

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE YÖRESEL
BİR UYGULAMA**

Fatma Kadriye ÖRGEN

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Erkan DİKMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Fatma Kadriye ÖRGEN]

TEZ ONAYI

Fatma Kadriye ÖRGEN tarafından hazırlanan "Rüzgar Enerji Sistemlerinin Analizi ve Yöresel Bir Uygulama" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman Yrd. Doç. Dr. Erkan DİKMEN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. Arzu Şencan ŞAHİN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi Yrd. Doç. Dr. Gökhan YILMAZ
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Fatma Kadriye ÖRGEN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1 Enerji Kaynakları	3
1.1.1 Tükenebilen enerji kaynakları	4
1.1.2 Yenilenebilir enerji kaynakları	6
1.2. Türkiye de Enerji Potansiyeli	9
2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	12
3. RÜZGAR ENERJİSİ	21
3.1. Dünya’da Rüzgar Enerjisinin Gelişimi	21
3.2. Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Gelişimi	24
3.3. Rüzgar Enerjisi ile Elektrik Üretimi.....	26
3.4. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	28
3.5. Rüzgar Hızı Ölçüm Metotları.....	30
4. MATERYAL VE YÖNTEM	32
4.1. Arazi Özellikleri	33
4.2. Rüzgar Enerji Potansiyeli Hesaplama Yöntemleri	33
4.3. Rüzgar Hızı Tahmininde Kullanılan Ekstrapolasyon Yöntemleri	36
4.4. Rüzgar Potansiyelinin Hesaplama Yöntemleri	41
4.4.1. Weibull dağılımı.....	41
4.4.2. Rayleigh dağılımı	43
4.5. Rüzgar Türbinleri	43
4.6. Rüzgar Enerji Santralleri Ekonomik Analiz	46
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	47
5.1. Rüzgar Hız Tahmini	47
5.2. Türbinlerden Elde Edilecek Güç ve Enerji.....	51
5.3. Ekonomik Analiz.....	56
6. SONUÇ	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	64

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ VE YÖRESEL BİR UYGULAMA

Fatma Kadriye ÖRGEN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erkan DİKMEN

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, bugünün dünyasında insan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Onsuz bir yaşam neredeyse imkansızdır. Bu sebeple dünyanın hızla artan nüfusu ve bu nüfusa paralel değişen enerji tüketimi dünyadaki enerji kaynaklarının kısıtlı kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu da enerji ticaretine verilen önemi hızla arttırarak enerjinin devletlerin uluslararası ilişkilerinin belirlenmesinde büyük bir etken olmuştur. Günümüze kadar kullanılan ve hala kullanılmakta olan fosil kaynaklar tükenmekte ve atmosfere sera gazı emisyonu vermektedir. Bunun neticesinde küresel ısınmaya ve hava kalitesinde bozulmalara neden olmaktadır. Ülkeler de fosil yakıtlardan farklı düşük işletme maliyetli, tükenmeyen, çevreye zarar vermeyen, yenilenebilir enerji kaynakları arayışına girmiştir ve bunlardan bir tanesi de rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi insan yaşamına 1890 larda Paul La Cour'un ilk rüzgar türbinini bulmasıyla girerken ülkemize 1998 yılında İzmir Çeşme'de 17.4 MW gücünde ilk rüzgar enerji santralinin kurulmasıyla girmiştir. Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyelinin yüksek olması bu alana yapılan yatırımları gün geçtikçe arttırmaktadır.

Bu çalışmada, Burdur ili Ağlasun ilçesi Başgoz mevkiinin rüzgâr enerji potansiyelini belirlemek için 2013-2014 yılına ait 2 m yükseklikteki rüzgâr hız verileri 10 ar dakikalık periyotlarla alınarak kaydedilmiştir. Aylık ortalama rüzgâr hız verileri ile 6 farklı ekstrapolasyon yöntemiyle çalışmada kullanılacak olan 50, 60, 65,73, 77, 80 ve 100 m deki rüzgar hızları bulunmuştur. Bu hız değerleri ile türbinlerden elde edilecek güç ve enerji miktarları ile maliyet analizi yapılmıştır. En yüksek güç (421 kW) ve enerji üretimi (357977 kWh/yıl) yapan, Leitwind firmasının LTW80 modelinin 80m hub yüksekliğinde olan türbinidir. Maliyet analizine göre en ekonomik (3.73 Dolar cent/kWh) olan Enercon firmasının 800 kW gücündeki E-53 modelinin 50 m hub yüksekliğinde olan türbin olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bölgemizde kurulması planlanan rüzgar enerji santrali için bir ön çalışma oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Potansiyeli, Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Enerji Santrali

2017, 64 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ANALYSIS OF WIND ENERGY SYSTEMS AND APPLICATION FOR THE REGION

Fatma Kadriye ÖRGEN

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Erkan DİKMEN

The rapidly growing population of the world and the energy consumption that changes in parallel with this population are causes to the limited use of energy resources in the world. This situation is also increase the importance given to energy trade and has been a major factor to determine international relationships of energy states. Fossil resources that are stil in use are exhausting and emitting greenhouse emissions to the atmosphere.

This situation causes global warming and deterioration of air quality. Today, countries are looking for renewable energy sources that do not harm the environment, different from fossil fuels, and one of them is wind energy.

In this study, wind speed data of 2 m height belonging to 2013-2014 was recorded with 10 min intervals to determine the wind energy potential of the Basgoz district of the city of Burdur. Wind speeds of 50, 60, 65, 73, 77, 80 ve 100 were found to be used in working with 6 different extrapolation methods with monthly average wind speed data. With these speed values, power and energy amounts to be obtained from the turbines were found.

The turbine of the LTW80 brand of Leitwind which produces the highest power and energy at 80 m hub height. The annual average of producing is 421 kW of power and 357977 kWh of energy per year. Cost analysis and unit kWh energy cost were calculated in the last part of the study. As a result, the most economical solution has been detected with Enercon's 50 kW turbine of 800 kW power E-53 model with a unit kWh energy cost of 3.73 dollar cents. The results obtained in this study constitute a preliminary study for the planned wind power plant in our region.

Keywords: Wind potential, Wind energy, Wind power plant

2017, 64 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Erkan Dikmen'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışma sırasında fikirleriyle destek veren Hocam Prof. Dr. Arzu Şencan ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Projenin hayata geçirilmesindeki kararımıza destek veren Yorgancıoğlu Limitet şirketine, rüzgar verilerinin elde edilmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Aksu Enerjiye teşekkür ederim.

Bütün hayatımda olduğu gibi tezimin her aşamasında benden maddi manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan babam Süleyman DÜDEN annem Fatma DÜDEN, kardeşim Cihan Yaşar DÜDEN ve eşim Yasin ÖRGEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Fatma Kadriye ÖRGEN
Isparta, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tükenebilirliğine Göre Enerji Kaynakları	4
Şekil 1.2. 2000-2016 yılları arası hidroelektrik santrallerden elektrik üretimi...	7
Şekil 1.3. Türkiye’ nin net elektrik tüketimin yıllar itibariyle gelişimi	9
Şekil 1.4. Türkiye’ nin net elektrik üretimin yıllar itibariyle gelişimi	10
Şekil 3.1. Dünyadaki rüzgar türleri	21
Şekil 3.2. Dünya teknik rüzgar potansiyelinin kıtalara göre dağılımı.....	22
Şekil 3.3. 1996-2014 Yılları arasında dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü	22
Şekil 3.7. Rüzgar türbin tipleri	27
Şekil 3.8. Yatay eksenli rüzgâr türbini.....	28
Şekil 4.1. Rüzgâr enerji santrali kurulacak saha	32
Şekil 4.2. Rüzgarın türbindeki hızları	34
Şekil 4.3. Enercon E-53 türbinin rüzgar hızına bağlı üretebileceği güç	44
Şekil 4.4. Leitwind LTW-80 türbinin rüzgar hızına bağlı üretebileceği güç.....	44
Şekil 4.5. EWT DW61 türbinin rüzgar hızına bağlı üretebileceği güç	45
Şekil 5.1. Farklı yüksekliklerde rüzgar hızları	51
Şekil 5.2. Enercon E53 tipi rüzgar türbinlerinin ürettiği güç grafiği	52
Şekil 5.3. LTW80 tipi rüzgar türbinlerinin ürettiği güç grafiği	52
Şekil 5.4. EWT D61 tipi rüzgar türbinlerinin ürettiği güç grafiği	53
Şekil 5.5. Türbinlerden üretilen enerji miktarı (kWh).....	55
Şekil 5.6. Türbinlerden üretilen yıllık toplam enerji miktarı (kWh)	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Türkiye petrol üretimi-ithalat talebi.....	5
Çizelge 1.2. Türkiye doğalgaz üretimi ve ithalat talebi	6
Çizelge 1.3. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle değişimi	11
Çizelge 1.4. Türkiye kurulu gücüne karşılık elde edilen enerji miktarı.....	11
Çizelge 3.1. Ülkelerin rüzgar türbin güç kapasitesindeki değişimi	23
Çizelge 3.2. Rüzgâr türbini üreticilerinin 2013 yılı pazar payı	24
Çizelge 3.3. Ülkemizde 2016 yılı itibariyle kurulu olan (≤ 11 MW) rüzgâr enerji santralleri.....	25
Çizelge 4.1. RES kurulması planlanan bölgedeki 2 m yükseklikten alınan rüzgâr hız verileri.	32
Çizelge 4.2. Ekstrapolasyon yöntemleri.....	36
Çizelge 4.3. α helman katsayısı değişim özellikleri	37
Çizelge 4.4. Pürüzlülük yüksekliği ve yüzeye göre pürüzlülük sınıfları	38
Çizelge 5.1. Aylara göre günlük ortalama rüzgar hızları	48
Çizelge 5.2. Farklı yükseklikler için rüzgar hız tahminleri.....	49
Çizelge 5.3. Farklı yüksekliklerde rüzgarın esme süresi.....	54
Çizelge 5.4. Türbinlerin birim kWh enerji maliyetleri	57

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun temel ihtiyaçlarından birisi enerjidir. Enerjinin sürekli kullanımı neticesinde kaynaklar hızla azalmaktadır. Artan nüfus - azalan enerji tüm dünyanın başta gelen sorunları arasındadır.

Dünya, düşünülmeden kullanılan enerji kaynakları neticesinde hızla kirlenmekte ve hayat olumsuz etkilenmektedir. Sürekli artan enerji ihtiyacı bir müddet daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Günümüzde kullanılan petrol, kömür gibi fosil yakıtlar tükenmelerinin yanında büyük çevre kirliliklerine de neden olmaktadır.

Ülkemizde son yıllarda enerji kaynağı olarak en fazla kullanılan doğalgaz 'ın dışa bağımlı bir kaynak olması ve sınırlı rezervleri sebebiyle dezavantajlı konumdadır. Hidroelektrik ve termik santraller açısından bakıldığında ise ülkemizin yüksek potansiyelli bölgelerinde kullanım kapasitesine yaklaşılmış olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve bunun devlet politikası haline getirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Bu ve benzeri sorunlar neticesinde bugün bütün dünyada enerji sektöründe büyük bir hareketlenme başlamıştır. Yeni kullanılacak enerji kaynaklarının sürekli ve temiz olmasına dikkat edilmektedir. Dolayısıyla var ve artmakta olan enerji ihtiyacının karşılanması için yenilenebilir enerji kaynakları sürekli gündemde kalmalıdır.

Birçok yenilenebilir enerjide olduğu gibi rüzgâr enerjisinde de kaynak güneştir. Ham maddesinin sınırsız olması nedeniyle rüzgâr enerjisi, sınırsız bir enerji kaynağıdır. Güneş hareketi sonucunda bazı alanlar daha az ısınırken bazı alanlar fazla ısınmaktadır. Bazı kesimlerin az ısınması sonucunda alçak basınç, çok ısınması neticesinde yüksek basınç meydana gelir. Alçak basınçtan yüksek basınca doğru gerçekleşen hava akımı rüzgâr enerjisini meydana getirir.

Rüzgâr enerjisi ülkelerin coğrafi yapısına bağlıdır. Meteorolojisi ise genel olarak bölgesel rüzgâr potansiyeli analizi, rüzgâr türbinlerinin yerleşimi ve kısa süreli rüzgâr enerjisi tahminleri ile ilgilenmektedir.

Rüzgâr enerjisi; çevre kirliliğine ve CO₂ emisyonuna neden olmaması bakımından temiz bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr santralleri kuruldukları alanda çok fazla yer işgal etmez. Dolayısıyla kuruldukları alanlarda tarım, hayvancılık gibi diğer faaliyetler gerçekleştirilebilir.

Bugün rüzgâr enerjisi tüm enerji açığımızı kapatacak kadar olmasa da gün geçtikçe artan oranda kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisini diğer enerji kaynaklarından ayıran en önemli özelliklerinden birisi işletme giderlerinin az olması ve hammadde giderinin olmamasıdır. Rüzgâr enerjisi teknolojilerinin ülkemizde de üretilmeye başlamasıyla maliyetleri hızla düşmektedir. Buna rağmen oluşabilecek hatayı en aza indirmek için santralin kurulacağı alanda titiz bir ön çalışma yapılmaktadır.

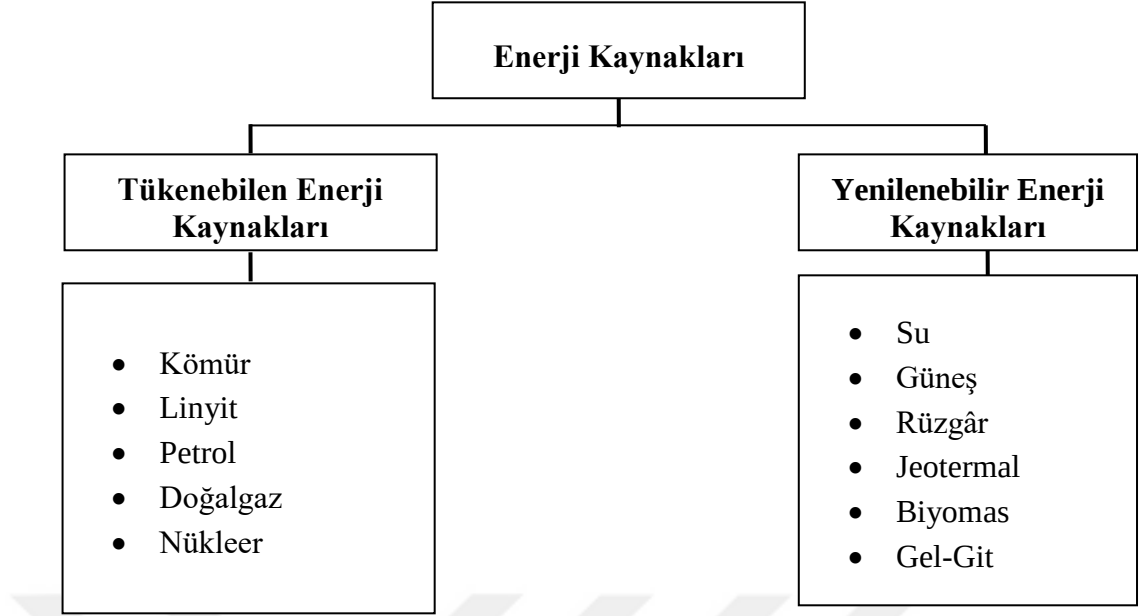
Bu çalışmada Burdur Ağlasun bölgesinin 2 m yükseklikteki rüzgâr hız verileri alınmıştır. 60 m, 65 m, 73 m ve 75 m yükseklikteki rüzgâr hızları “Basitleştirilmiş Güç Kanunu, Logaritmik Güç Kanunu, Reed Metodu, Mikhail in Logaritmik Metodu, Mikhail ve Justus Logaritmik Metodu, Eksponansiyonel Güç Metotları” yardımıyla hesaplanmıştır. Bölgede rüzgâr hızı tespit edilirken altı farklı yöntem kullanılmasına rağmen hesaplanan rüzgâr hızları arasında büyük farklılıklar oluşmamıştır. Bu yüzden literatürde yaygın olarak kullanılan Basitleştirilmiş Güç Kanunu ile üç farklı türbinin dört farklı hub yüksekliğindeki rüzgâr hızları belirlenmiştir. Elde edilen rüzgâr hızları ile türbinlerden üretilecek güç ve enerji miktarları tespit edilmiştir. Son olarak bölgede rüzgâr enerjisi kullanılarak üretilecek enerjinin kWh maliyeti belirlenmiştir.

1.1. Enerji Kaynakları

Dünya nüfusunun artması ve teknolojiye yeni gelişmelere paralel artan enerji ihtiyacının karşılanması gibi sorunlar; enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Kyoto protokolü gibi protokollerin CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılması zorunluluğu ise enerji kaynaklarından özel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır. Bir ülkenin bağımsızlığının tükettiği enerjiyi karşılayabilme potansiyeli ile belirlenmesi ülkeleri kendilerinde mevcut olan enerjiyi kullanmaya sevk etmektedir. Ülkemizin bağımsızlığının artırılması ne yazık ki petrol ve doğalgaz gibi konvansiyonel kaynaklarla gerçekleştirilemez. Bunun bir sebebi kaynakların tükenebilir ve çevreye zarar veriyor olması iken bir diğer sebebi de ülkemizde rezervinin az olmasıdır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin fazla olması ülkemizin refah, mutluluk ve bağımsızlığı açısından kaçınılmazdır. Enerji kaynakları farklı kriterlere göre sınıflandırılrsa da genel olarak yenilenebilir ve tükenebilen enerji kaynakları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Keskin, 2008).

Ülkemizde kömür ısıtma amaçlı kullanılırken, petrol yakıt amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanında linyit ise fabrikalarda kullanılmaktadır. Tükenebilen enerji kaynaklarından nükleer santralleri mevcut olmadığından kullanılmamaktadır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından hidroelektrik (su) enerji kullanılmaktadır. Ancak hidroelektrik enerjinin yağışa bağlı olması ve ülkemizin düzensiz yağış rejimine sahip olması nedeniyle bu enerji türünden çok fazla verim elde edilememektedir. Ülkemizde sıcak su ve kaplıcalar için jeotermal enerji kullanılmaktadır. Elektrik enerjimizin karşılanması için son dönemlerde güneş ve rüzgâr enerjisi kullanımı üzerine KOSGEB, TKDK gibi kuruluşların teşvikleri ile büyük yatırımlar yapılmaktadır.



Şekil 1.1. Tükenebilirliğine göre enerji kaynakları (Şen, 2003).

1.1.1. Tükenebilen enerji kaynakları

Tükenebilen enerji kaynakları kömür, linyit, petrol, doğalgaz, nükleer enerjidir. On dokuzuncu yüzyılın sonlarına kadar kömür Avrupa ve Dünya’da en temel enerji kaynağı iken yirminci yüzyılın ikinci yarısında kömür kullanımı yerini nükleer kurulumunun güçlenmesi ile birlikte nükleer enerji kullanımına bıraktı. İkinci dünya savaşından sonra petrol rezervlerinin kullanılmaya başlaması ile birlikte tüm dünya petrol kullanmaya başladı. Ancak bu gelenek de 1974 yılındaki petrol krizine kadar sürdü. 1974’te ilk petrol krizinin meydana gelmesiyle birlikte tüm dünya ülkeleri yeni enerji kaynakları arayışına girdi. Bu arayış içerisinde gerçekleşen ilk yönelim yenilenebilir enerji kaynaklarına oldu. Tükenebilen enerji kaynakları kısaca açıklamak gerekirse;

Taş kömürü ve Linyit; Dünyada kömür rezervlerinin 297 trilyon tonu Asya Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır. Bunu 222 trilyon tonla Rusya ve BDT ülkeleri takip etmektedir. Dünya linyit rezervinin %1.6’sı, yani 8.374.373.000 ton linyit, ülkemizde bulunmaktadır (Beytullah, 2013). Var olan linyitin %72’sinin kalorisi düşük olduğu için termik santrallerde kullanılmaktadır. Elektrik üretimi için kullanılan toplam güç 6000 MW tır (Karakaya, 2009).

Petrol; On dokuzuncu yüzyılda varlığını göstermeye başlamasına rağmen temel enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlaması yirminci yüzyılı bulmuştur. Çizelge 1.3.'te belirtildiği üzere ülkemizde yıllık petrol üretimi 2004'te 45 bin varil/gün seviyesinde iken 2014'te bu değer 49 bin varil/güne yükselmiştir. Bu üretime karşılık ham petrol alımı 2004'te 476 bin varil/gün iken 2014'te 359 bin varil/güne gerilemiştir. Buradaki gerileme 2004'te 150 bin varil/gün olup 2014'te 310 bin varil/gün olarak diğer ürünlerden ithal edilmiştir. İthalattaki bu yükseliş ülkemizi öz enerji kaynaklarına yöneltmektedir (Petrol-İş, 2011).

Çizelge 1.1. Türkiye petrol üretimi-ithalat talebi (Anonim, 2016).

Yıllar	Türkiye Ham Petrol [1000 varil/gün]	Ham Petrol İthalatı [1000 varil/gün]	Diğer ürün talebi [1000 varil/gün]
2004	45	476	150
2005	46	470	150
2006	44	485	169
2007	43	469	206
2008	43	441	200
2009	48	283	376
2010	50	348	295
2011	48	371	254
2012	47	385	245
2013	48	376	290
2014	49	359	310

Doğalgaz; Petrol ve kömürün kullanımıyla artan çevre sorunları insanlığı yeni temiz enerji kaynakları arayışı içerisine atmıştır. Sonucunda tükenebilir ancak temiz bir enerji kaynağı olan doğalgaz kullanılmaya başlamıştır. Ülkemizde doğalgaz üretimi yok denecek kadar azdır.

Çizelge 1.2. de belirtildiği üzere doğalgaz üretimi 2004'te 0.7 milyar m³ iken 2014'te üretim son on yılın minimum üretimi olan 0.5 milyar m³ tür. Buna karşılık doğalgaz talebi 2004'te 21.4 milyar m³ iken 2014'te 49.3 milyar m³ e yükselmiştir. Genel olarak doğalgaz ihtiyacımızı ithalatla karşılandığı için enerji ihtiyacında yurtdışına, bağımlılığı arttırmaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye doğalgaz üretimi ve ithalat talebi (Anonim, 2016).

