen enerji üretim miktarları

Durum	Üretilen Enerji Miktarı (MWh)	Tüketimi Karşılama Oranı (%)	Üretilen Enerjinin Geliri (TL)
1	8845.09	60.12	1.514.280,0
2	8907.34	60.54	1.524.940,0
3	8836.27	60.06	1.512.770,0
4	7752.42	53.00	1.327.210,0

Sistemlerin ürettikleri enerji hesaplandıktan sonra, ilk çalışmaların ekonomik verileri kullanılmıştır. Sistemlerin yatırım tutarlarının %30'unun öz kaynakla karşılanacağı, %20'sinin yurt içi banka kredisi ile ve %50'sinin de yurt dışı banka kredisi sağlanacağı dışünülmüştür. Öz kaynak bono faizi %15, yurt içi banka kredisi faizi %9 ve yurt dışı banka kredisi ise %6.5 olarak alınmış ve borç ödeme süresi 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Üretilen enerjinin piyasaya satış fiyatı, rüzgar enerjisinde 7.5 cent güneş enerjisinde 13.3 cent dışünülererek hibrit sistem için 8 cent olarak alınmıştır. Buna göre sistemlerin program sonrasında, ekonomik analiz için bulunan sonuçlar izelge 4.25.'te verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, en karlı olan yatırımın, 2500 MW'lık Nordex-N80 türbini, 600 MW'lık Nordex-43 türbini ve 500 kWp güce sahip güneş panelinden oluşan sistem olduğu görölmektedir. Sistem kendini 7 yılda amorti etmiş ve 19824200 TL kar elde edilmiştir. Üretilen enerji miktarı ile bölgenin elektrik tüketiminin %60'ını karşılayabildiği görölmüştür. Sistemlerde güneş panellerinin gücünü artırmak, enerji üretim miktarının ve kar miktarının dışmesine sebep olmuştur.

Çizelge 4.25. Hibrit sistemlerin ekonomik analiz sonuçları

	H.S-1	H.S-2	H.S-3	H.S-4
Öz kaynak yıllık ödeme (TL/yıl)	668762	678319	687104	671468
Yurt içi yıllık ödeme miktarı (TL/yıl)	463140	469759	475843	465014
Yurt dışı yıllık ödeme miktarı (TL/yıl)	1.033.640,0	1.048.420,0	1.061.999	1.037.830,0
Geri ödeme Süresi	7	7	7	8
Yıllara yayılmış E.E. Satış fiyatı	0.244	0.246	0.243	0.28
Kâr miktarı	19.685.600,0	19.824.200,0	15.926.600,0	15.926.600,0

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin potansiyel ve ekonomik analizlerini yapmak için Matlab programında bir yazılım hazırlanmıştır. Piyasada kullanılan yazılımların her türlü ekipmanı içermemesi ve ileride yapılabilecek akıllı sistemlerin eklemelerine cevap vermeyeceği düşüncesi ile bu program hazırlanmıştır. Program hem akademik hem de piyasa oyuncularına fizibilite anlamında destek verecektir. Aynı zamanda program, rahatlıkla eğitim seti olarak kullanılabilir şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan programda, örnek uygulama bölgesi olarak Bartın ilinin Amasra ilçesi seçilmiştir.

Yapılan tez çalışmasının ilk bölümünde seçilen bölgenin, bir yıllık süreyle ölçülen saatlik rüzgar hızı verilerine Rayleigh istatistiksel metodu uygulanmış, bölgenin 10 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızı 5.77 m/sn olarak bulunmuştur. Kış aylarında ortalama hızların yüksek olduğu, buna bağlı olarak ölçek parametresinin de yüksek olduğu, ilkbahar aylarında ise ortalama rüzgar hızının düşük olduğu buna bağlı olarak ölçek parametresinin de düşük olduğu görülmüştür.

Bölgenin rüzgar potansiyelinin yatırım için uygun olduğu tespit edildikten sonra, güçleri 600 kW-3000 kW arasında değişen beş farklı türbin kullanılarak, enerji analizi yapılmıştır. Kule yüksekliği arttıkça, rüzgar hızının ve enerji üretim miktarının her zaman arttığı fakat, kapasite faktörünün her zaman artmadığı görülmüştür.

