

**SU ÇIKARMA AMAÇLI RÜZGÂR ENERJİSİ  
KULLANIMININ TEKNİK ANALİZİ: KARACABEY  
ÖRNEĞİ**

**Erkan BÖLÜKBAŞ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SU ÇIKARMA AMAÇLI RÜZGÂR ENERJİSİ KULLANIMININ TEKNİK  
ANALİZİ: KARACABEY ÖRNEĞİ**

**Erkan BÖLÜKBAŞ**

ORCID: 0000 0003 4004 7623

Prof. Dr. Ali VARDAR

ORCID: 0000 0001 6349 9687

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Erkan BÖLÜKBAŞ tarafından hazırlanan “SU ÇIKARMA AMAÇLI RÜZGÂR ENERJİSİ KULLANIMININ TEKNİK ANALİZİ: KARACABEY ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Ali VARDAR

- Başkan** : Prof. Dr. Ali VARDAR İmza  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı  
ORCID – 0000 0001 6349 9687
- Üye** : Doç.Dr. Nazmi İZLİ İmza  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı  
ORCID – 0000 0002 2084 4660
- Üye** : Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN İmza  
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi,  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı  
ORCID – 0000 0002 4933 7144

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
.. / .. / ....

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**23/08/2019**

**Erkan BÖLÜKBAŞ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SU ÇIKARMA AMAÇLI RÜZGÂR ENERJİSİ KULLANIMININ TEKNİK  
ANALİZİ: KARACABEY ÖRNEĞİ

**Erkan BÖLÜKBAŞ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ali VARDAR

Dünya nüfusunun artışıyla beraber ortaya çıkan problemlerin başında enerji kaynaklarının sınırlılığı gelmektedir. Fosil kaynakların hızla azalması ve artan enerji sarfiyatları insanoğlunu yeni kaynakların araştırılmasına sürüklemiştir. 21. yüzyılda fosil kaynaklara en büyük alternatif yenilenebilir enerji kaynakları olmuştur.

Enerji ihtiyacının yüksek olduğu alanlardan birisi de tarımsal faaliyetlerdir. Bu enerji ihtiyacını karşılamak için eski yıllardan beri gerek tahılların öğütülmesi gerekse kuyulardan su çekilmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi kullanılmıştır. Günümüzde ise rüzgâr enerjisi kullanım alanları günden güne genişlemektedir.

Bu çalışmada; Bursa Karacabey yöresinde uygulanabilecek bir tarımsal faaliyette kullanılmak üzere, yer altı suyunun yüzeye çıkarılması işlemi için gerekli enerjinin, rüzgâr türbinleri kullanılarak elde edilmesi amaçlanmıştır.

Karacabey meteoroloji istasyonunda 2008-2015 yılları arasında ölçümü yapılan rüzgâr hızı verileri kullanılarak; sistemde 300 kW, 600 kW, 900 kW ve 1 500 kW gücünde rüzgâr türbinlerinin kullanılması durumunda elde edilebilecek güç ve enerji değerleri ile; seçilen bazı dalgıç pompaların kullanılabilirliği, sayısı ve pompalanabilecek su miktarına yönelik hesaplamalar ve analizler paylaşılmıştır. Çalışma sonucunda; Karacabey yöresinde dalgıç pompalarla yeraltı suyu teminini gerçekleştirmek için kullanılacak enerjinin, rüzgâr enerjisi kaynaklı sağlanabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgâr enerjisi, su pompalama, yenilenebilir enerji, yeraltı suyu, rüzgâr türbinleri, tarımsal sulama, Türkiye, Bursa, Karacabey

**2019, ix + 72 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **TECHNICAL ANALYSIS OF THE USE OF WIND ENERGY FOR WATER EXTRACTION: KARACABEY EXAMPLE**

**Erkan BÖLÜKBAŞ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biosystems Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Ali VARDAR

One of the main problems that arise with the increase of the world population is the limitation of energy resources. The rapid decline of fossil resources and the increasing energy consumption led to the exploration of new sources. The largest alternative to fossil resources in the 21st century has been renewable energy sources.

One of the areas with high energy needs is agricultural activities. In order to supply this energy need, wind energy, which is one of the renewable energy sources, has been used for the grinding of cereals as well as from the wells. Today, wind energy usage areas are expanding day by day.

In this study; In order to be used in an agricultural activity that can be applied in the Bursa Karacabey region, it is aimed to obtain the energy required for the extraction of groundwater to the surface by using wind turbines.

Using the wind speed data measured between 2008 and 2015 at Karacabey meteorology station; with the power and energy values that can be obtained in the case of using wind turbines with 300 kW, 600 kW, 900 kW and 1 500 kW power in the system; usability of some of the chosen submersible pumps, numbers of submersible pumps and the amount of water that can be pumped has been analyzed and shared. In the results of working; It has been determined that the energy that will be used to supply groundwater with submersible pumps in Karacabey region can be supplied from wind energy.

**Key words:** Wind energy, water pumping, renewable energy, groundwater, wind turbines, agricultural watering, Turkey, Bursa, Karacabey

**2019, ix + 72 pages.**

## TEŐEKKÖR

Lisans ve YŖksek lisans eğitim hayatım boyunca aynı zamanda bu tez çalışmasında bana bilgi ve tecrŖbeleriyle Ŗnderlik eden ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ali VARDAR'a tŖm içtenliğimle sonsuz teőekkŖrlerimi sunarım.

Erkan BÖLÜKBAŞ

23/08/2019

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Rüzgâr .....	4
2.1.1. Küresel Rüzgârlar .....	5
2.1.2. Yerel Rüzgârlar .....	5
2.2. Rüzgâr Enerjisi.....	6
2.3. Rüzgâr Türbinleri.....	7
2.3. Rüzgâr Enerjisi Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları.....	9
2.3.1. Avantajları.....	9
2.3.2. Dezavantajları .....	10
2.3.3. Çevresel Etki .....	10
2.3.4. İklim Etki .....	11
2.3.5. Elektromanyetik Alan Etkisi.....	11
2.3.6. Habitata Etki .....	11
2.3.7. Gürültü .....	12
2.4. Türkiye’de Rüzgâr .....	12
2.4.1. Türkiye’de Rüzgâr Potansiyeli.....	15
2.4.2. Türkiye Rüzgâr Potansiyeli Atlası .....	17
2.5. Bursa’da Rüzgâr Enerjisi .....	19
2.6. Su Pompaları .....	21
2.6.1. Sulama.....	21
2.6.2. Yeraltı Suyu .....	22
2.6.3. Pompalar ve Sınıflandırılması.....	23
2.6.4. Dalgıç Pompalar.....	24
2.7 Kaynak Araştırması .....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34



3.1. Materyal .....	34
3.2. Yöntem.....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
5. SONUÇ.....	65
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	72

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
A	Rüzgâr türbini rotor kesit alanı (m <sup>2</sup> )
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
C <sub>p</sub>	Rotorun güç katsayısı
D	Rüzgâr türbini rotor çapı (m)
dBA	Gürültü seviyesi ölçüsü
GWh/yıl	Yıllık gigawatt saat
h	Rüzgâr türbini göbek yüksekliği (m)
HP	Beygir gücü
k	Von karman sabiti
km <sup>2</sup>	Kilometrekare
km <sup>3</sup>	Kilometreküp
m <sup>3</sup>	Metreküp
kW	Kilowatt
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
m	Metre
m/s	Saniyede katedilen metre sayısı
m <sup>3</sup> /gün	Günlük metreküp sayısı
m <sup>3</sup> /h	Saatlik metreküp sayısı
NO <sub>x</sub>	Azot oksit
P	Rüzgâr türbini gücü (aynı zamanda sulama sisteminin ihtiyaç duyduğu güç) (kW)
P1	Seçilen 1 nolu pompa
P2	Seçilen 2 nolu pompa
P3	Seçilen 3 nolu pompa
P4	Seçilen 4 nolu pompa
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
T1	Seçilen 1 nolu türbin
T2	Seçilen 2 nolu türbin
T3	Seçilen 3 nolu türbin
T4	Seçilen 4 nolu türbin
ton/yıl	Yıllık ton
US\$/m <sup>2</sup>	Metrekare başına düşen dolar (para birimi)
v	Rüzgâr hızı (m/s)
z <sub>0</sub>	Yüzey pürüzlülük katsayısı
W/m <sup>2</sup>	Metrekaredeki watt miktarı

$\$/kWh$	Her kilowatt saate karşılık gelen dolar (para birimi) miktarı
$\eta$	Rüzgâr türbininin mekanik verimi
$\rho$	Hava yoğunluğu

### **Kısaltmalar Açıklamalar**

DC	Doğru akım
M.Ö.	Milattan önce
M.S.	Milattan sonra
max.	Maksimum
PV	Fotovoltaik
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
vb.	Ve benzeri
ve ark.	Ve arkadaşları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. Rüzgârın oluşumu .....	5
Şekil 2. Yatay ve düşey eksenli rüzgâr türbinleri .....	7
Şekil 3. Yatay eksenli rüzgâr türbini iç yapısı .....	8
Şekil 4. Türkiye’de elektrik üretimi amaçlı kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı .....	13
Şekil 5. Türkiye’de işletmedeki rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı.....	14
Şekil 6. Türkiye’de işletmedeki rüzgâr enerji santrallerin illere göre güç (MW) dağılımı .....	15
Şekil 7. Türkiye rüzgâr atlası rüzgâr hız-güç yoğunluğu haritası .....	16
Şekil 8. Türkiye rüzgâr hızı atlası- 50 m.....	18
Şekil 9. Türkiye rüzgâr hızı atlası- 70 m.....	18
Şekil 10. Türkiye rüzgâr güç yoğunluğu atlası- 50 m.....	19
Şekil 11. Bursa 50 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s) dağılımı .....	19
Şekil 12. Bursa rüzgâr enerjisi santrali kurulabilir alanlar .....	20
Şekil 13. Bursa kurulu rüzgâr türbinleri atlası .....	21
Şekil 14. Dünya yeraltı suyu derinliği tablosu .....	22
Şekil 15. Pompa çeşitleri ve alt grupları .....	23
Şekil 16. Santrifüj pompa çeşitleri .....	24
Şekil 17. T1 (300 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi .....	35
Şekil 18. T2 (600 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi .....	35
Şekil 19. T3 (900 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi .....	36
Şekil 20. T4 (1500 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi .....	36
Şekil 21. P1 pompa eğrileri.....	37
Şekil 22. P2 pompa eğrileri .....	38
Şekil 23. P3 pompa eğrileri .....	38
Şekil 24. P4 pompa eğrileri .....	38
Şekil 25. Yıl boyunca gerçekleşen günlük ortalama rüzgâr hızları (m/s).....	43
Şekil 26. Günlük ortalama rüzgâr güç yoğunluğu değerleri .....	44
Şekil 27. Düzeltme faktörü uygulanan farklı yüksekliklerdeki yıllık ortalama rüzgâr hızları.....	46
Şekil 28. Düzeltme faktörü uygulanan farklı yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgâr hızları.....	48
Şekil 29. T1 türbini rüzgâr hızı - enerji üretim ilişkisi.....	53
Şekil 30. T2 türbini rüzgâr hızı- enerji üretim ilişkisi.....	55
Şekil 31. T3 türbini rüzgâr hızı- enerji üretim ilişkisi.....	57
Şekil 32. T4 türbini rüzgâr hızı- enerji üretim ilişkisi.....	59

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1. Türkiye elektrik enerjisi tüketimi (MWh) .....	3
Çizelge 2. Rüzgâr hız-güç sınıfları .....	16
Çizelge 3. Türkiye rüzgâr gücü ve toplam rüzgâr potansiyeli .....	17
Çizelge 4. Bursa iline kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali güç kapasitesi .....	20
Çizelge 5. Rüzgâr türbinleri ve özellikleri .....	34
Çizelge 6. Seçilen dalgıç pompalar ve özellikleri .....	37
Çizelge 7. Pürüzlülük sınıfları.....	41
Çizelge 8. Farklı yükseklikler için hesaplanan ortalama rüzgâr hızları .....	45
Çizelge 9. Yıllık ortalama rüzgâr hızlarının türbin yüksekliklerindeki değerleri (düzeltme faktörü 1,4509).....	45
Çizelge 10. Farklı yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgâr hızları.....	47
Çizelge 11. Düzeltme faktörü uygulanan farklı yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgâr hızları.....	48
Çizelge 12. Seçilen türbinlerden birim rotor alanı başına elde edilebilecek güç değerleri ( $W/m^2$ ).....	49
Çizelge 13. Seçilen türbinlerden elde edilebilecek güç değerleri (kW).....	50
Çizelge 14. Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı değerleri (m/s) .....	51
Çizelge 15. T1 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl) .....	52
Çizelge 16. T2 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl) .....	54
Çizelge 17. T3 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl) .....	56
Çizelge 18. T4 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl) .....	58
Çizelge 19. T1 türbini ile çalıştırılacak pompa sayıları .....	60
Çizelge 20. T1 türbini ile pompalanabilecek su miktarları ( $m^3/h$ ).....	60
Çizelge 21. T2 türbini ile çalıştırılacak pompa sayıları .....	61
Çizelge 22. T2 türbini ile pompalanabilecek su miktarları ( $m^3/h$ ).....	61
Çizelge 23. T3 türbini ile çalıştırılacak pompa sayıları .....	62
Çizelge 24. T3 türbini ile pompalanabilecek su miktarları ( $m^3/h$ ).....	62
Çizelge 25. T4 türbini ile çalıştırılacak pompa sayıları .....	63
Çizelge 26. T4 türbini ile pompalanabilecek su miktarları ( $m^3/h$ ).....	63

## 1. GİRİŞ

Dünya nüfusu günden güne artmaktadır. Buna bağlı olarak hali hazırda daha fazla talep gören fosil yakıtlar tükenmekte, zararlı maddeler atmosfere yayılmakta ve küresel iklim değişikliği gözlemlenmektedir. Haliyle nüfus artışı; fosil yakıtlara olan bağımlılığı, yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarını, hava kirliliğini ve sera gazlarını meydana getirmektedir. Birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülke bu olumsuz etkileri belirli sınırlarda tutmak için çeşitli önlemler almaktadır ve bu çerçevede iklimsel ve fosil enerji kaynaklı problemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek ve verimliliğini artırarak en aza indirmeye çalışmaktadırlar (Hua ve ark. 2016).

Enerjinin temel bir gereksinim olması nedeniyle günümüz devletleri, ilerleyen teknoloji ile var olan yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimini hızlandırma bilincindedirler. Enerjinin her alanda kullanılan bir gereksinim oluşu, fosil enerji kaynaklarının giderek azalması, küresel sorunların artması da bu gelişimi büyük ölçüde etkilemektedir.

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarını genel olarak listelersek bu listeye; fosil yakıtlar, rüzgâr, güneş, gaz-yakıtlar, hidrolik (su), nükleer, biyokütle, jeotermal ve dalga enerjisi girebilir. Her ne kadar fosil kaynaklı yakıtlara talep gün geçtikçe artsa da bu yakıtların sürdürülebilirliği, olumsuz çevresel etkileri ve rezervlerinin azalması sebebiyle sağlanamayacaktır. Hem bu gibi sebepler hem de sera gazı etkisinin azaltılması amacıyla gelecekte, güneş, rüzgâr, hidrojen ve biyokütleden elde edilen yenilenebilir enerji kaynaklarının ön plana çıkması öngörülmektedir (Ragauskas ve ark. 2006).

Yenilenebilir enerji kaynakları, yakıtın yok edilmesi ya da yakılmasını gerektirmeyen, haliyle çevreye zararı bulunmayan rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal gibi çeşitli kaynaklardır. Bu gibi kaynakların kullanımının özellikle ekonomi, çevre ve enerji güvenliği gibi oldukça önemli açılardan faydası ve diğer kaynaklara kıyasla göreceli üstünlükleri bulunmaktadır (Midilli ve ark. 2006).

Yenilenebilir enerji sistemleri kullanarak elektrik enerjisi üretiminin tüketiciler tarafından tercih edilmeme sebeplerinin en başında, ilk kurulum maliyetinin yüksek olması

gelmektedir. Ancak son yıllarda bu sorun, üretilen fazla enerjinin şebekeye satılabilmesi ile ilgili mevzuat ve yenilenebilir enerji sistemlerine devletlerin sağladığı teşvik mekanizmaları ile aşılmaya çalışılmıştır. Bu gibi enerjilerin tercih edilmemesinin diğer bir nedeni ise lineer enerji üretiminin sağlanamamasıdır. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi, mevsimlere göre değişimin yanı sıra günün belirli bölümlerinde elektrik enerjisine çevrim işlemini verimli bir şekilde gerçekleştirebilmektedirler.

Nüfus artışının önemli bir diğer etkisi ise su kaynakları tüketimidir. Dünyada tespit edilebilen toplam su miktarı 1,4 milyar km<sup>3</sup> 'tür. Bu suların %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. %90'ı yeraltında ve kutuplarda olan tatlı su kaynaklarının da sınırlı olduğu göz önüne alınırsa, insanlığın faydalanabileceği elverişli tatlı su miktarı oldukça azdır (Anonim 2014). Türkiye'de yıllık olarak toplam 46 milyar m<sup>3</sup> civarında su tüketilmekte ve bunun %15'i içme ve kullanma suyu olarak, %11'i endüstriyel amaçlı ve %74'ü ise tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Nüfustaki artışa paralel olarak tüm sektörler tarafından suya olan talep artmakta ve bu durum da su kullanımında sektörler arası rekabete yol açmaktadır (Kaya 2010).

Su kaynaklarının tüketimi sırasında kullanılan enerji kaynakları da su kaynaklarının verimli kullanılmasındaki etkenlerden biridir. Türkiye elektrik enerjisi tüketimi incelendiğinde (Çizelge 1), tarımsal sulamada kullanılan elektrik enerjisinin, aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisinden daha fazla olduğu görülmektedir. Tarımsal sulama girdi enerjisinin düzeyini ise; sulama yöntemleri, bitki cinsi, toprak tipi, iklim özellikleri, pompa, su kaynağı ve güç kaynağı tipi gibi faktörler değiştirebilmektedir. Birim sulama girdi enerjisinin yaklaşık %90'ını işletme, %10'luk kısmını ise kurulum enerjisi oluşturmaktadır (Çalışır 2008).

**Çizelge 1.** Türkiye elektrik enerjisi tüketimi (MWh) (Anonim 2019a)

	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Sanayi</b>	8 376 442	7 925 137
<b>Ticarethane</b>	5 259 318	5 300 419
<b>Mesken</b>	4 361 498	4 455 315
<b>Tarımsal sulama</b>	224 575	605 014
<b>Aydınlatma</b>	392 118	483 046
<b>Toplam</b>	<b>18 613 953</b>	<b>18 768 934</b>

Bu tez çalışmasında Bursa ili Karacabey ilçesinde tarımsal sulamanın verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Bu çerçevede kullanılacak dalgıç pompaların enerji ihtiyacının, yörede potansiyel vaat eden rüzgâr enerjisinden karşılayabileceği düşünülmüştür. Bu kapsamda oluşturulabilecek bir sistemde, 4 farklı kapasitede rüzgâr türbini ve yöre yeraltı suyu derinliklerine uygun 4 farklı kapasitede dalgıç pompa kullanılması durumunda *ideal Türbin – Pompa kombinasyonunun* tespit edilmesi amaçlanmıştır.



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Rüzgâr

Güneş, saatte 100 milyar MW enerjiyi dünyaya ulaştırırken, dünyada var olan tükenebilen ve tükenmeyen birçok enerji türlerinin esasıdır. Güneş'ten Dünya'ya ulaşan enerjinin yaklaşık % 2'lik bir bölümü rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Dolayısıyla rüzgâr; güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşması sonucunda ortaya çıkan bir doğa kuvvetidir (Öztürk 2013).

Rüzgâr gücünden çok eski dönemlerden beri yararlanılmaktadır. Tahıl öğütmek için kullanılan yel değirmenlerinin M.Ö. 2000 yıllarında Çin'de, Japonya'da, Eski Mısır'da ve İran'da icat edildiği bilinmektedir. İnsanlar en başlarda rüzgârı, deniz ulaşımında ve çoğunlukla yel değirmenlerinde enerji kaynağı olarak kullanmışlardır. Yel değirmenleri, tarımsal faaliyetlere uzun yıllar destek vermiştir. 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılda bu sefer yel değirmenleri, elektrik elde etmede ve kuyudan su çekmede değerlendirilmiştir (Hayli 2011).

Rüzgârın oluşumu, atmosferdeki hava kütesinin dünya üzerinde yatay yer değiştirmesi ile ilgili bir olaydır. Şekil 1'de rüzgâr oluşumu gösterilmiştir. Bu yer değiştirme olayına etki eden en büyük sebep, dünya yüzeyi üzerindeki sıcaklık farklılıklarıdır. Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi, kara ve denizlerin yeryüzündeki dağılımı, farklı ısınmaları, yerçekimi, sıcaklık ve bulunulan yerin yüksekliği gibi nedenlerle, yeryüzünde yüksek ve alçak basınç alanları oluşur. Havadaki basınç farkına neden olan şey sıcak ve soğuk havadır. Soğuyan hava alçalarak yüksek basıncı, ısınan hava da yükselerek alçak basıncı meydana getirir. Akışkan bir madde olan hava, çekim kuvvetinin etkisi ile yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru hareket eder ve sonuç olarak rüzgârlar meydana gelir (Yücel 2009).



**Şekil 1.** Rüzgârın oluşumu

Dünyada ortaya çıkan rüzgârlar genel olarak iki gruba ayrılır. Bunlar; küresel ve yerel rüzgârlardır.

### **2.1.1. Küresel Rüzgârlar**

Rüzgârın ortaya çıkma nedeni dünya yüzeyindeki basınç farklılıklarıdır. Ekvatorda, kutuplara göre çok daha fazla yeryüzü tarafından emilen güneş radyasyonu mevcuttur. Dünya yüzeyindeki bu denli ısı farkları, atmosferin en alt tabakası olan troposferde çeşitli global ölçekte sirkülasyonların meydana gelmesine neden olmaktadır. Rüzgârdan elde edilen enerjilerde daha çok yerel rüzgârlar kullanılsa da, dünyanın genel sirkülasyonuna bakılmalıdır. Atmosferin genel sirkülasyonunda dört önemli küresel rüzgâr oluşumundan söz edilebilir; orta enlem rüzgârları, kutup rüzgârları, musonlar ve tropik rüzgârlar (Durak ve Özer 2008).

### **2.1.2. Yerel Rüzgârlar**

Rüzgâr enerjisinden faydalanmak için oluşturulan sistemler yerel rüzgârları kullanırlar. Genel olarak kanal etkisi, topografik yapı, gece-gündüz etkileşimi ve kara-deniz etkileşimi gibi sebeplerden ortaya çıkar.

Kara ile deniz arasındaki sıcaklık farkı, kara ve deniz meltemlerini meydana getirir. Özellikle yazları sinoptik rüzgâr zayıf olduğunda deniz meltemi etkili olmaktadır. Sinoptik rüzgârlar, deniz meltemlerinin büyümesini engelleyebilir. Deniz melteminin büyümesi, sabah saatlerinden öğleden sonraya kadardır. Kara meltemleri ise daha kısa solukludur ve geceleri meydana gelir. Deniz meltemi, kara meltemine göre daha kuvvetlidir. Meltem oluşumunda yüzey pürüzlülüğü çok önemlidir. Hava akımı, sürtünmesiz deniz yüzeyinden geldiği takdirde, karadaki pürüzlü yüzeylerden gelişine göre daha fazla hız kazanır.