Yıllar	Yerli Doğalgaz Üretim [milyar m ³]	Doğalgaz ithalatı [milyar m ³]
2004	0.7	21.4
2005	0.9	26.0
2006	0.9	29.6
2007	0.9	35.2
2008	1.0	36.5
2009	0.7	35.0
2010	0.7	38.3
2011	0.8	43.9
2012	0.7	44.6
2013	0.6	45.1
2014	0.5	49.3

Atom (nükleer enerjisi); Nükleer enerji fisyon ve füzyon olmak üzere iki şekilde elde edilir. Füzyon iki küçük çekirdeğin birleştirilmesinden, fisyon ise bir çekirdeğin parçalanmasından oluşur. Günümüzde kullanılan nükleer santrallerin işleyişi fisyon ile gerçekleşmektedir. Nükleer enerji kullanımı 1986 yılının sonuna kadar büyük bir hızla artmakta iken 1986 yılında meydana gelen Chernobyl kazası sonucunda kullanımında büyük bir düşüş meydana gelmiştir. Buna rağmen dünya elektrik kaynaklarının % 18'i halen nükleer enerjiden sağlanmaktadır (Karakaya, 2009).

1.1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

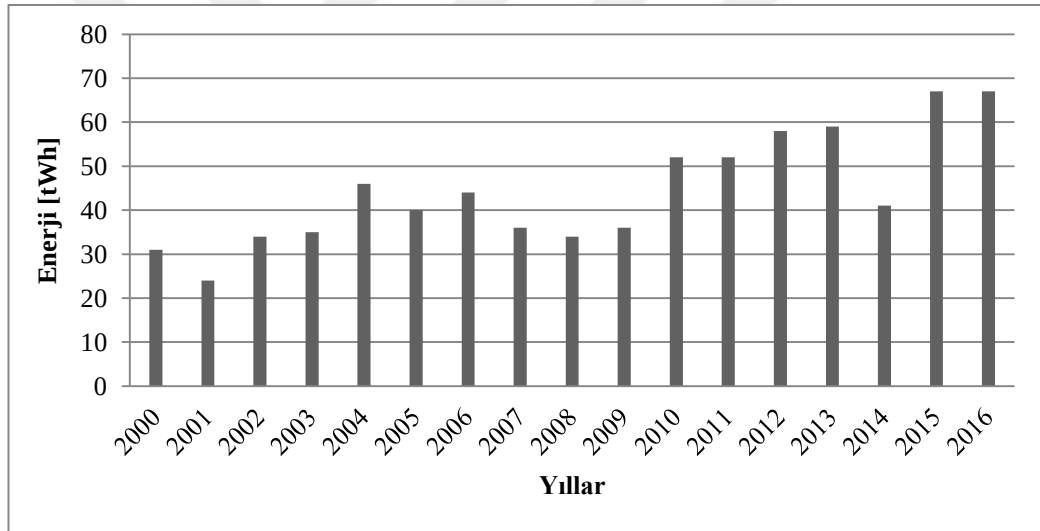
Dünya nüfusunun sürekli artması, buna bağlı olarak enerji talebinin sürekli artması insanları var olan enerji kaynaklarından en uzun süreli ve doğaya en zararsız olanlarını kullanmaya itmektedir. 20. yy'ın 70'li yıllarına kadar kullanılan kömür ve petrol gibi enerji kaynaklarının rezervlerinin tükeniyor olmasının yanında aynı tarihlerde meydana gelen petrol krizi sonrası insanlar farklı enerji kaynakları arayışı içerisine girmiştir. Buna bağlı olarak dünya; çevreye, insanlara zarar vermeyen ve tükenmeyen enerji kaynakları kullanmaya başlamıştır.

Hidrolik enerji: Hidrolik enerji, barajlarda biriktirilen suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye, türbinler yardımıyla da elektrik enerjisine çevrilmesiyle elde edilir. Bu enerji türünde kullanılan sadece su olduğu için yenilenebilir kabul edilmektedir.

Ülkemizde hidrolik enerjiden elektrik üretimi oldukça fazladır. 2015 yılında en çok elektrik üreten Karakaya barajından 5 milyar 457 milyon kWh elektrik üretilirken bunu 4 milyar 780 milyon kWh elektrik üreten Keban Barajı ve 4 milyar 651 milyon kWh elektrik üreten Atatürk Barajı izlemiştir. 263.8 milyar kWh elektrik tükettiğimiz 2015 yılında bu enerjinin 66.9 milyar kWh 'i hidroelektrik santrallerden karşılanmıştır (Anonim, 2016).

Şekil 1.2.'ye göre ülkemizde son on beş yılda en düşük üretim 2001 yılında 24 tWh ile gerçekleşirken en yüksek üretim 2015 ve 2016'da 69 tWh ile gerçekleşmiştir. Ortalama üretime baktığımızda ise 44.2 tWh'tir.

Bu düzensizliğin en büyük sebebi ise ülkemizdeki yağış rejiminin düzensiz olmasıdır.



Şekil 1.2. 2000-2016 yılları arası hidroelektrik santrallerden elektrik üretimi (Anonim, 2016).

Jeotermal Enerji: Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları atmosfer sıcaklığının üstünde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineraller içeren sıcak su, buhar ve/veya gazlardan elde edilen enerji olarak tanımlanır (Karakaya, 2009). Jeotermal enerji genellikle ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Türkiye önemli bir jeotermal enerji potansiyeli taşımaktadır. Ülkemizdeki aktif jeotermal enerji santral sayısı 25, kurulu güç potansiyeli 712 MW iken, yıllık elektrik üretimi 3801 gWh2tir.

Bunlardan en çok elektrik üretimi gerçekleştirilen 115 MW ile Aydın'daki Gürış Holding'e ait Efeler Jeotermal Enerji Santrali'dir. Bir diğeri ise 80 MW ile Denizli'deki Zorlu Enerji'dir (Anonim, 2016).

Biokütle Enerjisi: Hayvanların, bitkilerin atıklarından elde edilen enerjiye biokütle enerjisi denir. Ülkemizde biokütle, biyogaz, atık ısı enerjisi için aktif santral sayısı 69 dur. Toplam kurulu güç 374 MW 'tır. Yıllık elektrik üretimi ise 1858 gWh'tir. Biokütleden enerji en fazla İstanbul da 34 MW ile Ortadoğu Enerji tarafından Oda Yeri Çöp Santrali'nden alınmaktadır. Bunu Samsun'da Toros Tarım Samsun Atık Isı Santrali, 31 MW ile takip etmektedir (Anonim, 2016).

Dalga ve Gelgit Enerjisi: Denizlerdeki ve okyanuslardaki faydalanılabilir enerjiye dalga ve gelgit enerjisi denir. Türkiye'de dalga enerjisinden faydalanılabilecek herhangi bir kıyı olmadığı için bu enerjiden faydalanılamamaktadır (Karakaya, 2009).

Hidrojen Enerjisi: Hidrojen doğrudan bir enerji kaynağı değildir. Enerji taşıyıcıdır. Türkiye'nin ilk hidrojen adası Çanakkale'nin Bozcaada ilçesindedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın desteğiyle Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) Uluslararası Hidrojen Enerji Teknolojileri Merkezi (ICHET) tarafından çalıştırılan pilot tesiste; ilk aşamada kaymakamlık ve adadaki 20 evin elektrik ihtiyacını karşılayacak üretim yapılacaktır (Anonim, 2016).

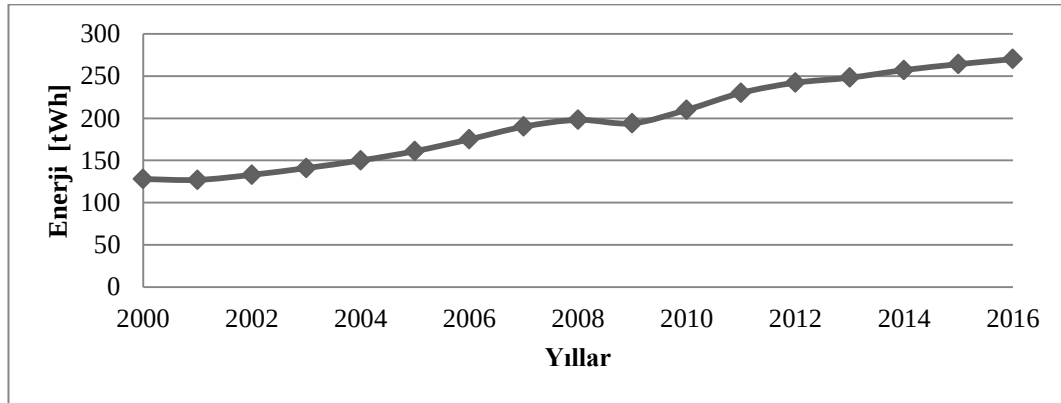
Güneş Enerjisi: Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, günlük ortalama güneşlenme süresi ise 7.2 saat, ortalama ışıınım şiddeti 1311 kWh/m² yıl olması ile birlikte günlük ortalama ışıınım şiddeti ise 3.6 kWh/m² olarak tespit edilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik elde etmek için kullanılan güneş pillerinden %5 ile %30 arasında verim elde edilebilmektedir. Ülkemizde güneş enerjisi genellikle sıcak su amaçlı kullanılmasına rağmen son yıllarda elektrik üretimi için kullanımında da artışlar gözlenmektedir, 4 Mayıs 2016'da açılışı yapılan 430 bin m² alana kurulmuş olan Konya Kızılören'deki 22.5 MW kapasiteli güneş enerji santrali, ülkemizin en büyük güneş enerji santralidir. Bu santrallerden yıllık toplamda 30.730 MWh elektrik elde edilmesi beklenmektedir. Türkiye'nin ikinci büyük santrali ise halen enerji elde edilmekte olan 17 MW kapasiteli Nevşehir'deki

Derinkuyu GES'tir. Burdur'da ise ZEN Enerji'nin kurmuş olduğu 8 MW kapasiteli GES bulunmaktadır. Isparta'da Gönen Sargas, Matar ve Apollo GES 4 MW kapasitelidir (Anonim, 2016).

Rüzgâr Enerjisi: Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi eşit ısıtmamasından oluşan sıcaklık ve basınç farklılıkları rüzgârı oluşturur. Rüzgâr hızına ve esme sayısına bağlı olarak üretilen rüzgâr türbinleri büyüklüklerine göre enerji üretmektedirler. Temiz ve tükenmez olması nedeniyle diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi rüzgâr enerjisine günden güne yönelim fazlalaşmaktadır. Son zamanlarda yapılan hesaplara göre rüzgâr enerji potansiyeli hidroelektrik kaynaklara göre yaklaşık 15-20 kat daha fazladır (Anonim, 2016).

1.2. Türkiye'de Enerji Potansiyeli

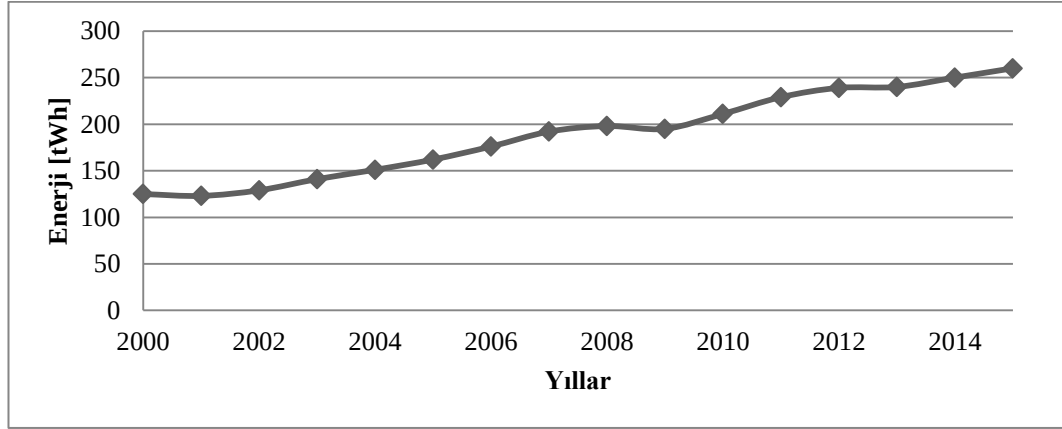
Enerji tüketimi ülkelerin gelişmişlik düzeyiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Türkiye'de 31 Aralık 2015 tarihi itibarıyla; 2014 yılı sonunda 77.695.904 kişi olan nüfusumuz %1.35 artış oranıyla 78.741.053 kişi olmuştur. Hızla artan nüfus, kişi başına düşen net elektrik tüketim miktarını da arttırmaktadır (Anonim, 2016).



Şekil 1.3. Türkiye'nin net elektrik tüketiminin yıllar itibarıyla gelişimi
(Anonim, 2016).

Şekil 1.4'te gösterildiği üzere ülkemizde minimum elektrik üretim miktarı 2000 yılında 125 tWh ile gerçekleşirken maksimum elektrik üretim miktarı 260 tWh ile

2016 yılında gerçekleşmiştir. Karşılaştırma neticesinde tükettiğimizden daha az elektrik üretilmiştir (Anonim, 2016).



Şekil 1.4. Türkiye'nin net elektrik üretiminin yıllar itibariyle gelişimi
(Anonim, 2016).

Ülkemizdeki enerji üretiminde farklı kaynakların kurulu güçlerinde gelişmeler meydana gelmektedir. Çizelge 1.3.'e göre Türkiye'nin kurulu gücü 2006'dan 2014 yılına kadar sürekli olarak artmıştır. 2006 yılında toplam kurulu güç 67.985 MW iken 2014 yılında toplam kurulu güç 111321.5 MW'a ulaşmıştır. Çizelge 1.4'te ise bu kurulu güçten elde edilen enerji miktarı verilmektedir. 2006 yılında 180640.2 MWh olan enerji miktarı 2014 yılında 25410.1 MWh'e ulaşmıştır.

Çizelge 1.3. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle değişimi (MW) (Anonim, 2016).

Tek Yakıtlı								Çok Yakıtlı								
Yıllar	Taş Kömürü	İthal Kömür	Linyit	Fuel Oil	Doğalgaz	Atık Isı	Toplam	Katı +sıvı	Sıvı +doğalgaz	Toplam	Termik	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam
2006	1986	-	8210.8	2396.5	11462.2	41.3	24096.8	471.0	2852.4	3323.4	27420.2	13032.7	81.9	-	-	40564.8
2007	1986	-	8211.4	2000.2	11647.4	42.7	23887.6	471.0	2913.4	3384.0	27271.6	13394.9	169.2	-	-	40835.7
2008	1986	-	8205.0	1818.6	10656.8	59.7	22726.0	471.0	4398.0	4869.0	27595.0	13828.7	29.8	363.7	-	41817.2
2009	2391	-	8199.3	1699.1	11825.6	86.5	24201.5	415.7	4721.9	5137.0	29339.1	14553.3	77.2	791.6	-	44761.2
2010	3751	-	8199.3	1593.3	13302.1	107.2	26952.9	452.7	4872.9	5323.0	32278.5	15831.2	94.2	1320.2	-	49524.1
2011	4351	-	8199.3	1300.4	13143.9	125.7	27120.3	477.6	6333.2	6810.8	33931.1	17137.2	114.2	1728.7	-	52911.1
2012	4382	-	8193.3	1285.5	14116.4	168.8	28146.5	598.5	6282.2	6880.7	35027.2	19609.4	162.2	2260.6	-	57059.4
2013	4382	-	8223.2	616.3	17170.6	235.0	30627.6	612.3	7408.1	8020.4	38648.0	22289.0	310.8	2759.7	-	64007.5
2014	6532	-	8281.3	549.9	18724.4	299.1	34432.3	585.8	6733.6	7369.4	41801.8	23643	404.9	3629.4	40.1	69519.8

Çizelge 1.4. Türkiye kurulu gücüne karşılık elde edilen enerji miktarı (MW) (Anonim, 2016).

Tek Yakıtlı									Çok Yakıtlı						
Yıllar	Taş K.	Linyit	Toplam	Fuel Oil	Motorin	LP G	Nafta	Toplam	Doğalgaz	Yenilenebilir	Termik	Hidrolik	Jeotermal	Güneş	Toplam
2006	14216.6	32432.9	46649.5	4232.4	57.7	0.1	50.2	4340.4	80691.2	154.0	131835.1	4424.4	220.5	-	176299.8
2007	15136.2	38294.7	53430.9	6469.6	13.3	0	43.9	6526.8	95024.8	213.7	155196.2	35850.8	511.1	-	191558.1
2008	15857.5	41858.7	57715.6	7208.6	266.3	0	43.6	7518.5	98685.3	219.9	164139.3	33269.8	1008.9	-	198418.0
2009	16595.6	39089.5	55685.1	4439.8	345.8	0.4	17.6	4803.5	96094.7	340.1	15623.4	35958.4	1931.1	-	194812.9
2010	19104.3	35942.1	55046.1	2143.8	4.3	0	31.9	2180.0	98143.7	457.5	155827.6	51795.4	3584.6	-	211207.7
2011	27347.3	38870.4	66217.9	900.5	3.1	0	0	903.6	104047.6	469.2	171638.3	52338.6	5418.2	-	229395.1
2012	33324.3	34688.9	68013.1	981.3	657.4	0	0	1638.7	104499.2	720.7	171812.5	57865.0	6760.1	-	239496.8
2013	33524.0	30262.0	63786.1	1192.5	546.3	0	0	1738.8	105116.3	1171.2	171812.5	59420.5	8921.0	-	240154.0
2014	39647.3	36615.4	76262.7	1662.9	482.4	0	0	2145.3	120576.0	1432.6	200416.6	40644.7	10884.1	17.4	251962.8

2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Ülkemizde rüzgâr enerjisi alanında yapılan tezler incelenmiştir. Yapılan çalışmaların genellikle kıyı kesimlere ait olduğu ve bu alanlarda rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun dışında iç kesimlerde Eskişehir, Kütahya, Sivas gibi iller için yapılan çalışmalarda bu bölgelerin rüzgâr potansiyelinin düşük olduğu belirlenmiştir.

Dündar ve İnan (1996) yaptığı çalışmada Bozcaada Meteoroloji İstasyonun 'dan alınan 1975-1984 yılları arasındaki rüzgâr hız verilerini ve diğer parametreleri kullanarak WAsP paket programı ile üretilebilecek enerjiyi hesaplamıştır. Elde edilen sonuçlar yüksekliklere ve büyük ölçekteki türbinlere göre sınıflandırılarak karşılaştırılmıştır. Hakim rüzgar yönü Kuzey Doğu ve Kuzey Batı olarak belirlenmiştir. Rüzgâr hızı frekans dağılımının Weibull dağılımı ile uyumlu olduğu ve kış aylarının rüzgâr hızının yaz aylarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr hızlarının 10 m için yaklaşık % 68'inin 4-5 m/sn'den yüksek olduğu tespit edilerek rüzgar santrali kurulumu için bölgenin uygun olduğu belirlenmiştir.

Dündar (1997) yaptığı tez çalışmasında Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme merkezlerinden WAsP programıyla 10 m, 25 m, 50 m ve 100 m yükseklikleri için rüzgâr hız verilerini alıp bölgenin rüzgâr potansiyelini istatistiksel olarak tespit etmiştir. Elde ettiği istatistiksel verilerin Weibull dağılımına uygun olduğunu, çevre etkilerinin bölgeye göre değiştiğini ancak yükseklikle bu etkinin azaldığını belirlemiştir. Tüm mevkilerin rüzgar enerji potansiyelinden yararlanılabileceğini ancak genel bir sıralama yapıldığında en iyi rüzgar potansiyeline sahip bölgenin 1175 W/m² ile Bodrum, ikinci sırada 946 W/m² ile Bozcaada, üçüncü sırada ise 529 W/m² ile Bandırma, sonuncu sırada ise 481 W/m² ile Çeşme'nin bulunduğunu tespit etmiştir.

Durak ve Şen (2000) yaptığı çalışmada farklı rüzgâr türbinleri ile Akhisar Bölgesinin rüzgâr enerji potansiyelini araştırmıştır. Sonuç olarak WAsP yazılım programı ile türbinlerin konuşlandırılması için uygun noktaları ve %10 hata ile yılda üretebileceği minimum enerjiyi 31436 MWh/yıl olarak tespit etmiştir.

Şimşek (2007) yaptığı tez çalışmasında rüzgâra özgü tanımlar vermiş, rüzgâr enerjisini incelemiş, bu enerjinin Türkiye’de ve Dünya’daki durumu ile ilgili teorik ve istatistiki bilgiler vermiştir. Özelde ise, Sivas Meraküm Tepenin 2005 yılına ait günlük rüzgâr hızı verilerini incelemiştir. Bu bağlamda Meraküm Tepesinin; rüzgâr enerji potansiyelini ve rüzgâr frekans dağılımını belirlemiştir. Ayrıca bölge şartlarında kurulması tasarlanan 2300 kW ve 5 kW gücündeki iki farklı rüzgâr türbininin üreteceği elektriğin birim fiyatını sırasıyla 16.06 €/kWh, 45.97 €/kWh olarak hesaplamıştır. Bu fiyatlarla sistemin kendini en az 20 yılda amorti edeceğini belirterek bölgeye bir rüzgâr santralinin kurulumunun uygun olmadığını belirtmiştir.

Yılmaz (2007) çalışmasında Doğu Anadolu Bölgesi’nde bulunan illerin sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı, rüzgâr gücü, güneşlenme şiddeti ve güneşlenme süresi gibi iklim parametrelerini 15 yıllık bir periyotta (1991-2005) inceleyerek modellemesini yapmıştır. Hava şartlarının modellenmesinde lineer regresyon analizi kullanmıştır. Geliştirilen modellerin hava şartları ve hava şartlarının çevre ve enerji üzerindeki etkilerini açıklamıştır.