Piyasa araştırması yapılarak, güncel rakamlarla, ekonomik analiz için çeşitli yöntemler kullanılmış ve sonuçlar alınmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber kule yüksekliği ve rotor çaplarının artması üretilen enerji miktarının da artmasına neden olurken, rüzgar türbinlerinin maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan türbinlerde, geri ödeme süresi 8 yıl ve kâr miktarı 26.614.800,00 TL olan Enercon-82 türbini ilk olarak bölge için en uygun ve yatırımcı için en kârlı gibi düşünülse de, 9.281.270,00 TL borç tutarı düşünüldüğünde, bölge için en uygun türbinin 1.503.082,00 TL borç tutarını,

yaklaşık 6.5 yılda kendini amorti eden ve ekonomik ömrü boyunca 8.190.096,00 TL kâr elde eden Nordex-43 türbinin olduğu görülmektedir. Bu türbinden daha fazla kullanıldığı takdirde, daha az borç tutarıyla daha fazla kâr elde edileceği bulunmuştur.

Rüzgar türbinlerinin ürettiği enerji miktarına bağlı olarak emisyon analizi yapılmış, yıllık sera gazı salınımının azalma miktarları bulunmuştur. Ekonomik olarak en kârlı olarak bulunan Nordex-43 türbinin bir yıllık ürettiği enerji miktarına bağlı olarak yıllık 1021.66 tCO₂ sera gazı salınımının azalacağı ve bu miktara bağlı olarak yatırımcının 37.852,53 TL daha kâr elde edeceği bulunmuştur. Bu miktar, elde edilen kâr miktarlarının yanında oldukça düşük olduğu için, yatırımın ekonomik sonuçlarını etkilemeyeceği tespit edilmiştir. Fakat bu miktarlara karşılık olarak bulunan orman arazi miktarları ve geri kazanılan atık miktarlarının, temiz çevre ve ekolojik denge için önemli olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasının ikinci kısmında, Amasra bölgesinin aylık güneşlenme süreleri kullanılarak, bölgeye 100 kWp kurulu gücünde bir güneş enerji sistemi kurulması durumunda, 700 metrekarelik güneşe bakan çatıya ihtiyaç duyulacağı, yıllık 98692,00 kWh'lik enerji edileceği ve bu yatırımın yıllık gelirinin 28.089,72 TL olduğu bulunmuştur. Elde edilen enerji miktarının yıllık 63.952 tCO₂ sera gazı salınımının azaltacağı ve bu değerın yatırımcıya 2369.44 TL daha gelir sağlayacağı görülmüştür. Yatırımın ekonomik analizi sonucunda, kendini 10 yılda amorti edeceği ve ekonomik ömrü boyunca 449435 TL kâr elde edeceği tespit edilmiştir. Bölge için henüz bu yatırımın uygun olmadığı, fakat öz kaynak miktarının artırılması, güneş panellerinin verimliliklerinin artması ve ilk maliyetlerinin azalması durumunda yatırımın gerçeğe dönüşebileceği söylenebilir.

Tez çalışmasının son aşamasında, rüzgar ve güneş enerjisi birleştirilerek bölgeye çeşitli hibrit sistemler kurulduğu takdirde, üretilen enerji miktarı, bölgenin enerji ihtiyacının karşılanma yüzdesi ve tez çalışmasının diğer kısımlarda olduğu gibi çeşitli yöntemlerle ekonomik analizi yapılmıştır.

Bölge için dört farklı hibrit sistem kurulmuş olup, hazırlanan programla daha farklı hibrit sistemler oluşturabilir. Bu sistemler,

- 1. sistem: 2300 MW'lık 57 m kule yüksekliğine sahip Enercon-44 türbininden bir adet ve bir adet 45 m kule yüksekliğine sahip 900 kW'lık Enercon-44 türbini ve 300 kWp güce sahip güneş paneli
- 2. sistem: 2500 MW'lık 60 m kule yüksekliğine sahip Nordex-N80 türbini ve 600 MW'lık 40 m kule yüksekliğine sahip Nordex-43 türbininden bir adet ve 500 kWp güce sahip güneş paneli
- 3. sistem: 3000 MW'lık 78 m kule yüksekliğine sahip Enercon-82 rüzgar türbininden bir adet ve 200 kWp güce sahip güneş paneli
- 4. sistem: 2500 MW'lık Nordex-N80 türbini ve 1000 kWp güce sahip güneş paneli

Bu sistemler kurulduğunda, bölge için en uygun hibrit sistemin, 2500 MW'lık Nordex-80 türbini, 600 MW'lık Nordex-43 türbini ve 500 kWp güce sahip güneş panelinden oluştuğu görülmüştür. Sistem kendini 7 yılda amorti etmekte ve yatırımda 19.824.200,00 TL kâr elde edilmektedir. Üretilen enerji miktarı bölgenin elektrik ihtiyacının yaklaşık %60'ını karşılayabilmektedir. Güneş panellerinin kapasitesi yüksek olan sistemlerin diğerleriyle karşılaştırıldığında, enerji üretim miktarının ve kâr miktarının düştüğü görülmüştür.