Güneş dağ yamaçlarını gün boyunca ısıtır. Isınan vadiye temasta bulunan hava kütlesi de ısınır. Isınan hava yamaçlar boyunca yükselmeye başlar. Daha ağır ve soğuk hava kütlesi yükselen havanın yerini doldurur. Daha sonrasında bu hava kütlesi de ısınır ve yükselir. Bu çevrim işlemi tüm gün tekrarlanır. Bu işlem geceleri tam tersi yöndedir. Bu nedenle vadide oluşan rüzgârlar geceleri yamaçtan vadiye doğru eserler. Vadideki hava tüm gün ısıya maruz kaldığı için, eğimli yüzey boyunca yükseklik kazanır ve buna *anabatik rüzgâr* denir. Anabatik rüzgârlar yaklaşık 3m/s rüzgâr hızına sahip olup, enerji üretimi için yetersiz sayılabilirler. Ancak bu rüzgâr tipleri bazen türbülansın artmasıyla sırtlarda konumlanan rüzgâr türbinlerinin elektrik üretmesini sağlayabilirler. Dağ yüzeyindeki gece boyunca soğuyan havanın vadiye doğru hareket etmesiyle oluşan rüzgâra da *katabatik rüzgâr* denir. Bu tür rüzgârlar bazen çok güçlü olabilmektedirler (Durak ve Özer 2008).

## **2.2. Rüzgâr Enerjisi**

Günümüzde, teknolojisi ve kullanımı en hızlı gelişme gösteren ve ekonomisi de konvansiyonel enerji kaynakları ile rekabet edebilir hale gelen yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri rüzgâr enerjisidir (Avcı ve Yılmaz 2012).

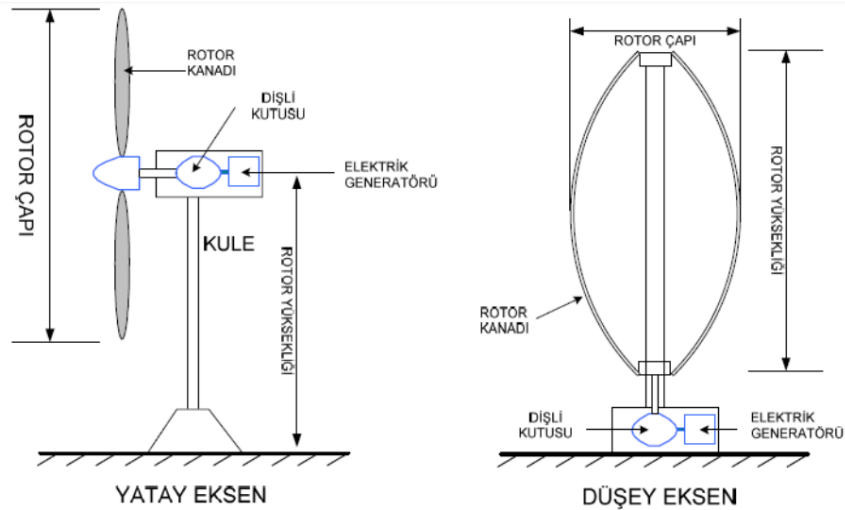
Rüzgâr enerjisi, havanın var olan kinetik enerjisinden faydalanarak, türbinler vasıtası ile elektrik elde etme işidir. Rüzgâr enerjisi, rüzgâr hızının küpü ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Rüzgâr hızı ise yükseklikle doğru orantılı olarak artmaktadır (Adekoya ve Adewale 1992).

Rüzgâr enerjisinin kullanımı yel değirmenlerinden başlayarak günümüze kadar gelmiştir. Elektriğin keşfedilmesi sonrasında, elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan her yöntem önem kazanmış ve gelişime açılmıştır. Rüzgâr enerjisi vasıtası ile elektrik enerjisi üretimi de günümüz dünyasında gerek duyulmakta olan 15 sürdürülebilir enerji klasmanında sayılmakta ve gün geçtikçe gelişmektedir (Ünalın 2014).

### 2.3. Rüzgâr Türbinleri

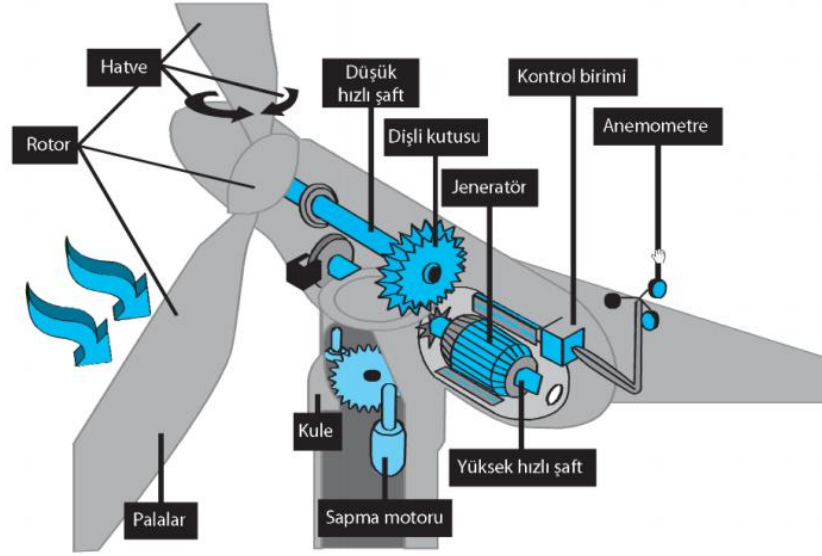
Rüzgâr enerji santrallerini oluşturan ana elemanlar rüzgâr türbinleridir. Rüzgâr türbinleri, hareketli havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye ardından elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir (Anonim 2018a).

Rüzgâr türbinleri rotor tiplerine göre ikiye ayrılır. Bunlar yatay eksenli rüzgâr türbinleri ve dikey eksenli rüzgâr türbinleridir. Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin en başarılı örneği Şekil 2’de görünen Darrieus tipi rüzgâr türbinidir (Tanrıöven 2010). Bu tip rüzgâr türbinlerinin en iyi özelliği; jeneratör ve dişli aktarma elemanlarının zeminde konuşlanmış olmasıdır. Bu rüzgâr türbinlerinin bakımı kolay değildir. Bu yüzden kullanımı son yıllarda oldukça düşmüştür. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri yüksek rüzgâr hızları ve düşük türbülansdan dolayı çok daha fazla tercih edilmektedir.



Şekil 2. Yatay ve düşey eksenli rüzgâr türbinleri (Tanrıöven 2010)

Yatay eksenli türbinler, Şekil 2’de görüldüğü gibi bir kule üzerinde kanatlar, dişli kutusu ve elektrik jeneratöründen oluşmaktadır. Yatay eksenli ticari rüzgâr türbinleri genellikle iki kanatlı veya üç kanatlıdır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rotor eksenini rüzgâr yönünde değiştirilerek her yöndeki rüzgârla çalıştırılabilirler. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, aerodinamik alt sistemi, mekanik alt sistemi, jeneratör alt sistemi ve elektrik alt sisteminden oluşur. Şekil 3’te tipik yatay eksenli bir rüzgâr türbininin temel iç yapısı gösterilmiştir (Güneş 2006).



**Şekil 3.** Yatay eksenli rüzgâr türbininin iç yapısı (Güneş 2006)

Türbin kanatlarının optimum dizaynı, rüzgâr türbinlerinin verimine ciddi oranda etki etmektedir. Rüzgâr türbininin maksimum verimde çalışması çeşitli faktörlere bağlıdır. Türbin yüksekliği, türbin kanadının süpürme alanı, aerodinamik yapısı, kanat geometrisinin açıları, havanın yoğunluğu ve rüzgâr hızı bu faktörlerden bazılarıdır

Rüzgâr türbinlerine rüzgâr kuvveti ve atalet kuvveti etki etmektedir. Rüzgâr kuvveti nedeniyle kanat üzerinde olan basınç kanat yapısında yer değiştirme ve gerilmelere neden olmaktadır. Bu durum rüzgâr türbin kanatlarının ömürlerini belirlemektedir (Cox ve Echtermeyer 2012).

Rüzgâr hızı çok küçük periyotlarla daima değişen dalga özelliği göstermektedir. Değişimin büyüklüğü hem yüzey koşulları ve engellere hem de havaya bağlıdır. Hakim

sırt ve tepeler türbinlerin arazide konumlandırılabilceği en iyi yerlerdir. Bu gibi bölgeler çevre arazilere göre daha kuvvetli rüzgâra sahiptir. Hava önce tepeye gelir ve tekrar dağılarak rüzgârsız yamaçtan alçak basınca doğru hareket eder. Pürüzlülüğü yüksek olan tepeler türbülansa neden olduklarından dolayı rüzgâr hızı bakımından dezavantajlıdır. Bu gibi arazilerde pürüzlülük kaynağı ağaçlar, binalar gibi unsurlardır. Türbülans, düzenli olmayan rüzgâr akışı olarak ifade edilir. Bu akış çevrede dönme ve vorteks yaratır. Bu gibi hava düzensizlikleri rüzgâr türbininin enerji üretimine doğrudan olumsuz olarak etki eder ve hatta türbinde hasarlanma, yıpranma ve bozulmalara neden olur. Kulelerin yüksek yapılmasının ana nedeni yüksek rüzgâr hızından yararlanıp fazla elektrik üretmekken, bir diğer nedeni de türbinlerin türbülanslardan daha az etkilenmesini sağlamaktır. Türbülansın düşük olması, türbin ömrünün daha uzun olmasını ifade eder. Karalarda denizlere göre türbülans daha fazladır. Dolayısıyla karaya kurulan türbinler denize kurulan türbinlere göre daha kısa ömürlüdür (Çakır ve Helvacı 2016).

### **2.3. Rüzgâr Enerjisi Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları**

#### **2.3.1. Avantajları**

- Rüzgâr türbinleri, yakıt olarak rüzgârı kullandıkları için atmosfere zehirli gaz salınımları yoktur.
- Rüzgâr çiftlikleri, termik, hidrolik vb. santrallerle, ekonomik açıdan rekabet edecek düzeye gelmiştir.
- Rüzgâr çiftlikleri, kuruldukları alanın çok az bölümünü kullanırlar. Geri kalan kısmı tarımsal faaliyetlerde rahatlıkla kullanılabilir.
- Rüzgâr çiftliklerinin ömürlerini tamamlamasından sonra türbinlerin kullanıldığı alan eski haline kolayca getirilmektedir.
- Rüzgâr türbini arazileri genellikle yüksek ve kırsal bölgelere kurulduğu için yer masrafı azdır.
- Rüzgâr çiftliklerinin söküm maliyetleri yoktur. Çünkü sökülen türbinlerin hurda değeri söküm maliyetlerini karşılamaktadır.
- Rüzgâr çiftliklerinin dışa bağımlılığı yoktur.
- Rüzgârın tükenme ve zamanla fiyatının artma riski yoktur.
- Rüzgâr türbinlerinin işletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleşebilir.

- Rüzgâr türbini teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- Rüzgâr türbinleri çiftliklere kurulabilir bu sayede kırsal bölgelerde istihdam alanı oluşturur.
- Ulusal yararı yüksektir. Geleneksel yakıtların aksine, enerji güvenliği açısından diğer ülkelere bağımlılığı azaltır (Karaca 2012, Anonim 2018a).

### 2.3.2. Dezavantajları

- Türbin ilk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Üretilen enerji stabil değildir. Bu nedenle yıllık belirli bir enerji üretim miktarını garanti etmez.
- Elde edilen enerji başka bir formda da olsa depolanmalıdır.
- Rüzgâr genel olarak yüksek bölgelerde ve kırsalda daha verimlidir. Bu durum üretilen enerjinin, enerji ihtiyacının daha fazla olduğu şehir merkezlerine uzak kalmasına neden olmaktadır.

### 2.3.3. Çevresel Etki

Rüzgâr enerji sistemleri suya ya da havaya emisyon yaymaz ve tehlikeli atıklar üretmez. Fosil yakıtlı enerji üretiminin neden olduğu çevresel zararların azaltılması için enerji elde etme işlemi rüzgâr aracılığıyla olabilir. Geleneksel enerji üretim yöntemleri dolaylı ortaya çıkan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) gazlarının asit yağmurlarına neden olduğu bilinmektedir. Asit yağmurları doğal çevreye zarar vermekle kalmayıp aynı zamanda bina, köprü gibi çeşitli yapılara da zarar vererek ekonomik alt yapıyı da olumsuz etkiler. Sisli ve kirli havanın temel unsuru NO<sub>x</sub> 'tir. CO<sub>2</sub> ise bir sera gazlarından biridir ve sera etkisinde kalan dünyadan yansıyan güneş ışınlarını atmosfer içinde tutarak küresel ısınmaya sebep olur. Sera gazları sadece küresel ısınmaya değil, aynı zamanda hava modellerinde birtakım değişimlere de neden olur. Bu değişimler ise daha sık ve şiddetli kuraklık ve seller oluşturur. Rüzgâr enerjisi kullanımı ile bu gibi doğal kaynaklara olumsuz etkiler ortadan kaldırılabılır (Çakır ve Helvacı 2016).

#### **2.3.4. İklima Etki**

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr hızlarına doğrudan etki eder. Rüzgâr hızı türbine geldikten önce ve sonrası arasında üçte ikilik değer kaybeder. Bu nedenle rüzgâr türbinlerinin İklima etkisi olduğu söylenebilir. Ancak bu etki ihmal edilebilecek kadar az seviyededir. İklimsel açıdan hava hareketliliğini sağlayacak rüzgâr hızları, rüzgâr türbini elektrik üretimi için yeterli değildir. Öte yandan yüksek rüzgâr hızlarının İklima olumsuz etki ettiği için frenlenmesi istenir. Rüzgâr türbinleri de bu konuda etkilidir. Bu nedenle, rüzgâr türbinlerinin İklima negatif etkide bulunduğu söylenemez (Anonim 2001).

#### **2.3.5. Elektromanyetik Alan Etkisi**

TV ve radyo alıcılarında parazite neden olurlar. Bu nedenle İngiltere başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde büyük rüzgâr türbinlerinin oluşturduğu çevre sorunları nedeniyle milli park alanlarının sınırları içine ve yakın çevresine kurulması yasaklanmıştır.

#### **2.3.6. Habitata Etki**

Türbinlerin kuş ölümlerine sebep olduğu savunulmaktadır. Ancak gözlemler, yerli kuşların zamanla türbinlere alıştıklarını gösteren hareketlerde bulduklarını söylemektedir. Bunun yanı sıra göçmen kuşlar, göçlerini en az 200 m yüksekten gerçekleştirir ve bu yükseklik çoğu türbinin erişemeyeceği kadar büyüktür. Bu veriler göz önüne alındığında rüzgâr türbinlerinin kuşlar için tehlikeli olmadığı düşünülebilir.

Ayrıca rüzgâr enerjisi ile büyük ölçülerde enerji üretimi, az da olsa rüzgâr hızının azalmasına sebep olur. Bu sebeple yakın bölgelerde bulunan göl yüzeilerindeki suların buharlaşması olumsuz yönde etkilenir. Bu durum göl sıcaklık seviyesini yükseltir (Kültür 2003).



### **2.3.7. Gürültü**

Gürültü, istenmeyen ses olarak tanımlanır. Gürültünün etkisi; gürültü kaynağı tipi, gürültü kaynağı uzaklığı, çevresel etkenler (rüzgâr, sıcaklık, nem vb.) gibi değişkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

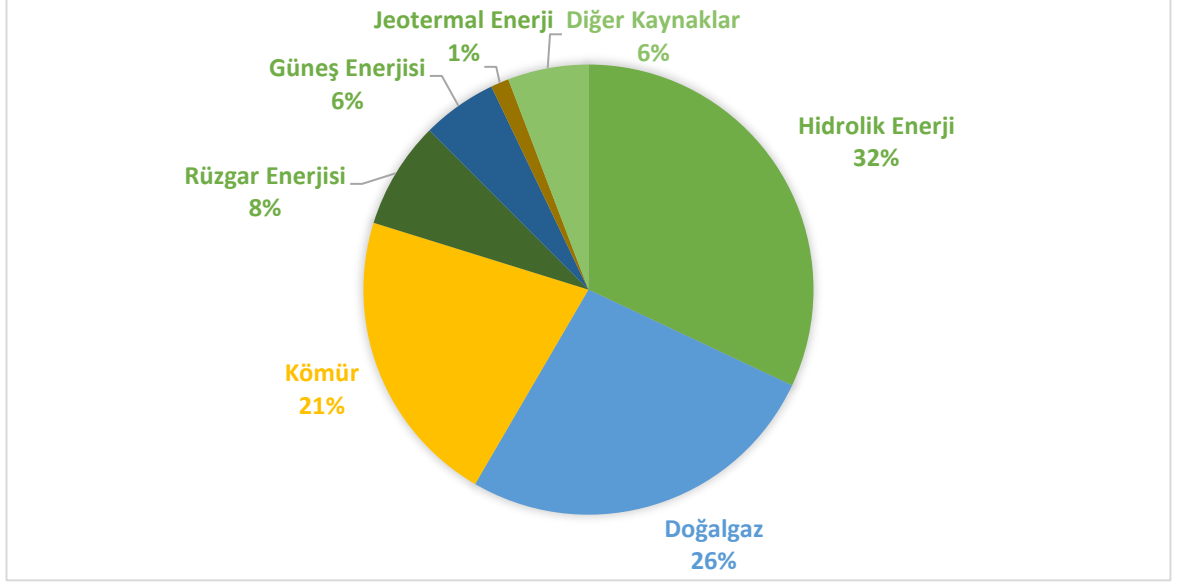
Gürültü, insanlar üzerinde konuşma ve duyma yetilerinin azalması, sinirlilik ve memnuniyetsizlik gibi çeşitli olumsuz etkiler oluşturabilmektedir.

Rüzgâr türbinlerindeki gürültü, genel olarak mekanik ve aerodinamik gürültü olmak üzere ikiye ayrılabilir. Mekanik gürültü; vites kutusundan, jeneratörden ve mil yatağından kaynaklı olabilir. Dönüşüm sistemi büyüklüğüne göre gürültü şiddeti de değişir. Aerodinamik gürültü ise rüzgârın türbin aksamalarına temasından kaynaklanır.

Güç değeri 1 MW'tan yüksek kapasiteli rüzgâr türbinleri ortalama 104 dBA ses seviyesine sahiptir. Bu seviyede başka bir gürültü kaynağı sisteme dahil edildiğinde ses seviyesi 3 dBA'lık artış gösterir. Ses seviyesi kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır. Endüstriyel ve kentsel alanda; çevredeki ses, türbin seslerini örter (Kültür 2003).

### **2.4. Türkiye'de Rüzgâr**

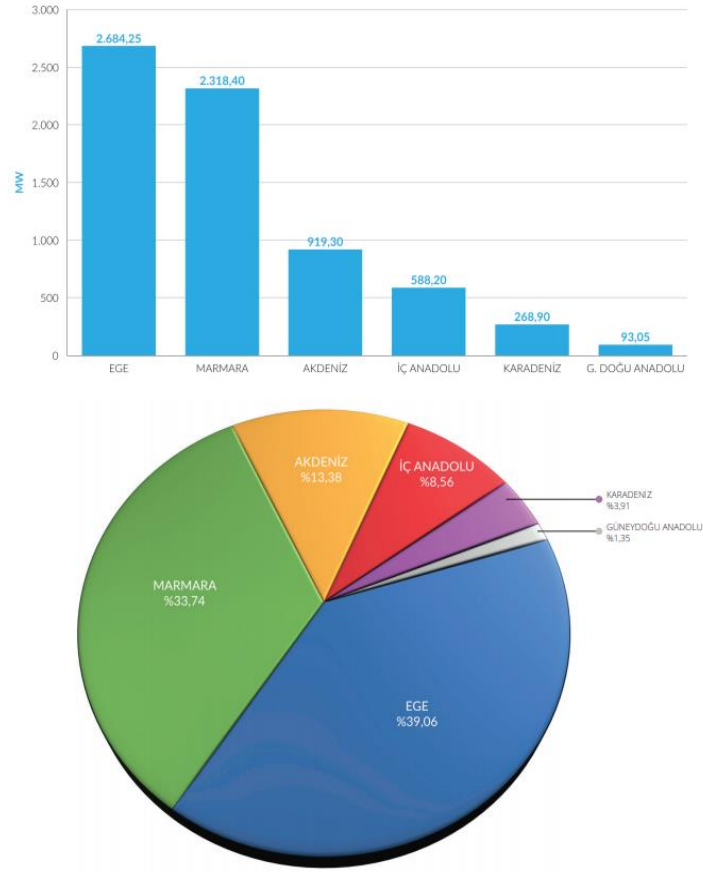
Türkiye, son yıllarda enerji üretiminin önemini anlamış ve bu alanda verimli çalışmalar gerçekleştirmiştir. 2018 yılı ilk yarısı itibarıyla ülkemizin elektrik üretimi amaçlı kurulu gücü 87 139 MW'a ulaşmıştır. 2018 yılı ilk yarısı sonunda elektrik üretimi amaçlı kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; %32,0'ı hidrolik enerji, %26,4'ü doğal gaz, %21,4'ü kömür, %7,7'si rüzgâr, %5,4'ü güneş, %1,3'ü jeotermal ve %5,8'i ise diğer kaynaklar şeklindedir (Şekil 4). Ayrıca Türkiye elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2018 yılı ilk altı ayında 6 886'ya (lisanssız santraller dâhil) ulaşmıştır. Mevcut santrallerin 5 422 adedi güneş, 636 adedi hidroelektrik, 303 adedi doğal gaz, 232 adedi rüzgâr, 41 adedi kömür, 40 adedi jeotermal, 212 adedi ise diğer santrallerdir (Anonim 2018a).