Akdağ (2008) çalışmasında Çanakkale’deki rüzgâr enerji potansiyelini belirlemek için Devlet Meteoroloji İstasyonunun 2001 yılından 2006 yılına kadar 10 metre yükseklikten saatlik almış olduğu rüzgâr ölçüm verilerini kullanmıştır. Bu veriler ışığında Weibull dağılımı ve gerçek zaman seri analizini yapmıştır. Weibull parametrelerini Grafik yöntemi, Moment Yöntemi, En yüksek Olabilirlik Yöntemi ile hesaplamıştır. Elde edilen sonuçlara göre hata payı en az olanın Moment Metodu olduğu tespit edilmiştir. Ancak en yüksek olabilirlik yöntemi ile arasında çok fark olmadığından ikisi için de ekonomiklik analizinin yapılabileceği belirtilmiştir. Moment yönteminden elde edilen parametrelerle elde edilen Weibull dağılımına göre 1000 kW, 1300 kW, 2000 kW, 2300 kW’lık rüzgâr türbinleri altı farklı göbek yüksekliği için on üç farklı durumda kapasite faktörlerini hesaplayarak sonuçlarını karşılaştırmıştır. Maliyeti en düşük çıkan 2300 kW’lık türbin olmuştur.

Ertek (2008) yaptığı tez çalışmasında İstanbul’daki yatırımları devam eden rüzgâr enerji santrallerinin uygulama ve mali etütlerini araştırmıştır. Rüzgâr enerji potansiyel haritalarını Elektrik İşleri Etüt İdaresi iletişim kanallarında yayımlamıştır.

Bu haritayı Marmara Bölgesi sınırları içerisindeki İstanbul'da değerlendirmeye çalışmıştır.

İstanbul için istikrarlı altı noktasal bölgenin ve hattın fizibiliteye uygunluğunu ve rüzgâr potansiyeli açısından İstanbul'un en zengin bölgelerini belirlemiştir. Rüzgâr enerji potansiyel haritaları üzerindeki yoğunluk değerleri ve uygun bölgeler mikro ölçümleme ile incelenmiştir. İstanbul için yapılan analizde mevcut rüzgâr potansiyelinin kent ihtiyacının % 35'ini karşıladığını hesaplamıştır. Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminin maliyet hesaplama aşamasında; Toplam Enerji Maliyeti Bir Değere Getirilmiş (Levelised Cost) Masraflar Metodu ile sermaye maliyeti hesaplanmış ve 10 MW gücündeki tesisin direk yatırım bedelinin 12.080.865 \$ olacağını saptamıştır.

Aydın (2008) İzmir ili için yaptığı tez çalışmasında, bölgenin 21 m'deki 2006 yılının rüzgâr ölçüm verilerini temin etmiş ve bu ölçüm verilerine dayanarak 30 m ve 40 m'deki rüzgâr hızlarını hesaplamıştır. Bir evin yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimini karşılamak için 2 kW, 3 kW ve 5 kW olmak üzere üç farklı rüzgâr türbini ve 21 m, 30 m, 40 m yükseklik için üretilecek teorik güç, gerçek güç, üretilecek enerji miktarı excel yardımıyla hesaplanmıştır. Evin enerji ihtiyacını karşılamada 40 m yükseklikteki 3 kW'lık türbinin en ideal türbin olduğu tespit edilmiştir. Bu türbin için geri ödeme belirlenmiştir.

Altuner (2009) yaptığı çalışmada Cumhuriyet Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nda 17 m de bir direkte takılı bulunan anemometre ile bir yıl ölçüm yaparak günlük rüzgâr hız verilerini elde etmiştir. Bu verilerin kullanabileceği biri büyük güç kapasiteli diğeri küçük güç kapasiteli iki türbin seçilmiştir. Türbin yükseklikleri 30 m ve 113 m dir. Elde edilen verilerin bu yüksekliklerdeki karşılığı Hellman yükseltme bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu rüzgâr hızlarında bu türbinlerden elde edeceği enerji miktarlarını da hesaplayarak hepsini tablolar halinde göstermiştir. Son olarak formüller yardımıyla üretilecek enerjinin birim fiyatını hesaplamıştır. 2300 kW'lık rüzgâr türbinine ait birim hız maliyeti 75.74 Euro cent/kWh ve 5 kW'lık türbin için 208.96 Euro cent/kWh olarak bulunmuştur.

Karakaya (2009) yaptığı tez çalışmasında Eskişehir, Bilecik ve Kütahya illerinin rüzgâr hız verilerini bu illerin Meteoroloji İstasyonundan almıştır. De Wind firmasının nominal güçteki farklı türbinleri seçilerek bölgelerin rüzgar potansiyelinin verimliliği araştırılmıştır. En yüksek hıza sahip Eskişehir ilinde bile rüzgâr enerji potansiyelinin olmadığı tespit edilmiştir.

Özcan (2009) yaptığı çalışmada Isparta ilinde kurulacak rüzgâr türbin santralının yapılacak ekonomik analizi RETScreen Temiz Enerji Proje Analiz Yazılımı ile yapılmıştır. Rüzgar hız değerleri düşük olduğu için yapılacak yatırımın ekonomik olmadığı tespit edilmiştir.

Kazıcı (2009) yaptığı çalışmada Şanlıurfa bölgesinin rüzgâr potansiyelini iki farklı yöntemle tespit etmiştir. Birinci yöntem rüzgâr hız verilerini Microsoft Excel programı yardımıyla 5.dereceden bir polinom eğim çizgisi çizerek denklem bulmuştur. Rüzgâr hızları türbin denkleminde yerine konularak üretilen güç hesaplanmıştır. Aynı verileri Weibull Yöntemi ile değerlendirip üretilen enerji miktarları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun veriler ile yapılan analize oranla genel eğiliminin çok fazla değişmediği ancak aradaki farklılıkların azaldığı tespit edilmiştir. Nodex N90/2300 kW türbinin kapasite faktörü, geri ödeme süresi, toplam getiri sütunlarında en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Gürdal'ın (2010) çalışmasında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi'nin merkez kampüs alanının enerji ihtiyacını karşılamak için rüzgâr potansiyeli irdelenip, bu rüzgâr potansiyeli ile merkez kampüs alanının enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli türbin sayısını, bu türbinlerden elde edilecek enerji miktarı, türbinlerin ürettiği enerjinin gerekli enerji ihtiyacını karşılama oranları tespit edilmiştir. Çalışmanın sonunda maliyet analizi ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak ortalama 4.6 m/s rüzgar hızına sahip olan Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı için en uygun türbin tipinin 2500 kW'lık Nordex-100 olduğu, kampüsün enerji ihtiyacı olan 4.228.200 kWh'i 1 adet türbin ile karşılayarak 7 yılda kendini amorti edeceği tespit edilmiştir.

Yalçın (2010) yaptığı çalışmada İstanbul için rüzgâr atlası oluşturmuştur. WAsP programı ile 52 m yükseklikten alınan rüzgâr hız verileri yardımıyla bölgenin güç yoğunluğu ve ortalama rüzgâr hızı belirlenmiştir. Hem 1.5 MW'lık V63 rüzgâr türbini için hem de 2 MW'lık V80 rüzgâr türbini için rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanıp maliyet analizi ve geri ödeme süresi belirlenmiştir. En iyi sonucu geri ödeme süresi 8 yıl olan 2 MW'lık V80 türbininin kullanılmasıyla oluşacağı belirlenmiştir.

Talayoğlu (2010) yaptığı tez çalışmasında WASP paket programı yardımıyla Denizli İlinin Tavas ilçesinin rüzgâr enerji potansiyeli ve enerji üretim miktarı hesaplamıştır. Yine program yardımıyla farklı türbin tipleri için hesaplamalar yapılarak bu bölge için uygun türbin tipi belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar aylık, yıllık ve mevsimsel olarak sınıflandırılıp karşılaştırılmıştır. Bölgeye 30 MW'lık santral kurulması planlanmıştır. Türbin olarak V63 ve V80 türbinleri düşünülmüştür. V80 türbinin daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir. Üretilen enerjinin kWh maliyetinin de 1.15 ile 2.97 eurocent arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Temiz (2010) yaptığı çalışmada Marmara Bölgesinde etkin çalışabilecek, bu bölgelerin rüzgâr şartlarına uygun yatay eksenli bir rüzgâr türbini tasarımı yapmıştır. Bölgenin ortalama rüzgâr hızının, Kocaeli Meteoroloji Müdürlüğü aylık rüzgâr hızı verilerine göre orta kuvvette ve sayısal olarak 7.8 m/s olduğunu belirlemiş, bu rüzgâr hızına uygun jeneratör seçimini yaparak rotor, kanat, kule boyutlarının hesaplarını tamamlamıştır. Bölgenin rüzgâr hızı orta verimli olduğundan orta güçlü 500 kW gücünde rüzgâr türbini tasarımı için gerekli hesaplar yapılmıştır.

Hamamcıoğlu (2010) yaptığı tez çalışmasında Yıldız Teknik Üniversitesi Yıldız Kampüsü ne 860 m mesafede kurulu ölçüm istasyonunda yapılan ölçümlerden elde edilen verileri değerlendirerek bölgenin rüzgâr enerji potansiyelini belirlemiştir. Daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi merkez kampüs alanının enerji ihtiyacı olan 4.858 gWh'i karşılamak için iki farklı senaryo düzenlenmiştir. Bunun için 1.8 MW diğeri 3.6 MW olan iki farklı kapasitedeki rüzgâr türbininin üreteceği yıllık enerji miktarını WAsP programı yardımıyla hesaplamış; rüzgârdan elde edilen elektriğin birim maliyeti, geri ödeme süresi, iç verim oranı gibi ekonomik kriterleri tespit

edilmiştir. Bu türbinler için hazırlanan iki senaryodan birincisinde Yıldız Teknik Üniversitesi Kampüsü'nün enerji ihtiyacından az diğerinde ise daha çok durum oluşturulmuştur. İhtiyaçtan daha fazla üretilip devlete satılması durumunun diğer duruma göre daha karlı olduğu tespit edilmiştir.

Polat (2011) yaptığı çalışmada bir rüzgâr enerji santrali projelendirmesi ve kurulumunda izlenecek yolları anlatmıştır. Daha sonra, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan Konya - Yunak bölgesine ait 1986 – 2007 yılları arasında 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgâr şiddeti, basınç ve sıcaklık verileri kullanılarak bölgenin rüzgâr karakteristiği hız süreklilik eğrileri yöntemi ile incelenmiştir. Ardından ölçüm değerlerinden elde edilen ve zamanla değişim gösteren hava yoğunluğu değerleri göz önünde bulundurularak 85 m yükseklikteki bir rüzgâr türbini için ölçüm değerinin bu yükseklikteki karşılığı Hellman katsayısı 0,14 alınarak, bu noktadaki hava yoğunluğu ise 1.04 kg/m^3 alınarak hesaplanmıştır. Üretilmesi beklenen enerji miktarı 429.34 MWh olarak belirlenip aynı türbinden gerçekte alınan enerji miktarı ile (288.34 MWh) karşılaştırılmıştır. Ayrıca 10 metredeki veriler türbin göbek yüksekliğine yükseltilirken kullanılan güç profil kanunundaki Helmann katsayısı için farklı değerler kullanılarak bu katsayının hesaplamaları çok fazla etkilemediğini tespit etmiştir.

Taşdemir (2011) yaptığı çalışmada yanma odasız gaz türbinini ve bu sisteme rüzgâr türbini konulmasını tasarlamıştır. Daha sonra gaz türbininin matematiksel modellemesi yapılarak nozzle kısmına bağlanacak rüzgâr türbinin matematiksel modellemesini yapılmıştır. Sonuçta yapılan yanma odasız gaz türbinin %91 verimle çalıştığı tespit edilmiştir.

Güzel (2012) yaptığı çalışmada açık deniz rüzgâr enerjisinin kurulması için gerekli olan adımları açıklayarak, ülkemizde kurulma potansiyeli olan Bozcaada ve Gökçeada için Devlet Meteoroloji İstasyonunun 1999-2010 yıllarına ait verileri temin etmiştir. WAsP programı yardımıyla bu verilerin maliyet analizini yapmıştır. Sonuç olarak Bozcaada bölgesinin daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Yağcı (2013) yaptığı çalışmada, 10 m ve 30 m deki rüzgâr hız verilerini kullanarak 16 farklı yöntemle türbin yüksekliği olan 50 metredeki hız verilerini hesaplamıştır. Bu değerler 50 metrede ölçülmüş olan gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır ve hata analizleri belirlenmiştir. Bu yüksekliğe uygun yedi tane türbin seçilmiştir. Türbinlerden elde edilen enerji miktarları ile ölçülmüş olan değerlerden elde edilen enerji miktarları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda tüm yöntemlerle hata analizlerini: Temel güç kanunu % 13.6, basitleştirilmiş güç kanunu ile % 2.8, logaritmik güç kanunu ile % 2, modifiye logaritmik güç kanunu ile % 10.9, reed metodu ile % 9.1, mikhail'in logaritmik metodu ile % 13.1, Mikhail & Justus logaritmik metodu ile % -1.2, Spera&Richards metodu % 6.5, eksponansiyonel güç metodu % 14.5, alternatif logaritmik güç kanunu % 2, basitleştirilmiş alternatif logaritmik güç kanunu % 8, hibrit alternatif logaritmik güç kanunu % 1.6, En Küçük Kareler Güç metodu % 9.8, EKK optimum hesaplama metodu % 1.7, iki parametrelili logaritmik güç metodu %2.4, EKK zorlanmış lineer güç metodu %22.4 olarak hesaplanmıştır. Tüm ölçüm yüksekliği verilerine uygulanabilir olması ve gerçeğe en yakın sonuçlara ulaşması nedeniyle en küçük kareler optimum hesaplama metodu en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Taşkın (2013) yaptığı tez çalışmasında Niğde ilinin rüzgâr enerjisi potansiyelini RETScreen yazılımı kullanarak hesaplamıştır. Niğde Meteoroloji İl Müdürlüğü'nden 1970-2012 yılları arasındaki rüzgâr hız verileri temin edilmiştir. Karşılaştırma yapılması için RETScreen Temiz Enerji yazılım programından da veriler alınmıştır. Bu verilerin uygulanabileceği 50 m, 55 m, 60m, 76 m göbek yüksekliğinde Enercon-48 rüzgâr türbini seçilmiştir. Yazılım kullanılarak bölgenin ekonomik ve maliyet analizi yapılmıştır. Yatırımın yaklaşık 6.200.000\$, yıllık kazancın 500.000\$ ve yaklaşık 4-5 yıl gibi kısa sürede kendini amorti edeceği belirlenmiştir.

Bulut (2013) yaptığı çalışmada rüzgâr enerji potansiyeli hesaplanmasında Eskişehir ilinin 2009 yılına ait rüzgar hız verileri kullanılarak Weibull dağılım parametreleri; en küçük kareler yöntemi, en çok olabilirlik yöntemi ve L-moment yöntemi ile belirlenmiştir. L-moment yöntemine göre elde edilen parametreler c ölçek parametresi; 10 m yükseklik için 2.21, 30 m yükseklik için 3.22 olarak belirlenmiştir. k şekil parametresi ise 10 m yükseklik için 2.35, 30 m yükseklik için 2.35 olarak tespit edilmiştir. MSE değerleri ise 10 ve 30 m için sırasıyla 0.026, 0.085 dir. Diğer

yöntemlerle karşılaştırıldığında en çok olabilirlik yöntemi ile elde edilen değerlere çok yakın çıkmıştır. Çalışma sonunda parametre tahmin metodu olan L-moment yöntemi tanıtılmıştır.

Canpolat (2013) yaptığı çalışmada Isparta şartlarına uygun rüzgâr türbini tasarımı yapmıştır. Tasarımla birlikte rüzgâr ölçen aletleri tanıtarak bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemiştir. Çalışma sonunda Isparta ilinin rüzgâr potansiyelinin yeterli olmadığı tespit edilmiştir.

Güzel (2014) yaptığı tezde WAsP, WindPro, WindFarmer, WindSim, Windographer, WindHomer, RetScreen, programlarıyla on farklı ölçüm direğinden alınan veriler ile üretilebilecek enerji miktarı hesaplanmıştır. Son olarak hem ölçüm direğinden alınan verilerle hem de türbin göbek yüksekliğinden alınan verilerle on iki adet türbinden oluşan 24 MW kurulu gücündeki rüzgar enerji santrali sahasında yıllık üretilen enerji miktarını hesaplayıp karşılaştırmıştır. Wasp ve WindPro programlarından elde edilen sonuçların birbirlerine yakın, WindFarmer ile yapılan hesaplama sonuçları ise Wasp ve WindPro a göre daha düşük çıkmaktadır. WindSim sonuçları ise her üçünden de yüksek çıkmıştır.

Özgür A (2006) yaptığı tez çalışmasında Dumlupınar Üniversitesindeki Bünelek Tepeden Temmuz 2001-Haziran 2004 tarihleri arasında rüzgâr ölçüm istasyonundan alınan verilerle ortalama rüzgâr hızını 4.8 m/sn Weibull (c) ölçek parametresi 5.36 m/sn , (k) şekil parametresi 1.58 olduğu tespit edilmiştir. CALLaLOG 02 ve ALWIN programlarında rüzgâr enerjisi potansiyeli altı farklı türbin için hesaplamıştır. Hesaplamalar sonucunda bölge için en uygun rüzgâr türbin modeli % 22.2 kapasite faktörü ve yıllık 1.908.000 MWh enerji üretim miktarı ile DeWind–D6/100 kW türbini olduğu belirlenmiştir.

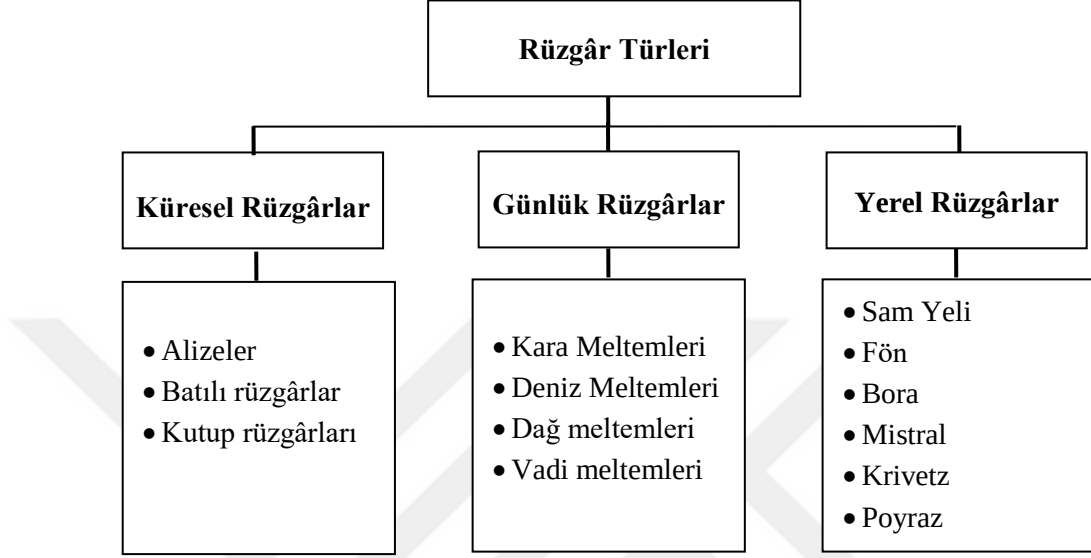
Literatürde rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi için genelde Devlet Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan rüzgâr hız verileri kullanılarak türbin hub yüksekliğindeki rüzgâr hız değerini Basitleştirilmiş Güç Kanunu ile elde edilmiştir. Bu rüzgâr hızları ile üretecekleri güç miktarları ve enerji miktarlarını Wind Pro gibi programlar yardımıyla hesaplayarak maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; türbin hub yüksekliğindeki rüzgâr hız değerlerini bulmak için altı farklı yöntem kullanılarak

elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Üç farklı firmaya ait türbinlerin yedi farklı yükseklik için elde edilen rüzgâr hız değerlerinden üretilecek güç ve enerji miktarını belirlemek için Microsoft Excel kullanılmıştır. Maliyet analizi yapılırken birim kWh enerji maliyeti belirlenmiştir.



3. RÜZGÂR ENERJİSİ

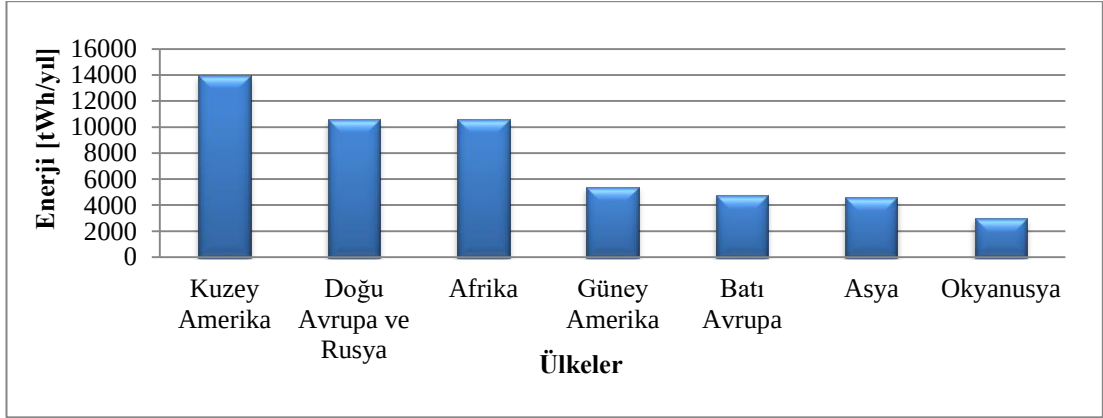
Dünya'nın geoid yapıda olması dünya yüzeyinde basınç farklılıklarını, bu basınç farklılıkları da rüzgârları oluşturur. Dünyada birçok rüzgâr türü mevcuttur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Dünyadaki rüzgar türleri (Akdağ, 2008).