Çalışmanın bütün bölümlerindeki sonuçlar düşünüldüğünde, bölge için en uygun yatırımın rüzgar enerjisinden elde etmek olduğu görülmüştür. Fakat bu durum, Amasra bölgesi için geçerli olup, herhangi bir yerde daha farklı olabilir. Bu yüzden bölgelerin rüzgar ve güneş potansiyelleri önemlidir.

Tez çalışmasında yapılan örnek uygulama, sadece hazırlanan programın doğruluğunu test etmek için yapılmıştır. Sonuçlar Matlab'da yapılan yazılımın güvenilir çalıştığını göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Özgener, Ö., Türkiye'de ve Dünya'da rüzgar enerjisi kullanımı, DEÜ, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:4, Sayı:3,159-173, 2002.
- [2] Anonim, Global statistics, Global Wind Energy Council (GWEC)
<http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>, (Erişim tarihi: 01.04.2014).
- [3] Anonim, Türkiye Rüzgar İstatistik Raporu, Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB), 36s., Ocak, 2014.
- [4] Alış, H., Türkiye'de rüzgar enerjisi, 17s., 2013.
- [5] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi. 246s, 2009.
- [6] Kurban, M., Hoccoğlu, F.O., Kantar, Y.M., Rüzgar enerjisi potansiyelinin tahmininde kullanılan iki farklı istatistiksel dağılımının karşılaştırmalı analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 13, 103-109, 2007.
- [7] Shata, A.S.A, Hanitsch, R., Electricity generation and wind potential assessment at Hurghada, Egypt. Renewable Energy 33 (1): 141-148, 2008.
- [8] Uçar, A., Balo, F., Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey. Applied Energy 86 (10): 1864-1872, 2009.
- [9] Y. Yalçın, İstanbul Terkos Bölgesi'nde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti Ve Geri Ödeme Süresinin Bulunması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [10] B. Başaran, Rüzgar Enerjisi Santrali Esentepe Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.

- [11] Islam, M.R., Saidur, R., Rahim, N. A., Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function. *Energy* 36 (2): 985- 992, 2011.
- [12] Dahmouni, A. W., Salah, M. B., Askri, F., Kerkeni, C., Nasrallah, S. B., Assessment of wind energy potential and optimal electricity generation in Borj-Cedria, Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (1): 815-820, 2011.
- [13] Mondal, Md.A.H., Islam, A.K.M.S, Potential and viability of grid-connected solar Pv-system in Bangladesh. *Renewable Energy* 36 (6): 1869-1874, 2011.
- [14] Bayındır, R., Kabalcı, E., Keven G., Can, C., Development of Matlab/Gui based analysis tool for wind wind turbines. *The European Workshop on Renewable Energy Systems (EWRES)*, Antalya, Turkey, 2012.
- [15] İ. Alışar, Stochastic Modelling of Wind Energy Generation. Yüksek Lisans Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2012.
- [16] Bekele, G., Tadesse, G., Feasibility study of small Hydro/PV/Wind hybrid system for off-grid rural electrification in Ethiopia. *Applied Energy* 97, 5-15, 2012.
- [17] A. Bektaş, Binalarda rüzgar enerjisi kullanımının farklı bölgeler açısından değerlendirilmesine yönelik bir çalışma: Toki Tarımköy projesi örneği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013
- [18] B. Taşkın, Niğde iline kurulabilecek rüzgar enerji santralinin fiziksel ve ekonomik analizi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Niğde, 2013.
- [19] Babalıoğlu, M., Türkiye'de Elektrik Sektörüne Genel Bakış. *Elektrik Üreticileri Derneği Yayınları* 2, 2013.
- [20] Tamzok, N., Özcan, M., Özel, G., Demirkol, Ö., Demir, E., Babayiğit S. Kömür Sektörü Raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2001.

- [21] Anonim, Petrol, <http://www.enerji.gov.tr/> (Erişim tarihi: 16.04.2014)
- [22] Anonim, Petrol Piyasası Sektör Raporu, T.C Enerji Piyasası Dzenleme Kurulu, Petrol Piyasası Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2013.
- [23] Anonim, Petrol Fiyatları. <http://www.hampetrolfiyatları.com/> (Erişim tarihi: 16.04.2014)
- [24] Önder, D., Doğal gaz genel bilgiler. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Makine Mühendisleri Odası, Sanayide ve Konutlarda Doğal Gaz Semineri, 2007.
- [25] Çetiner, C., Hidroelektrik enerji, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 1998.
- [26] Gökdemir, M., Kömürcü, M. İ., Evcimen T. U., Türkiye'de hidroelektrik enerji ve Hes uygulamalarına genel bakış, İMO Su Yapıları Kurulu, 2012.
- [27] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi. 246s, 2009.
- [28] Anonim, <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgues.html> (Erişim tarihi: 20.04.2014)
- [29] M. Yıldız, Aydın İlindeki Jeotermal Kaynakların Sera Isıtmak Amacıyla Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana, 2010.
- [30] Anonim, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?sf=webpages&b=jeotermal&bn=234&hn=&nm38> (Erişim tarihi: 20.04.2014)
- [31] Karaosmanoğlu, F., Türkiye biyoyakıt potansiyeli ve son gelişmeler. 10. Enerji Kongresi, 13s, 2006.
- [32] F. Oral, Sakarya-Esentepe Yöresi Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yeni Bir Yaklaşımla Belirlenmesi. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2010.