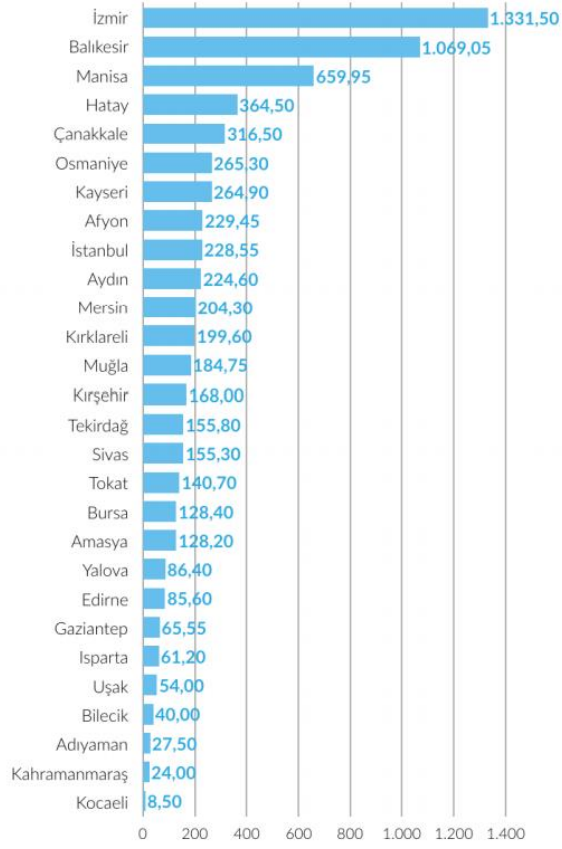
**Şekil 4.** Türkiye’de elektrik üretimi amaçlı kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı (Anonim 2018a)

Çevresel avantajları ve enerji ekonomisi açısından pek çok ülke, resmi teşviklerle rüzgâr enerjisini desteklemektedirler. Bu teşviklerdeki amaç, günümüzde fosil yakıtların sahip olduğu üstünlüğü ve çevre sorunlarının elektrik üretimi ile ilgili sebeplerini ortadan kaldırmaktır. Dünyada rüzgâr santrallerinin kurulu gücü artışı oldukça hızlıdır. Dünya rüzgâr enerjisi birliği raporuna göre, dünyadaki toplam rüzgâr santralleri kurulu gücü; 1997 yılında 7 600 MW iken, sonraki yıllarda hızla artış göstererek 2009 yılında 159 000 MW, 2013 yılında 318 137 MW ve 2016 yılında 486 750 MW ‘a ulaşmıştır (Temiz 2010, Anonim 2016).

Rüzgâr enerjisi Türkiye’de de yenilenebilir enerjiler arasında kendine ciddi bir pay bulmuştur. 1992 yılında rüzgâr enerji birliği kurulmasıyla Türkiye’de rüzgâr enerjisinin gelişimi başlamıştır. Türkiye’deki ilk rüzgâr santrali 1998 yılında İzmir-Alaçatı’da kurulmuştur. Bu rüzgâr santrali toplam 7,2 MW’lık güç değerine sahip türbinlerle enerji üretimine başlamıştır. Ardından Türkiye’de rüzgâr enerjisi çalışmalarına verilen önem giderek artmıştır (Şipar 2011). Ülkemizde bu konuda en çok yatırım yapılan bölge Ege bölgesidir. Ege bölgesi, iklimi ve coğrafi konumu bakımından önemli rüzgâr potansiyeli barındırmaktadır. Benzer iklime ve coğrafi şartlara sahip Marmara bölgesi ise Türkiye’de en çok yatırım yapılan ikinci bölgedir (Şekil 5 ve 6).



**Şekil 5.** Türkiye’de işletmedeki rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı (Anonim 2018b)



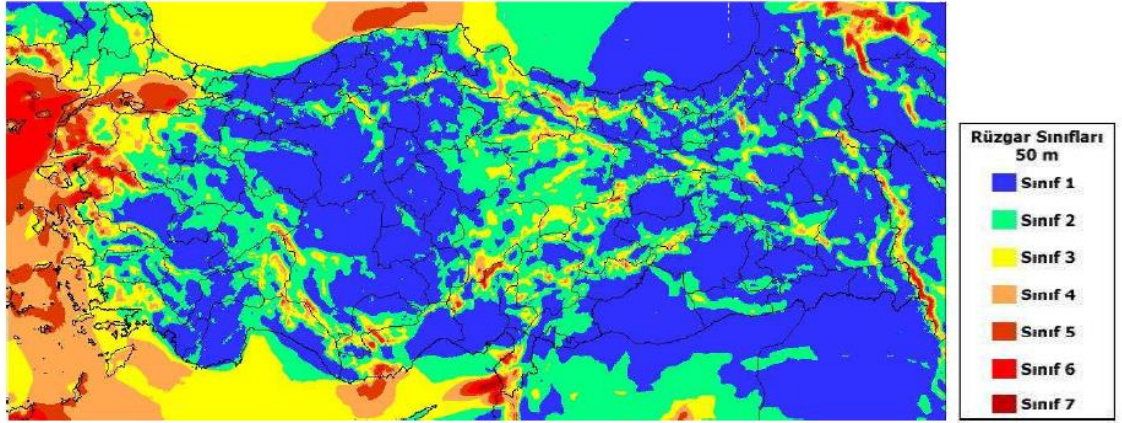
**Şekil 6.** Türkiye’de işletmedeki rüzgâr enerji santrallerin illere göre güç (MW) dağılımı (Anonim 2018b)

#### 2.4.1. Türkiye’de Rüzgâr Potansiyeli

Rüzgâr hız-güç sınıfları Çizelge 2’de verilmiştir. REPA’dan alınan bilgiler eşliğinde, Türkiye Rüzgâr Potansiyeli Şekil 7’deki haritada gösterilmiştir (Anonim 2018c).

Çizelge 2. Rüzgâr hız-güç sınıfları (Malkoç 2008)

Rüzgâr kaynak derecesi	Rüzgâr sınıfı	50 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s)	50 m yükseklikteki güç yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )
Zayıf	1	< 5,5	< 200
Düşük	2	5,5-6,5	200-300
Orta	3	6,5-7,0	300-400
İyi	4	7,0-7,5	400-500
Harika	5	7,5-8,0	500-600
Mükemmel	6	8,0-9,0	600-800
Sıradışı	7	> 9,0	> 800



Şekil 7. Türkiye rüzgâr atlası rüzgâr hız-güç yoğunluğu haritası (Malkoç 2008)

Türkiye rüzgâr gücü ve toplam rüzgâr potansiyeli Çizelge 3'te gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre rüzgâr kaynak derecesi orta seviyede olan rüzgâr hız-güç değerlerinin Türkiye rüzgâr potansiyelini büyük oranda temsil ettiği görülmektedir.

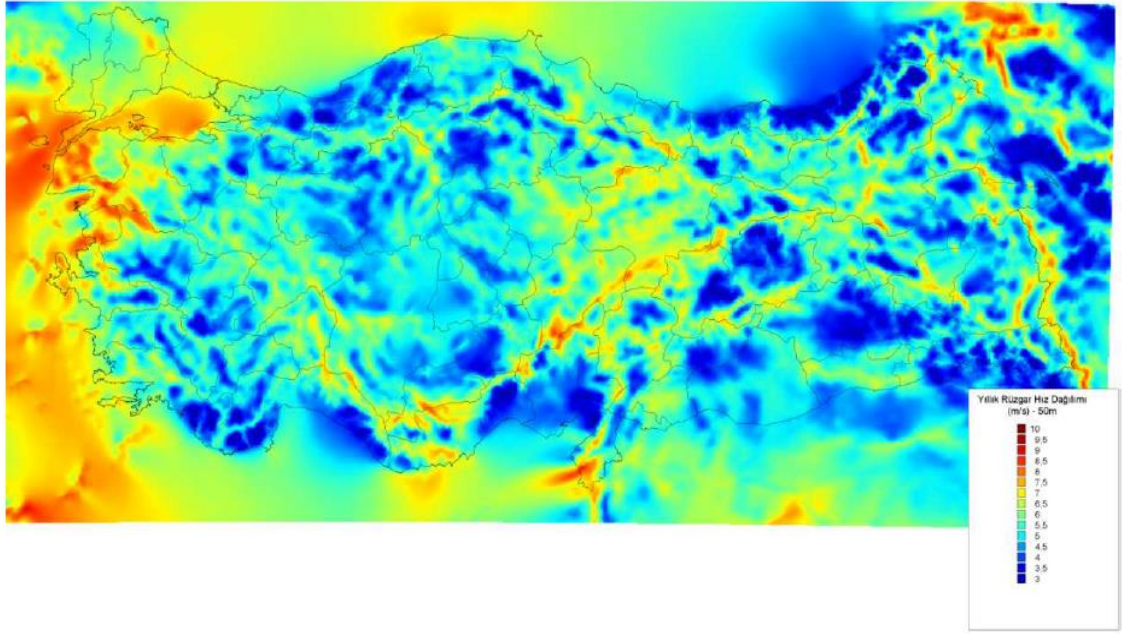
**Çizelge 3.** Türkiye rüzgâr gücü ve toplam rüzgâr potansiyeli (Malkoç 2008)

<b>Rüzgâr Kaynak Derecesi</b>	<b>Rüzgâr Sınıfı</b>	<b>50 m'de Rüzgâr Gücü (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>50 m'de Rüzgâr Hızı (m/s)</b>	<b>Toplam Alan (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Rüzgârlı Arazi Yüzdesi</b>	<b>Toplam Kurulu Güç (MW)</b>
<b>Orta</b>	3	300-400	6,5-7,0	16 781,39	2,27	83 906,96
<b>İyi</b>	4	400-500	7,0-7,5	5 851,87	0,79	29 259,36
<b>Harika</b>	5	500-600	7,5-8,0	2 598,86	0,35	12 994,32
<b>Mükemmel</b>	6	600-800	8,0-9,0	1 079,98	0,15	5 399,92
<b>Sıradışı</b>	7	>800	>9,0	39,17	0,01	195,84
<b>4-5-6-7 Rüzgâr Sınıfı Toplamı</b>				9 569,89	1,3	47 849,44
<b>3-4-5-6-7 Rüzgâr Sınıfı Toplamı</b>				26 351,28	3,57	131 756,40

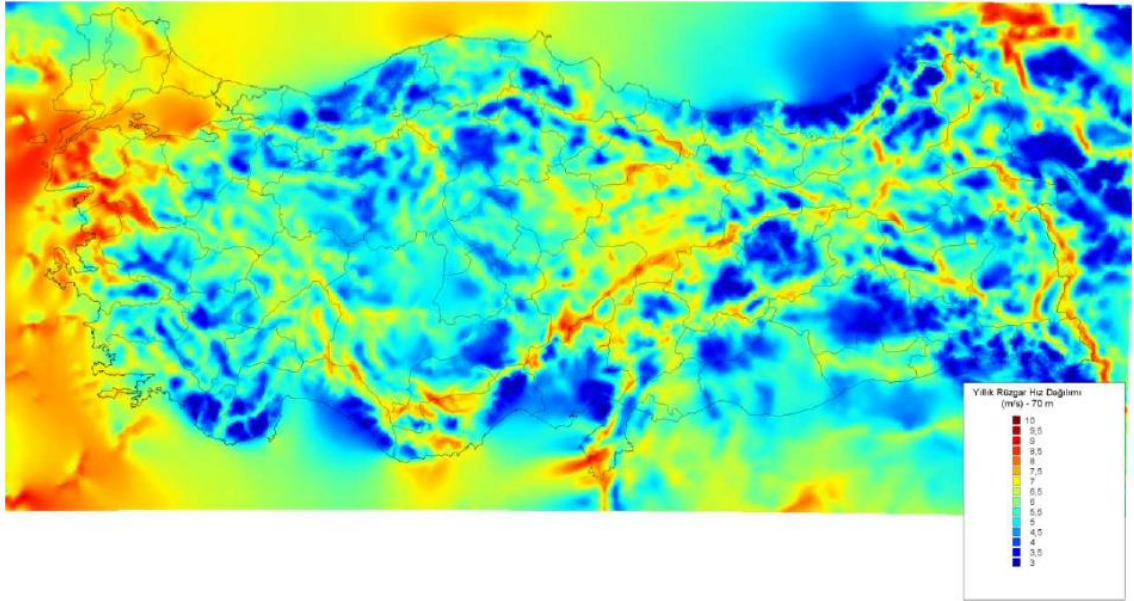
#### **2.4.2. Türkiye Rüzgâr Potansiyeli Atlası**

REPA, Türkiye coğrafyasının tüm kara ve deniz alanlarını kapsayacak şekilde üç ayrı nümerik hava analiz modelinin uzun yıllara ait gerçekleşmiş meteorolojik parametrelerle geriye doğru çalıştırılması sonucu üretilmiş, 200 m x 200 m çözünürlüğe sahip ileri tekniklerle gerçekleştirilmiş bir rüzgâr atlasıdır. Bu çalışmanın asıl amaçlarından biri de rüzgâr enerjisi alanında yatırım yapmak isteyen yatırımcıların rüzgâr kaynak bilgilerine ulaşımını kolaylaştırmaktır. Bu sistemin hem zaman hem de maddi tasarruf sağlayacağı düşünülmüştür (Anonim 2018c).

Türkiye rüzgâr atlasının oluşturduğu haritalardan bazıları Şekil 8-9-10'da verilmiştir.

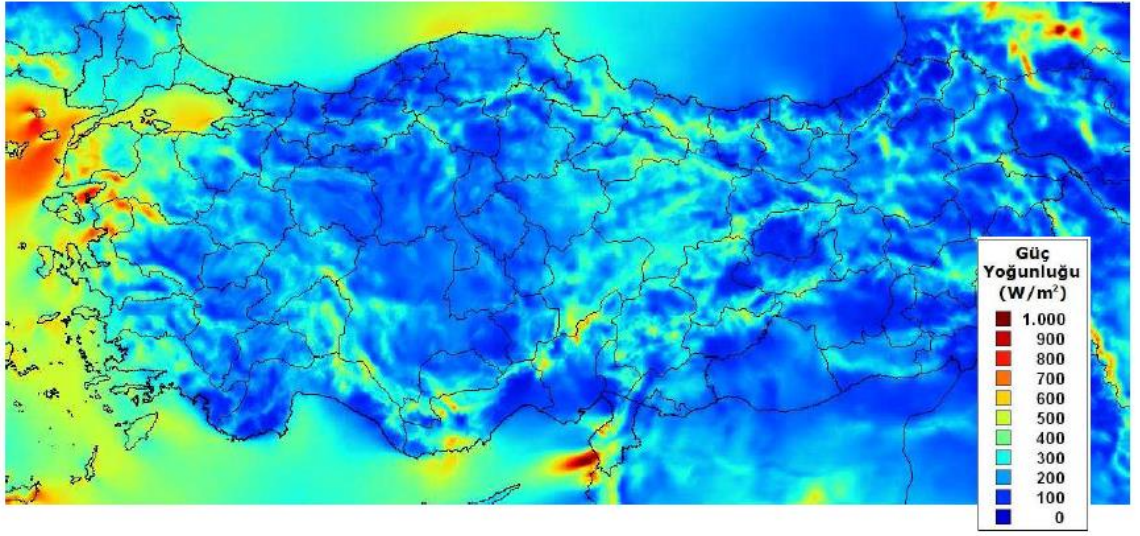


Şekil 8. Türkiye rüzgâr hızı atlası- 50 m (Malkoç 2008)



Şekil 9. Türkiye rüzgâr hızı atlası- 70 m (Malkoç 2008)

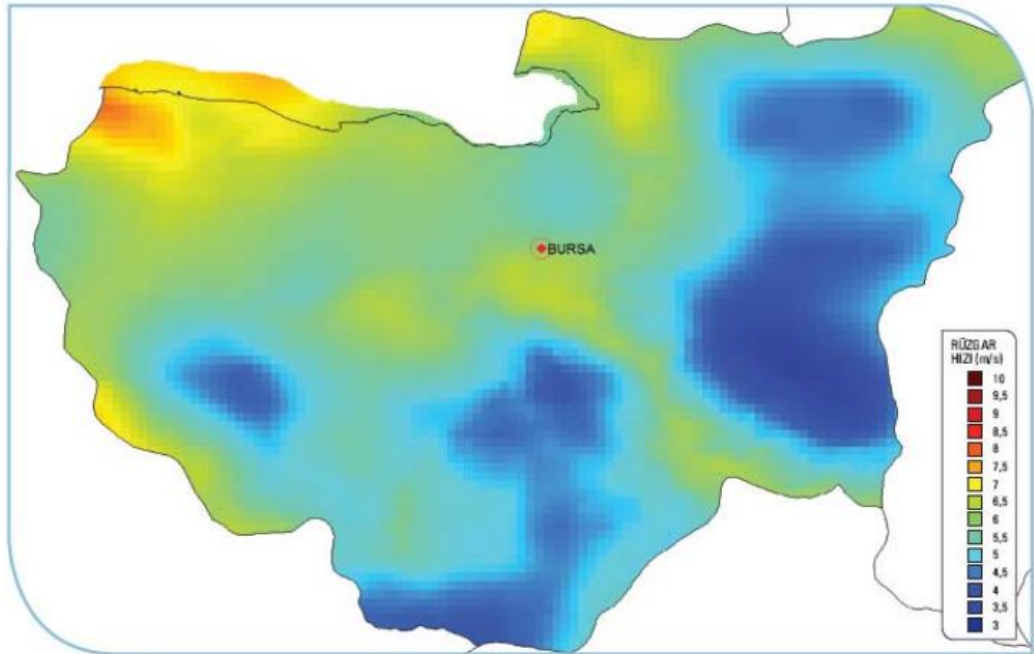




Şekil 10. Türkiye rüzgâr güç yoğunluğu atlası- 50 m (Malkoç 2008)

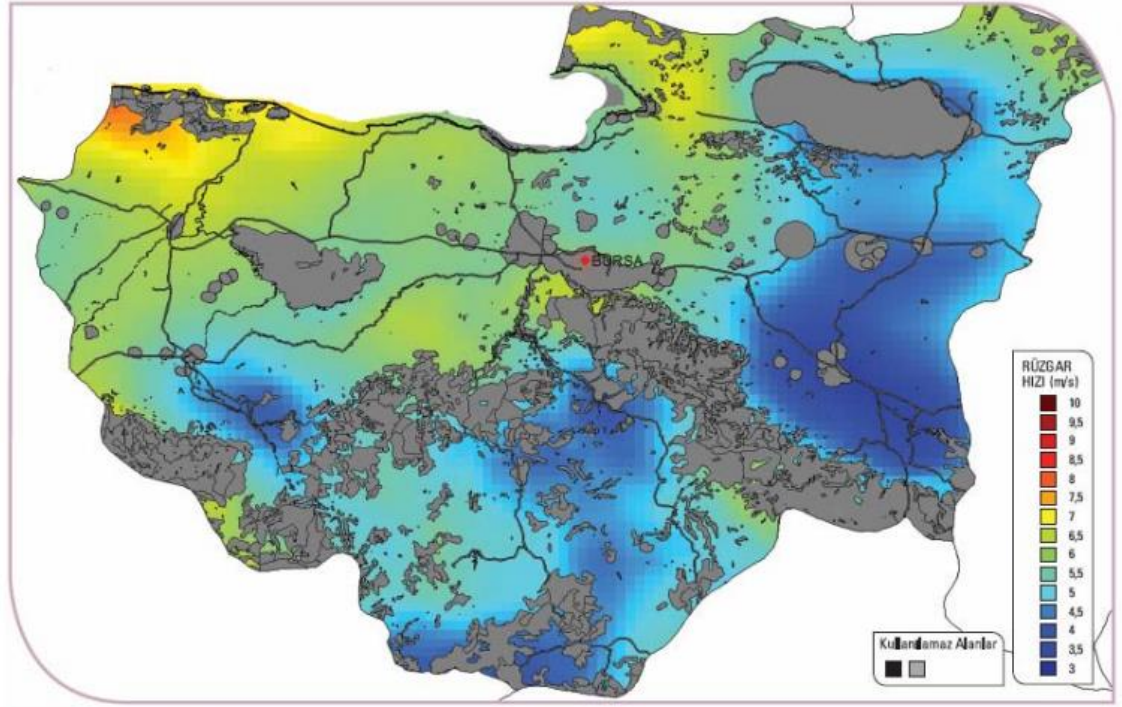
## 2.5. Bursa'da Rüzgâr Enerjisi

Bursa ili rüzgar potansiyeli açısından incelenmek istendiğinde Şekil 11 ve 12'den yararlanılabilir.



Şekil 11. Bursa 50 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s) dağılımı (Anonim 2019b)



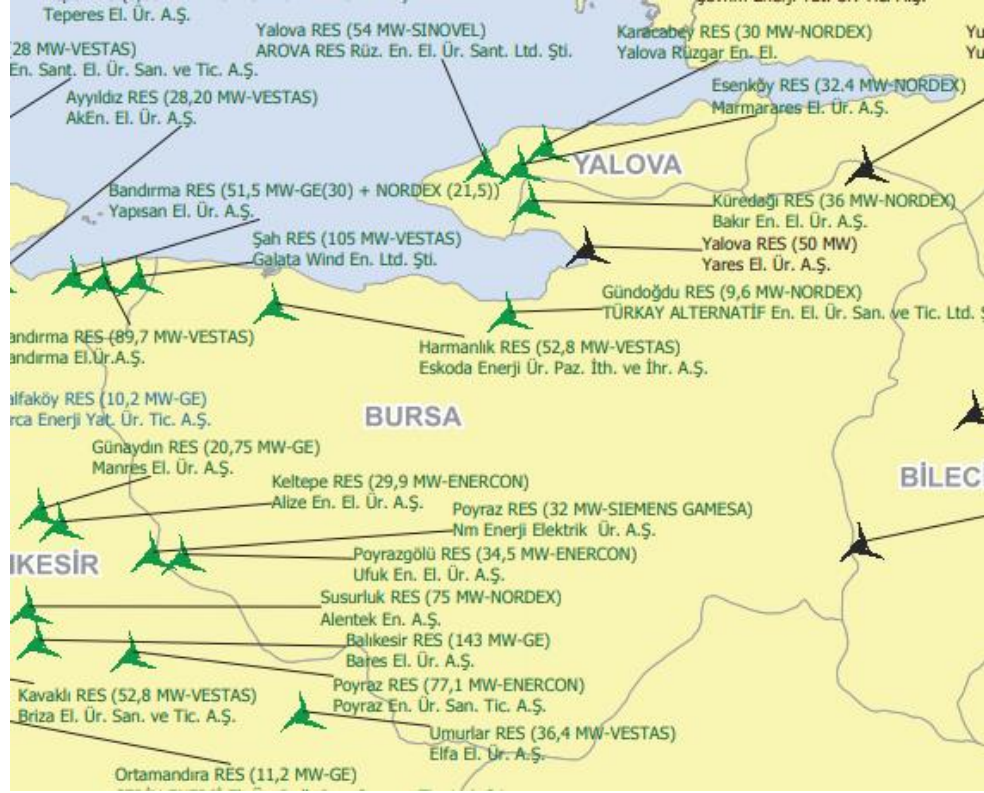


**şekil 12.** Bursa rüzgâr enerjisi santrali kurulabilir alanlar (Anonim 2019b)

**Çizelge 4.** Bursa iline kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali güç kapasitesi (Anonim 2019b)

50 m'de Rüzgâr Gücü (W/m <sup>2</sup> )	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam alan (km <sup>2</sup> )	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 - 400	6,8 - 7,5	683,60	3418,00
400 - 500	7,5 - 8,1	85,22	426,08
500 - 600	8,1 - 8,6	5,23	26,16
600 - 800	8,6 - 9,5	2,29	11,44
> 800	> 9,5	0,00	0,00
		<b>776,34</b>	<b>3881,68</b>

Bursa sınırları içinde Küredağı RES (36 MW), Gündođdu RES (9,6 MW), Harmanlık RES (52,8 MW), Poyrazgölü RES (34,5 MW) olmak üzere 4 adet işletmede olan ve Yalova RES (50 MW) olmak üzere 1 adet lisanslı RES bulunmaktadır (şekil 13).