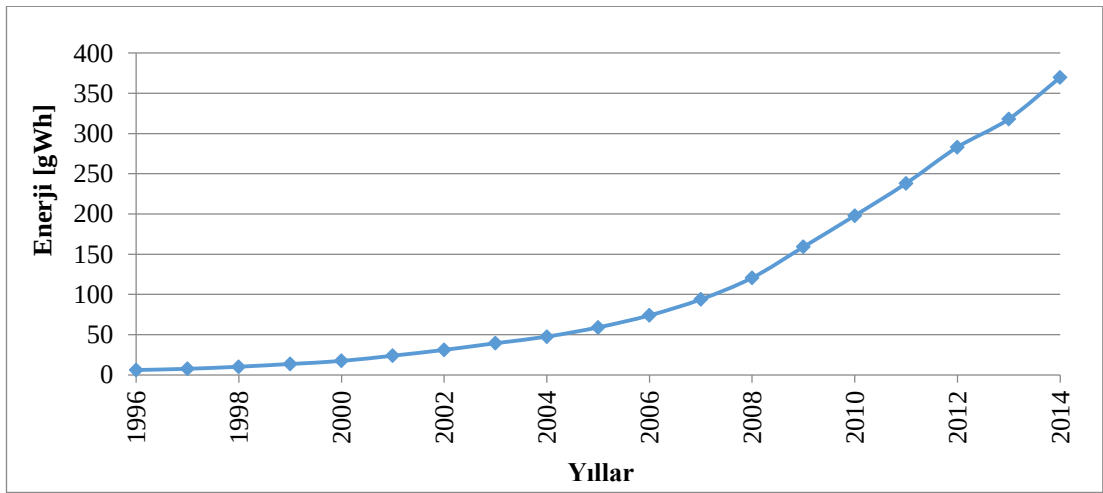
3.1. Dünyada Rüzgâr Enerjisi

Dünyada rüzgâr potansiyeli Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından belirlenmektedir ve rüzgâr hızının 5 m/sn olduğu yerlerde rüzgâr potansiyelinin var olduğu kabul edilmektedir. Maksimum rüzgâr enerji potansiyeline sahip kıta 14 000 TWh/yıl ile Kuzey Amerika iken en düşük rüzgâr potansiyeline sahip kıtalar Asya ve Okyanusya'dır (Anonim, 2016).



Şekil 3.2. Dünya teknik rüzgar potansiyelinin kıtalara göre dağılımı (Anonim, 2016).

Dünyadaki rüzgar enerjisi kurulu gücü (Şekil 3.3) de bulunmaktadır. Dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2014 yıl sonu itibariyle 369.8 gWh'tir. En fazla artış 2010 ile 2015 yılları arasında gerçekleşmiştir. Dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücündeki bu artışla yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr enerjisi en hızlı büyüyen enerji kaynağı olmuştur (Anonim, 2016).



Şekil 3.3. 1996-2014 Yılları arasında dünya rüzgar enerjisi kurulu gücü (Anonim, 2016).

2014 yılı itibariyle 98.588 MW ile kurulu gücü en çok olan ülke Çin, ikinci sırada 61.946 MW ile ABD ve üçüncü sırada ise 36.488 MW ile Almanya'dır. Çizelge 3.1.'de 2012 den 2013 yılına geçerken ki büyüme oranlarına bakıldığında en

büyük artışın yaklaşık % 35 ile Polonya ve Brezilya’da olduğu görülmektedir. Türkiye ise yapılan teşvik edici yatırımlar neticesinde %28’lik büyüme ile ülkeler arasında üçüncü sırada yer almaktadır. Almanya’nın son yıllarda geliştirdiği tüm nükleer santrallerini kapatıp yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde etme projesinden dolayı 2014 yılı itibariyle Avrupa da kurulu gücünü en fazla artıran ülke olmuştur.

Çizelge 3.1. Ülkelerin rüzgar türbin güç kapasitesindeki değişimi (WWEA, 2014)

2014 yılı sıralama	Ülkeler	2014 yılı Kapasite [MW]	2013 Yılı Kapasite [MW]	Büyüme Oranı [%]	2012 Yılı Kapasite [MW]
1	Çin	98588	91413	21.2	75324
2	ABD	61946	61108	2.0	59882
3	Almanya	36488	34660	11.7	31315
4	İspanya	22970	22959	0.7	22793
5	Hindistan	21262	20150	10.0	18321
6	İngiltere	11180	10531	24.7	8445
7	Fransa	8592	8551	5.0	7499
8	İtalya	8586	8254	10.1	8144
9	Kanada	8526	7698	24.1	6201
10	Danimarka	4855	4772	14.7	4162
11	Portekiz	4829	4724	4.4	4525
12	İsveç	4824	4470	19.4	3745
13	Brezilya	4700	3399	35.6	2507
14	Avusturalya	3748	3049	18.0	2584
15	Polonya	3727	3390	35.8	2497
16	Türkiye	3424	2959	28.0	2312
17	Diğerleri	28082	26443	-	22349

Çizelge 3.2. de rüzgar türbini üreticilerinin dünya pazarındaki yerleri gösterilmiştir. Çin, Almanya ve ABD gibi rüzgâr türbin üretiminin yapıldığı ülkelerde maliyetin azalmasından dolayı rüzgâr enerjisi kurulu gücü yüksektir. Çin, ABD, Almanya, Danimarka, İspanya ve Hindistan gibi ülkelerin ürettikleri türbinlerinin pazar payları yüksektir (WWEA, 2014).

Çizelge 3.2. Rüzgâr türbini üreticilerinin 2013 yılı pazar payı (REN21, 2014).

Üretici Firma	Ülke	Pazar Payı [%]
Vestas	Danimarka	13.1
Goldwind	Çin	11.0
Enercon	Almanya	9.8
Siemens Wind Power	Almanya	7.4
GE Wind Energy	ABD	6.6
Gamesa	İspanya	5.5
Suzan Group	Hindistan	5.3
United Power	Çin	4.0
Mingway	Çin	3.5
Diğerleri	-	33.8

3.2. Türkiye de Rüzgâr Enerjisi

Ülkemizdeki rüzgâr enerji potansiyeli belirlemek için ölçümleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce gerçekleştirilmektedir. Veriler rüzgâr gözlem istasyonları kurularak, 10 m veya 30 m yükseklikten, birer saatlik veya onar dakikalık periyotlarla alınmaktadır. Elde edilen veriler bölgenin rüzgâr enerji santralini kurulumu için uygun olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. (Anonim, 2016 ve Anonim, 2014).

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından 2006 yılı sonu 2007 başında çıkarılmıştır. REPA bölgelerdeki 50 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızlarını, rüzgâr güç yoğunluklarını göstermektedir. Ülkemizde rüzgâr enerji potansiyeli en yüksek olan alanların başında kıyı şeritleri, dağların tepesi veya açık alanlar gelmektedir. Buna göre ülkemizin batı kıyıları, Marmara Denizi ve çevresi kurulum için ilk tercih edilen yerler olarak belirlenmiştir. Antakya yakınında küçük bir bölgenin de rüzgâr potansiyeli mevcuttur. İç kesimlerde ise orta şiddetteki rüzgâr hızları bulunmaktadır. Ülkemizde 6.5 m/s üzerindeki rüzgar enerji potansiyeli yaklaşık olarak 131.756,40 MW'tır. Karaya kurulan rüzgâr enerji santrallerinin maliyeti, denize kurulan rüzgâr enerji santrallerinin maliyetinden düşük olduğu için ülkemizde ilk olarak karadaki rüzgâr potansiyeli değerlendirilmektedir. Ülkemizde 2016 yılı itibariyle toplam kurulu rüzgâr potansiyeli 45.240 MW'tır. Bu kurulu gücün büyük bir çoğunluğu batı kesimlerde bulunmaktadır. Özellikle

Balıkesir, Çanakkale ve İzmir illerinde yoğunlaşma gerçekleşmiştir (Şenel ve Koç, 2015). Ülkemizde işletmede ve kurulu gücü 10 MW üzerinde olan rüzgar enerji santralleri Çizelge 3.3’de listelenmiştir.

Çizelge 3.3. Ülkemizde 2016 yılı itibariyle kurulu olan (≤ 11 MW) rüzgâr enerji santralleri (Anonim, 2016).

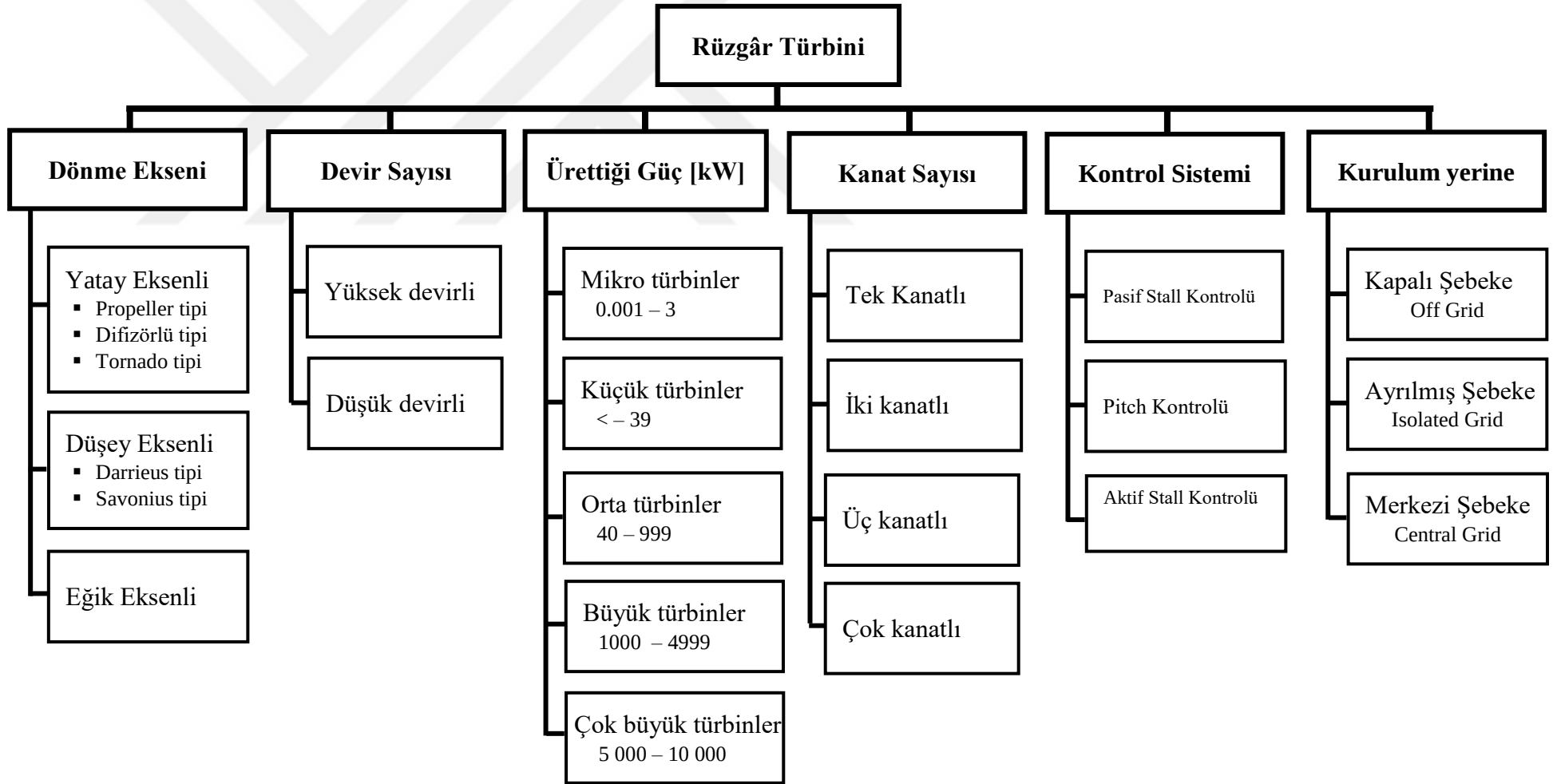
Santral Adı	İl	Kurulu Güç [MW]	Santral Adı	İl	Kurulu Güç [MW]
Soma RES	Manisa	240 MW	Mersin RES	Mersin	34 MW
Geycek RES	Kırşehir	150MW	Şadıllı RES	Edirne	33 MW
Balıkesir RES	Balıkesir	143MW	Kazbeyli RES	İzmir	32 MW
O. Gökçedağ RES	Osmaniye	135 MW	Seyit Ali RES	İzmir	32 MW
Karaburun RES	İzmir	120 MW	Akbük RES	Aydın	32 MW
Dinar RES	Afyonkarahisar	115 MW	Mordoğan RES	İzmir	31 MW
Şamlı RES	Balıkesir	114 MW	Bereketli RES	Tokat	30 MW
Bergama RES	İzmir	96 MW	Geres RES	Manisa	30 MW
Şah RES	Balıkesir	93 MW	Mazı 3 RES	İzmir	30 MW
Soma RES	Manisa	90 MW	Poyraz RES	Balıkesir	30 MW
B. Kurşunlu RES	Balıkesir	87 MW	Poyraz 2 RES	Aydın	30 MW
Kangal RES	Sivas	78 MW	S. Çatalbuk ES	Aydın	30 MW
Rıyanet RES	Hatay	75 MW	Çanakkale RES	Çanakkale	30 MW
Aksu RES	Kayseri	72 MW	Datça RES	Muğla	30 MW
Poyraz RES	Balıkesir	67 MW	Sarıkaya RES	Tekirdağ	29 MW
Çatalca RES	İstanbul	60 MW	Sares RES	Çanakkale	28 MW
İçdaş Biga RES	Çanakkale	60 MW	Kıyıköy RES	Kırklareli	27 MW
Sebenoba RES	Hatay	60 MW	Z. G. Şenol RES	Hatay	27 MW
Süloğlu RES	Edirne	60 MW	K. Kocadağ RES	İzmir	25 MW
Susurluk RES	Balıkesir	60 MW	Sincik RES	Adıyaman	25 MW
Uluborlu RES	İsparta	60 MW	Bandırma 3 RES	Balıkesir	24 MW
Yuntdağ RES	İzmir	60 MW	Dilek RES	Kahramanmaraş	24 MW
Çerçikaya RES	Hatay	57 MW	Kapıdağ RES	Balıkesir	24 MW
Edincik RES	Balıkesir	56 MW	Kemerburgaz RES	İstanbul	24 MW
İntepe RES	Çanakkale	56 MW	Korkmaz RES	İzmir	24 MW
Sayalar RES	Manisa	54 MW	Turgut tepe RES	Aydın	24 MW
Uşak RES	Uşak	54 MW	Çamseki RES	Çanakkale	21 MW
Sancak Enerji	Kayseri	52 MW	B. Kaltepe RES	Balıkesir	21 MW
Subaşı Kaniye RES	Edirne	51 MW	Akbük2 RES	Muğla	20 MW
Balabanlı RES	Tekirdağ	50 MW	B.-1 Enez RES	Edirne	20 MW
Bandırma RES	Balıkesir	50 MW	Demirci RES	İzmir	20 MW
Harmanlı RES	Bursa	50 MW	Günaydın RES	Balıkesir	20 MW
Hasanbeyli RES	Osmaniye	50 MW	Ödemiş RES	İzmir	20 MW
Kavkı RES	Balıkesir	50 MW	Salman RES	İzmir	20 MW
Koru RES	Çanakkale	50 MW	Madran baba RES	Aydın	20 MW
Mut RES	Mersin	50 MW	Atik RES	Hatay	18 MW
Zeytineli RES	İzmir	50 MW	Bozyaka RES	İzmir	17 MW
Belen RES	Hatay	48 MW	Ala Çatı RES	İzmir	16 MW
Boğarası RES	Aydın	46 MW	Çeşme RES	İzmir	16 MW
Kurtkaya RES	Kayseri	45 MW	Havran RES	Balıkesir	16 MW
Sarıtepe RES	Osmaniye	45 MW	Ayyıldız RES	Balıkesir	15 MW
Silivri RES	İstanbul	45 MW	Karadere RES	Kırklareli	15 MW
Söke RES	Aydın	45 MW	Yayla Köy RES	İzmir	15 MW
Akhisar RES	Manisa	44 MW	Burgaz RES	Çanakkale	15 MW
Çanta RES	İstanbul	43 MW	Seferhisar RES	İzmir	14 MW
Amasya RES	Amasya	42 MW	E Ege Enerji	İzmir	14 MW
Kuyucak RES	Manisa	41 MW	Yalova Enerji	Yalova	14 MW
Kilik RES	Tokat	40 MW	İncesu RES	Afyonkarahisar	13 MW
Mazı RES	İzmir	39 MW	E. E. Urla RES	İzmir	13 MW

Dağpazarı RES	Mersin	39 MW	Zincirli RES	Kayseri	12 MW
Kayadüzü RES	Amasya	39 MW	E.E. Germiyan RES	İzmir	11 MW
Metristepe RES	Bilecik	39 MW	Karakurt RES	Manisa	11 MW

3.3. Rüzgâr Enerjisi ile Elektrik Üretimi

Yer kürenin geometrik yapısından dolayı güneş her yeri eşit ısıtamamaktadır. Ekvator ve çevresindeki yerleri kutuplara göre daha çok ısınmaktadır. Bunu dünyanın kendi eksenini etrafında dönüyor olması da büyük oranda etkilemektedir. Ekvator çevresinde ısınan hava zamanla kutuplara doğru ilerler ve alçalır (Durak ve Özer, 2008).

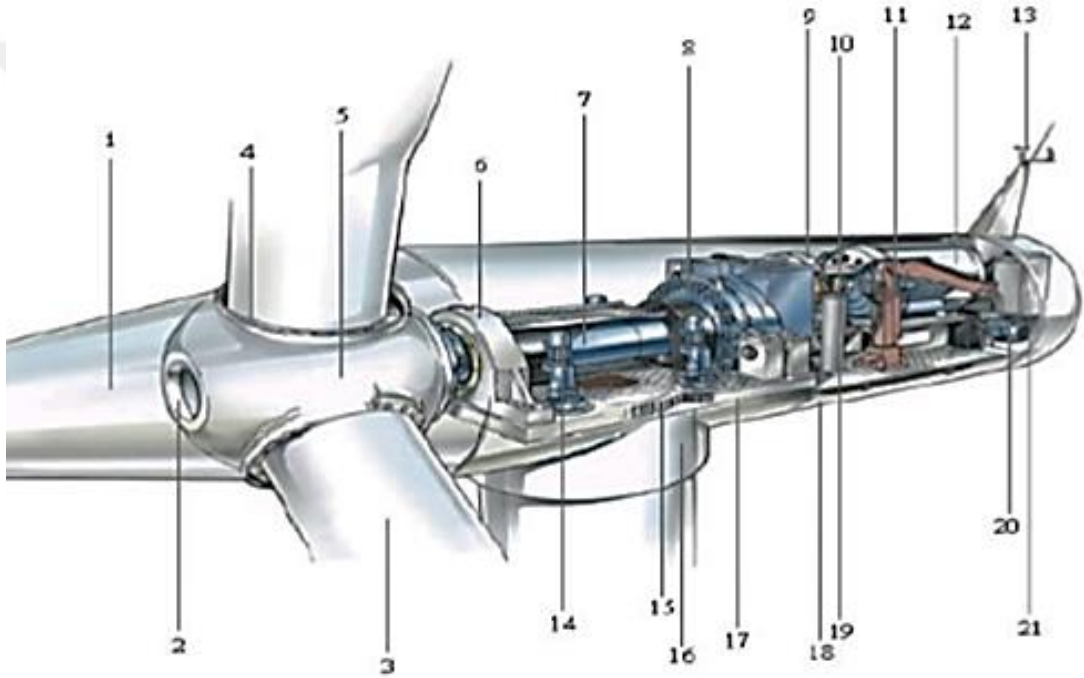
Hava gaz yapıda olduğu için içindeki parçacıklar sürekli hareket halindedir. Sahip oldukları enerji, mekanik ve kinetik enerjiye dönüştürülebilir. Hareket halindeki parçacıkların hareketi sonucu kinetik enerji oluşur. Kinetik enerji rüzgâr enerjisini açığa çıkarır. Rüzgâr enerjisini kullanarak elektrik üreten sistemlere rüzgâr santralleri denir. Rüzgâr rotorun en altındaki kanatlarda hava paketi oluşturur, düşük basınçlı hava üstteki kanadı kendine çekerek rotorun dönme hareketini gerçekleştirir. Rotorun pervane gibi dönmesine bağlı olarak şaft elektrik üretmek için jeneratörü harekete geçirir. Jeneratörün hareketi sonucu rüzgâr enerjisi elektrik enerjisine dönüşür (Gürdal, 2010). Rüzgar türbinlerinin genel olarak sınıflandırması şekil 3.7.'de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Rüzgar türbin tipleri (Gürdal, 2010).

3.4 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinler

Günümüzde yatay eksenli türbinler en yaygın kullanılanlardır. Yerleştirileceği coğrafyaya göre şebekeye elektrik verme amaçlı olan türbinler genellikle 3 kanatlıdır ve düşük hızda elektrik üretmeye başlamalarından dolayı tercih edilmektedirler. Yatay eksenli türbinler, kanat çaplarının büyük olup daha fazla rüzgâr yakalayarak daha fazla enerji üretebilmeleri, bakımlarının kolay olup kurulduktan sonra kalan alanların tarım amaçlı kullanılabilir olmalarından dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yatay eksenli bir rüzgâr türbini ve temel parçaları şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Yatay eksenli rüzgâr türbini (Ağdere, 2012).

Burada; 1-Kanat muhafazası, 2-Kanat Yatağı, 3-Kanat, 4-Kanat Eğim Yatağı, 5-Rotor Göbeği, 6-Merkez mil yatağı, 7-Ana mil, 8-Dişli Kutusu, 9-Fren Diski, 10-Bağlantı noktası, 11-Servis vinci, 12-Jeneratör, 13-Anemometreler, 14-Sapma Dişlisi, 15-Sapma Yatağı, 16-Kule, 17-Türbin Taban Plakası, 18- Gövde, 19-Yağ Filtresi, 20-Jeneratör Fanı, 21-Yağ Soğutucusunu göstermektedir (Ağdere,2012).

Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin özellikleri:

- Dönme eksenleri rüzgâra paraleldir ve kanatlar rüzgâr yönüne diktir.
- Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, önden rüzgâr alan ve arkadan rüzgâr alan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları sürekli akış yönünde olmalıdır. Bu da rüzgârı önden alan türbinler ile kolaylıkla sağlanabilmektedir. Ayrıca rüzgârı önden alan türbinler, kulenin oluşturduğu gölgelenmeden etkilenmezler (Karakaya, 2009).
- Düşük hızla elektrik üretmeye başlayan türbinler, 2.5 m/s ve 3 m/s de üretime başlayabilmektedirler.
- Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rotor, genellikle kulenin ön kısmında yer alır. Eğer arka kısmında yer alırsa oluşacak türbülansın dolayısı verim düşer. Bu yüzden rotor, rüzgârı en iyi alacak şekilde tasarlanır. Yatay eksenli rüzgâr türbininde genellikle iki veya üç kanat bulunmaktadır.
- Bu rüzgâr türbininde mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren ekipmanlar ile kontrol ve izleme ekipmanları bulunmaktadır.
- Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rotor, dişli çark, jeneratör, fren bir kule üzerinde yatay şafta bağlanmıştır.
- Büyük güçlü türbinlerde transformatör kulenin tepesinde nesselde bulunmaktadır. Küçük güçlü türbinlerde ise şebeke bağlantı sistemleri ile birlikte yerde bulunur.
- Kule, çelik ve betondan üretilmektedir.
- Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde iki tip kontrol sağlanmaktadır;
 - a. **Stall Kontrol;** Rotor kanatlarının uygun dizaynı ile rüzgâr hızı yükselse dahi türbin hızı yükseğe çıkmamaktadır.
 - b. **Pitch Kontrol:** Kanatların rüzgâr doğrultusu ile yönünün bir hidrolik sistemle değiştirilmesi ile rotor kontrolü sağlanır (Ağdere, 2012).

Bu tip türbinlerin çalışma verimi arttırmak için farklı yollar denenmiştir. (Altuner, 2009). Bunlar:

- İki pervanenin arka arkaya konularak aynı jeneratör milini döndürmesidir. Arkadaki pervaneye rüzgâr hızının 1/3 geleceği için bu öneri verimli olmamıştır.
- Pervanenin önüne nozul yerleştirilerek rüzgâr hızının artırılmasıdır. Ancak bu öneri, de hava debisinin küçük kesit tarafından belirlenmesi ve rüzgâr yönüne ters hava sirkülasyonu oluşturması nedeniyle başarılı olamamıştır.

- Rüzgâr türbini pervanesinin bir difüzör içine yerleştirilmesi sonucunda, rüzgâr yönünde hava sirkülasyonu oluşması ve bunun da hava hızını arttırması sağlanarak, serbest pervaneye nazaran 3-5 kat daha fazla enerji elde edilmesidir. Fakat bunun için difüzör boyunun pervane çapının 2-3 katı olması gerekmektedir. Difüzörün ağırlığı, hem ek bir yüküdür, hem pervane düzleminin rüzgâr hızına dik konuma getirilmesi daha zor olmaktadır. Bu gibi nedenlerle, difüzörden elde edilen ek kazanç, sistemin serbest pervaneye göre daha ekonomik olması için yeterli olmamaktadır.

3.5. Rüzgâr Hızı Ölçüm Metotları

Ülkemizde farklı bölgelerde Dünya Meteoroloji Örgütü'nün belirlediği 10 m yüksekliğinde birçok ölçüm yapılmaktadır. Ancak eğer ölçüm yapılan bölgeye Rüzgâr Enerji Santralinin kurulması ve enerji üretimi planlanıyorsa rüzgâr ölçüm cihazının boyu türbin boyunun yaklaşık 2/3 si kadar olmalıdır. Son yıllarda türbin yüksekliklerinin hızla artmasıyla birlikte ölçüm yükseklikleri 30 m hatta 50 m'ye kadar çıkartılmıştır. Verilerin kaydetme periyodunda ölçümler genellikle 10'ar dakikalık ya da 60'ar dakikalık aralıklarla alınmaktadır (Karakaya, 2009).

Rüzgâr hızı ölçümü yapmak için anemometre kullanılmaktadır. Anemometre rüzgâr akım bozukluğunun oluşmayacağı noktaya konulmalıdır. Büyük RES kurulumlarında rüzgâr hızının yanında basınç, sıcaklık, nem gibi parametrelerin de ölçülmesi gerekmektedir. Bunlar içinde sıcaklık, nem, basınç sensörleri kullanılmaktadır (Hamamcıoğlu, 2010). Anemometrelerin birçok modelleri mevcuttur (Durak ve Özer, 2008; Karakaya, 2009; Genceli, 2011).

Buna göre;

A. Doğrudan Ölçüm Yapan Sistemler

- a) Basınç Tablalı Anemometre: Rüzgar hız ve yönü Bofor kuvveti ile tespit edilmektedir.
 - b) Dönen Anemometreler: Altı farklı türü bulunmaktadır.
- **Kupa anemometre:** Rüzgâr ölçümlerinde en sık kullanılanıdır. Kupalı anemometrelerin üç adet kupası bulunmakla beraber yönden etkilenmezler ve

dikey eksenlidirler. Kupanın dakikadaki dönme sayısı elektronik olarak kayıt edilir.

- **Ultrasonik anemometre:** Bu anemometrede yatay rüzgâr ölçülürken dikey rüzgârlar ölçülememektedir.
- **Isıtmalı anemometre:** Özellikle dağlık bölgelerde kış aylarında buzlanma gerçekleşmektedir. Bunun neticesinde bu zaman dilimlerinin ölçümü alınamamaktadır. Dolayısıyla buzlanma riskinin olduğu yerlerde ısıtmalı anemometre kullanılmaktadır.
- **Propeller anemometre:** Anemometrenin pervanesi yatay eksen boyunca bulunmaktadır. Sıklıkla esen rüzgâr yönüne ise paralel olarak yerleştirilir. Hem hız hem de yön ölçebilmektedir. Boyutları 35-40 cm yükseklikte, 50-75 cm arasında uzunluk ve 15-25 cm çapındadır.
- **Kombine Sistemler:** Rüzgâr hız ve yönünün tek bir düzenekte yer aldığı sistemlerdir.
- **Sodar:** 5 m veya 10 m'ye çözünürlük ile 150 m'ye kadar rüzgâr hızını ve yönünü ölçebilen sistemlerdir.

B. Dolaylı Ölçüm Yapan Sistemler

a) Anemograf:

Rüzgâr hızını çizgisel olarak kaydeder. Rüzgâr hızlarını ve yönlerini sürekli kaydederler. Üst kısımlarında saatlik ortalama yön, saatlik ortalama hız, rüzgâr hızındaki dalgalanmaları kaydeder. Anemograflar, mekanik anemograf, elektrikli anemograf ve elektronik anemograf olmak üzere üç tipi mevcuttur.

b) Yön Sensörü:

Yatırım maliyeti yüksek olan bu sistemler için hakim rüzgar yönünün belirlenmesi ve rüzgar yönünü gösteren rüzgar gülünün çizilebilmesi açısından rüzgar yönünün belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Rüzgâr gülü Avrupa Rüzgâr Atlası esaslarına göre genellikle 12 yöne, 30 ar derecelik yön aralıklarına göre belirlenmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Burdur'un Ağlasun ilçesinin rüzgâr potansiyeli belirlenmiştir. Rüzgâr enerji santrali (RES) kurulması planlanan Başgoz tepesindeki bir alan içerisine yerleştirilmiş Güvenli RES sisteminde rüzgâr ölçüm direği, ölçüm direğinde yön, basınç, şiddet, ısıtım sensörleri ve iki tane güneş paneli bulunmaktadır. Bunların dışında düzenekte bağlantı kutusu ve aküler bulunmaktadır. Çalışmada hava yoğunluğu $\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$ alınmıştır. 2 m yükseklikteki rüzgâr hızları 10 ar dakika aralıkla ölçülerek kaydedilmiştir (Şekil 4.1). Bu verilerin aylık ortalamaları çizelge 4.1'de verilmiştir. Ölçüm verilerine göre bu bölgede en yüksek rüzgâr hızının Ekim ayında, en düşük rüzgâr hızının da Mayıs ayında olduğu görülmektedir.



RES için ölçüm alınan bölge



Ölçüm İstasyonu

Şekil 4.1. Rüzgâr enerji santrali kurulacak saha

Çizelge 4.1. Bölgenin 2 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hız verileri

Aylar	Hız (V_{2m}) [m/s]	Aylar	Hız (V_{2m}) [m/s]
Ocak	1.86	Temmuz	2.30
Şubat	2.00	Ağustos	1.90
Mart	2.50	Eylül	2.30
Nisan	2.03	Ekim	3.00
Mayıs	1.05	Kasım	1.65
Haziran	1.60	Aralık	2.08

4.1.Arazi Özellikleri

Burdur'un Ağlasun ilçesi Başgoz tepesi çevresi Akdeniz bölgesinin iç tarafında göller yöresinde yer almaktadır. İlçenin deniz seviyesinden yüksekliği 1200 m'dir. Çalışmada 37 derece 39 dakika 27 saniye Kuzey enlemi ve 30 derece 31 dakika 56 saniye Doğu boylamı koordinatlarına sahip araziden alınan ölçüm verileri kullanılmaktadır.

4.2.Rüzgâr Enerji Potansiyeli Hesaplama Yöntemleri

Rüzgârdaki mevcut enerji, havadaki geniş kütlelerin yer değiştirmesiyle oluşan kinetik enerjidir. Rüzgâr türbinin kanatları enerjinin korunumu gereği bu kinetik enerjiyi mekanik veya elektrik enerjisi formuna dönüştürür. Diğer yararlı enerjilere dönüşümü rotor ile rüzgâr akımının etkileşimine bağlıdır (Çengel, 2012).

Hareket halindeki her cisim bir kinetik enerjiye sahiptir. Kinetik enerji aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$KE = \frac{1}{2} m V^2 \quad (4.1)$$

Burada; (m) kütle, (V) ise rüzgâr hızıdır. Kütle yerine kütleli debi ($\dot{m}$) kullanırsak, türbin için hava akımının kinetik enerjisi;

$$KE = \frac{1}{2} \rho_a v V^2 \quad (4.2)$$

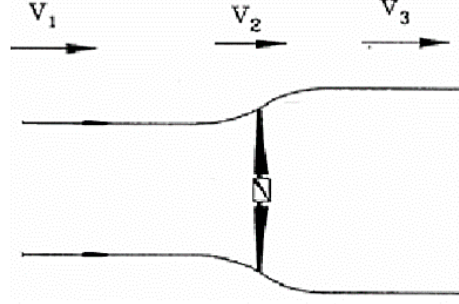
Burada; ρ_a havanın yoğunluğu, v rotordaki mevcut hava parselinin birim hacmidir. Birim zamanda hava ile etkileşime geçen rüzgârın rotordaki kesit alanı A ile, rüzgâr hızı V ile gösterilirse P birim zaman başına elde edilen gücü verir.

$$P = \frac{1}{2} \rho_a V^3 \quad (4.3)$$

Bu denklem, rüzgâr hızının güce etkisinin hızın küpü kadar olduğunu göstermektedir. Havanın rüzgâr türbinine gelmeden önce hızı düşmektedir, bu hız V_1 ile gösterilmektedir. V_1 hızıyla rotor tarafından çekilen güç;

$$P_r = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 \quad (4.4)$$

Rüzgar türbine girerken Şekil 4.2' de gösterildi. Türbine girdikten sonra enerjisinin bir kısmını buraya bırakmaktadır ve hız V_3 olur. V_1 V_3 hızları arasındaki oranlara bağlı olarak enerji üretilebilmektedir (Patel, M.R., 2006).



Şekil 4.2. Rüzgarın türbindeki hızları (Patel, M.R., 2006).

V_1, V_3 rüzgâr hızları ile oluşan kinetik enerji arasındaki fark, türbin tarafından çekilen gücü (P_T) vermektedir.

$$P_T = \frac{1}{2} m (V_1^2 - V_3^2) \quad (4.5)$$

Rotora gelen akışkanın hızının, türbine giren akışkan hızı ile türbinden çıkan akışkanın hızının (V_2) ortalaması olduğu kabul edilir. Buna göre;

$$V_2 = \frac{V_1 + V_3}{2} \quad (4.6)$$

Bu durumda türbindeki akışkanın kütlesi;

$$m = \rho A \frac{V_1 + V_3}{2} \quad (4.7)$$

Denklem (4.6)'nın denklem (4.4)'te yerine konulursa;

$$P_T = \frac{1}{4} \rho A (V_1 + V_3) (V_1^2 - V_3^2) \quad (4.8)$$

elde edilir. Rüzgâr türbini tarafından çekilen gücün rotor tarafından çekilen güce oranı;

$$C_{Pmax} = \frac{P_T}{P_r} = \frac{\frac{1}{4}\rho A(V_1+V_3)(V_1^2-V_3^2)}{\frac{1}{2}\rho AV_1^3} \quad (4.9)$$

Türbinden çıkan ve türbine giren rüzgâr hızlarının oranı;

$$\frac{V_3}{V_1} = \alpha \quad (4.10)$$

Denklem (4.10)'un denklem (4.9)'da yerine konulup α ya göre türev alınması sonucunda;

$$\frac{dC_P}{d\alpha} = \frac{1}{2}(3\alpha - 1)(\alpha + 1) = 0 \quad (4.11)$$

Gerekli sadeleştirmeler sonucunda denklem (4.12) ile kapasite faktörünün maksimum değerine ulaşılır.

$$C_{pmax} = \frac{1}{2}(1 + \alpha)(1 - \alpha^2) = 0 \quad (4.12)$$

Denklem (4.11)'in çözümlenmesi ile $\alpha = \frac{1}{3}$ olarak bulunur. Bu değer denklem (4.12)'de yerine yazılırsa C_P maksimum betz limit sınırı elde edilir. Bu;

$$C_P = 0.5929 \quad (4.13)$$

Teorik olarak rüzgârdan elde edilebilecek güç, denklem (4.3)'te verilmişti. Türbin bu gücü rüzgârdan tam olarak elde edemez. Rüzgârın kinetik enerjisinin bir kısmı rotora aktarılır ve türbin uzakta kalan havayı taşır. Rotordan üretilen gücün ne kadarından yararlanılacağı C_P Betz limit kriteri ile belirlenmiştir (S.Mathew, 2006).

Buna göre rüzgâr türbininden teorik olarak elde edilebilecek maksimum güç % 60'tır. Ancak günümüzdeki rüzgâr türbinlerinin türbindeki, rotordaki ve diğer akşamlarda oluşan kayıplardan C_P değeri 0.40 tır (Gürdal, 2010).

4.3. Rüzgâr Hızı Tahmininde Kullanılan Ekstrapolasyon Yöntemleri

Belirli alanın yada bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin bulunabilmesi için türbin hub yüksekliğindeki rüzgar hızlarının bilinmesi gerekmektedir. Genel olarak türbin hub yüksekliğindeki rüzgar hızlarının kaydedilmesi mümkün olmadığı için belirli alan yada bölge içinde şartlara bağlı 10 m ve/veya düşük yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının kaydedilmesi için rüzgar istasyonları kurulmaktadır. Belirli bir noktadan kaydedilmiş rüzgar hızları “Ekstrapolasyon Yöntemleri” ile türbin hub yüksekliğindeki rüzgar hızları tahmin edilebilmektedir. Literatürde bu amaçla kullanılan 16 adet ekstrapolasyon yöntemleri çizelge 4.2 listelenmiştir (Yağcı,2013).

Çizelge 4.2. Ekstrapolasyon yöntemleri (Yağcı,2013).

Sıra	Yöntem	Açıklama
1	Alternatif logaritmik güç metodu	En Az iki noktadan ölçülmüş hız değeri (ölçüm noktalarında birisi 10 m olmalı)
2	Basitleştirilmiş alternatif logaritmik güç metodu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri (ölçüm noktalarında birisi 10 m olmalı)
3	Basitleştirilmiş güç kanunu	Tek bir noktadan ölçülmüş hız değeri
4	Eksponansiyonel güç metodu	Tek bir noktadan ölçülmüş hız değeri
5	En küçük kareler metodu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri
6	En küçük kareler optimum hesaplama metodu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri
7	En küçük kareler zorlanmış lineer güç metodu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri
8	Hibrit alternatif logaritmik güç metodu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri
9	İki parametrelili logaritmik güç metodu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri
10	Logaritmik güç kanunu	Tek bir noktadan ölçülmüş hız değeri
11	Mikhail ve Justus logaritmik metodu	Tek bir noktadan ölçülmüş hız değeri
12	Mikhail'in logaritmik metodu	Tek bir noktadan ölçülmüş hız değeri
13	Modifiye logaritmik güç kanunu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri
14	Reed metodu	Tek bir noktadan ölçülmüş hız değeri
15	Spera ve Richards metodu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri (ölçüm noktalarında birisi 10 m)
16	Temel güç kanunu	En az iki noktadan ölçülmüş hız değeri

Yöntemlerden bazıları en az iki farklı yükseklikten veri alınarak uygulanmakta, bir yöntem de en az 10 m yükseklikten ölçüm alınarak bir tanesi de 2 m'den farklı yükseklikten ölçüm alınarak uygulanabilmektedir. Bu çalışmada 2 m yükseklikten alınmış tek veri olduğu için altı farklı yöntemle bölge verilerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ekstrapolasyon yöntemleri;

A. Basitleştirilmiş güç kanunu

Birçok çalışmada rüzgâr pürüzlülük katsayısı sabit alınmaktadır. Çizelge 4.2.'de rüzgâr pürüzlülük katsayısının bölgelere göre değişimi gösterilmektedir (Yağcı, 2013; Ray vd., 2006). Basitleştirilmiş güç kanunu ile verilen yükseklikteki hız değerinden yararlanılarak istenilen yükseklikteki hız değeri hesaplanmaktadır. Bu kanunda Hellman yükseltme bağıntısı kullanılmaktadır.

Hellman yükseltme bağıntısı;

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (4.14)$$

Burada V_1 , h_1 yüksekliğindeki rüzgâr hızı, h_2 rüzgâr potansiyeli belirlenmek istenilen yükseklik, V_2 ise h_2 yüksekliğindeki rüzgâr hızını göstermektedir.

Çizelge 4.3. α Hellman katsayısı değişim özellikleri (Durak ve Özer, 2008).

Ölçüm yerinin tanımı	Hellman katsayısı
Açık deniz kıyı şeridi	0.14
Açık alan ve tarlalar	0.18
Ağaçlık alan ve şehir	0.28
Yüksek binalı kentsel alan	0.40

B.Logaritmik güç kanunu

Bu bağıntıda yüzey pürüzlülük yüksekliği kullanılmaktadır. Yüzey pürüzlülük yüksekliği, rüzgâr hızının sıfır olduğu yüksekliktir. (Altuner,2009;Elkinton vd,2006; Lackner, 2010).

Çizelge 4.4. Pürüzlülük yüksekliği ve yüzeye göre pürüzlülük sınıfları
(Durak ve Özer, 2008).

Pürüzlülük yüksekliği $h_0(m)$	Yüzey yapısı karakteristikleri	Pürüzlülük Sınıfı
0.5	Büyük Şehirlerin Varoşları, taşra kentleri	3
0.3	Siper Kuşakları, orman, küçük binalı şehir	
0.2	Birçok ağaç veya çalılar, tek yada iki katlı seyrek binalar	2
0.1	Kapalı görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	
0.05	Açık görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	
0.03	Çok seyrek bina ve ağaçlı çiftlik arazisi	1
0.02	Havaalanları	
0.01	Havaalanı pistleri	
0.007	Biçilmiş çim	
0.005	Pürüzsüz çıplak Toprak	0
0.001	Pürüzsüz kar yüzeyleri	
0.0003	Pürüzsüz kum yüzeyleri	
0.0001	Su yüzeyleri(Göl Deniz Okyanus)	

h_0 pürüzlülük yüksekliği, bölgenin özelliklerine göre çizelge 4.3.'ten seçilir. Denklem (4.15)'de yerine konularak istenilen yükseklikteki hız bulunur.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\ln(\frac{h_2}{h_0})}{\ln(\frac{h_1}{h_0})} \quad (4.15)$$

Burada; h_0 pürüzlülük yüksekliği, h_1 referans yüksekliği, V_1 ise h_1 yüksekliğindeki rüzgâr hızı, h_2 rüzgâr potansiyeli belirlenmek istenilen yükseklik, V_2 ise h_2 yüksekliğindeki rüzgâr hızını göstermektedir.

C. Reed metodu

Metodun kurucusu olan Reed, tek yükseklikten alınan rüzgâr hız verisini kullanılarak Denklem (4.16) ve (4.17) deki α ve β katsayılarını tanımlamıştır (Cheggaga vd, 2011).

$$\alpha = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{0,2796+0,03265 \cdot \ln(h_1)} \quad (4.16)$$

$$\beta = 0,90169 + (0,10528 \cdot \ln h_1) - (0,05502 \cdot \ln h_2) - (0,006424 \cdot \ln h_1 \ln h_2) \quad (4.17)$$

Bu α ve β katsayıları kullanılarak ölçüm alınan yüksekliğe ait rüzgâr hızı (4.18)'de yerine konularak istenilen yükseklikteki rüzgâr hızı tespit edilir.

$$V_2 = \alpha V_1^\beta \quad (4.18)$$

h_1 referans yüksekliği, V_1 ise h_1 yüksekliğindeki rüzgâr hızı, h_2 rüzgâr potansiyeli belirlenmek istenilen yükseklik, V_2 ise h_2 yüksekliğindeki rüzgâr hızını göstermektedir.

D.Mikhail'in logaritmik metodu

Mikhail, yüzey pürüzlülüğünden bağımsız a ve b amprik katsayıları (4.19) ve (4.20) denklemlerinde tanımlamıştır (Cheggaga vd, 2011).

$$a = \frac{0,37}{1-0,088 \cdot \ln\left(\frac{h_1}{10}\right)} \quad (4.19)$$

$$b = \frac{-0,088}{1-0,088 \cdot \ln\left(\frac{h_1}{10}\right)} \quad (4.20)$$

Bulunan a ve b katsayıları yardımıyla α pürüzlülük katsayısı;

$$\alpha = a + b \ln(V_1) \quad (4.21)$$

Denklem (4.21)'de elde edilen α katsayısı denklem (4.22)'de yerine koyularak V_2 hızı tespit edilir.