- [33] S.A. Akdağ, Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Analizinde Weibull Dağılımının Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [34] Akkaya,S., Yenilebilir Enerji Kaynaklarının Önemi ve Bir Rüzgar Enerjisi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2007.
- [36] Mustafa, A., Rüzgar türbinlerinin tarihsel gelişimi-3.
<http://www.yenienerji.info/?pid=19147>, (Erişim tarihi: 25.04.2014)
- [37] Anonim, Kyoto Protokolü, İklim Değişikliği Şube Müdürlüğü, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,
<http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/Kyoto.aspx?sflang=tr> (Erişim tarihi: 22.04.2014)
- [38] Anonim, World Energy Outlook 2012, International Energy Agency (IEA), 22s., 2012
- [39] Anonim, World Energy Outlook 2012–Renewable Energy Outlook, International Energy Agency (IEA), 32s., 2012.
- [40] Anonim, Wind Energy Technology Roadmap 2013, International Energy Agency (IEA), 63s., 2013
- [41] Hayli, S., Rüzgar enerjisinin önemi, Dünya'da ve Türkiye'deki durumu. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(1) : 001-026 s, 2001.
- [42] Anonim, Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası, Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<http://www.eie.gov.tr/>, (Erişim tarihi: 20.04.2014)
- [43] Anonim, Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü <http://www.mgm.gov.tr/> (Erişim tarihi: 20.04.2014)
- [44] Anonim, Enerji Yatırımcısı El Kitabı 2012, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 33s., 2012.
- [45] Anonim, Rüzgar Enerjisi Yatırımı Proje Fizibilitesi, mdn Finansal Danışmanlık, 8s, 2011.

- [46] Malkoç, Y., Türkiye elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında rüzgar enerjisinin yeri-2. Yeni Enerji, Sayı:2, 2008.
- [47] Masters, M., G., Renewable and Efficient Electric Power Systems. 334-379. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2004.
- [48] Canpolat, Ş., Rüzgar Enerjisi ve Isparta Şartlarında Prototip Bir Rüzgar Türbini Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2013.
- [49] Kaymak, M. K., Rüzgar Enerjisi
<http://web.itu.edu.tr/~kaymak/windpower.html>, (Erişim tarihi: 25.04.2014)
- [50] Anonim, Amasra Kaymakamlığı, <http://www.amasra.gov.tr/iklim.html>,
(Erişim tarihi: 30.04.2014)
- [51] Anonim, Rüzgar Hızı ve Yönü İstatiksel Bilgiler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.dmi.gov.tr/site/bilgi-edinme.aspx?r=d>, (Erişim tarihi: 02.10.2013)
- [52] Anonim,
http://www.enercon.de/p/downloads/EN_Productoverview_0710.pdf, (Erişim tarihi: 21.05.2014)
- [53] Anonim, Finansal Veriler, Türkiye İş Bankası,
<http://www.isbank.com.tr/TR/ana-sayfa/Sayfalar/ana-sayfa.aspx>, (Erişim tarihi: 05.06.2014)
- [54] Anonim, Faiz Faktör Tabloları,
<http://mumutlu.yasar.edu.tr/wp-content/uploads/2013/03/Zaman-Degeri-Tablolari.pdf>, (Erişim tarihi: 10.07.2014)
- [55] Anonim, Enerji Verimliliği ve Karbon Salınımı Konferansı,
http://www.turktelekomakademi.com.tr/kurumsal50/Specific/TELEKOM/Upload/media/ek-1_Akademi_Enerji_VerimlilikiveKarbonSalinimi.pdf, (Erişim tarihi: 15.07.2014)

- [56] Doğan, B. T., olakoğlu, A., Kıncay, O. RETScreen analiz programı ile Hatay'da rüzgar enerji santrali fizibilite analizi. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Makine Mühendisleri Odası , Sayı:131, 22-27, 2012.
- [57] Anonim,
http://www.eie.gov.tr/iklim_deg/document/karbon_piyasasi.pdf, (Erişim tarihi: 20.05.2014)