Şekil 13. Bursa kurulu rüzgâr türbinleri atlası (Anonim 2018b)

## 2.6. Su Pompaları

### 2.6.1. Sulama

Tarımda yüksek nitelik ve nicelikte ürün geliştirilmesinin en büyük etkeninin sulama olduğu söylenebilir. Sulamanın amacı; bitkilerin gelişme dönemlerinde doğal yollarla karşılayamayıp, ihtiyaç duyduğu suyun yeterli miktarda ve zamanında yapay yollarla sağlanmasıdır.

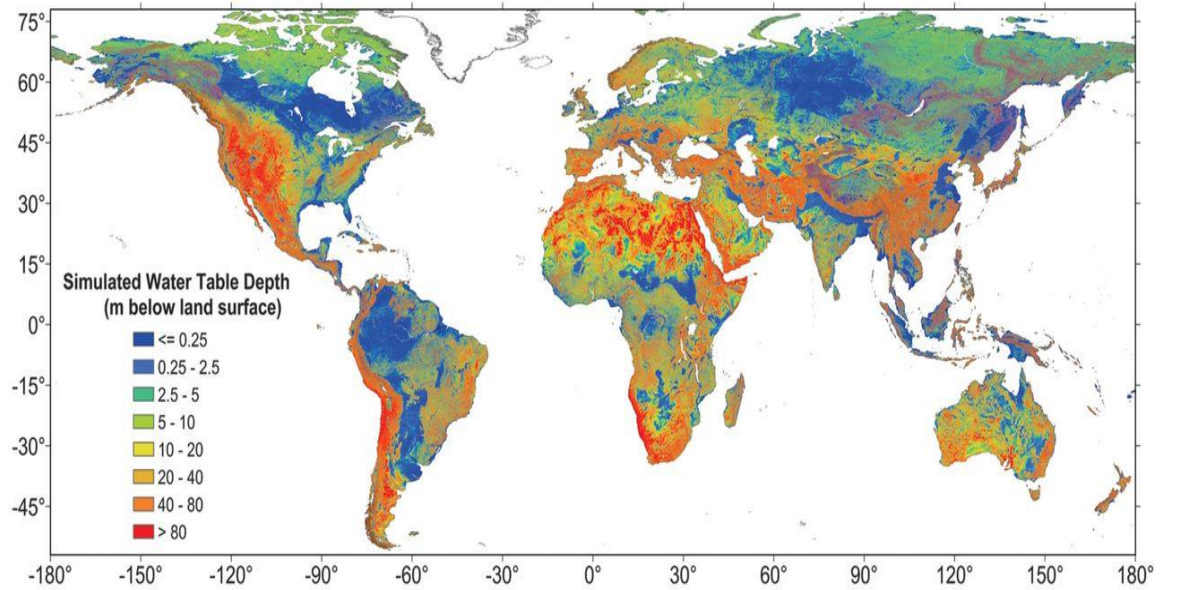
Doğal yollarla iletilen su kaynaklarının yetersiz olduğu ya da iletimin ekonomik olmadığı koşullarda yeraltı su kaynaklarından yararlanılmaktadır. Yeraltı su kaynakları doğrudan sulama için kullanılabilir gibi kullanım alanından daha yüksek bir alanda depolanıp sonrasında da kullanılabilir. Bu gibi durumlarda ve bunun yanı sıra basınçlı sulama sistemlerinde pompaj tesisleri kullanılır. Pompaj tesisleri, pompa ve motor gibi enerji dönüştüren ve boru hattı gibi enerji yutan mekanik sistemleri içerir.

Sulama suyunun çok daha efektif kullanılabilmesi için basınçlı sulama sistemi kullanmak şarttır. Ancak basınçlı sulama sistemlerinin enerji masrafının fazla olması, bu sistemlerin kullanılmasında ki en büyük kısıtlayıcı etkidir (Çalışır ve Eryılmaz 2005, Çalışır 2008, 2010).

## 2.6.2. Yeraltı Suyu

Genellikle yağış olarak yeryüzüne düşen veya yeryüzünde bulunan suların, yerçekimi etkisi ile yeraltına sızıp, yüzeyin alt katmanlarında birikmesiyle yeraltı suları meydana gelir. Yeraltı suları akışkan ya da durağan halde bulunabilmektedirler. Bu suların en büyük beslenme kaynağı yağışlardır. Yüzeyin eğimine, bitki örtüsüne ve su geçirgenliği özelliklerine göre yeraltı suyunun miktarı ve yeryüzüne yakınlık derecesi belirlenmektedir. Bu kaynaklar şehir, havza ve sanayi tesislerinin su ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar.

Türkiye yeraltı suyu bakımından zengin bir ülkedir. Ancak yeraltı sularının işletilebilmesini etkileyen en önemli faktör; kaynağın yüzeye olan yakınlığıdır. Türkiye’de ortalama yeraltı suyu derinliği, Şekil 14’te de görülebileceği üzere 40 ile 80 metre arasında değişmektedir (Anonim 2013).

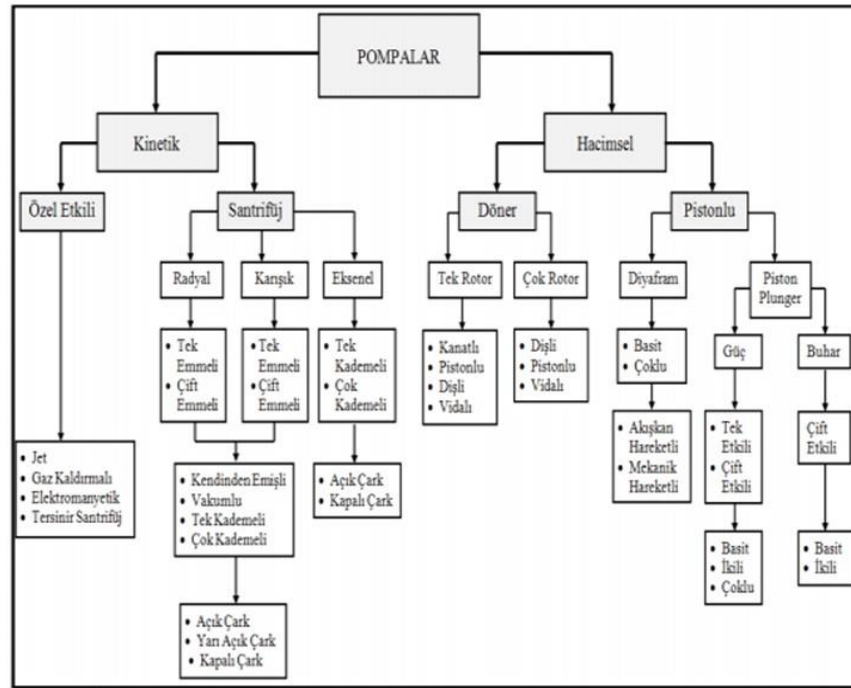


Şekil 14. Dünya yeraltı suyu derinliği tablosu (Anonim 2013)

### 2.6.3. Pompalar ve Sınıflandırılması

Pompalar, sıvıların potansiyel enerjisini kinetik enerjiye çeviren makinelerdir. Pompa içinden geçen akışkana, tahrik motoru vasıtasıyla mekanik enerji aktarılır. En genel tanımla pompalar akışkanların bir konumdan başka bir konuma ulaşması için, sıvı basıncını ve toplam enerjisini artırır.

Pompalar çeşitlidir ve farklı biçimlerde sınıflandırılabilirler. Şekil 15’de de aktarıldığı gibi pompaları iki genel başlıkta sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 15. Pompa çeşitleri ve alt grupları (Şahin 2007)

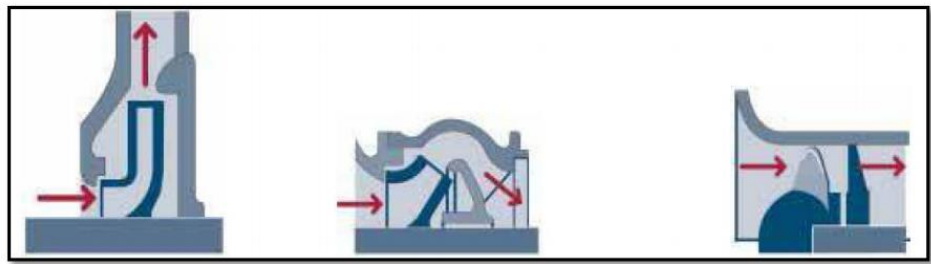
Pompalar iki ana gruba ayrılabilir. Bunlardan biri hacimsel (pozitif yer değiştirmeli) ve bir diğeri kinetik (rotodinamik) pompalardır. Hacimsel pompalar, kapalı hacimdeki bir sıvının bulunduğu hacmin daraltılmasıyla statik basıncının artırılması prensibine göre çalışırlar. Devirleri düşüktür ve sürekli çalışabilirler.

Kinetik (rotodinamik) pompalarda ise sıvıya çarkta bulunan kanatlar aracılığıyla hız kazandırılarak basınç artışı sağlanır. Bu sistemde akışkan hareketi kesikliden ziyade sürekli dir. Ayrıca bu sistemlerin hacimsel pompaların aksime devirleri yüksektir (Şahin 2007).

#### 2.6.4. Dalgıç Pompalar

Çoğu coğrafik bölgede yeraltı kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynakların akışkan olanlarına petrol, sıcak veya soğuk su örnekleri verilebilir. Bu kaynaklardan yararlanmada birden fazla yöntem kullanılabilir. Ancak günümüzde en verimli sonuç sağlayan yöntem uygun derinlikte kuyular açılarak, kuyu diplerinde kullanılan pompalar aracılığı ile suyu istenilen düzleme çıkarmaktır. Bu şekilde çalışan pompalara, *dalgıç pompa* adı verilir. Dalgıç pompalar esasen, çok kademeli karışık akışlı santrifüj pompanın suya dayanıklı bir elektrik motoru ile birleştirilerek oluşturulan özel bir pompa çeşididir (Yalçın 1998).

Radyal akışlı santrifüj pompalarda akışkan, pompaya dönen milin eksenine ile aynı doğrultuda girer ve pompa gövdesinin dış çapı boyunca radyal olarak terk eder. Eksenel akışlı santrifüj pompalarda akışkan, eksenel olarak pompa gövdesine girer ve çıkar. Karışık veya karma akışlı santrifüj pompalarda ise akışkan pompaya eksenel olarak girer, çıkışta ise radyal ile eksenel arasındaki bir açı ile pompayı terk eder (Şekil 16).



Şekil 16. Santrifüj pompa çeşitleri (Anonim 2008)

Kullanıldıkları yer ve amaçlara doğrultusunda bu pompalar şu şekilde özetlenebilir;

Radyal pompalar; işletme hızı ve debisi düşüktür. Yüksek basınç gerektiren yerlerde kullanılırlar.

Eksenel pompalar; basınç düşük, debi yüksektir. Yüksek debi gerektiren yerlerde kullanılırlar.

Karışık akışlı pompalar; hem debi hem de basınç için orta değerdedir.

Dalgıç pompalar genellikle sulama sistemleri, su temini, ısı pompası uygulamaları ve yeraltı su seviyesi kontrolündeki az kirli ya da temiz sulara enerji kazandırmak için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra fiskiyeler ve süs havuzlarında da bu pompalar kullanılabilir.

Dalgıç pompaların en verimli kullanıldıkları yerlerin başında tüneller ve çapı küçük derin kuyular gelmektedir. Bakım gerektirmemesi ve sadece suya daldırma şartı gibi basit kullanım talimatları bulunması nedeniyle kullanımları nispeten kolaydır. Üstelik pompanın tümüyle sıvı içinde olması gürültü ve titreşimi minimuma indirerek iletim açısından avantaj sağlar. Ayrıca pompa çalışma konumu nedeniyle kullanıcı müdahale edemez ve bu durum kullanıcı kaynaklı hataları en aza indirir (Anonim 2011).



## 2.7 Kaynak Araştırması

Engin (2004) tarafından yapılan bu çalışmada, güneş-rüzgâr enerjisinden oluşan hibrid enerji üretim sistemine bağlanacak su pompalama sisteminin simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonlar MATLAB Simulink programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Pompalanacak suyun derinliği 60 metredir ve simülasyon için SHURflo firması ürünü 9300 serisi 24 Voltluk DC dalgıç pompa kullanılmıştır. Üretilen suyun %72,8'i PV panelden üretilen elektrik ile %27,2'si ise rüzgâr türbininden üretilen elektrik enerjisi ile pompalanmıştır. Kullanılan enerjinin birim fiyatı 0,68 \$/kWh olarak hesaplanmıştır (sistem kullanım ömrü 20 yıl kabul edilmiştir). Simülasyon sonucunda hesaplanan hibrit sistemi, mart ayından ekim ayına kadar günde 1 m<sup>3</sup> su pompalayabilmektedir. Pompalanan suyun sulama kaynağı olarak tarımda kullanılması hedeflenmiştir.

Parigi ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, Nebraska'da (ABD) sulama uygulamaları için rüzgârın kullanımı araştırılmıştır. 3 farklı güçte türbinin baz alındığı çalışmada 30 kW, 30 x 30 kW ve 100 kW güç değerine sahip türbinler ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Üretilen fazla elektriğin şebekeye satılması için de bir yapı oluşturulmuştur. Bu sistemler karşılaştırıldığında Nebraska merkez bölgesi için en düşük maliyetin 100 kW güç değerine sahip rüzgâr türbini ile sağlanabilmekte olduğu bulunmuştur. Bunun yanı sıra petrol bazlı yakıtlar yerine 100 kW güç değerine sahip bir rüzgâr türbini kullanılması durumunda 25,7 ton/yıl CO<sub>2</sub> gazının doğaya salınımının engellenmiş olacağı hesaplanmıştır.

Uçar ve Balo (2010) tarafından Türkiye'nin 12 ayrı bölgesi için yapılan potansiyel ve fizibilite çalışmalarında, 600 kW, 1 500 kW, 2 000 kW ve 2 500 kW güç değerine sahip dört rüzgâr türbinine göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre Balıkesir ve Çanakkale'nin ortalama yıllık rüzgâr hızı sıralamasında ilk iki sırada olduklarını tespit edilmiştir. En yüksek rüzgâr hızı ağustos ayında 8,35 m/s ile Balıkesir ilinde ölçülmüştür. Ocak ayında ise 1,4 m/s ile en düşük rüzgâr hızı Bartın ilinde ölçülmüştür. Ayrıca Akdeniz bölgesindeki şehirlerin yıllık ortalama rüzgâr hızı 6,37 m/s ile 7,12 m/s arasında değişirken, Karadeniz bölgesindeki şehirlerin yıllık ortalama rüzgâr hızı 5,31 m/s ile 7,59 m/s arasında değişmektedir. En yüksek yıllık ortalama güç yoğunluğu Balıkesir'de ağustos ayında 1 257 W/m<sup>2</sup>, en düşük ortalama güç yoğunluğu değeri ise ocak ayında

Bartın için  $7,01 \text{ W/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Balıkesir istasyonunda  $2\ 500 \text{ kW}$  güç değerine sahip rüzgâr türbini için maksimum enerji çıktısı bulunurken, Bartın'da  $600 \text{ kW}$  (Suzlon S52) güç değerine sahip rüzgâr türbini için minimum enerji çıkışı elde edilmiştir.

Genç (2011) çalışmasında, rüzgâr türbini ve dizel su pompalama sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliğinin bir karşılaştırması yapmıştır. Çalışma, Türkiye'nin kuzeyinde seçilen beş bölge (Çorum, Sivas, Yozgat, Sinop ve Boğazlıyan) ve 8 farklı rüzgâr türbini için yapılmıştır. Hesaplamalarda en yüksek rüzgâr gücü 2000 yılında  $126,1 \text{ W/m}^2$  ile Sinop'ta hesaplanırken, en düşük rüzgâr gücü 2002 yılında  $6,4 \text{ W/m}^2$  ile Sivas'ta hesaplanmıştır. En yüksek elektrik üretimi  $40 \text{ m}$  göbek yüksekliğine sahip  $300 \text{ kW}$ 'lık rüzgâr türbini ile  $131\ 841 \text{ kWh/yıl}$  olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte en düşük maliyetli su transferi, Sinop'ta uygulanan  $40 \text{ m}$  göbek yüksekliğine sahip türbin baz alındığında  $3,70 \text{ \$/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. En düşük maliyetli su transferi, Sivas'ta uygulanan  $18 \text{ m}$  göbek yüksekliğine sahip türbin baz alındığında ise  $2\ 672,3 \text{ \$/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

Rehman ve Şahin (2012), Suudi Arabistan'da şehir şebekesine bağlı olmayan ve küçük çaplı rüzgâr türbininden yararlanan su pompalama sisteminin kullanılması konusunu araştırmışlardır. Çalışmada,  $1\text{-}10 \text{ kW}$  rüzgâr türbinleri ve Gould 45J modeli su pompası kullanılmıştır. Rüzgâr türbini olarak belirlenen yörede yapılan çalışmalarda iklim ve mevsim değerleri de göz önünde bulundurularak  $40 \text{ m}$  göbek yükseklikli  $2 \text{ kW}$  güç değerine sahip rüzgâr türbinine karar verilmiştir. Bu bağlamda  $50 \text{ m}$  derinlikten çıkarılabilecek yıllık toplam su pompalama kapasitesi  $30\ 000 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Araştırmada maliyetin  $1,28 \text{ US\$/m}^3$  den daha az olacağı belirtilmiştir.

Gopal ve ark. (2013) yaptıkları araştırmada, yüzden fazla yayınlanmış araştırmayı inceleyerek bu araştırmaları beş ana grupta kategorize etmişlerdir;

- Yenilenebilir enerji kaynakları ile su pompalama sistemleri (YEKSPS),
- Rüzgâr enerji kaynakları ile su pompalama sistemleri (REKSPS),
- Güneş ve termal enerji kaynakları ile su pompalama sistemleri (GTEKSPS),
- Biyokütle enerji kaynakları ile su pompalama sistemleri (BEKSPS),
- Hibrit enerji kaynakları ile su pompalama sistemleri (HEKSPS).



Bu sistemlerin geleneksel enerji kaynaklarının kullanımının ve çevresel zararlarının azaltılmasında hayati bir yere sahip olduğu vurgulanmıştır. Bu sistemlerin en verimlisi HEKSPS, en geniş kullanılanı GTEKSPS ve ikinci en geniş kullanılanı ise REKSPS olduğu belirtilmiştir.

Dıaz-Mendez ve ark. (2014) tarafından yapılan; İspanya, Küba ve Pakistan'daki ticari seralarda sulama suyunun pompalanması için enerji sağlamak amacıyla, rüzgâr pompası teknolojisinin ekonomik fizibilitesini, fotovoltaik pompalamayı, dizel jeneratörleri ve elektrik şebekesine bağlantısını karşılaştırmak için basit bir metodoloji kullanılan projede, sistemin şebeke tarafından elektriksel olarak desteklenmesi ve şebeke imkanları incelenmiştir. Ortalama rüzgâr hızındaki %10'luk bir artışın, maliyet geri dönüşü açısından şebekeye olan mesafedeki %20'lik bir azalmaya eşit olduğu belirtilmiştir. Bu veriye de bağlı olarak değerlendirildiğinde, İspanya'daki şebeke imkânları sayesinde İspanya, sistemin en verimli uygulanabileceği yer olarak hesaplanmıştır. Kıt rüzgâr kaynaklarının Pakistan'ı sınırlayıcı faktörlerden olduğu da belirtilirken, Küba'nın rüzgâr kaynaklarının yeterliliği de ortaya konulmuştur.

Amar (2014) bu çalışmasında, güney Tunus'ta su pompalamak için rüzgâr enerjisi kullanımının gelişimini incelemiştir. Seçilen sekiz bölgeden elde edilen sonuçlar, tarım alanlarının, rüzgâr pompalama sistemleri ile sulanmasının yeterli bir çözüm olduğunu göstermektedir. Nitekim, beş yıl boyunca (2004-2009) meteorolojik ölçümlere dayanarak, seçilen bölgelerdeki rüzgâr kaynaklarının analizi, güney Tunus'un çok değişken rüzgâr potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu sahalardaki ortalama rüzgâr hızları genellikle 3 m/s'yi aşmaktadır. Mevcut rüzgâr enerjisi, 300 ila 2 000 kWh/m<sup>2</sup>/yıl arasında değişmektedir. SEN 5000 P8 çok kademeli rüzgâr türbini kullanılarak yapılan mekanik rüzgâr pompalama sistemi çalışmasında ifade edilen bazı sonuçlar aşağıdaki verilmiştir:

Pompalama sisteminin küresel verimliliği bir bölgeden diğerine değişmekle birlikte az rüzgârlı bölgede (Mednine) en yüksek değerine çıkarken çok rüzgârlı bölgede (Kebili) ise düşüktür.

Pompalanan yıllık su hacmi: Elborma'da yılda 47 793 m<sup>3</sup>/yıl (31,4 m<sup>3</sup>/gün) olabilmekte ve rüzgârlı bölgelerde ise yaz boyunca 14 500 m<sup>3</sup> değerini aşabilmektedir.

Akın ve Kara (2015), Bursa Gemlik ilçesi Ata bölgesi için Rüzgâr potansiyeli adına bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada son on yılda daha da çok artış gösteren rüzgâr enerjisinden verimli yararlanmanın, Türkiye'yi rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi yatırımlarına teşvik ettiğini belirtmişlerdir. Bu teşviklerle de Türkiye'nin, enerjisi konusunda dışa bağıllığının azalacağı ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada kayda değer rüzgâr potansiyeli bulunan ancak hiç rüzgâr enerjisi santraline sahip olmayan Gemlik Ata bölgesi için fizibilite çalışması yapılmıştır. Windsim yazılımına uygulanan Gemlik rüzgâr verileri ile; yıllık enerji üretimi ve kapasite faktörü hesaplanmıştır. Çalışma; bu bölgede 2 MW güç değerine sahip 5 adet Vestas V90 rüzgâr türbini ile 40 GWh/yıl enerji üretimi kapasitesine sahip bir ekonomik rüzgâr enerjisi santralinin kurulmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

Campana ve Yan (2015) tarafından Çin'de rüzgâr enerjisi ile su pompalanması ve fotovoltaik güneş panelleri ile su pompalamasının karşılaştırdığı çalışmada, iki kaynağında mevcut su pompalama için kullanılan enerji kaynaklarından daha iyi birer alternatif oldukları belirtilmiştir. Bunun yanı sıra yapılan dinamik simülasyonlar eşliğinde fotovoltaik güneş panelleri ile suyun pompalanmasının rüzgâr enerjisi ile suyun pompalanmasına göre tüm iklim koşullarında daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

Ouachani ve ark. (2016) tarafından İtalya'da yapılan çalışmada, bir rüzgâr türbini ve fotovoltaik panellerin kullanıldığı bir hibrit sistemle, yeraltı suyunun yüzeye pompalanmasının algoritması incelenmiştir. Sistemi oluşturan çeşitli unsurların modellenmesinden sonra, üç algoritma öne çıkmıştır. Bunlar; TOR, Fuzzy Logic ve Genetics Algorithms'dir. Bu algoritmalar bataryalar ve farklı enerji kaynaklarının yerel mikrogrid ile olan bağlantısına karar vermek için incelenmiştir. Analizler matlab/simulink programları ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, TOR ve Fuzzy Logic algoritmalarından elde edilen sonuçların benzer olduğunu göstermektedir. Ancak Fuzzy Logic algoritmasında toplam rüzgâr gücü kullanılmaktadır.