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^\alpha \quad (4.22)$$

h_1 referans yüksekliğini, V_1 h_1 yüksekliğindeki rüzgâr hızını, h_2 rüzgâr potansiyeli belirlenmek istenilen yüksekliği, V_2 ise h_2 yüksekliğindeki rüzgâr hızını göstermektedir.

E.Mikhail & Justus logaritmik metodu

Logaritmik güç kanunu ile rüzgâr hız değerini hesaplayan bir yöntem de Mikhail & Justus yöntemidir. Bu yöntemde diğer yöntemlerden farklı olarak referans yükseklik ile hesap edilen yüksekliğin geometrik ortalaması alınmaktadır (Cheggaga vd, 2011).

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (4.23)$$

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)} - \left(\frac{0,0881}{1-0,0881-\ln\left(\frac{h_1}{10}\right)}\right) \cdot \ln\left(\frac{V_1}{6}\right) \quad (4.24)$$

$$\bar{h} = \sqrt{h_1 \cdot h_2} \quad (4.25)$$

$\bar{h}$ referans yükseklik ile hesap edilen yüksekliğin geometrik ortalaması, V_1 ise h_1 yüksekliğindeki rüzgar hızı, h_2 rüzgar potansiyeli belirlenmek istenilen yükseklik, V_2 ise h_2 yüksekliğindeki rüzgar hızını göstermektedir.

F.Eksponansiyonel güç metodu

Metot M.Hussain tarafından bulunmuştur. Hellman yükseltme katsayısı;

$$\alpha = 0,43. e^{-0,19.V_1} \quad (4.26)$$

şeklinde yazılır. Bulunan Hellman yükseltme katsayısı (4.23)'de yerine konularak istenilen yükseklikteki rüzgâr hız değeri bulunur (Hussain, 2002). Burada V_1 referans yüksekliği göstermektedir.

4.4. Rüzgâr Potansiyelini Hesaplama Yöntemleri

Bir bölgeye rüzgâr enerji santralinin kurulabilmesi için o bölgeden en az bir sene boyunca rüzgâr hızının, şiddetinin ölçülmesi gerekmektedir. İlk yatırım maliyeti çok yüksek olan bu sistemler için de bu ölçüm sonuçlarının değerlendirilerek o bölgenin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bir bölgenin rüzgar potansiyelinin hesaplanmasında WASP, Wind Pro, Alvin RetScreen gibi yazılımlar kullanılmaktadır. Yazılımların temelinde Weibull dağılımı bulunmaktadır. Bölgenin rüzgâr potansiyelini belirlemek için rayleigh dağılımı da kullanılmaktadır. (Akdağ, 2008).

4.4.1 Weibull Dağılımı

Weibull dağılımı boyutsuz k şekil parametresi ile c ölçek parametresine bağlı iki parametrelili bir dağılımdır. Dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(v) = \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.27)$$

Burada v (m/sn) rüzgâr hızını, k boyutsuz şekil parametresini, c (m/sn) ise ölçek parametresini göstermektedir.

Weibull dağılımında k şekil parametresinin ekvator yakınlarında 1 civarında, ılıman enlemlerde 2 ve sürekli rüzgâr alan bölgelerde ise 3 civarında olduğu belirlenmiştir. Ölçek parametresi 1'e eşit olduğu zaman dağılım Gaussian dağılımına, 2'ye eşit olduğu zaman ise Rayleigh dağılımına benzemektedir (Akdağ, 2008). Weibull dağılımının kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4.28)$$

Weibull dağılımının c ve k parametrelerini hesaplamak için literatürde birçok yöntem kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, parametreleri belirlemede Grafik Yöntemi ve Momentum metodunun iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir (Akdağ, 2008).

A. Grafik yöntemi: Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi de grafik yöntemidir. Denklem (4.27)'nin iki defa doğal logaritması alınarak ;

$$\ln[-\ln[1 - F(v)]] = k \ln v - k \ln c \quad (4.29)$$

$\ln[-\ln[1 - F(v)]]$ nin $\ln v$ ye göre grafiği uzayda doğru belirtir. Bu doğrunun eğimi k parametresini verir. Grafikte $\ln v$ x eksen, $\ln[-\ln[1 - F(v)]]$ ise y eksenidir (Akdağ, 2008).

B. Moment yöntemi: Moment yöntemi Weibull dağılımının parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en eski yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde c, ölçek parametresi, k ise şekil parametresidir (Kaplan, 2016).

$$c = \frac{v_{ort}}{\Gamma(1+\frac{1}{k})} \quad (4.30)$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{ort}}\right)^{-1,086} \quad (4.31)$$

Burada Γ Gama fonksiyonunu, v_{ort} ortalama hızı, σ standart sapmayı belirtmektedir.

4.4.2. Rayleigh Dağılımı

Rüzgâr türbinin yerleştirileceği bölgede yıl boyunca rüzgârı elektrik enerjine dönüştürmesi önemlidir. Farklı firmalara ait rüzgâr türbinleri, rüzgâr hızına bağlı elektrik enerjisi üretmektedir. Rüzgâr türbinleri kullanılacak sahanın ortalama rüzgâr hızına bağlı ürettikleri güç değerleri türbinin teknik özellikleri ile belirlenir. Türbinlerden elde edilecek enerji, rüzgâr türbinlerinden üretilen güç ile rüzgâr esme saatinin çarpımına eşittir (Kaplan, 2016).

$$E = P * h \quad (4.32)$$

$$h = 8760 * f(v) \quad (4.33)$$

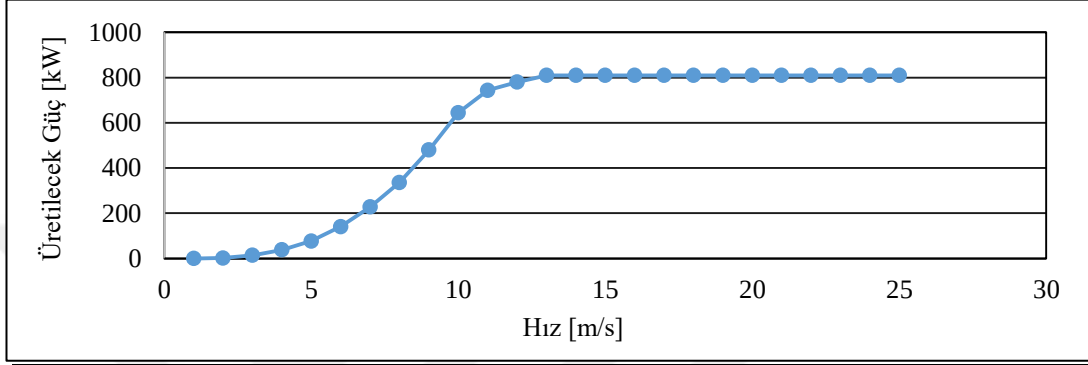
$$f(v) = \frac{\pi}{2} * \frac{v}{v_{ort}^2} \exp\left(-\frac{\pi}{4} * \left(\frac{v}{v_{ort}}\right)^2\right) \quad (4.34)$$

Burada; P türbinlerden rüzgâr hızına bağlı elde edilen gücü, h rüzgâr esme saati ve $f(v)$ ile rüzgâr potansiyelinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan rayleigh dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu belirtilmiştir. v rüzgâr hızı, v_{ort} ortalama rüzgar hızını göstermektedir. Çalışmada rüzgâr enerji potansiyelinin hesaplanmasında “Rayleigh Dağılımı” kullanılmıştır.

4.5. Rüzgar Türbinleri

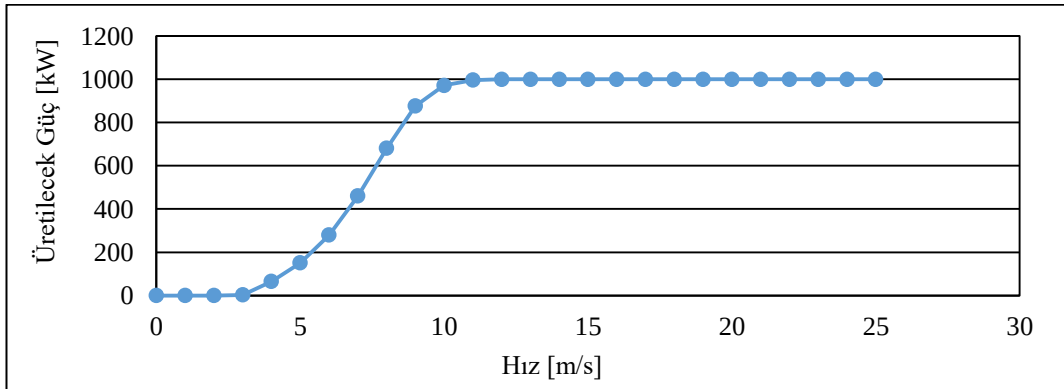
Rüzgâr türbinlerinin sahip oldukları teknolojiye ve tasarım özelliklerine bağlı olarak her birinin üretebildikleri gücü gösteren güç eğrileri mevcuttur. Ayrıca türbinin yerleştirilebileceği yükseklikler ve diğer teknik özellikler, türbin üreticisi firmaların hazırladığı kataloglarda mevcuttur. Bu çalışmada ölçüm yapılan sahaya, rüzgâr verilerine bağlı olarak orta ölçekte (≤ 1 MW) en uygun rüzgâr türbini seçimi yapılmıştır. Ülkemizde ve Avrupa’da yüksek satış hacmine sahip olan Enercon, LTW, EWT firmalarına ait türbinlerin teknik özellikleri kullanılmıştır.

A) Enercon E-53 türbini: Yatay eksenli, üç kanatlı, merkezi şebekeye bağlanabilen, 52.9 m rotor çapına sahip bir rüzgâr türbinidir. 50 m, 60 m ve 73 m olmak üzere üç farklı yüksekliğe sahip, değişken hızlı, pitch (değişken hatve) kontrollü ve 800 kW (orta güçte) gücündedir. Rüzgâr hızı 3 m/s'ye ulaştığında üretime başlamakta, 13-25 m/s aralığında 800 kW güç elde edilebilmektedir. Rüzgâr hızının 25 m/s üzerine çıkması durumunda ise türbin kendini durdurmaktadır (Enercon GmbH, 2017).



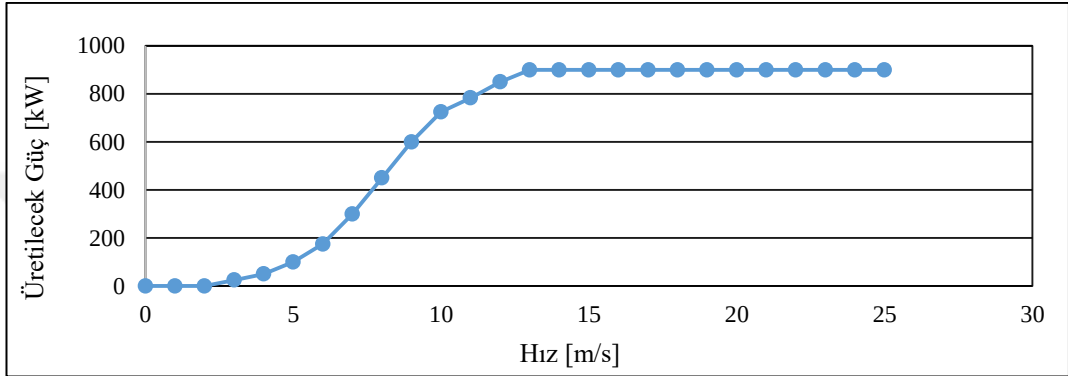
Şekil 4.3. Enercon E-53 türbininin rüzgar hızına bağlı üretebileceği güç

B) LTW80 türbini: Yatay eksenli, üç kanatlı, merkezi şebekeye bağlanabilen, 80.3 m rotor çapına sahip bir rüzgâr türbinidir. 65 m ve 80 m olmak üzere iki farklı yüksekliğe sahip, Active pitch (değişken hatve) kontrollü ve 1000 kW (büyük güçte) gücündedir. Rüzgâr hızı 3 m/s'ye ulaştığında üretime başlamakta, 11-25 m/s aralığında 1000 kW güç elde edilebilmektedir. Rüzgâr hızının 25 m/s üzerine çıkması durumunda ise türbin kendini durdurmaktadır (Leitwind AG, 2017).



Şekil 4.4. Leitwind LTW80 türbininin rüzgar hızına bağlı üretebileceği güç

C. EWT DW61 türbini: Yatay Eksenli, üç kanatlı, merkezi şebekeye bağlanabilen, 61 m rotor çapında, 77 m ve 100 m olmak üzere iki farklı uç yüksekliğine sahip türbin tipi sağlamaktadır. Tümü değişken hızlı, eğim kontrollü ve 900 kW (orta güçte) bir rüzgâr türbinidir. Rüzgar hızı 2.5 m/s'ye ulaştığında üretime başlamaktadır. Rüzgar hızı 11.5 - 25 m/s ulaştığında 900 kW güç elde edilebilmektedir. Rüzgâr hızı 25 m/s üzerine çıkması durumunda ise türbin kendini durdurmaktadır (EWT B.V, 2017).



Şekil 4.5. EWT DW61 türbinin rüzgar hızına bağlı üretebileceği güç

4.6.Rüzgâr Enerji Santralleri Ekonomik Analizi

Çalışmada rüzgâr enerji sisteminin ekonomik analizi için kWh enerji maliyeti hesaplanmıştır. Enerji maliyeti seçilen türbine, türbinin hub yüksekliğine, enflasyon oranına, faiz oranına göre değişiklik göstermektedir. PVC sistemin şimdiki değer faktörü;

$$PVC = I + B \left(\frac{1+i}{r-i} \right) * \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^t \right] - [S * \left(\frac{1+i}{1+r} \right)^t] \quad (4.35)$$

Burada; I türbin fiyatı ile türbin fiyatının %20 si kadar olan bağlantı giderlerinin toplamına eşittir. t türbin ömrü, i enflasyon oranı, r faiz değeridir. Bu çalışmada türbin ömrü 20 yıl, (i) enflasyon oranı %1.7, (r) faiz değeri %1.85 olarak alınmıştır. B yıllık bakım onarım maliyetini, S hurda maliyetini vermektedir.

$$B = \frac{I}{(t*4)} \quad (4.36)$$

$$S = I * \%10 \quad (4.37)$$

Elektrik enerjisinin kWh maliyeti;

$$kWh \text{ Maliyeti} = \frac{PVC}{(P * C_f * t)} \quad (4.38)$$

Burada P türbin gücünü, C_f kapasite faktörünü göstermektedir (Akdağ,2008).

Kapasite faktörü;

$$C_f = \frac{E_{out}}{E_r} \quad (4.39)$$

(4.39) da E_{out} türbinden çıkış enerjisini yani gerçek enerjiyi, E_r türbinde üretilebilecek maksimum enerjiyi göstermektedir. Buna göre;

$$E_r = 8760 * P \quad (4.40)$$

5.ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Rüzgâr Hız Tahmini

Bir bölgenin rüzgâr potansiyeli o bölgeye kurulan ölçüm istasyonundan kaydedilen verilerle belirlenmektedir. Rüzgâr hız verilerinin ölçüm sıklığı ve süresi, belirlenecek türbin gücünü ve üretilecek enerji miktarını doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden rüzgâr ölçüm istasyonundan alınan verilerin en az bir yıl ve sık aralıkta olması gerekmektedir (Akdağ, 2008).

Yapılan bu çalışmada; Burdur Ağlasun bölgesinin Başgoz tepesinde 12000 m² alan içine yerleştirilmiş olan ölçüm istasyonunun kaydettiği Ocak 2013 - Eylül 2014 tarihleri arasındaki yirmi aylık rüzgâr hız verileri kullanılmıştır. Rüzgâr hız ve yön bilgileri 2 m yükseklikteki güneş ölçüm cihazına takılmış olan rüzgâr sensörleri ve anemometreler yardımıyla alınmıştır. Hesaplamalar için güçleri 800 kW ile 1000 kW arasında değişen üç farklı tip rüzgâr türbini seçilmiştir. Üç farklı türbine ait 7 farklı hub yüksekliklerindeki rüzgâr hız değerleri altı farklı ekstrapolasyon yöntemi ile elde edilmiştir.

Bölgede bulunan ölçüm istasyonundan 10’ar dakikalık aralıklarla alınmış olan rüzgar hız verilerinin günlük ortalamaları Çizelge 5.1.’de verilmiştir. 2 metre yükseklikte aylık 3 m/s ortalama rüzgâr hızı ile Ekim ayı yılın en yüksek, 1.05 m/s ile Mayıs ayı ise yılın en düşük ortalama rüzgâr hızına sahiptir. Yıllık ortalamanın 1.86 m/s olduğu göz önüne alınırsa yılın 10 ayındaki rüzgâr hızının yıllık ortalamanın üzerinde olduğu söylenebilir.

Rüzgar enerji santrali kurulması planlanan bölge içinde elde edilmiş 2 m yükseklikteki rüzgar hızlarını 6 farklı yöntemle kurulması düşünülen türbin yüksekliklerine göre hızları hesaplanmıştır ve Çizelge 5.2.’de listelenmiştir. Farklı yöntemlerle elde edilmiş hızlar incelendiğinde en yüksek hız değerleri “Basitleştirilmiş Güç Kanunu” ile “Ekspansiyonel Güç Metodu” yöntemlerinde elde edilirken en düşük hız değerleri “Reed Metodu” ve “Logaritmik Güç Kanunu” yöntemlerinden elde edilmiştir. Kullanılan yöntemlerle rüzgâr hız tahminlerine

bakıldığında ortalama rüzgâr hız değerleri arasında çok fazla fark olmadığı ($\leq \pm 1$ m/s) görülmektedir. Rüzgâr hızı yer yüzeyinden yükseldikçe artmaktadır.

Çizelge 5.1. Aylara göre günlük ortalama rüzgar hızları (m/s).

GÜNLER	AYLAR											
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0.31	1.33	2.00	0.83	0.31	1.07	4.13	2.33	3.02	2.32	0.88	1.32
2	2.72	1.66	2.69	1.07	0.84	1.61	6.14	1.54	2.49	1.54	0.78	1.21
3	0.31	1.68	1.06	2.71	0.55	0.39	2.23	1.13	2.10	1.13	1.39	2.05
4	1.04	1.72	1.99	3.41	0.52	1.35	2.78	1.00	4.13	1.00	2.17	2.48
5	0.97	1.82	1.90	2.88	0.74	1.30	1.21	1.43	6.14	1.43	1.85	1.96
6	1.92	2.63	2.83	2.22	0.667	0.89	1.89	2.52	2.23	2.52	1.43	1.60
7	3.13	1.41	2.86	2.45	0.55	1.05	1.50	3.90	2.78	3.90	2.21	1.70
8	0.57	3.62	1.17	2.01	1.34	1.07	3.87	1.92	1.21	1.92	1.72	2.00
9	1.85	3.51	2.78	1.28	0.56	0.92	4.30	1.46	1.89	1.46	1.29	2.72
10	2.34	3.44	1.21	1.37	0.79	1.10	3.97	1.96	1.50	1.96	2.57	2.86
11	1.07	2.06	1.72	1.18	0.68	1.63	0.904	1.35	3.87	1.35	1.48	2.90
12	1.10	0.81	3.02	2.62	0.68	2.31	2.79	1.45	4.30	1.45	1.66	3.20
13	0.62	1.82	2.49	3.46	0.78	1.52	3.85	1.71	3.97	1.00	1.32	1.98
14	0.49	2.34	2.01	1.88	1.33	1.32	2.05	2.19	0.90	1.71	1.49	1.31
15	3.08	2.41	4.13	1.66	2.52	1.40	1.95	1.10	2.79	2.19	1.37	2.16
16	4.43	1.43	6.14	1.68	1.30	0.76	1.16	1.79	3.85	1.10	1.02	2.02
17	2.97	1.67	2.23	2.23	1.02	1.06	0.83	3.41	2.05	1.79	1.12	1.35
18	1.57	0.9	2.78	3.26	2.08	1.985	2.16	1.71	1.95	3.41	1.97	1.89
19	1.72	1.47	1.21	4.23	2.49	1.90	1.29	2.61	1.16	1.71	2.03	1.90
20	1.53	1.38	1.89	3.41	0.68	2.83	1.81	1.06	0.825	2.61	1.31	2.63
21	1.57	2.09	1.50	3.29	1.04	2.86	1.14	1.98	2.13	1.43	1.91	3.55
22	0.28	2.29	3.87	3.03	2.58	1.17	1.44	1.90	1.29	1.47	1.87	4.03
23	1.31	3.18	4.30	1.99	0.63	2.34	1.24	2.83	1.82	1.43	1.21	1.73
24	3.31	1.09	3.97	1.57	0.70	1.84	1.13	2.86	1.14	1.93	3.37	1.35
25	3.62	1.67	0.91	1.47	0.74	1.07	2.37	1.17	1.44	1.76	1.64	1.46
26	3.39	2.03	2.79	0.53	0.98	1.72	1.95	2.34	1.24	1.54	2.72	1.65
27	2.07	1.88	3.85	0.41	1.22	3.02	1.22	1.84	1.13	2.15	2.06	1.43
28	1.82	1.39	1.95	0.55	1.21	2.49	2.03	1.07	1.95	1.79	0.85	1.52
29	4.14	3.21	1.16	0.43	0.70	2.10	4.14	1.72	1.22	2.34	1.20	1.84
30	1.02		1.49	1.83		1.78	1.87	1.41	2.03	1.49	1.50	2.58
31	1.35		2.53									
AYLIK ORTALAMA HIZ [m/s]	1.86	2.00	2.50	2.03	1.05	1.60	2.30	1.90	2.30	3.00	1.65	2.08