Balcı ve Evren (2015) tarafından Karacabey tarımının kalkınması için yapılan araştırmada, Karacabey yöresinin; genelinde arazi ekiliş planlamasının olmadığı, çiftçinin devlet teşvik ve desteklerinden yararlanamadığı, tarımsal işletmelerin yararlanacağı tarımsal kooperatifler gibi tarımsal birimlerin örgütlenmemiş halde kaldığı gibi nedenlerle yüksek verim alınabilecek tarım alanlarının her geçen gün faaliyetini düşürmekte olduğu tespit edilmiştir.

Yine bu kapsamda kırsal kalkınmanın sağlanması için şu maddeler ortaya konulmuştur;

- Kırsal nüfus istihdamının artırılması
- Erozyonun önlenmesi
- Drenaj sorunlarının önlenmesi
- Yeraltı suları kirliliğinin önlenmesi
- Ar-ge çalışmalarının yürütülmesi
- Üretilen enerjinin hem kırsalda hem de ihracatta kullanımı
- Yağlı tohum yetiştirilmesinin artırılması
- Tarımsal ürün çeşitliliğinin artırılması

Röck (2017) tarafından yapılan çalışmada, 12 000 kişilik bir nüfusa sahip olan ve Almanya'da Baden-Württemberg eyaletinin kuzeydoğusunda bulunan Gaildorf kasabası için bir pilot proje düzenlenmekte olduğu aktarılmıştır. Bu projede toplam 16 MW'lık üretime sahip üç tersinir Francis makinesi tesiste temel bir unsurdur. Sistem pompalarla entegre çalışmaktadır. Üretilen enerji fazlalığı olduğunda, pompalama moduna geçilmekte ve su daha düşük bir rezervuardan rüzgâr kulelerinden daha yüksekte bulunan depolama havuzuna taşınmaktadır. Şebekedeki elektriğe olan talep artarsa, üst havuzdan tabana bir savak üzerinden su tahliye edilmekte ve pompa çarklarının hareket etmesine neden olmaktadır. Böylece elektrik üretilip, elektrik şebekesine verilmektedir.

Prabkeao ve Tantrapiwat (2018) tarafından Tayland'ın merkezi için yapılan bu çalışmada, ekim bölgesinin yıl boyunca sakin bir iklime sahip olduğunu belirlemişlerdir. En sık rüzgâr hızı yaklaşık 2 m/s değerinde gözlemlenmiştir. Bu düşük hızdaki rüzgâr seviyesi için çok kanatlı (Multi-blade) rüzgâr türbini seçilmiş ve pilot bir bölgeye kurulum

yapılmıştır. Sulama sistemi potansiyeli test edilmiş, maliyeti hesaplanmıştır. Buna göre sistemin kurulum maliyeti yaklaşık 6 280 dolar iken, 20 yıllık işletme bedeli yaklaşık 750 dolar olarak hesaplanmıştır. 20 yıllık toplam maliyet karşılaştırmasında ise rüzgâr türbin ile kurulan sistem yaklaşık 7 000 dolar, Elektrik motorlu sistem 6 500 dolar, dizel motorlu sistem yaklaşık 10 850 dolar olarak belirlenmiştir. Bu sistemler ortalama 2 m/s rüzgâr hızında ayda yaklaşık 432 000 litre su pompalayabilmektedir.

Bıldırçin (2018), Türkiye rüzgâr enerjisi kaynağının genel durumunu incelemiştir. Bu çalışmada, rüzgâr enerjisi sektörünün daha ileride olduğu ülkelerle kıyaslandığında Türkiye’de rüzgâr enerji sektörüne yönelik yasal düzenlemelerin daha geç şekillendiği tespit edilmiştir. Türkiye’de son yedi yıla bakıldığında rüzgâr enerjisi yatırımları diğer ülkeler ortalamasının üzerinde bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca rüzgâr enerjisinden yaygın yararlanan Marmara ve Ege bölgeleri haricindeki bölgelerde teşvik amaçlı avantajlı politikaların yürütülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra son yıllarda kurulmuş ya da kurulumu süren türbinlere bakıldığında, genelinin 3 MW ve üstü güç değerine olduğu ve bu gibi yüksek güçteki türbinlerde ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen sabit mıknatıslı jeneratörlerin kullanılması gerektiği bildirilmiştir.

Ayodele ve ark. (2018) tarafından yazılan makalede, şebeke dışı rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemi kullanılarak, Oyo eyaletinin 3 bölgesinde, seçilen bazı toplulukların su ihtiyacının karşılanmasının teknik, ekonomik ve çevresel faydaları sunulmaktadır. Çalışma, Nijerya Meteoroloji Ajansı, Oshodi, Lagos'tan elde edilen 16 yıllık (2000-2015) günlük ortalama rüzgâr hızı verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veriler, 10 m yükseklikteki bir anemometre ile gözlemlenmiştir ve türbin göbeği yüksekliğine göre hesaplanmıştır. Yerlerin su ihtiyacı Nijerya Nüfus Komisyonu'ndan elde edilen su tüketimi verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Sahaların rüzgâr enerjisi analizi, su pompalama uygulaması için rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla 2 parametrelili Weibull olasılık dağılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Komple sistem, pompaların enerji ihtiyacının, sahaların rüzgâr gücüne uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemin 20 yıllık kullanım ömrü boyunca yıllık kullanım ömrü ve kübik metrelik pompalanan su başına maliyeti değerlendirilmiştir. Sonuçlar, 3 bölgenin rüzgâr enerjisi yoğunluklarının 165,75 ile 207,2 W/m<sup>2</sup> arasında değiştiğini ve bölgelere ilişkin su ihtiyacının 1 987

$m^3/gün$  ile  $2\ 333\ m^3/gün$  arasında olması gerektiğini göstermektedir. Polaris P50'nin en uygun rüzgâr türbini olduğu tespit edilmiştir. Sahaların ihtiyacına uygun su pompaları, 30 - 50 HP aralığında 320 L serisi Goulds model dalgıç pompa olarak hesaplanmıştır. Sistemin yıllık yaşam döngüsü maliyeti 7,98 - 11,59 US\$ arasında değişmektedir ve pompalanan suyun birim küp maliyeti 0,014 - 0,025 US\$  $m^3/gün$  arasında değişmektedir.

Rathorea ve ark. (2018) fosil yakıt kullanımındaki sürekli artış nedeniyle, Hindistan'ın ve dünyanın, iklim değişikliğinin olumsuz sonuçları ile karşı karşıya olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, fosil yakıt bazlı enerjinin büyük bir tüketicisi olan Hindistan'da sulama için kullanılan kaynakların dizel ve elektrikli su pompaları olduğu ifade edilmiştir. Yıllık sera gazı emisyonlarının %8 ila %12'sine eşdeğer olan dizel ve elektrikli su pompaları kullanılarak atmosfere yaklaşık 45 milyon ton CO<sub>2</sub> eklenmekte olduğu hesaplanmıştır. Bu zorlukları hafifletmek amacıyla Hindistan hükümetinin, 2014-2015 döneminde sulama ve içme suyu için 0,1 milyon fotovoltaik su pompası kurulumu gerçekleştirmek üzere bir program başlattığı vurgulanmıştır. Çalışmada ayrıca hedeflenen su pompası kurulumunun gerçekleşmesi için hangi çalışmaların yapılması gerektiği listelenmiştir.

Kusakana (2018) tarafından yapılan çalışmada, bir çiftliğin günlük elektrik maliyetini en aza indirmek için kullanılabilecek bir hidro depolama programında yeraltı suyu kullanan bir hibrid dizel-fotovoltaik pompalama sisteminin optimum çalışması için bir modelin geliştirilmesi tartışılmıştır. Geliştirilen model dizel jeneratörden üretilen gücü en aza indirirken, PV ve üretilen su akımını optimum şekilde yönetebilmektedir. Bu çalışma Güney Afrika'da bir çiftlik için simüle edildiğinde, önerilen hibrit sistem kullanılarak dizel jeneratör kullanımına nazaran %75,3 oranında enerji maliyet tasarrufu sağlanabileceği bildirilmiştir.

Rehman ve Şahin (2019) yaptıkları çalışma, Suudi Arabistan'ın bazı şehirlerinde su pompalayan rüzgâr enerjisi ve dizel enerji sistemlerini karşılaştırmışlardır. Enerji maliyetinin, yıllık ortalama rüzgâr hızına göre çok hassas olduğu bulunmuştur. Örneğin; yıllık enerji maliyeti, yıllık ortalama rüzgâr hızının yalnızca 0,4 m/s artması ile sırasıyla Tahran, Riyad, Cidde ve Guriat'ta; %11,5, %21,8, %22,3 ve %13,5 oranlarında azalmaktadır. Çalışmada, her iki sistem için 50 m derinlikteki bir kuyudan su

pompalamanın maliyeti de incelenmiştir. Rüzgâr enerjisi sistemi kullanılırken su maliyetleri; Tahran, Riyad, Cidde, Nejran için sırasıyla 5,35 \$/m<sup>3</sup>, 10,4 \$/m<sup>3</sup>, \$/m<sup>3</sup>, 7,71 \$/m<sup>3</sup> ve 30,56 \$/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Sadece dizel sistemi kullanılması durumunda ise su maliyetinin yakıt fiyatına bağlı olarak 7 ila 16,5 \$/m<sup>3</sup> arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca, dizel yakıt maliyeti Nejran hariç tüm yerler için 0,4 \$ değerinden fazla olduğunda rüzgâr bazlı sistem daha düşük maliyetli hale gelmektedir. Bunun yanı sıra dizel yerine yenilenebilir rüzgâr enerjisi kullanıldığında yılda yaklaşık 24 000 ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazının doğaya salınımı engellenmektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

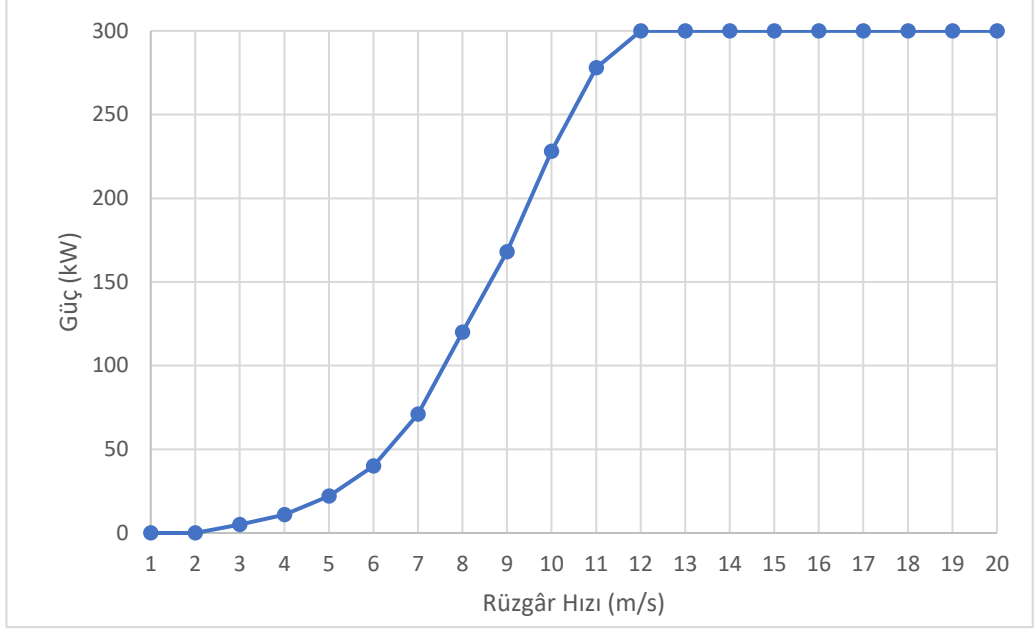
Bu çalışma için seçilen lokasyon Bursa ili Karacabey ilçesidir. Bu bölgede tarımsal sulamanın verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamında; 4 farklı kapasitede rüzgâr türbini ve yöre yeraltı suyu derinliklerine uygun 4 farklı kapasitede dalgıç pompa kullanılması durumunda *ideal Türbin – Pompa kombinasyonunun* tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın materyalini oluşturan bölgeye ilişkin rüzgâr verileri, rüzgâr türbini ve pompa özellikleri aşağıda verilmiştir.

Bursa Karacabey rüzgâr verileri, 17673 istasyon numaralı Karacabey Meteoroloji İstasyonu tarafından sağlanmıştır. İstasyondan alınan 8 yıla ait (2008-2015) saatlik 10 metre yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verilerinin günlük ortalamaları listelenmiştir. Bu veriler eşliğinde yıl içinde farklı ayların rüzgâr değerleri ve farklı yılların rüzgâr değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlara göre rüzgâr frekans tabloları çıkarılmıştır.

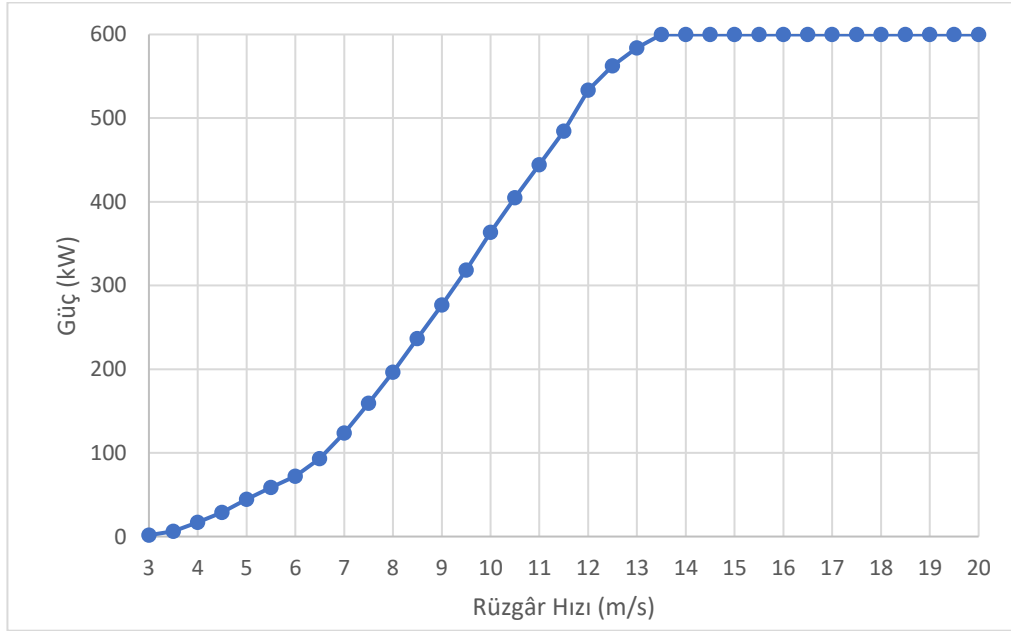
Bölgeye uygulanması öngörülen enerji sistemi için 4 farklı rüzgâr türbini karşılaştırılmıştır. Bu türbinler gerek güç değerleri gerek göbek yükseklikleri gerekse marka ve modelleri yönünden farklılık göstermektedir. Seçilen rüzgâr türbinlerinin güç değerleri 300 – 1 500 kW aralığındadır. Göbek yükseklikleri ise 40 - 80 m arasındadır. Seçilen türbinlere ilişkin özellikler Çizelge 5’de ve Şekil 17-18-19-20’de verilmiştir.

**Çizelge 5.** Rüzgâr türbinleri ve özellikleri

<b>Türbin</b>	<b>Güç Değeri (kW)</b>	<b>Göbek Yüksekliği (m)</b>
T1	300	40
T2	600	50
T3	900	60
T4	1 500	80

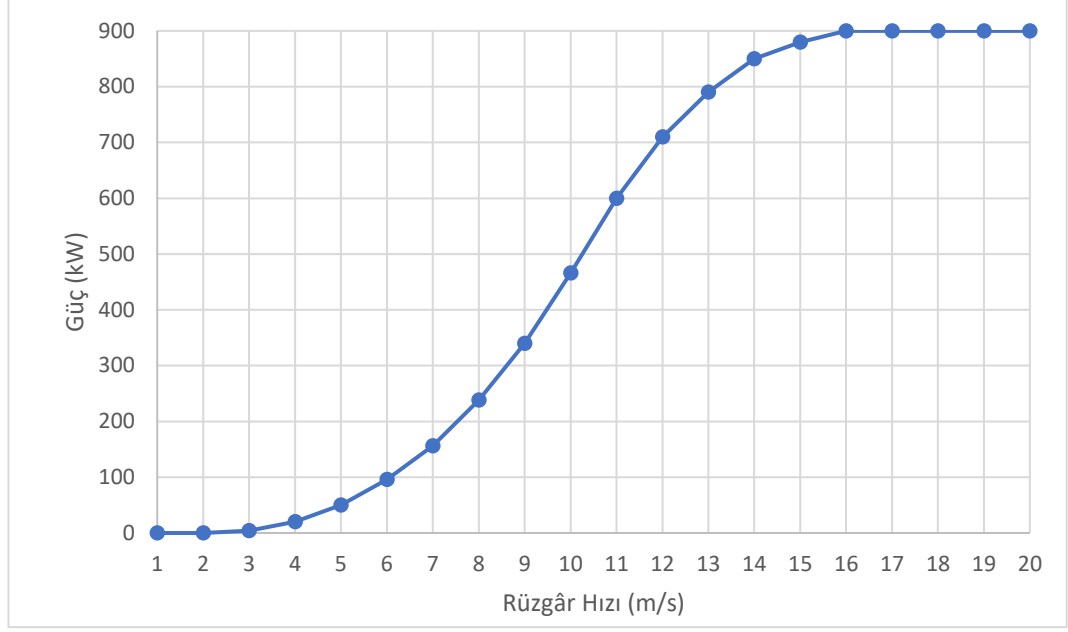


Şekil 17. T1 (300 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi (Anonim 2019d)

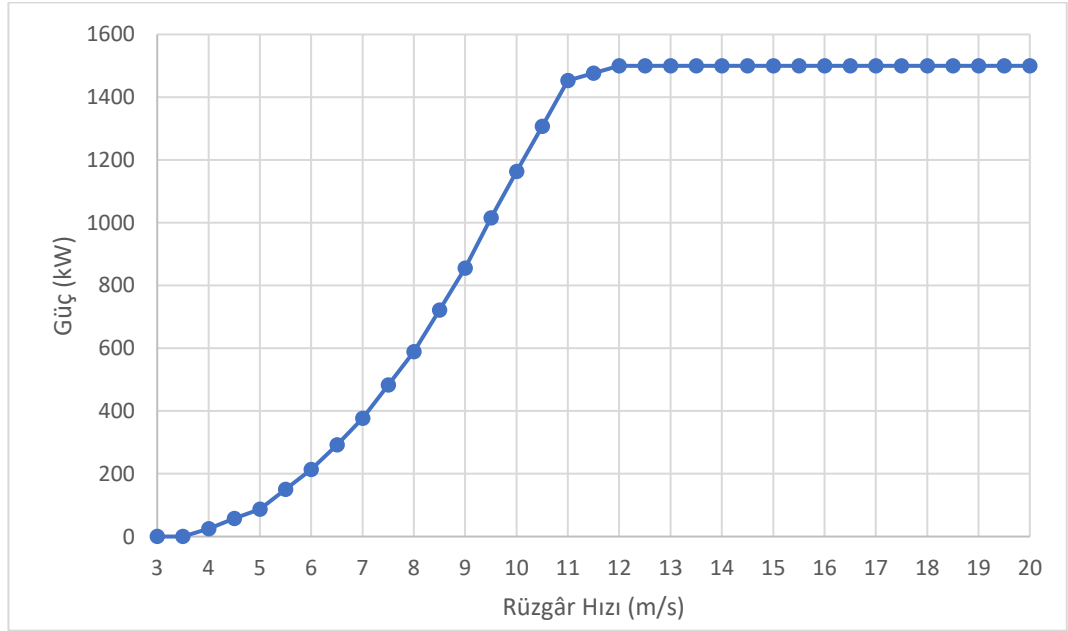


Şekil 18. T2 (600 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi (Anonim 2019d)





**Şekil 19.** T3 (900 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi (Anonim 2019d)



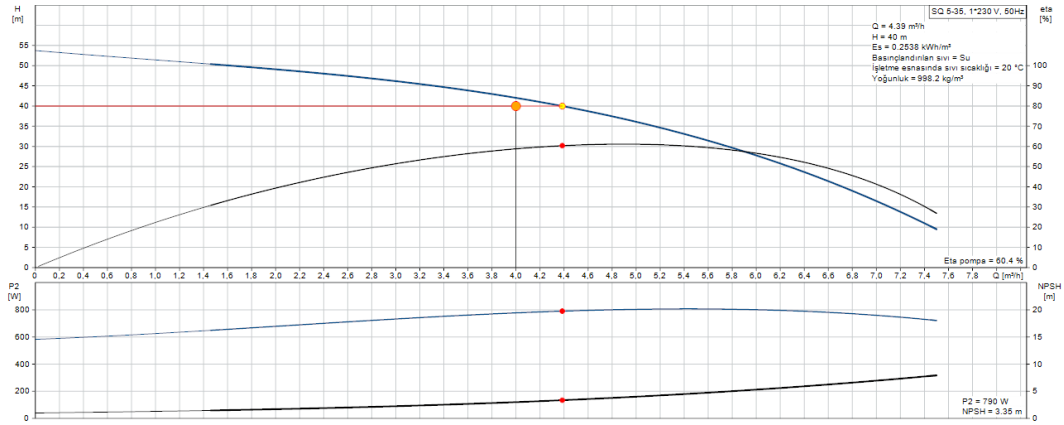
**Şekil 20.** T4 (1 500 kW) rüzgâr türbini güç eğrisi (Anonim 2019d)

Seçilen rüzgâr türbinleri ile kombine olarak çalışması için; 4 adet aynı marka, farklı model ve özelliklerde dalgıç pompa seçilmiştir (Çizelge 6 ve Şekil 21-22-23-24). World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme (Anonim 2015) tarafından oluşturulan harita ve analizlere göre Karacabey bölgesi için yeraltı su seviyesi ortalama

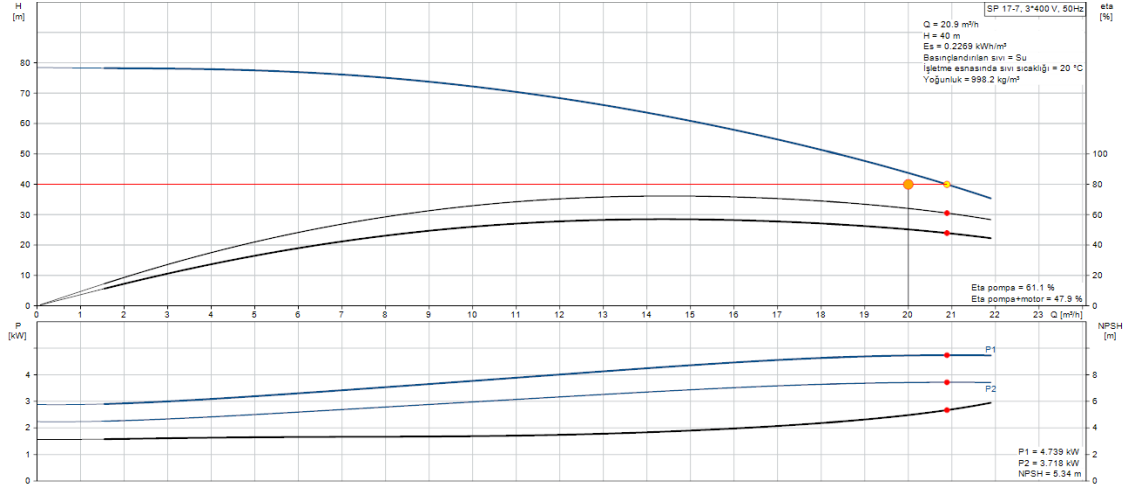
50 m olarak tespit edilmiştir. Bu veri doğrultusunda 40- 60m derinlikten su pompalamaya elverişli dalgıç pompaların kullanılması öngörülmüş ve bu yüksekliklere ait farklı debili modeller analize dahil edilmiştir. Seçilen dalgıç pompalara ilişkin özellikler Çizelge 6’da ve Şekil 21-22-23-24’da verilmiştir.

**Çizelge 6.** Seçilen dalgıç pompalar ve özellikleri (Anonim 2019c)

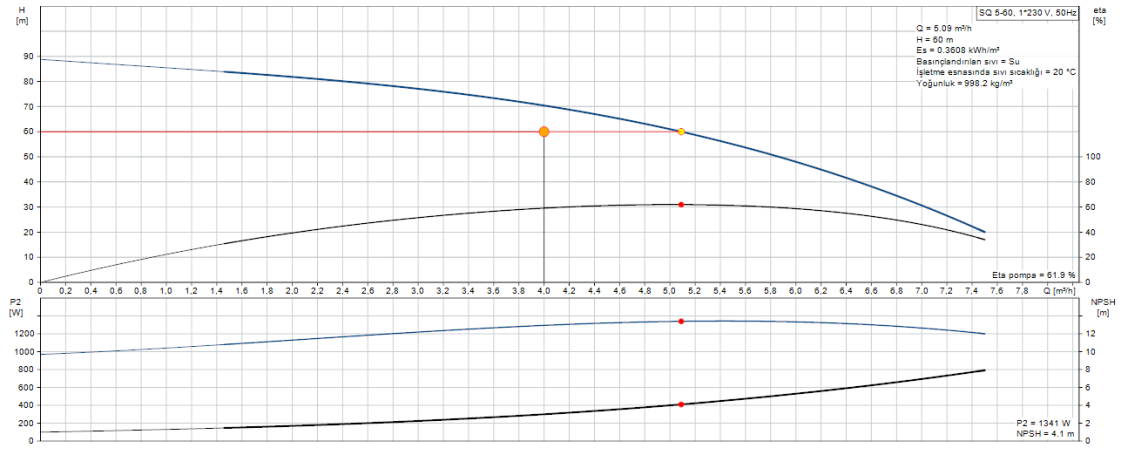
Pompalar	Manometrik Yükseklik (m)	Pompa Verimi (%)	Debi (m <sup>3</sup> /h)	Motor Gücü (kW)
P1	40	60,1	4,39	1,15
P2	40	61,1	20,9	4,0
P3	60	61,9	5,09	1,55
P4	60	62,9	20,5	5,5



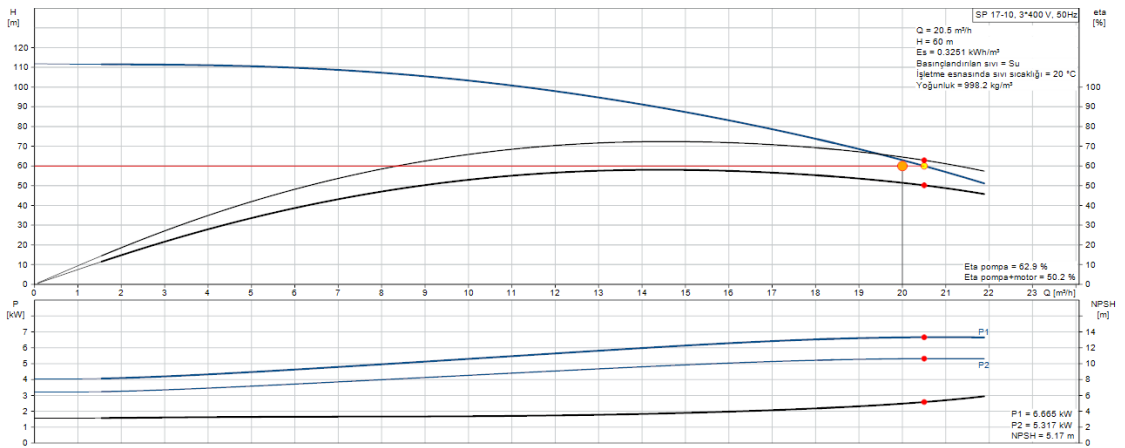
**Şekil 21.** P1 pompa eğrileri (Anonim 2019c)



Şekil 22. P2 pompa eğrileri (Anonim 2019c)



Şekil 23. P3 pompa eğrileri (Anonim 2019c)



Şekil 24. P4 pompa eğrileri (Anonim 2019c)

### 3.2. Yöntem

Rüzgâr türbinlerinin, sulama için kullanılacak pompaları çalıştırabilmek için ihtiyaç olan rüzgâr hızı değerinin saptanmasında kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir (Shata ve Hanitsch 2006, Ilinca ve ark.2003). Bu bölümde önemli olacak değerler; rüzgâr hızı, rotor kesit alanı, rotor güç katsayısı, rüzgâr türbini mekanik verimi ve havanın yoğunluğudur. Rotor kesit alanı, rotorun dairesel kesitte olduğu durumda doğrudan rotor çapı ile ilişkilidir (Piggott 2004).

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad (3.1)$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde;

P : Rüzgâr türbini gücü (kW)

$\rho$  : Hava yoğunluğu ( bu eşitlikte  $1,225 \text{ kg/m}^3$  olarak kabul edilmiştir)

A : Rüzgâr türbini rotor kesit alanı ( $\text{m}^2$ )

v : Rüzgâr hızı (m/s)

$C_p$  : Rotorun güç katsayısı

$\eta$  : Rüzgâr türbininin mekanik verimi

D : Rüzgâr türbini rotor çapı (m)

Rüzgâr türbinlerindeki mekanik kayıplar son kullanılan teknolojilerde minimize edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmadaki mekanik kayıplar hesaplara dahil edilmemiştir. Buna göre (3.1) numaralı eşitlik aşağıdaki gibi revize edilebilir:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \quad (3.3)$$

Bu çalışma için Karacabey meteoroloji istasyonundan sağlanan rüzgâr hızı değerleri, 10 metre yüksekliğe aittir. Seçilen rüzgâr türbinleri göbek yüksekliklerinin daha farklı olması nedeniyle, eldeki verilerin ilgili rüzgâr türbini göbek yüksekliklerine uyarlanması gerekir. Bu aşamada aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (Klug 2001, Özgener 2006):

$$v(h) = \frac{u^*}{k} \cdot \ln \frac{h}{z_0} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

- v : Rüzgâr hızı (m/s)  
k : Von Karman sabiti  
h : Rüzgâr türbini göbek yüksekliği (m)  
z<sub>0</sub> : Yüzey pürüzlülük katsayısı

Bu çalışma için;

- Rüzgâr türbinlerinde mekanik kayıpların olmadığı,
- Hava yoğunluğunun 1,225 kg/m<sup>3</sup> olduğu,
- Rotor güç katsayıları (C<sub>P</sub>) 0,45 olduğu,
- Yüzey pürüzlülük katsayısının da 0,4 olduğu

Verileri kabul edilmiştir (Vardar ve Eker 2004). Pürüzlülük sınıflarına ilişkin bilgiler ise aşağıda Çizelge 7’de verilmiştir.

**Çizelge 7.** Pürüzlülük sınıfları (Elkinton ve ark. 2006)

<b>Pürüzlülük Sınıfı</b>	<b>Pürüzlülük uzunluğu (m)</b>	<b>Enerji göstergesi (%)</b>	<b>Yüzey şekli</b>
0	0,0002	100	Su yüzeyleri
0,4	0,0024	73	Açık araziler (Beton, otoban, biçilmiş çim, uçaklar için iniş alanı, otoban vb.)
1	0,03	52	Uzak aralıklı yapılara sahip çitsiz ve engelsiz açık tarımsal araziler (Çok hafif engebeli).
1,5	0,055	45	Az binalı ve 1250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
2	0,1	39	Az binalı ve 500 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
2,5	0,2	31	Pek çok bina, çalı ve bitkiye sahip, ya da 250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
3	0,4	24	Küçük şehirler, kasabalar, köyler, ormanlar, çok veya yüksek çitli tarımsal araziler, çok yoğun ve pürüzlü bölgeler.
3,5	0,8	18	Yüksek yapılara sahip büyük şehirler.
4	1,6	13	Yüksek binalara ve gökdelenlere sahip büyük şehirler.

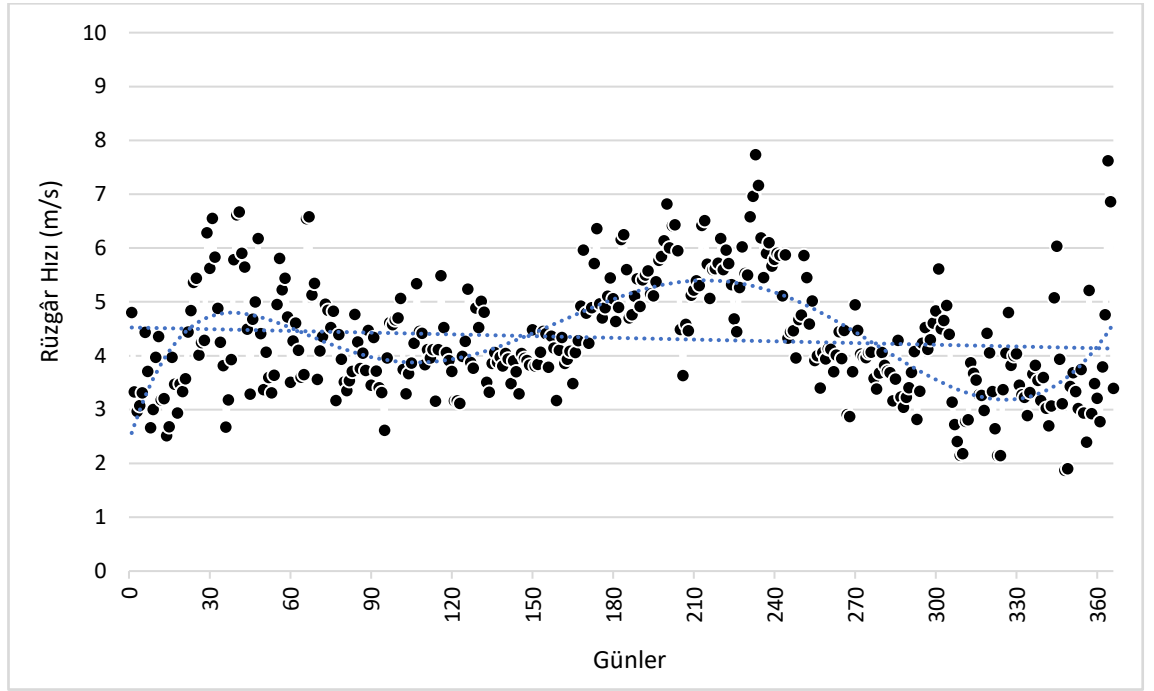
Rüzgâr türbini kurulumu yapılacak bir yörenin rüzgâr potansiyeline arazinin; deniz kıyısı, açık arazi, açık deniz, kapalı arazi, bayır veya tepe olması durumunun doğrudan etki ettiği bilinmektedir (Çizelge 7). Bu çalışma için seçilen bölgede hem dalgiç pompaların kullanılabilmesi açısından hem de tarımsal aktivitelere elverişli olabilmesi için değerlendirmeler açık arazi olarak yapılmıştır.

Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼g¼ Karacabey Meteoroloji İstasyonundan elde edilen veriler ile r¼zg¼r enerjisi potansiyel atlası verileri karşılaştırıldığında farklılık gözlemlenmektedir. Hesaplanan değerlerin REPA verileri ile uyumluluğunu ve entegrasyonunu sağlamak amacıyla çalışmada bir düzeltme faktörü kullanılmıştır. Yapılan çalışma için hesaplanan düzeltme faktörü değeri 1,4509'dur.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 2008-2015 yıllarına ait Karacabey Meteoroloji istasyonundan alınan rüzgâr ölçüm verileri kullanılmıştır. Materyal bölümünde belirtilen 4 farklı rüzgâr türbini ve 4 farklı sulama pompasının teknik özelliklerine göre ve ilgili yöntemler uygulanarak elde edilen veriler aracılığı ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Yılın günlerine göre düzenlenmiş rüzgâr hızları ortalamaları Şekil 25’de verilmiştir. Burada 2008-2015 yılları arasındaki 8 yılın her gününe ilişkin ortalama rüzgâr hızı değerleri görülmektedir. Ortalama değerler için hesaplanan düzeltme faktörü 1,4509’dur.

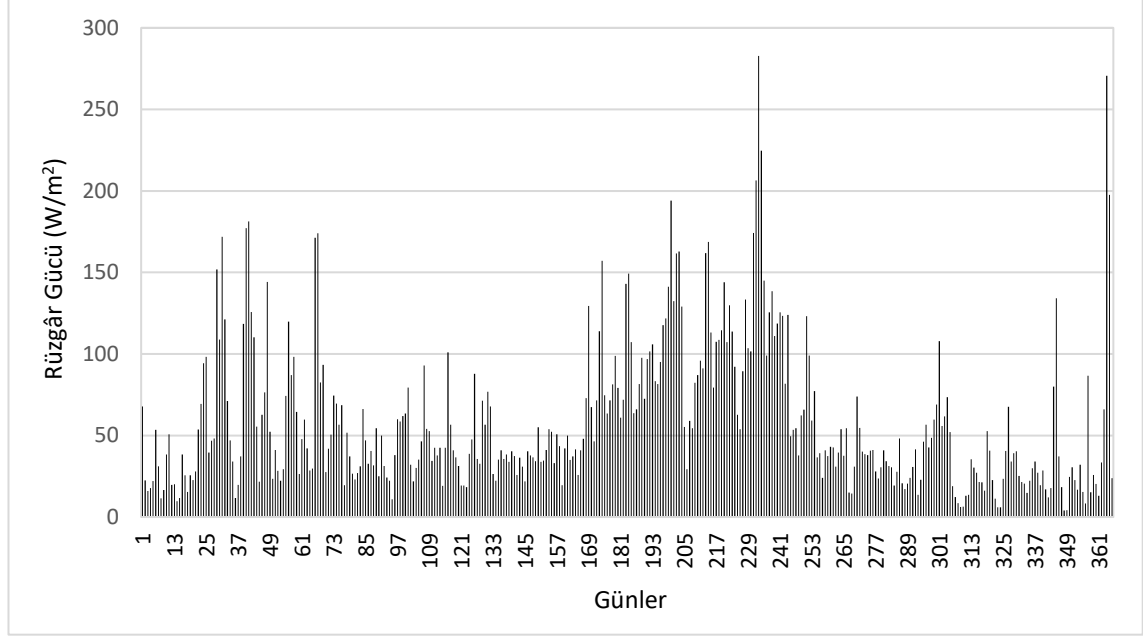


**Şekil 25.** Yıl boyunca gerçekleşen günlük ortalama rüzgâr hızları (m/s)

Şekil 25’de dikey eksen, elde edilen rüzgâr hızının m/s cinsinden değerlerini temsil etmektedir. Yatay eksen ise yılın kaçınıcı günü olduğunu temsil etmektedir. Şekilde en yüksek rüzgâr hızının 7,7 m/s olarak 233. güne ait olduğu görülmektedir. Ayrıca 200 ve 240. günler arasındaki bölümde rüzgâr hızının dönemsel olarak artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra en düşük rüzgâr hızının 1,9 m/s olarak 348. güne ait olduğu görülmektedir. Yıl sonu ve yıl başı rüzgâr hızı ölçüm değerlerinin ise dönemsel olarak nispeten daha düşük olduğu söylenebilir.



Rüzgâr hızı ölçümleri kullanılarak hesaplanan rüzgâr güç yoğunluğu değerlerinin günlük ortalamaları Şekil 26’da verilmiştir.



**Şekil 26.** Günlük ortalama rüzgâr güç yoğunluğu değerleri

Şekil 26’de dikey eksen, elde edilen rüzgâr gücünün  $W/m^2$  cinsinden değerlerini temsil etmektedir. Yatay eksen ise yılın kaçınıcı günü olduğunu temsil etmektedir. Şekilde de görülebileceği gibi, hesaplanan en yüksek rüzgâr gücünün  $282,7 W/m^2$  olarak 233. güne ait olduğu görülmektedir. Ayrıca 200 ve 240. günler arasındaki bölümde rüzgâr gücünün dönemsel olarak artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra en düşük rüzgâr gücü ise  $4 W/m^2$  olarak 348. güne aittir. Yıl sonu ve yıl başı rüzgâr gücü ölçüm değerlerinin Şekil 25’e benzer biçimde dönemsel olarak nispeten daha düşük olduğu söylenebilir.

Çizelge 8, 2008-2015 yılları arası Karacabey meteoroloji istasyonunda 10 metre yükseklikte ölçülen rüzgâr hızları yıllık ortalamaları ve bu değerler kullanılarak hesaplamada bulunulan farklı yüksekliklerdeki rüzgâr hızı değerlerini göstermektedir.

**Çizelge 8.** Farklı yükseklikler için hesaplanan ortalama rüzgâr hızları

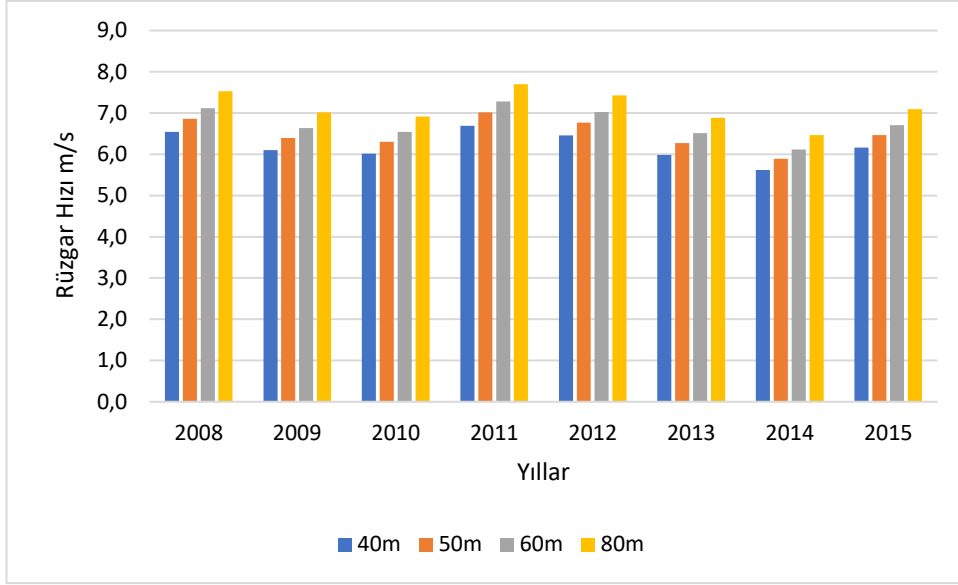
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>10</b>	3,2	2,9	2,9	3,2	3,1	2,9	2,7	3,0
<b>20</b>	3,8	3,6	3,5	3,9	3,8	3,5	3,3	3,6
<b>30</b>	4,2	3,9	3,9	4,3	4,2	3,9	3,6	4,0
<b>40</b>	4,5	4,2	4,1	4,6	4,4	4,1	3,9	4,2
<b>50</b>	4,7	4,4	4,3	4,8	4,7	4,3	4,1	4,5
<b>60</b>	4,9	4,6	4,5	5,0	4,8	4,5	4,2	4,6
<b>70</b>	5,1	4,7	4,6	5,2	5,0	4,6	4,3	4,8
<b>80</b>	5,2	4,8	4,8	5,3	5,1	4,7	4,5	4,9

Çizelge 8’de yıllar arasında çok yüksek rüzgâr hızı farkları gözlemlenmemekle birlikte, en düşük ortalama rüzgâr hızı değerine sahip yıl 2014 ve en yüksek ortalama rüzgâr hızı değerine sahip yıllar 2008 ve 2011 olarak saptanmıştır.

Düzeltilme faktörü (1,4509) uygulanan yıllık ortalama rüzgâr hızlarının rüzgâr türbini göbek yüksekliklerindeki değerleri Çizelge 9 ve Şekil 27’de verilmiştir.

**Çizelge 9.** Yıllık ortalama rüzgâr hızlarının türbin yüksekliklerindeki değerleri (düzeltilme faktörü 1,4509)

<b>Yükseklik (m)</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>40</b>	6,5	6,1	6,0	6,7	6,5	6,0	5,6	6,2
<b>50</b>	6,9	6,4	6,3	7,0	6,8	6,3	5,9	6,5
<b>60</b>	7,1	6,6	6,5	7,3	7,0	6,5	6,1	6,7
<b>80</b>	7,5	7,0	6,9	7,7	7,4	6,9	6,5	7,1



**Şekil 27.** Düzeltme faktörü uygulanan farklı yüksekliklerdeki yıllık ortalama rüzgâr hızları

2008-2015 yılları arası Karacabey meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızları yıllık ortalama değerleri kullanılarak, sistemde kullanılması planlanan rüzgâr türbinleri göbek yüksekliklerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerlere düzeltme faktörü (katsayısı) uygulanarak Çizelge 9 ve Şekil 27'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre rüzgâr hızının türbin göbek yüksekliği ile doğru orantılı olduğu açıkça görülmektedir. Maksimum ortalama rüzgâr hızı değerlerine 2011 yılında ulaşılırken, minimum ortalama rüzgâr hızı değerine 2014 yılında ulaşılmıştır.

Çizelge 10, 2008-2015 yılları arası Karacabey meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı değerleri kullanılarak, her senenin aynı aylarına ait ortalama değerlerini ve farklı yüksekliklerdeki karşılıklarını göstermektedir.