Çizelge 5.2 Farklı yükseklikler için rüzgâr hız tahminleri

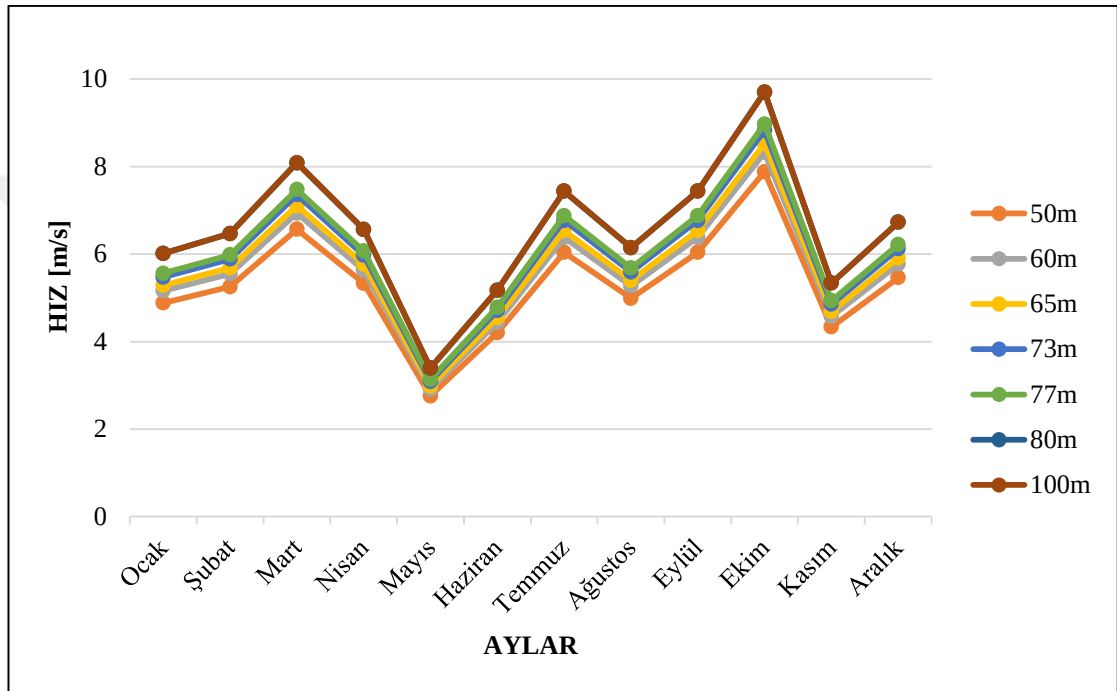
YÜKSEKLİK [m]	AYLAR	RÜZGAR HIZI [m/s]						
		Basitleştirilmiş Güç Kanunu	Logaritmik Güç Kanunu	Reed Metodu	Mikhail'in Logaritmik Metodu	Mikhail & Justus Logaritmik Metodu	Eksponansiyonel Güç Metodu	ORTALMA
50	Ocak	4.885	4.460	4.193	4.526	4.831	4.922	4.581
	Şubat	5.253	4.796	4.425	4.780	5.153	5.159	4.868
	Mart	6.566	5.995	5.221	5.653	6.281	5.920	5.867
	Nisan	5.332	4.868	4.474	4.834	5.221	5.209	4.929
	Mayıs	2.758	2.518	2.743	2.944	2.909	3.265	2.823
	Haziran	4.202	3.837	3.749	4.042	4.227	4.447	4.035
	Temmuz	6.041	5.515	4.908	5.309	5.833	5.631	5.473
	Ağustos	4.990	4.556	4.259	4.599	4.923	4.991	4.663
	Eylül	6.041	5.515	4.908	5.309	5.833	5.631	5.473
	Ekim	7.880	7.194	5.978	6.483	7.385	6.571	6.831
	Kasım	4.334	3.957	3.836	4.136	4.344	4.542	4.141
	Aralık	5.463	4.988	4.555	4.923	5.335	5.290	5.031
60	Ocak	5.160	4.607	4.400	4.760	5.000	5.201	4.855
	Şubat	5.548	4.954	4.640	5.022	5.330	5.444	5.156
	Mart	6.935	6.193	5.462	5.920	6.488	6.216	6.203
	Nisan	5.632	5.029	4.691	5.077	5.400	5.494	5.220
	Mayıs	2.913	2.601	2.897	3.122	3.021	3.482	3.006
	Haziran	4.439	3.963	3.942	4.259	4.379	4.712	4.282
	Temmuz	6.381	5.697	5.139	5.567	6.028	5.923	5.789
	Ağustos	5.271	4.707	4.469	4.835	5.094	5.272	4.941
	Eylül	6.381	5.697	5.139	5.567	6.028	5.923	5.789
	Ekim	8.323	7.431	6.241	6.773	7.619	6.870	7.209
	Kasım	4.577	4.087	4.031	4.357	4.499	4.810	4.394
	Aralık	5.770	5.152	4.775	5.169	5.517	5.577	5.327
65	Ocak	5.285	4.672	4.495	4.866	5.074	5.328	4.953
	Şubat	5.683	5.024	4.738	5.132	5.408	5.574	5.260
	Mart	7.104	6.280	5.572	6.042	6.578	6.351	6.321
	Nisan	5.768	5.099	4.790	5.188	5.479	5.624	5.325
	Mayıs	2.984	2.637	2.967	3.203	3.070	3.581	3.074
	Haziran	4.547	4.019	4.029	4.359	4.445	4.833	4.372
	Temmuz	6.536	5.777	5.244	5.684	6.114	6.057	5.902
	Ağustos	5.399	4.773	4.565	4.943	5.169	5.400	5.041
	Eylül	6.536	5.777	5.244	5.684	6.114	6.057	5.902
	Ekim	8.525	7.536	6.361	6.904	7.721	7.005	7.342
	Kasım	4.689	4.145	4.120	4.458	4.567	4.933	4.485
	Aralık	5.911	5.225	4.875	5.281	5.597	5.708	5.433
73	Ocak	5.473	4.766	4.635	5.025	5.181	5.518	5.100
	Şubat	5.885	5.125	4.884	5.295	5.520	5.767	5.413
	Mart	7.356	6.406	5.734	6.222	6.709	6.551	6.496
	Nisan	5.973	5.201	4.936	5.353	5.592	5.819	5.479
	Mayıs	3.089	2.690	3.072	3.324	3.142	3.731	3.175
	Haziran	4.708	4.100	4.159	4.507	4.542	5.015	4.505
	Temmuz	6.767	5.893	5.401	5.858	6.237	6.255	6.069
	Ağustos	5.590	4.868	4.707	5.103	5.278	5.591	5.190
	Eylül	6.767	5.893	5.401	5.858	6.237	6.255	6.069
	Ekim	8.827	7.687	6.538	7.098	7.868	7.206	7.537
	Kasım	4.855	4.228	4.253	4.608	4.665	5.116	4.621
	Aralık	6.120	5.330	5.024	5.448	5.713	5.903	5.589

Çizelge 5.2.'nin devamı...

YÜKSEKLİK [m]	AYLAR	RÜZGAR HIZI [m/s]						
		Basitleştirilmiş Güç Kanunu	Logaritmik Güç Kanunu	Reed Metodu	Mikhail'in Logaritmik Metodu	Mikhail & Justus Logaritmik Metodu	Eksponansiyonel güç metodu	ORTALMA
77	Ocak	5.561	4.809	4.701	5.099	5.491	5.608	5.212
	Şubat	5.980	5.171	4.952	5.372	5.850	5.859	5.531
	Mart	7.474	6.464	5.811	6.307	7.108	6.645	6.635
	Nisan	6.069	5.248	5.005	5.430	5.927	5.910	5.598
	Mayıs	3.139	2.715	3.121	3.381	3.334	3.802	3.249
	Haziran	4.784	4.137	4.221	4.576	4.815	5.101	4.606
	Temmuz	6.876	5.947	5.474	5.940	6.609	6.349	6.199
	Ağustos	5.681	4.912	4.774	5.178	5.594	5.681	5.303
	Eylül	6.876	5.947	5.474	5.940	6.609	6.349	6.199
	Ekim	8.969	7.756	6.621	7.190	8.333	7.300	7.695
	Kasım	4.933	4.266	4.315	4.679	4.946	5.203	4.724
	Aralık	6.219	5.378	5.093	5.526	6.054	5.995	5.711
80	Ocak	6.015	5.020	5.039	5.153	5.934	5.673	5.472
	Şubat	6.467	5.398	5.302	5.428	6.317	5.925	5.806
	Mart	8.084	6.747	6.199	6.368	7.660	6.714	6.962
	Nisan	6.564	5.479	5.358	5.486	6.399	5.977	5.877
	Mayıs	3.395	2.834	3.375	3.423	3.622	3.853	3.417
	Haziran	5.174	4.318	4.534	4.627	5.211	5.163	4.838
	Temmuz	7.437	6.208	5.848	5.999	7.128	6.417	6.506
	Ağustos	6.144	5.128	5.115	5.233	6.044	5.747	5.568
	Eylül	7.437	6.208	5.848	5.999	7.128	6.417	6.506
	Ekim	9.701	8.097	7.044	7.256	8.965	7.369	8.072
	Kasım	5.335	4.453	4.633	4.730	5.351	5.266	4.961
	Aralık	6.726	5.614	5.450	5.583	6.535	6.062	5.995
100	Ocak	6.015	5.020	5.039	5.481	5.934	6.069	5.593
	Şubat	6.467	5.398	5.302	5.766	6.317	6.327	5.930
	Mart	8.084	6.747	6.199	6.739	7.660	7.127	7.093
	Nisan	6.564	5.479	5.358	5.826	6.399	6.380	6.001
	Mayıs	3.395	2.834	3.375	3.676	3.622	4.169	3.512
	Haziran	5.174	4.318	4.534	4.934	5.211	5.542	4.952
	Temmuz	7.437	6.208	5.848	6.357	7.128	6.828	6.634
	Ağustos	6.144	5.128	5.115	5.563	6.044	6.145	5.690
	Eylül	7.437	6.208	5.848	6.357	7.128	6.828	6.634
	Ekim	9.701	8.097	7.044	7.654	8.965	7.780	8.207
	Kasım	5.335	4.453	4.633	5.041	5.351	5.649	5.077
	Aralık	6.726	5.614	5.450	5.926	6.535	6.467	6.120
Not: Kalın font: Maksimum değerler <i>İtalik font:</i> Minimum değerler								

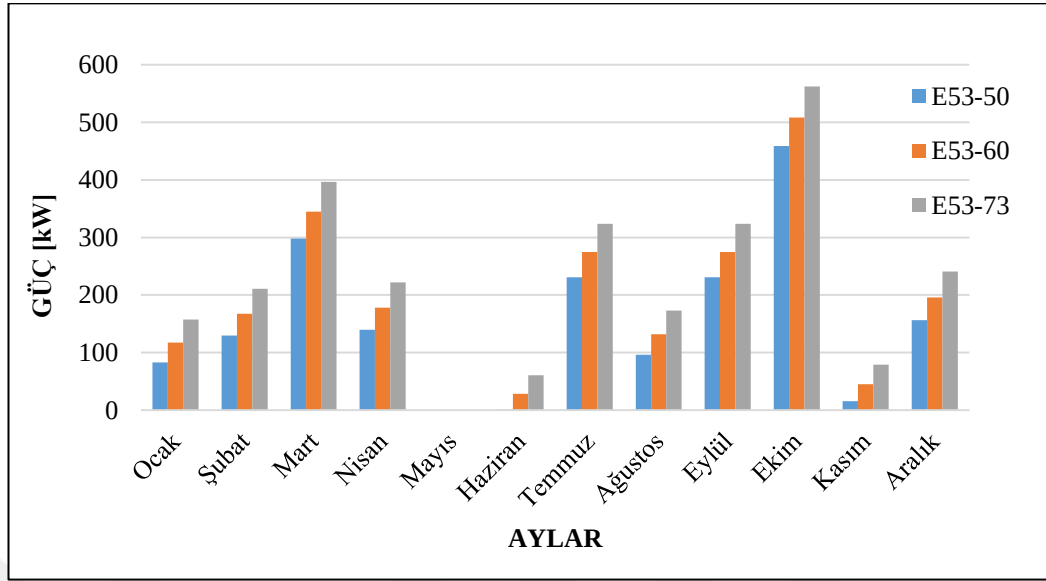
5.2. Türbinlerden Elde Edilecek Güç ve Enerji

Farklı yöntemlerle elde edilen rüzgâr hızlarından birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Literatürde rüzgâr hızının farklı yüksekliklerdeki karşılığını tahmin etmek için “Basitleştirilmiş Güç Kanunu” kullanılmaktadır (Yağcı, 2013). Bu çalışma kapsamında türbin hub yükseklikleri için enerji analizlerinde Şekil 5.1.’de görülen “Basitleştirilmiş Güç Kanunu” yöntemiyle elde edilen rüzgar hızları kullanılacaktır.



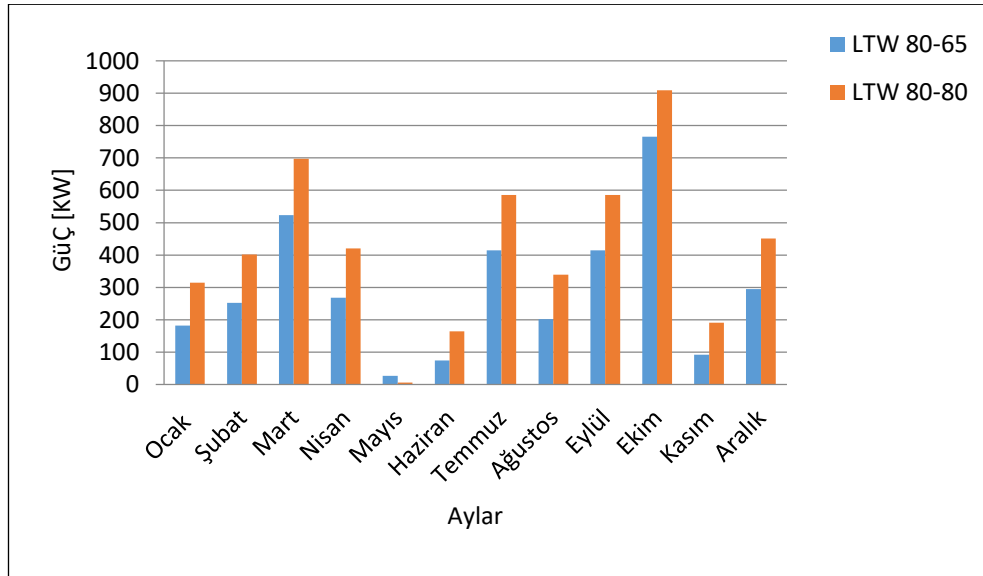
Şekil 5.1. Farklı yüksekliklerde rüzgar hızları

Türbinlerden elde edilecek güçlerin tespiti türbin firmalarının yayınladığı ürünlerin güç eğrisi grafiklerine göre yapılmaktadır. Türbinler genelde 3 m/s rüzgâr hızlarının üstünde güç üretmeye başladığından 3 m/s hızın altında güç üretimi 0 kabul edilmiştir. Ülkemizde yaygın olarak tercih edilen üç firmanın türbinlerinin ürettikleri güçler hesaplanmıştır. Enercon firmasının E53 tipi rüzgar türbinlerinin hub yüksekliği 50, 60 ve 73 m de ürettikleri güçler Şekil 5.2.’de verilmiştir. Rüzgâr hızları yüksekliğe bağlı olarak arttığından güç üretiminin de arttığı grafikte görülmektedir. Mayıs, Haziran, Kasım ve kısmen Ocak aylarında 100 kW’ın altında güç üretimi varken Ekim ayında güç üretimi en fazladır. Enercon firmasının E53 model rüzgâr türbinin 73 metrede yerleştirilmesiyle yıl boyu en fazla güç üretimi elde edilecektir.



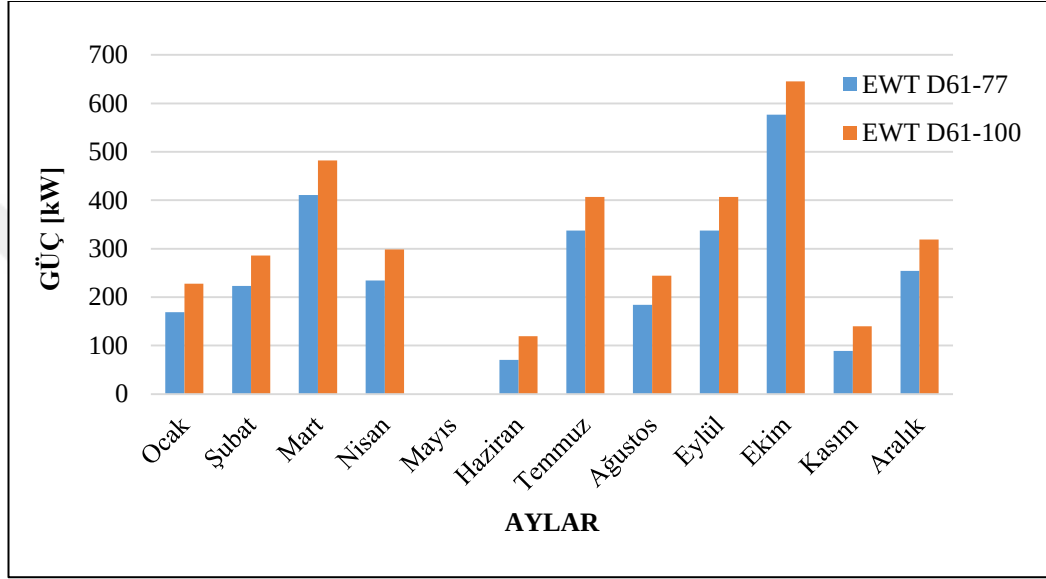
Şekil 5.2 Enercon E53 tipi rüzgar türbinlerinin ürettiği güç grafiği

Leitwind firmasının LTW80 tipi rüzgar türbinlerinin 65 m ve 80 m için ürettikleri güçler, Şekil 5.3'te görülmektedir. 65 m'ye yerleştirilecek türbin Mayıs, Haziran ve Kasım aylarında 100 kW gücün altında üretim yaparken 80 m yerleştirilecek türbin Mayıs ayında en düşük seviyede güce sahip olacaktır. LTW türbinin 80 m'ye yerleştirildiğinde yıl boyu en fazla güç üretimine sahiptir.



Şekil 5.3 LTW80 tipi rüzgar türbinlerinin ürettiği güç grafiği

EWT firmasının EWT D61 model rüzgar türbinlerinin 77m ve 100 m yerleştirildiğinde üretebileceği güçler Şekil 5.4'te sunulmuştur. 100 m'ye yerleştirilmiş rüzgâr türbinin güç üretimi Mayıs ayı dışında 100 kW'ın üstündedir. Mayıs, Haziran ve Kasım aylarında düşük güç üretimi olurken Mart ve Ekim aylarında fazla güç üretimi olmaktadır.



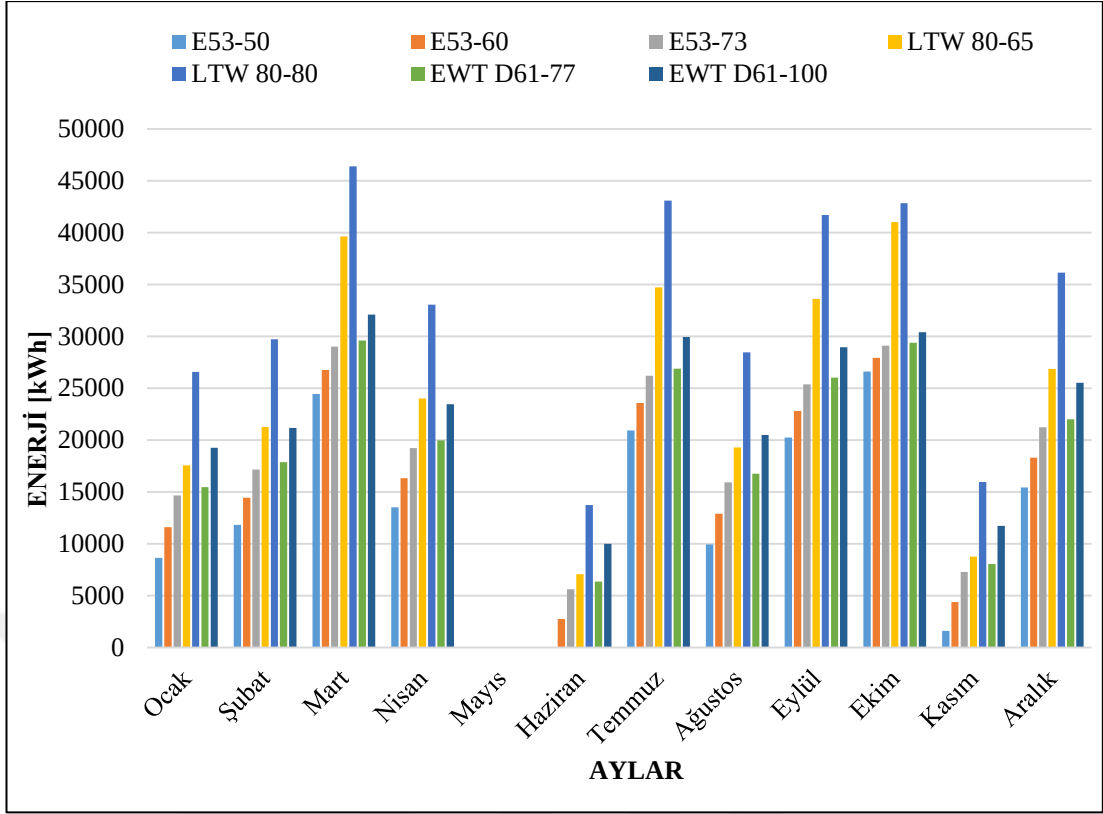
Şekil 5.4. EWT D61 tipi rüzgar türbinlerinin ürettiği güç grafiği

Türbinlerde üretilen toplam enerji, rüzgârın esme süresi ile üretilen gücün çarpılmasıyla tespit edilmektedir. Farklı yükseklikler için tespit edilmiş aylık ortalama rüzgâr hızlarına bağlı aylık toplam rüzgâr esme süreleri denklem (4.34)'e göre hesaplanmıştır. Türbin hublarının yerleştirileceği yüksekliğe göre elde edilmiş rüzgar esme süreleri Çizelge 5.3'te görülmektedir. Rüzgâr esme süresi hem anlık rüzgâr hızına hem de ortalama rüzgâr hızına bağlıdır. Rüzgâr esme sürelerine tüm türbinler için bakıldığında yükseklik arttıkça rüzgâr hızı da artmaktadır. Ancak rüzgâr esme saati rüzgâr hızı ile ters orantılı olarak değişmektedir.