**Çizelge 10.** Farklı yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgâr hızları

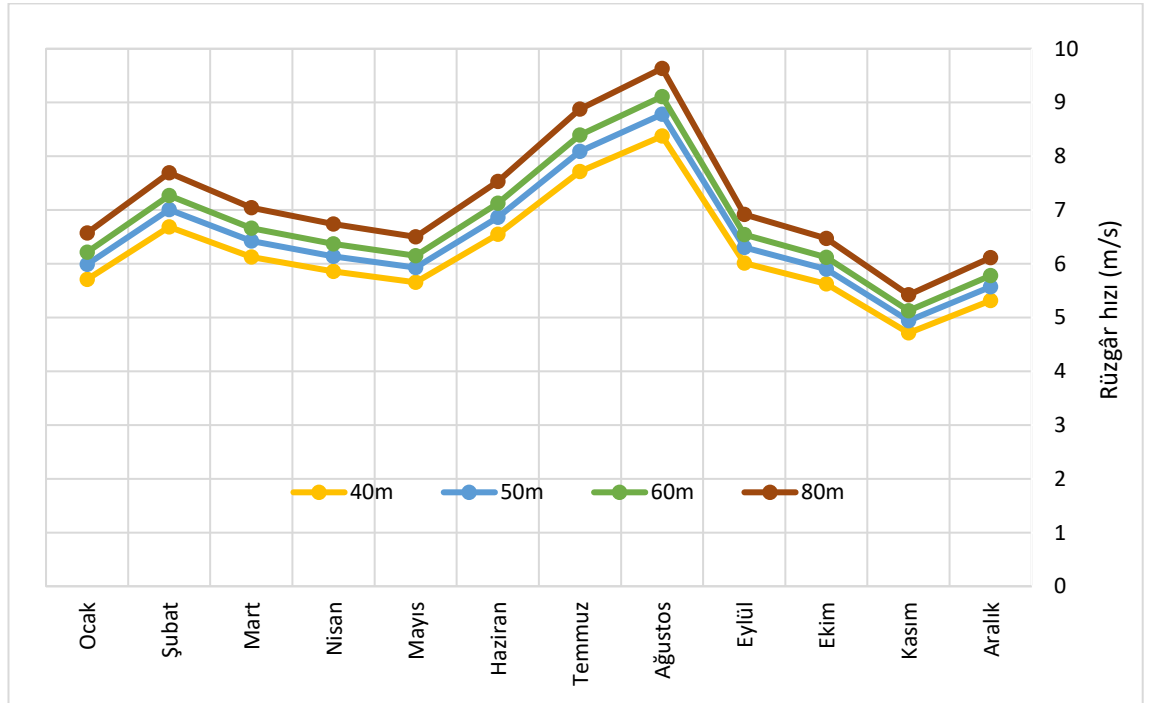
<b>Yükseklik (m)</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>
<b>Ocak</b>	2,8	3,3	3,7	3,9	4,1	4,3	4,4	4,5
<b>Şubat</b>	3,2	3,9	4,3	4,6	4,8	5,0	5,2	5,3
<b>Mart</b>	3,0	3,6	4,0	4,2	4,4	4,6	4,7	4,9
<b>Nisan</b>	2,8	3,4	3,8	4,0	4,2	4,4	4,5	4,6
<b>Mayıs</b>	2,7	3,3	3,7	3,9	4,1	4,2	4,4	4,5
<b>Haziran</b>	3,2	3,8	4,2	4,5	4,7	4,9	5,1	5,2
<b>Temmuz</b>	3,7	4,5	5,0	5,3	5,6	5,8	6,0	6,1
<b>Ağustos</b>	4,0	4,9	5,4	5,8	6,1	6,3	6,5	6,6
<b>Eylül</b>	2,9	3,5	3,9	4,1	4,3	4,5	4,6	4,8
<b>Ekim</b>	2,7	3,3	3,6	3,9	4,1	4,2	4,3	4,5
<b>Kasım</b>	2,3	2,8	3,0	3,2	3,4	3,5	3,6	3,7
<b>Aralık</b>	2,6	3,1	3,4	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2

Çizelge 10'a göre rüzgâr hızları ağustos aylarında maksimum ortalama değerleri gösterirken, kasım aylarında da en düşük değerleri göstermektedir.

2008-2015 yılları arası Karacabey meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızları aylara göre ortalama değerleri kullanılarak, sistemde kullanılması planlanan rüzgâr türbinleri göbek yüksekliklerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerlere, düzeltme faktörü (katsayısı) uygulanarak Çizelge 11 ve Şekil 28'deki sonuçlar elde edilmiştir

**Çizelge 11.** Düzeltme faktörü uygulanan farklı yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgâr hızları

	Türbin Göbek Yüksekliği (m)			
	40	50	60	80
<b>Ocak</b>	5,7	6,0	6,2	6,6
<b>Şubat</b>	6,7	7,0	7,3	7,7
<b>Mart</b>	6,1	6,4	6,7	7,0
<b>Nisan</b>	5,9	6,1	6,4	6,7
<b>Mayıs</b>	5,7	5,9	6,2	6,5
<b>Haziran</b>	6,5	6,9	7,1	7,5
<b>Temmuz</b>	7,7	8,1	8,4	8,9
<b>Ağustos</b>	8,4	8,8	9,1	9,6
<b>Eylül</b>	6,0	6,3	6,5	6,9
<b>Ekim</b>	5,6	5,9	6,1	6,5
<b>Kasım</b>	4,7	4,9	5,1	5,4
<b>Aralık</b>	5,3	5,6	5,8	6,1



**Şekil 28.** Düzeltme faktörü uygulanan farklı yüksekliklerdeki aylık ortalama rüzgâr hızları

Elde edilen sonuçlara göre rüzgâr hızının türbin göbek yüksekliği ile doğru orantılı olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 28). Maksimum ortalama rüzgâr hızı değerlerine ağustos aylarında ulaşılırken, minimum ortalama rüzgâr hızı değerine kasım aylarında ulaşılmıştır.

Çizelge 12’de, çalışma kapsamında seçilen 4 farklı rüzgâr türbininden aylar bazında birim rotor alanı başına elde edilebilecek güç değerleri verilmiştir.

**Çizelge 12.** Seçilen türbinlerden birim rotor alanı başına elde edilebilecek güç değerleri ( $W/m^2$ )

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>Ocak</b>	37,2	42,9	47,9	56,6
<b>Şubat</b>	59,6	68,7	76,8	90,8
<b>Mart</b>	45,9	52,9	59,1	69,9
<b>Nisan</b>	40,1	46,2	51,6	61,0
<b>Mayıs</b>	36,1	41,6	46,5	54,9
<b>Haziran</b>	56,1	64,6	72,2	85,4
<b>Temmuz</b>	91,8	105,8	118,2	139,8
<b>Ağustos</b>	117,3	135,2	151,1	178,7
<b>Eylül</b>	43,4	50,0	55,9	66,1
<b>Ekim</b>	35,5	41,0	45,8	54,1
<b>Kasım</b>	20,9	24,1	26,9	31,8
<b>Aralık</b>	30,0	34,5	38,6	45,6

Çizelge 12’de rüzgâr türbini gücü ve göbek yüksekliğinin, rüzgâr gücü değerlerine doğru orantılı olarak etki ettiği görülmektedir. Ağustos ayındaki rüzgâr gücü diğer aylara göre daha yüksek iken, kasım ayındaki rüzgâr gücü diğer aylara göre daha düşüktür.

Çizelge 13’te çalışma kapsamında seçilen 4 farklı rüzgâr türbininden aylar bazında elde edilebilecek güç değerleri Şekil 16-17-18-19 aracılığıyla belirtilmiştir.

**Çizelge 13.** Seçilen türbinlerden elde edilebilecek güç değerleri (kW)

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>Ocak</b>	34,6	72,02	108	308,97
<b>Şubat</b>	61,7	123,71	180,6	525,4
<b>Mart</b>	43,1	8,76	138	377
<b>Nisan</b>	38,2	76,2	120	325,98
<b>Mayıs</b>	34,6	69,32	108	291,96
<b>Haziran</b>	55,5	17,56	164,2	483
<b>Temmuz</b>	105,3	204,3	278,8	828,4
<b>Ağustos</b>	139,2	260,68	352,6	1 044,54
<b>Eylül</b>	40	84,6	126	360
<b>Ekim</b>	32,8	69,32	102	291,96
<b>Kasım</b>	18,7	41,53	54,6	137,8
<b>Aralık</b>	27,4	61,22	86,8	229,59
<b>Ortalama</b>	52,59	90,77	151,63	433,72

Çizelge 13'te rüzgâr türbini gücünün ve göbek yüksekliğinin, güç üretim değerlerine doğru orantılı olarak etki ettiği görülmektedir. Ağustos ayı güç üretimi diğer aylara göre daha yüksek iken, kasım ayındaki güç üretimi diğer aylara göre daha düşüktür. T1 türbini için ortalama güç üretim değeri 52,59, T2 türbini için ortalama güç üretim değeri 90,77, T3 türbini için ortalama güç üretim değeri 151,63 ve T4 türbini için ortalama güç üretim değeri 433,72 olarak hesaplanmıştır.

Rüzgâr hızı değerlerinin yer seviyesinden itibaren yükseklik arttıkça değiştiği bilinmektedir. Çizelge 14'de, yer seviyesinden itibaren 10, 40, 50, 60 ve 80 m yükseklikler için hesaplanan rüzgâr hızları verilmiştir.

**Çizelge 14.** Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı değerleri (m/s)

<b>Rüzgâr hızı (m/s)</b>				
<b>10 m</b>	<b>40 m</b>	<b>50 m</b>	<b>60 m</b>	<b>80 m</b>
1,0	1,4	1,5	1,6	1,6
2,0	2,9	3,0	3,1	3,3
3,0	4,3	4,5	4,7	4,9
4,0	5,7	6,0	6,2	6,6
5,0	7,2	7,5	7,8	8,2
6,0	8,6	9,0	9,3	9,9
7,0	10,0	10,5	10,9	11,5
8,0	11,4	12,0	12,5	13,2
9,0	12,9	13,5	14,0	14,8
10,0	14,3	15,0	15,6	16,5
11,0	15,7	16,5	17,1	18,1
12,0	17,2	18,0	18,7	19,8
13,0	18,6	19,5	20,2	21,4
14,0	20,0	21,0	21,8	23,0
15,0	21,5	22,5	23,3	24,7
16,0	22,9	24,0	24,9	26,3
17,0	24,3	25,5	26,5	28,0

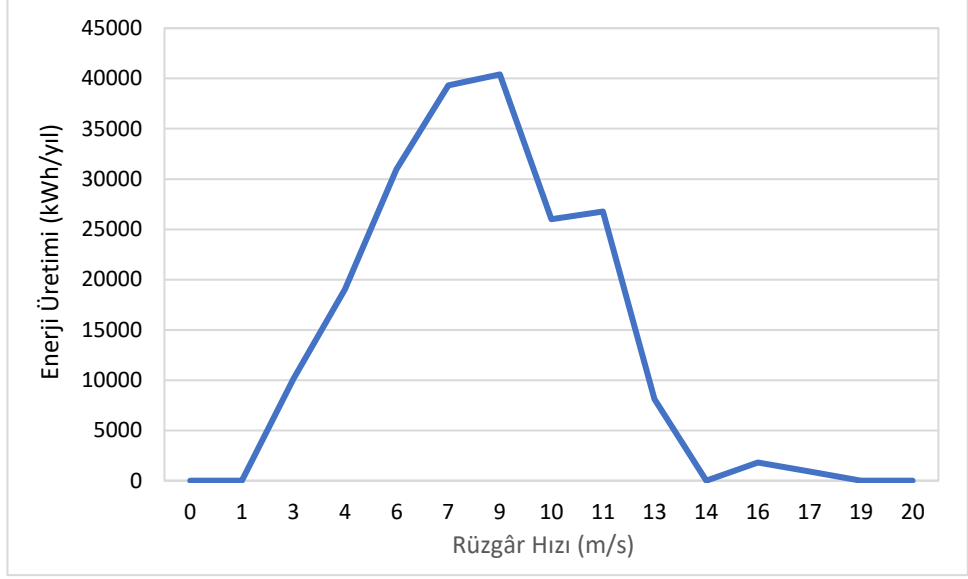
Bu çizelgede, 10 m yükseklikte rüzgâr hızında meydana gelen her 1 birimlik artışa karşılık, seçilen türbinlerin göbek yüksekliklerindeki rüzgâr hızlarında oluşan değişimler gösterilmiştir.

Çizelge 15-16-17-18'de ve Şekil 28-29-30-31'de çalışma kapsamında seçilen rüzgâr türbinleri için yıllık enerji üretimlerinin detayları verilmiştir.



**Çizelge 15.** T1 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl)

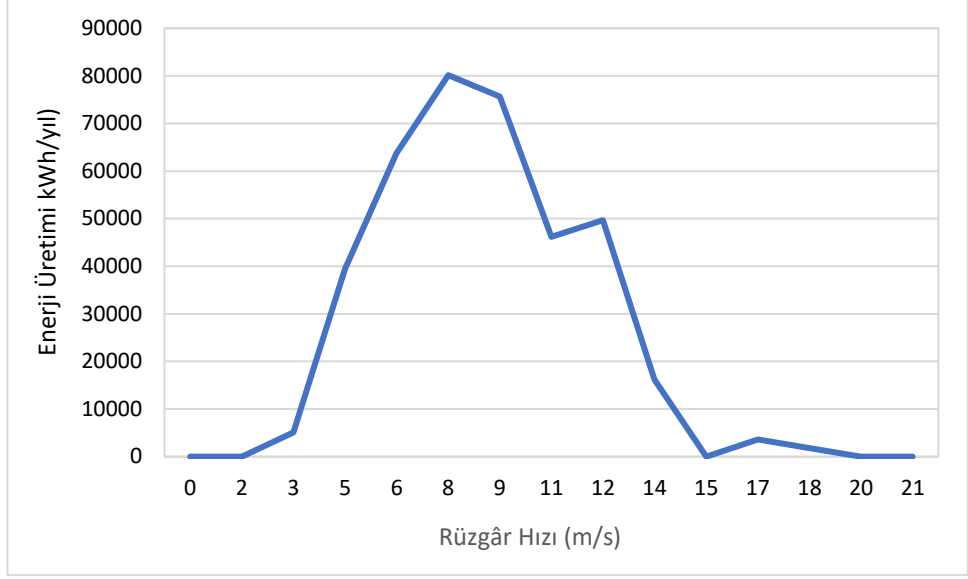
<b>Rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Türbin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (gün)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (saat)</b>	<b>Güç (kW)</b>	<b>Enerji üretimi (kWh/yıl)</b>
0	0	7,4	177	0	0
1	1,43	110,6	2 655	0	0
2	2,86	105,5	2 532	4	10 128
3	4,29	56,6	1 359	14	19 026
4	5,72	36,9	885	35	30 975
5	7,15	21,0	504	78	39 312
6	8,58	11,4	273	148	40 404
7	10,01	4,8	114	228	25 992
8	11,44	3,9	93	288	26 784
9	12,87	1,1	27	300	8 100
10	14,31	0,0	0	300	0
11	15,74	0,3	6	300	1 800
12	17,18	0,1	3	300	900
13	18,6	0,0	0	300	0
14	20,03	0,0	0	300	0
				<b>Toplam</b>	<b>203 421</b>



Şekil 29. T1 türbini rüzgâr hızı - enerji üretim ilişkisi

**Çizelge 16.** T2 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl)

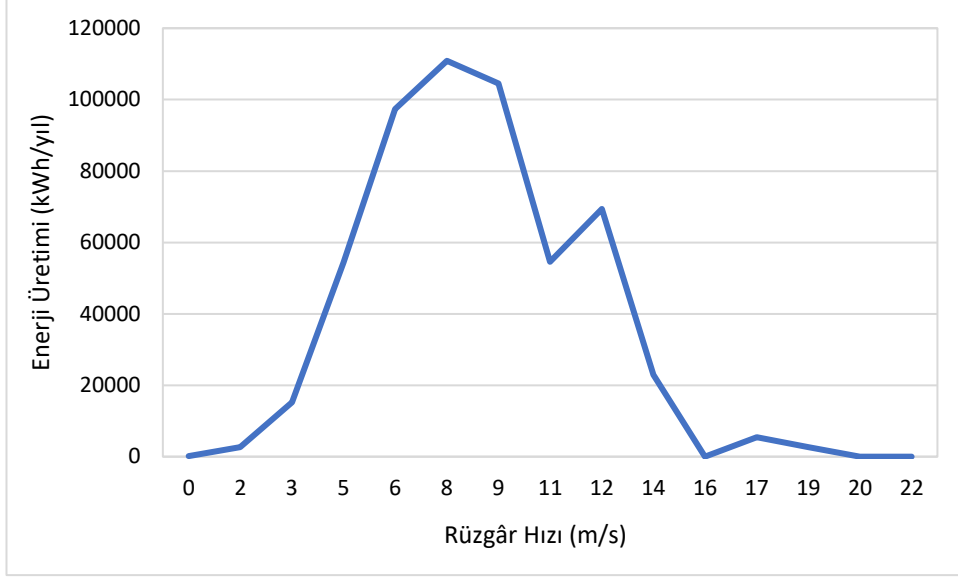
<b>Rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Türbin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (gün)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (saat)</b>	<b>Güç (kW)</b>	<b>Enerji üretimi (kWh/yıl)</b>
0	0	7,4	177	0	0
1	1,5	110,6	2 655	0	0
2	3	105,5	2 532	2	5 064
3	4,5	56,6	1 359	29	39 411
4	6	36,9	885	72	63 720
5	7,5	21,0	504	159	80 136
6	9	11,4	273	277	75 621
7	10,5	4,8	114	405	46 170
8	12	3,9	93	534	49 662
9	13,5	1,1	27	600	16 200
10	15	0,0	0	600	0
11	16,5	0,3	6	600	3 600
12	18	0,1	3	600	1 800
13	19,5	0,0	0	600	0
14	21	0,0	0	600	0
				<b>Toplam</b>	<b>381 384</b>



Şekil 30. T2 türbini rüzgâr hızı- enerji üretim ilişkisi

**Çizelge 17.** T3 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl)

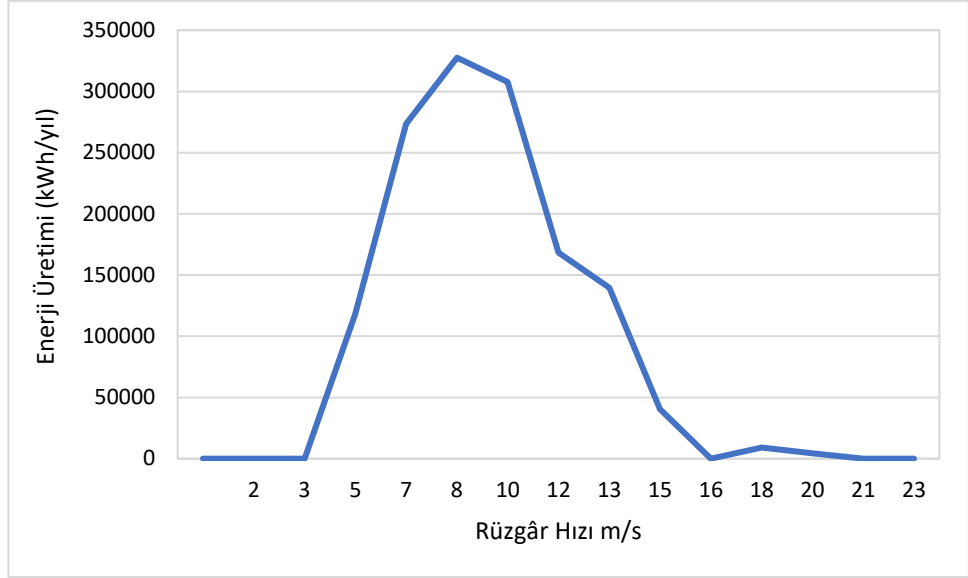
<b>Rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Türbin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (gün)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (saat)</b>	<b>Güç (kW)</b>	<b>Enerji üretimi (kWh/yıl)</b>
0	0	7,4	177	0	177
1	1,56	110,6	2 655	0	2655
2	3,11	105,5	2 532	6	15 192
3	4,67	56,6	1 359	40	54 360
4	6,23	36,9	885	110	97 350
5	7,78	21,0	504	220	110 880
6	9,34	11,4	273	383	104 559
7	10,90	4,8	114	479	54 606
8	12,45	3,9	93	746	69 378
9	14,01	1,1	27	850	22 950
10	15,57	0,0	0	894	0
11	17,12	0,3	6	900	5 400
12	18,68	0,1	3	900	2 700
13	20,24	0,0	0	900	0
14	21,79	0,0	0	900	0
				<b>Toplam</b>	<b>540 207</b>



Şekil 31. T3 türbini rüzgâr hızı- enerji üretim ilişkisi

**Çizelge 18.** T4 rüzgâr türbini ile Karacabey’de üretilebilecek enerji (kWh/yıl)

<b>Rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Türbin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı (m/s)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (gün)</b>	<b>Rüzgâr esme süreleri (saat)</b>	<b>Güç (kW)</b>	<b>Enerji üretimi (kWh/yıl)</b>
0	0	7,4	177	0	0
1	1,65	110,6	2 655	0	0
2	3,29	105,5	2 532	0	0
3	4,94	56,6	1 359	87	118 233
4	6,58	36,9	885	309	273 465
5	8,23	21,0	504	650	327 600
6	9,88	11,4	273	1127	307 671
7	11,52	4,8	114	1477	168 378
8	13,17	3,9	93	1500	139 500
9	14,81	1,1	27	1500	40 500
10	16,46	0,0	0	1500	0
11	18,11	0,3	6	1500	9 000
12	19,75	0,1	3	1500	4 500
13	21,40	0,0	0	1500	0
14	23,04	0,0	0	1500	0
				<b>Toplam</b>	<b>1 388 847</b>



**Şekil 32.** T4 türbini rüzgâr hızı- enerji üretim ilişkisi

Karacabey yöresinde, 2008-2015 yıllarını kapsayan 8 yıllık meteorolojik veriler kullanılarak elde edilen sonuçlara göre; T1 türbini ile 203 421 kWh/yıl, T2 türbini ile 381 384 kWh/yıl, T3 türbini ile 540 207 kWh/yıl ve T4 türbini ile 1 388 847 kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirilebilir. Yine aynı yörede maksimum; T1 türbini ile 8,58 rüzgâr hızında 40 404 kWh/yıl, T2 türbini ile 7,5 m/s rüzgâr hızında 80 136 kWh/yıl, T3 türbini ile 7,78 m/s rüzgâr hızında 110 880 kWh/yıl ve T4 türbini ile 8,23 m/s rüzgâr hızında 327 600 kWh/yıl enerji üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Çizelge 19-20-21-22-23-24-25-26'da çalışma kapsamında seçilen rüzgâr türbinleri ile çalıştırılacak pompa sayıları ve pompalanabilecek su miktarı verilmiştir.