Çizelge 5.3. Farklı yüksekliklerde rüzgarın esme süresi [h]

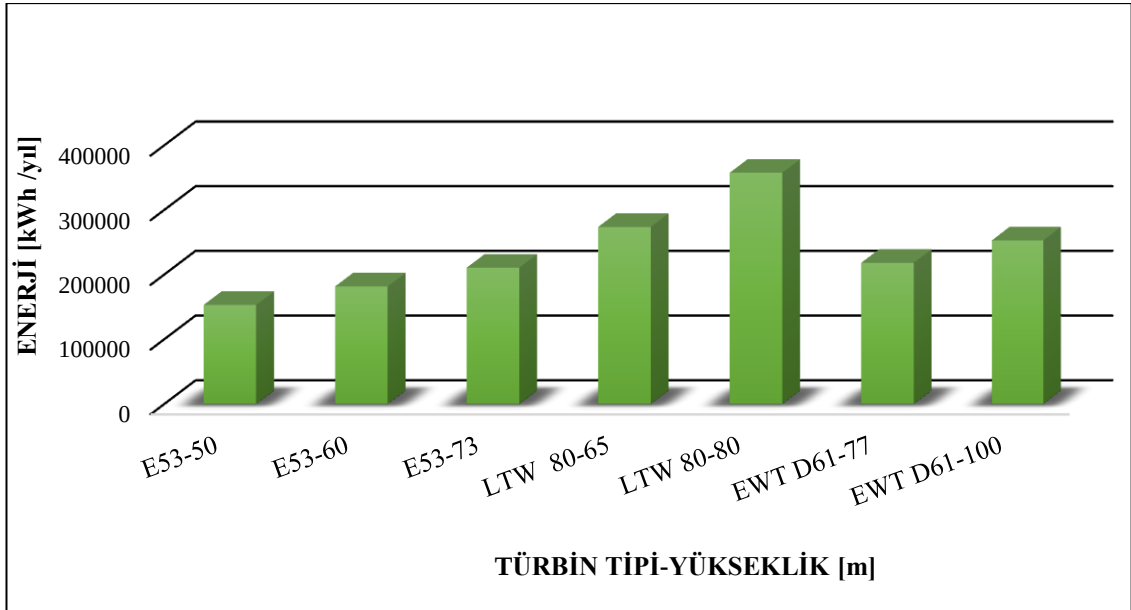
AYLAR	GÜN SAYISI	TÜRBİN HUB YÜKSEKLİKLERİ						
		50 m	60 m	65 m	73 m	77 m	80 m	100 m
Ocak	31	104.11	98.57	96.23	92.94	91.46	84.56	84.56
Şubat	28	91.15	86.30	84.25	81.37	80.08	74.04	74.04
Mart	31	81.91	77.55	75.71	73.12	71.96	66.53	66.53
Nisan	30	96.85	91.70	89.52	86.46	85.09	78.67	78.67
Mayıs	31	92.39	87.47	85.40	82.47	81.16	75.04	75.04
Haziran	30	103.00	97.52	95.20	91.94	90.48	83.66	83.66
Temmuz	31	90.60	85.78	83.75	80.88	79.60	73.59	73.59
Ağustos	31	103.32	97.82	95.50	92.23	90.77	83.92	83.92
Eylül	30	87.68	83.01	81.04	78.27	77.03	71.22	71.22
Ekim	31	57.99	54.90	53.60	51.76	50.94	47.10	47.10
Kasım	30	102.96	97.48	95.16	91.91	90.45	83.63	83.63
Aralık	31	98.58	93.33	91.12	88.00	86.60	80.07	80.07
TOPLAM	365	1111	1051	1026	991	976	902	902

Türbinlerin ürettiği güce ve esen rüzgarın süresine bağlı aylık ürettiği enerji miktarı Şekil 5.5'te görülmektedir. (firma tip yükseklik ve üretilen enerji) En fazla enerji üretimi; Enercon firmasının E53 tipi türbinin 73m'de 713.7395 kWh, Leitwind firmasının LTW80 tipi türbinin 80m'de 1194.717 kWh, EWT firmasının EWTD61 tipi türbinin 100m'de 842.8549 kWh olacağı öngörülmüştür.



Şekil 5.5. Türbinlerden üretilecek enerji miktarı

Türbinlerden yıllık elde edilecek toplam enerji, şekil 5.6.'da görülmektedir. Buna göre Leitwind firmasının LTW80 türbinin 80m çapındaki türbininden 357572.3 kwh enerji elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Türbinlerden üretilecek yıllık toplam enerji miktarı

5.3.Ekonomik Analiz

Bir bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli belirlenirken kWh enerji maliyeti hesaplanmalıdır. Bu maliyet seçilen türbin özelliklerine göre değişmektedir.

Akdağ (2008) yaptığı çalışmada Çanakkale ilinin rüzgâr enerji potansiyelinin ekonomik analizini belirlemek için bölgeye ait rüzgâr hız verilerini kullanarak birim kWh enerji maliyetini hesaplayarak hangi türbinin bölgeye uygun olacağını belirlemiştir.

Bu çalışma kapsamında üç farklı rüzgâr türbininin dört farklı hub yüksekliği için ekonomik analiz yapılmıştır. Türbin ömrü (t) 20 yıl, enflasyon oranı (i) %1.7, faiz değeri (r) %1.85 olarak alınmıştır. Burada; I türbin maliyeti, türbin fiyatı ile türbin fiyatının %20'si kadar olan türbin bağlantı giderlerinin toplamına eşittir. B bakım onarım maliyeti, türbin maliyetinin %25 ile türbin ömrünün çarpımı kadardır. S hurda bedeli ise türbin maliyetinin %10'dur. (PVC) şimdiki değer faktörü türbine yapılacak yatırımların şu anki değerini göstermektedir. Bu değer türbinlerde oluşacak hurda bedelini, bakım/işletme maliyetini, faiz ve enflasyon oranını içermektedir. Türbinlerin KDV hariç fiyatı, ülkemizde bu türbinleri satan ve proje yapan firmalardan elde edilmiştir.

Çizelge 5.4'te Enercon 53 (800 kW), EWT D61 (900 kW), LTW 80 (1000 kW) gücündeki üç farklı türbin için dört farklı yükseklikte elde edilen %1.7 enflasyon ve % 1.85 faiz oranlarında türbin fiyatlarının şimdiki değer faktörü (PVC) belirtilmektedir. Maliyeti en yüksek olan türbin EWT D61 100 m'dir. Maliyeti en düşük olan türbin ise Enercon E53 50 m türbinidir. Ayrıca türbinlerin şimdiki değer faktörünün; güç, kapasite faktörü ve zaman ile çarpımına oranlanmasıyla elde edilen birim enerji maliyeti de burada bulunmaktadır.

Çizelge 5.4. Türbinlerin birim kWh enerji maliyetleri

Türbin Tipi	Türbin Gücü	Türbin Hub Yüksekliği	Türbin Fiyatı	Türbin Fiyatı+ Bağlantı Giderleri (I+I.%20)	Yıllık Bakım Onarım Maliyeti	Hurda Maliyeti (I*%10)	Şimdiki Değer Faktörü	Birim kWh enerji maliyeti
	P	h		I	B	S	PVC	
	kW	m	\$	\$	\$	\$	\$	\$
E53	800	50	842466	1010959	12637	101096	1126997	3.731
E53	800	60	1170000	1404000	17550	140400	1565151	4.367
E53	800	73	1230000	1476000	18450	147600	1645415	3.959
EWTD61	900	77	1601600	1921920	24024	192192	2142517	4.977
EWTD61	900	100	2080000	2496000	31200	249600	2782490	5.578
LTW80	1000	65	1610000	1932000	24150	193200	2153755	3.989
LTW80	1000	80	1981538	2377846	29723	237785	2650775	3.758
Not: Kalın font: Maksimum değerler <i>İtalik font:</i> Minimum değerler								

Yapılan ekonomik analiz sonucunda bu bölgeye yapılacak en ekonomik yatırımın 800 kW gücünde 50m hub yüksekliğindeki Enercon türbini olduğu tespit edilmiştir. Bu türbinde birim kWh enerji maliyeti en düşük 3.731 dolarcent olarak tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Burdur Ağlasun bölgesinin rüzgâr enerji potansiyeli hakkında genel bir bilgi edinilmesi ve eğer mümkünse gerekli açılımların yapılabilmesi için bu çalışma yapılmıştır. İdeal rüzgâr enerji santral için bölgenin rüzgâr potansiyeline bağlı ekonomik analizi yapılarak bölgeye uygun rüzgâr türbinleri belirlenmiştir. Bir bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli belirlenirken o bölgeden alınan rüzgâr hız verilerinin bölgeye kurulması düşünülen türbinin hub yüksekliğinde olması büyük önem taşımaktadır. Ancak günümüzde rüzgâr hız verileri 10 ve 30 m yükseklikten alınmaktadır. Gün geçtikçe artan teknoloji ile birlikte türbin hub yükseklikleri 50 , 60 ve 100 m'ye kadar ulaşmaktadır. Bu noktalarda ölçüm yapmak çok maliyetli olduğu için daha önce alınmış olan rüzgâr hız verileri kullanılarak istenilen noktadaki rüzgâr hız değerlerini en az hatayla tahmin etmek gerekmektedir. Rüzgâr hızını tahmin etmek için literatürde birçok ekstrapolasyon (yükseltme) yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak bunlardan sadece altı tanesi tek yüksekliğe bağlı olarak hesaplama yapılmaktadır. “Basitleştirilmiş Güç Kanunu, Logaritmik Güç Kanunu, Reed Metodu, Mikhail’in Logaritmik Metodu, Mikhail & Justus logaritmik metodu, Eksponansiyonel güç metodu” dur.

Çalışma kapsamında Ağlasun ilçesindeki Başgoz tepesinde belirli bir arazide yerleştirilmiş olan Meteorolojik veri istasyonundan 2m yükseklikten alınmış olan rüzgâr hız verileri kullanılmıştır. Ülkemizde yaygın olarak faaliyet gösteren 800 kW gücünde Enercon E53, 900 kW gücünde EWT ve 1000 kW gücünde LTW firmalarına ait türbinlerin kurulduğu yükseklikler olan 50, 60, 65, 73, 77, 80 ve 100 m yükseklikler için 6 farklı ekstrapolasyon metoduyla rüzgâr hızları tespit edilmiştir. Metotlarla elde edilen rüzgâr hızlarının ± 1 m/s arasında değişmediğinden yöntemler içinde en yaygın kullanılıyor olması sebebiyle “Basitleştirilmiş Güç Kanunu” metoduyla elde edilen rüzgâr hızları rüzgâr potansiyel hesabında kullanılmıştır. Hellman yükseltme bağıntısına dayanarak yükseklik arttıkça rüzgâr hızı arttığından 100 m rüzgâr hızı ortalaması 6.540 m/s olarak bulunmuştur. Bölgenin fiziki ve coğrafik yapısına göre rüzgâr hızı mayıs, haziran, kasım aylarında en düşük seviyede iken; ekim, mart, temmuz ve eylül aylarında en yüksek seviyededir.

Ülkemizde rüzgâr türbin firmalarının tercih edilen modellerine ait güç eğrilerine göre rüzgâr elde edilebilecek güç-enerji analizi yapılmıştır. Buna göre en yüksek güç ve enerji Leitwind firmasının LTW-80 modelinin 80 m yüksekliğinde yerleştirildiğinde yıllık ortalama 421 kW gücünde ve yıl boyunca 357977 kWh enerji elde edilebileceği tespit edilmiştir. LTW 80 tipi türbinin 80m çapında rüzgâr kanatlarına sahip olması düşük rüzgâr hızlarında yüksek güç-enerji üretebilmesini sağlamaktadır.

Çalışmada, 3 firmanın türbinlerinin kurulabildiği 7 farklı yükseklik için ekonomik analiz yapılmıştır. Ekonomik analizde dolar para birimine göre %1.7 enflasyon değeri, %1.85 faiz oranları ile şimdiki zaman değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Enercon firmasının 800 kW gücünde 50 m yükseklikteki E53 tipi rüzgar türbini, 3.73 Dollar cent ile kWh enerji maliyeti en düşük türbin olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde Burdur Ağlasun bölgesi Başgoz tepesinin Türkiye ortalamasının üzerinde bir güç potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiş olup rüzgâr enerji santralinde kullanılacak en uygun E53 türbini olduğu belirlenmiştir.

Rüzgâr türbin santralleri ile güneş enerji santrallerinin birlikte çalışabileceği hibrit sistemlerinin rüzgar enerjisi için gerekli rüzgar hızlarının yıl boyu tamamen yeterli olmayan bölgelerde düşünülmesi gerekmektedir. Hibrit sistemler, rüzgârın olmadığı zamanlarda güneşten, güneşin olmadığı zamanlarda rüzgârdan enerji üretebilme özelliğine sahiptirler. Bu tarz sistemlerin kurulum öncesi kurulacak bölgede-sahada rüzgâr hızlarının ve güneş enerjisini ölçülmesi ve enerji-maliyet analizlerinin yapılması çok önemlidir.

Her geçen gün yenilenebilir enerji kullanımının ülkemizde artıyor olması ve bu kullanımın ülkemize büyük katkı sağlıyor olması ekonomik olarak büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Ağdere, E., 2012. Rüzgar Enerji Sistemlerinde Maliyet Analizi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, İstanbul.
- Akdağ, S., 2008. Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Ekonomik Analizinde Weibull dağılımının kullanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, İstanbul.
- Altuner, S., 2009. Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ölçümü. Cumhuriyet Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s. Sivas.
- Altuntaşoğlu, Z. T., 2012. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi, Mevcut Durum, Sorunlar. Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 52, sayı 617, 56-63.
- Anonim, 2004. Erişim Tarihi: 12.05.2004. wind power by 2020 the environmental benefits, Wind force. <http://www.ewea.org>
- Anonim, 2014. Erişim Tarihi: 01.08.2014. www.iea.org.tr
- Anonim, 2016. Erişim Tarihi: 08.03.2016. Türkiye Elektrik İstatistikleri. <http://www.teias.gov.tr>
- Anonim, 2016. Erişim Tarihi: 07.07.2016. <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-tuketimi>
- Anonim, 2016. Erişim Tarihi: 07.07.2016. <http://www.enerji.gov.tr>
- Anonim, 2016. Erişim Tarihi: 08.07.2016. <http://www.eie.gov.tr>
- Anonim, 2016. Erişim Tarihi: 20.07.2017. <http://enerjiensitüsü.com>
- Aydın, İ., 2008. Küçük Güçlü Bir Otonom Rüzgar Enerjisi Çevrim Sistemi ile Elektrik Eldesi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s, Kütahya.
- Bulut, Y., Açıkkalp E., 2013. Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanmasında Parametre Tahmin Yöntemlerinin İncelenmesi. Fen Bilimleri Dergisi, I(2), 49-54.
- Canpolat, Ş., 2013. Rüzgar Enerjisi ve Isparta Şartlarında Prototip Bir Rüzgar Türbin tasarımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Isparta.
- Cheggaga, N., Ettoumi, F.Y., 2011. A Neural Network Solution for Extrapolation of Wind Speeds at Heights Ranging for Improving the Estimation of Wind Producibile. Wind Engineering, 35, 1, 33-54.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2012. Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla. İzmir Güven Kitabevi, 945s, İzmir.

- Dündar, C., İnan, D., 1996. Investigation on Wind Energy Application Possibiities for a Spesific Island (Bozcaada) in Turkey. Renewable Energy, 9, 822-826.
- Dündar, C., 1997. Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgeleri için Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Ankara.
- Durak, M., Şen, Z., 2000. Wind Power Potential İn Turkey and Akhisar Case Study. Renewable Energy, 25, 463-472.
- Durak, M., Özer, S., 2008. Rüzgar Enerjisi Teori ve Uygulama. 543s, Ankara.
- Elkinton, M.R., Rogers, A.L., MCGOWEN, J.G., 2006. An investigation of Wind shear models and Experimental Data Trends for Different Terrains. Wind Engineering, 30, 4, 341-35.
- Enercon E-53 internet sitesi, 2017. Erişim Tarihi: 16.03.2017. <http://www.enercon.de/en/product/ep-1/e-53>
- Ertek, M., 2008. İstanbul da Rüzgar Santrallerinin Uygulanabilirliği ve Ekonomikliği. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, İstanbul.
- EWT internet sitesi, 2017. Erişim Tarihi: 16.03.2017. <http://www.ewtdirectwind.com/tr/home.html>
- Genceli, O.,F., 2011.Ölçme Tekniği. Birsen Yayınevi, 385s, İstanbul.
- Gürdal, T., 2010. Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılama Olasılığının İrdelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi ,61s., Kütahya.
- Güzel, S., 2014. Rüzgar Enerjisi Potansiyel Hesaplamasında Kullanılan Bilgisayar Programlarının Karşılaştırılması. İ.T.Ü, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, İstanbul.
- Hamamcıoğlu, V., 2010. Rüzgar Enerjisi Kaynaklı Elektrik Üretiminin Teknik/Ekonomik Analizi ve Yöresel Uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, İstanbul.
- HUSSAİN, M., 2002. Dependence of power law index on surface wind speed. Energy Conversion&Management , 43, 272-462.
- Kaplan, Y. A., 2016. Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20, 1, 62-71.

- Karakaya, S., 2009. Eskişehir-Kütahya-Bilecik İllerinde Rüzgar Potansiyellerinin Analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, Eskişehir.
- Kazıcı, M. S., 2009. Rüzgar Enerjisi ve Maliyete Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, İstanbul.
- Keskin, T., 2008. İklim Değişikliği Süreci ve Kyoto Protokolü. Mühendis ve Makina, 49, 581, 62-68.
- Koç, E., Şenel, M., 2015. Dünya 'da ve Türkiye 'de Rüzgar Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme. Mühendis ve Makina, 56, 663.
- Lackner, M.A., Rogers, A.L., Manwell, J.F., McGowan, J.G., 2010. A new method for improved hub height mean wind speed estimates using short-term hub height data. *Renewable Energy*. 35,10, 2340-2347.
- LTW internet sitesi, 2017. Erişim Tarihi: 16.03.2017. <http://en.leitwind.com/Products-Services/Product-Overview2/LTW80-1.000-kw>.
- Özcan, H., 2009. Rüzgar Enerjisi Yatırımları ve Isparta İlinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Isparta.
- Özcan, İ., 2011. Isparta İlinde Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bir Rüzgar Santrali Tasarımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Isparta.
- Özgür, A., Köse, R., 2006. Elektrik Enerjisi Üretimi için Dumlupınar Üniversitesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Analizi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10 uncu Enerji Kongresi, 2, 189-199.
- Patel, M.R., 2006. Wind and Solar Power System Desing Analysis and Operation. Taylor & Francis, Raton.
- Polat, Y., 2011. Rüzgar Karakteristiği ve Enerjisine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107s, İstanbul.
- Ray, M.L., Rogers, A.L., McGowan, J.G., 2006. Analysis of wind shear models and trends in different terrains. Renewable Energy Research Laboratory, Wind Power.
- Şimşek, V., 2007. Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Sivas.

- Talayoğlu, S., 2010. Denizli İlinin Tavas İlçesine Ait Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması ve Ekonomik Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125s, İstanbul.
- Taşdemir, E., 2011. Rüzgar Enerjisinden Yararlanılarak Türbin ve Hava Kanallarının Matematiksel Modellenmesi ve Tasarımı. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107s, Karabük.
- Taşkın, B., 2013. Niğde İlinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralinin Fiziksel ve Ekonomik Analizi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Niğde.
- Temiz, İ. F., 2010, Rüzgar Enerjisi Sistemlerinde Optimizasyon. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, İstanbul.
- World Wind Energy Association Half Year Report-2014. World Wind Energy Association. Bonn, Almanya.
- Yağcı, E., 2013. Rüzgar Hızı Yükseltmelerinde Kullanılan Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması ve Hata Analizleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, .yüksek Lisans Tezi, 91s, İstanbul.
- Yalçın, Y., 2010. İstanbul Terkos Bölgesinde Kurulması Planlanan Rüzgar Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Potansiyeli Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, 133s, İstanbul.
- Yılmaz, Ş., 2007, Doğu Anadolu Bölgesi İllerinin İklim Verileri Rüzgar ve Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatma Kadriye ÖRGEN
Doğum Yeri ve Yılı : Burdur/ Ağlasun, 1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : fatmakadriyeduden@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Isparta Gürkan Lisesi, 2001
Lisans : SDÜ, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik
Lisans : SDÜ, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik

Mesleki Deneyim

MAKÜ Gölhisar MYO 2016-(halen)

Yayınları

Düden F.K., Şahiner A., Gürdal M., 2006. Completion of Linear 2-normed spaces. XIX. Ulusal Matematik sempozyumu, 310-316, Kütahya.

Şahiner, A., Gürdal, M., and Düden, F.K., 2007. Triple sequences and their statistical convergence. Selçuk Journal of Applied Mathematics, 8(2), 49-55.

Örgen, F. K., 2009. Çoklu Diziler ve Onların İstatistiksel Yakınsaklığı. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 45s, Isparta.

Şentürk, S., Şahin, A. Ş., Dikmen, E., Örgen, F. K., 2015. Farklı Akışkanlar Kullanılan Çift Kademeli Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi. 2015 Anadolu Enerji Sempozyumu (AES 2015) Bildiriler Kitabı, 978-605-4397-49-5, 558-564, Muğla.