**Çizelge 19.** T1 türbini ile çalıştırılabilir pompa sayıları

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	30	8	22	6
<b>Şubat</b>	53	15	39	11
<b>Mart</b>	37	10	27	7
<b>Nisan</b>	33	9	24	6
<b>Mayıs</b>	30	8	22	6
<b>Haziran</b>	48	13	35	10
<b>Temmuz</b>	91	26	67	19
<b>Ağustos</b>	121	34	89	25
<b>Eylül</b>	34	10	25	7
<b>Ekim</b>	28	8	21	5
<b>Kasım</b>	16	4	12	3
<b>Aralık</b>	23	6	17	4

**Çizelge 20.** T1 türbini ile pompalanabilecek su miktarları (m<sup>3</sup>/h)

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	132	167	112	123
<b>Şubat</b>	233	314	199	226
<b>Mart</b>	162	209	137	144
<b>Nisan</b>	145	188	122	123
<b>Mayıs</b>	132	167	112	123
<b>Haziran</b>	211	272	178	205
<b>Temmuz</b>	399	543	341	390
<b>Ağustos</b>	531	711	453	513
<b>Eylül</b>	149	209	127	144
<b>Ekim</b>	123	167	107	103
<b>Kasım</b>	70	84	61	62
<b>Aralık</b>	101	125	87	82

**Çizelge 21.** T2 türbini ile çalıştırılabilir pompa sayıları

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	62	18	46	13
<b>Şubat</b>	107	30	79	22
<b>Mart</b>	7	2	5	1
<b>Nisan</b>	66	19	49	13
<b>Mayıs</b>	60	17	44	12
<b>Haziran</b>	15	4	11	3
<b>Temmuz</b>	177	51	131	37
<b>Ağustos</b>	226	65	168	47
<b>Eylül</b>	73	21	54	15
<b>Ekim</b>	60	17	44	12
<b>Kasım</b>	36	10	26	7
<b>Aralık</b>	53	15	39	11

**Çizelge 22.** T2 türbini ile pompalanabilecek su miktarları (m<sup>3</sup>/h)

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	272	376	234	267
<b>Şubat</b>	470	627	402	451
<b>Mart</b>	31	42	25	21
<b>Nisan</b>	290	397	249	267
<b>Mayıs</b>	263	355	224	246
<b>Haziran</b>	66	84	56	62
<b>Temmuz</b>	777	1 066	667	759
<b>Ağustos</b>	992	1 359	855	964
<b>Eylül</b>	320	439	275	308
<b>Ekim</b>	263	355	224	246
<b>Kasım</b>	158	209	132	144
<b>Aralık</b>	233	314	199	226

**Çizelge 23.** T3 türbini ile çalıştırılabilir pompa sayıları

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	93	27	69	19
<b>Şubat</b>	157	45	116	32
<b>Mart</b>	120	34	89	25
<b>Nisan</b>	104	30	77	21
<b>Mayıs</b>	93	27	69	19
<b>Haziran</b>	142	41	105	29
<b>Temmuz</b>	242	69	179	50
<b>Ağustos</b>	306	88	227	64
<b>Eylül</b>	109	31	81	22
<b>Ekim</b>	88	25	65	18
<b>Kasım</b>	47	13	35	9
<b>Aralık</b>	75	21	56	15

**Çizelge 24.** T3 türbini ile pompalanabilecek su miktarları (m<sup>3</sup>/h)

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	408	564	351	390
<b>Şubat</b>	689	941	590	656
<b>Mart</b>	527	711	453	513
<b>Nisan</b>	457	627	392	431
<b>Mayıs</b>	408	564	351	390
<b>Haziran</b>	623	857	534	595
<b>Temmuz</b>	1 062	1 442	911	1 025
<b>Ağustos</b>	1 343	1 839	1 155	1 312
<b>Eylül</b>	479	648	412	451
<b>Ekim</b>	386	523	331	369
<b>Kasım</b>	206	272	178	185
<b>Aralık</b>	329	439	285	308

**Çizelge 25.** T4 türbini ile çalıştırılabilir pompa sayıları

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	268	77	199	56
<b>Şubat</b>	456	131	338	95
<b>Mart</b>	327	94	243	68
<b>Nisan</b>	283	81	210	59
<b>Mayıs</b>	253	72	188	53
<b>Haziran</b>	420	120	311	87
<b>Temmuz</b>	720	207	534	150
<b>Ağustos</b>	908	261	673	189
<b>Eylül</b>	313	90	232	65
<b>Ekim</b>	253	72	188	53
<b>Kasım</b>	119	34	88	25
<b>Aralık</b>	199	57	148	41

**Çizelge 26.** T4 türbini ile pompalanabilecek su miktarları (m<sup>3</sup>/h)

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>Ocak</b>	1 177	1 609	1 013	1 148
<b>Şubat</b>	2002	2 738	1 720	1 948
<b>Mart</b>	1 436	1 965	1 237	1 394
<b>Nisan</b>	1 242	1 693	1 069	1 210
<b>Mayıs</b>	1 111	1 505	957	1 087
<b>Haziran</b>	1 844	2 508	1 583	1 784
<b>Temmuz</b>	3 161	4 326	2 718	3 075
<b>Ağustos</b>	3 986	5 455	3 426	3 875
<b>Eylül</b>	1 374	1 881	1 181	1 333
<b>Ekim</b>	1 111	1 505	957	1 087
<b>Kasım</b>	522	711	448	513
<b>Aralık</b>	874	1 191	753	841

Bölgesel rüzgâr karakteristiklerine bağlı olarak, çalışma kapsamında seçilen rüzgâr türbinleri ile aylık ortalama olarak elde edilebilecek güç değerleri ve çalışma kapsamında seçilen pompaların motor güçlerinin (Çizelge 6) karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 19-20-21-22-23-24-25-26'da gösterilmiştir. Çizelgelerde verilen sonuçlara göre; temmuz ve ağustos ayları, en fazla pompanın çalıştırılabileceği ve en fazla suyun pompalanabileceği zaman dilimi olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapılan çalışma ile farklı açılardan benzerlik taşıyan araştırma ve sonuçları şu şekilde sıralanabilir;

Bursa ilinin farklı bir bölümünü temsil eden Gemlik bölgesinde Akın ve Kara'nın (2015) yaptığı çalışmada da bölgenin rüzgâr bakımından verimli olduğu ve türbin sistemlerinin kurulabileceği saptanmıştır. Bunun yanı sıra Karacabey bölgesinin tarımsal açıdan elverişli olmasına rağmen mevcut kaynakların kullanılması bakımından yetersiz olduğu Balcı ve Evren'in (2016) çalışmasında vurgulanmıştır.

Bununla beraber ortaya konulan çalışmanın bir benzerini farklı bir yörede uygulayan Ayodele ve ark. (2018), benzer arazi ve iklim koşullarına sahip bölgede uygulanması tasarlanan rüzgâr enerjisi kaynaklı su pompalama işleminde sonucun verimli olacağını belirlemiştir. Ayrıca bu gibi sistemlerin Campana ve Yan'ın (2015) çalışmasında da belirtildiği gibi, mevcut enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemlere göre tercih edilmesinin çok daha efektif sonuçlar ortaya koyacağı savunulmuştur.

Öte yandan Rathorea ve ark. (2018) ve Rehman ve Şahin (2019) yaptıkları çalışmada mevcut sistemde kullanılan fosil bazlı, dizel ve elektrikli su pompalarının karbon ayak izlerini hesaplamış ve bu zararın göz ardı edilemeyecek derecede olduğunu gözler önüne sermişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının su pompalama işlemi için kullanılması durumunda CO<sub>2</sub> eşdeğeri sera gazlarının çevreye salınımının ciddi miktarda engellenebileceğini tespit etmişlerdir.

Yapılan araştırma sonucu ulaşılan kaynaklar, bu çalışmada ortaya çıkarılan sonuçları destekler niteliktedir.

## 5. SONUÇ

Araştırmada rüzgâr enerjisi kaynaklı olarak elde edilebilecek elektrik enerjisinin, sulama pompalarında kullanılması koşulları değerlendirilmiştir. Rüzgâr potansiyeline uygun olarak kullanılacak 300 kW, 600 kW, 900 kW ve 1 500 kW anma güç değerlerine sahip rüzgâr türbinlerinin kullanılması halinde sistem sonuçları incelenmiştir.

Türbin – pompa sisteminin kurulması planlanan Karacabey yöresinde hesaplamalar sonucu en fazla elektriksel güç elde edilebilecek aylar; temmuz ve ağustos ayları olarak görülmektedir. Sıcaklığın artış gösterdiği ve genel olarak bitkilerin su ihtiyacının sıcaklık ile doğru orantılı olduğu temmuz ve ağustos aylarında, su pompalama için daha fazla enerji elde edilmesi tarımsal avantaj sağlayacaktır.

Uygulama yapılacak arazide bulunan yer altı suyu derinliğinin yeryüzüne 40 m'den daha yakın olması ve düşük debiye (max. 4,39 m<sup>3</sup>/h) ihtiyaç duyulması durumunda;

Üretilen enerji ile ağustos ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı halinde, sırasıyla maksimum 121, 226, 306 ve 908 dalgıç pompa kullanılabilecek ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 531 m<sup>3</sup>, 992 m<sup>3</sup>, 1343 m<sup>3</sup> ve 3986 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir. Kasım ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı durumunda, sırasıyla minimum 16, 36, 47 ve 199 dalgıç pompa kullanılabilecek ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 70 m<sup>3</sup>, 158 m<sup>3</sup>, 206 m<sup>3</sup> ve 522 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir.

Yer altı suyu derinliğinin yeryüzüne 40 m'den daha yakın olması ve yüksek debiye (max. 20,9 m<sup>3</sup>/h) ihtiyaç olması durumunda;

Üretilen enerji ile ağustos ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı halinde, sırasıyla maksimum 34, 65, 88 ve 261 dalgıç pompa kullanılabilecek ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 711 m<sup>3</sup>, 1359 m<sup>3</sup>, 1839 m<sup>3</sup> ve 5455 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir. Kasım ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı durumunda, sırasıyla minimum 4, 10, 9 ve 34 dalgıç pompa kullanılabilecek ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 84 m<sup>3</sup>, 209 m<sup>3</sup>, 272 m<sup>3</sup> ve 711 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir.

Yer altı suyu derinliğinin yeryüzüne 60 m'den daha yakın olması ve düşük debiye (max. 5,09 m<sup>3</sup>/h) ihtiyaç olması durumunda;

Üretilen enerji ile ağustos ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı halinde, sırasıyla maksimum 89, 168, 227 ve 673 dalgıç pompa kullanılabilir ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 453 m<sup>3</sup>, 885 m<sup>3</sup>, 1155 m<sup>3</sup> ve 3426 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir. Kasım ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı durumunda, sırasıyla minimum 12, 26, 35 ve 88 dalgıç pompa kullanılabilir ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 61 m<sup>3</sup>, 131 m<sup>3</sup>, 178 m<sup>3</sup> ve 488 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir.

Yer altı suyu derinliğinin yeryüzüne 60 m'den daha yakın olması ve yüksek debiye (max. 20,5 m<sup>3</sup>/h) ihtiyaç olması durumunda;

Üretilen enerji ile ağustos ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı halinde, sırasıyla maksimum 25, 47, 64 ve 189 dalgıç pompa kullanılabilir ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 513 m<sup>3</sup>, 964 m<sup>3</sup>, 1312 m<sup>3</sup> ve 3875 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir. Kasım ayında T1, T2, T3 ve T4 türbini kullanımı durumunda, sırasıyla minimum 3, 7, 9 ve 25 dalgıç pompa kullanılabilir ve yine sırasıyla pompalar saatte yaklaşık 62 m<sup>3</sup>, 144 m<sup>3</sup>, 185 m<sup>3</sup> ve 513 m<sup>3</sup> su pompalayabilecektir.

Elektrik Mühendisleri Odası 2019 verilerine göre Türkiye'de 2018 yılı aydınlatma için harcanan yıllık toplam güç 483 046 MWh iken tarımsal sulama için kullanılan yıllık toplam güç 605 014 MWh'tir. Aslında bu veri, tarımsal sulamanın ne kadar enerji gerektirdiğinin fark edilmesini sağlamaktadır. Bu denli yüksek enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak sürdürülebilirlik ve enerji tasarrufu açısından da şarttır.

Bu çalışmada Karacabey yöresinde yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan ve potansiyel vaat eden rüzgâr enerjisinin kullanılması durumunda tarımsal sulamada ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanabildiği bulgular bölümünde paylaşılmıştır. Bu çalışma, paylaşılan sistemlerin reelde uygulanması durumunda;

Yörede ekilecek tarımsal ürün,

Tarımsal ürüne göre su ihtiyacı,

Yöre yer altı suyu derinliği,

gibi unsurlar tespit edildiği takdirde, kullanılabilir rüzgâr türbini ve dalgıç pompa tipini tespit etmede uygulamacılara yardımcı olacaktır.



## KAYNAKLAR

- Adekoya, L.O. ve Adewale, A.A. 1992.** Wind energy potential of nigeria. *Renewable Energy* 2, 1(1): 35-39.
- Akın, S., Kara, Y.A. 2015.** European journal of sustainable development research a wind power plant feasibility study for Bursa Gemlik region. Bursa, Turkey
- Amar, F.B. 2014.** Study of wind water pumping system in Tunisia. The fifth international renewable energy congress IREC, 2014, Preparatory institute for engineering studies of Sfax (IPEIS), Tunisia, Sfax.
- Anonim, 2001.** Wind energy weekly. *American Wind Energy*, 19(1): 928.
- Anonim, 2008.** Arpon Literatür, "Pompa teorisi", [http://www.arpon.com.tr/Resimler/PompaTeorisi\\_20081128\\_102619.pdf](http://www.arpon.com.tr/Resimler/PompaTeorisi_20081128_102619.pdf) (Erişim Tarihi: 12.04.2008).
- Anonim, 2011.** Pompalama sistemleri genel bilgiler. <http://www.sumakpompa.com/index> (Erişim Tarihi: 04.06.2011).
- Anonim, 2013.** Global patterns of groundwater table depth. *Science*, 339: 942.
- Anonim, 2014.** Dünya su kaynakları. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> (Erişim tarihi: 15.07.2019)
- Anonim, 2015.** Global groundwater vulnerability to floods and droughtsworld-wide. Hydrogeological Mapping and Assessment Programme, Paris.
- Anonim, 2016.** Global wind statistics 2016. GWEC(Global Wind Energy Council), Şubat 2017.
- Anonim, 2018a.** T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://www.enerji.gov.tr> (Erişim Tarihi : 12.03.2019)
- Anonim, 2018b.** Turkish wind energy statistics report, Turkish Wind Energy Association, Ocak 2018, Ankara.
- Anonim, 2018c.** Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası. <http://www.repa.eie.gov.tr/> - (Erişim Tarihi: 02.12.2018).
- Anonim, 2019a.** 28 Şubat 2019 enerji istatistikleri. Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara
- Anonim, 2019b.** Bursa ili rüzgâr kaynak bilgileri. <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/BURSA-.REPA.pdf> – (Erişim Tarihi: 10.07.2019).
- Anonim, 2019c.** Dalgıç yeraltı suyu pompaları. <https://tr.grundfos.com/products/find-product/sp.html> – (Erişim Tarihi:10.07.2019).
- Anonim, 2019d.** Rüzgâr türbinleri güç eğrisi. <https://en.wind-turbine-models.com/powercurves> - (Erişim Tarihi:10.07.2019).
- Avcı, B., Yılmaz, T.B. 2012.** Rüzgâr türbini kanat tasarımı ve analizi. *Bitirme Projesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Ayodele T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O., Amusan, T.O. 2018.** Techno-economic analysis of utilizing wind energy for water pumping in some selected communities of Oyo State. *Nigeria Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91(1): 335–343.
- Balçı, P., Evren, Y. 2015.** Biyokütle enerjisi Karacabey'in kırsal kalkınması için bir potansiyel olabilir mi?. *Planlama 2015*, 25(3): 227–237.
- Bıldırçın, H.B. 2018.** Rüzgâr türbin teknolojileri ve Türkiye'de rüzgâr enerjisi kaynağının genel durumu. *Yüksek Lisans Tezi*, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye.
- Campana, P.E., Li, H., Yan, J. 2015.** Techno-economic feasibility of the irrigation system for the grassland and farmland conservation in China. *Energy Conversion and Management*, 103 (2015): 311–320.

- Cox, K., Echtermeyer, A. 2012.** Structural design and analysis of a 10 MW wind turbine blade. *Earponnergy Procteedia*, 24: 194-201.
- Çakır, B., Helvacı, B. 2016.** Rüzgâr türbini kanat tasarım ve analizi. *Bitirme Tezi*, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük.
- Çalışır, S. 2008.** Sulama pompa tesislerinde etkinlik. Konya kapalı havzasında yeraltı suyu ve kuraklık konferansı, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devler Su İşleri Genel Müdürlüğü 4. Bölge Müdürlüğü, Bildiri Kitabı, 270-275, Konya.
- Çalışır, S., Eryılmaz, T. 2005.** Sulamada kullanılan dalgıç pompalarda dönüş yönünün sistem verimine etkisi, *Tarım Makinaları Bilim Dergisi 2005*, 1 (2): 123-134.
- Çalışır, S. 2010.** Dalgıç Sulama Pompalarında Çark Çıkış Kesitinin Pompa İşletme Karakteristiklerine Etkisi, *Tarım Makinaları Bilim Dergisi 2010*, 6 (3): 163- 170.
- Diaz-Mendez, R., Rasheed, A., Peillon, M., Perdignes, A., Sanchez, R., Tarquis, A.M., Garcia-Fernandez, J.L., 2014.** Wind pumps for irrigating greenhouse crops: Comparison in different socio-economical frameworks. *Biosystem Engineering*, 128 (2014): 21-28.
- Durak, M., Özer, S. 2008.** Rüzgâr Enerjisi: Teori ve Uygulama, Editörler: Durak, M., Özer, S., İmpress Basım, Ankara, Mart 2008.
- Elkinton M.R., Rogers A.L., McGowan J.G., 2006.** An investigation of wind shear models and experimental data trends for different terrains. *Wind Engineering Volume*, 30 No.4, 341-350
- Engin M., 2004.** Güneş-Rüzgâr Hibrid Enerji İle Su Pompalama. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(3): 155-164.
- Genç, M.S. 2011.** Economic Viability of Water Pumping Systems Supplied by Wind Energy Conversion and Diesel Generator Systems in North Central Anatolia, Turkey. *Journal Of Energy Engineering* , 35.
- Gopal, C., Mohanraj, M., Chandramohan, P., Chandrasekar, P. 2013.** Renewable energy source water pumping systems - A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25(2013): 351–370.
- Güneş, İ.İ. 2006.** Bir Rüzgâr Türbininin Modellenmesi, Simülasyonu ve Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Hayli, S., 2011.** Rüzgâr enerjisinin önemi, dünyada ve Türkiye’deki durumu. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1): 1-26.
- Hua, Y., Oliphant, M., Hu, E.J. 2016.** Development of renewable energy in Australia and China: A comparison of policies and status. *Renewable Energy*, 85: 1044-1051.
- Ilinca, A., E. McCarthy, J.-L. Chaumel, J.-L. Retiveau, 2003.** Wind potential assessment of Quebec Province. *Renewable Energy*, 28 (2003): 1881-1897.
- KARACA, C. 2012.** Güneş ve Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Elektronik ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
- Kaya, Ç.I. 2010.** Akdeniz bölgesinde damla sistemiyle tatlı ve tuzlu su kullanılarak uygulanan farklı sulama stratejilerinin quinoa bitkisinin verimiyle toprakta tuz birikimine etkileri ve saltmed modelinin test edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana.
- Klug, H. 2001.** Basic course in wind energy. German Wind Energy Institute, Istanbul, Turkey.

- Kusakana, K., 2018.** Hybrid DG-PV with groundwater pumped hydro storage for sustainable energy supply in arid areas. *Journal of Energy Storage* 18 (2018): 84–89.
- Kültür, Ö.F. 2003.** Enerji ve çevre ilişkisi. *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33.
- Malkoç, Y. 2008.** Rüzgâr Enerjisi. Elekon Sempozyumu, 01.11.2008, Altınpark, Ankara.
- Midilli, A., Dinçer, I., Ay, M. 2006.** Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy*, 34(18): 3623–3633.
- Ouachani, I., Rabhi, A., Yahyaoui, I., Tidhaf, B., Tadeo, T.F. 2016.** 8th International conference on sustainability in energy and buildings, 16: 11-13.
- Özgener, Ö. 2006.** A small wind turbine system (SWTS) application and its performance analysis. *Energy Conversion and Management*, 47 (2006): 1326-1337.
- Öztürk, H. 2013.** Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Editör: Öztürk, H., Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Parigi, F., Gachovska, T.K., Hudgins, J., Patterson, D. 2008.** Wind for Irrigation. Application. Electrical Engineering University of Nebraska Lincoln, NE, USA.
- Piggott, H. 2004.** Small Wind Turbine Design Notes, <http://www.scoraigwind.com>, Danimarka - (Erişim Tarihi: 02.08.2003).
- Prabkeao, C., Tantrapiwat, A., 2018.** Study on wind energy potential for agricultural water pumping system in the middle part of Thailand. *MATEC Web of Conferences*, Phuket, Thailand.
- Ragauskas, A. J., Williams, C. K., Davison, B. H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C. A., Tschaplinski, T. 2006.** The path forward for biofuels and biomaterials. *Science (New York, N.Y.)*, 311(5760): 484–9.
- Rathorea, P.K.S., Das, S.S., Chauhan D.S., 2018.** Perspectives of solar photovoltaic water pumping for irrigation in India. *Energy Strategy Reviews*, Volume 22: 385-395.
- Rehman, S., Sahin, A.Z. 2012.** Wind power utilization for water pumping using small wind turbines in Saudi Arabia: A techno-economical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012): 4470–4478.
- Rehman, S., Sahin, A.Z. 2019.** Comparing The Use Of Diesel And Wind Power In Pumping Water in Saudi Arabia, *Energy & Environment*, 25(2): 369-388.
- Röck, K. 2017.** Integrating wind and water for renewable energy. *World Pumps*, 17(2): 1-3.
- Şahin, U. 2007.** Yarı eksenel santrifüj pompanın hidrodinamik analizi ve tasarımı. *Bitirme Projesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Shata, A.S., Hanitsch, R. 2006.** Evaluation of wind energy potential and electricity generation on the coast of Mediterranean Sea in Egypt. *Renewable Energy*, 31 (2006): 1183-1202.
- Şipar, E. 2011.** Rüzgâr enerjisi türbin sistemleri için gerçek zamanlı dinamik analiz simülasyonu gerçekleştirilmesi. *Bitirme Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Tanrıöven, M. 2010.** Rüzgâr ve güneş enerjili güç sistemleri. *Bitirme Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Temiz, F.İ. 2010.** Rüzgâr Enerjisi Sistemlerinde Optimizasyon. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uçar, A., Balo, F. 2010.** Assessment of wind power potential for turbine installation in coastal areas of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 1901–1912.

- Ünalın, Ç. 2014.** Tahmini rüzgâr verilerinin gerçek zamanlı rüzgâr verileri ile karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Vardar, A., B. Eker, 2004.** Marmara Bölgesi Rüzgâr Potansiyeli, Enerji Aylık Haber ve Araştırma Dergisi Issue: 8 s.34-36.
- Yalçın, K. 1998.** Hacimsel ve Santrifüj Pompalar, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 583s.
- Yücel, M. 2009.** Rüzgâr enerji sistemleri ve uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*, Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Çanakkale.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erkan BÖLÜKBAŞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara, 07.09.1992  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Mesleki Açık Öğretim Lisesi, 2010  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : ERMETAL – BENMAKER, 2017 Ocak'tan beri Eğitim Sorumlusu, İçerik geliştirici

İletişim (e-posta) : erkan.bolukbas4@gmail.com