

**KARABÜK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS ALANINDA  
RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİSİ  
POTANSİYELİNİN İZLENMESİ**

**2017  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Ahmet CANAN**

**KARABÜK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS ALANINDA RÜZGÂR VE GÜNEŞ  
ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İZLENMESİ**

**Ahmet CANAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Temmuz 2017**

Ahmet CANAN tarafından hazırlanan “KARABÜK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS ALANINDA RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İZLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 05/07/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)



...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ahmet CANAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KARABÜK ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS ALANINDA RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İZLENMESİ**

**Ahmet CANAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**Temmuz 2017, 64 sayfa**

Enerji, başta sanayi ve teknoloji olmak üzere yaşamımızın her alanında büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir. Sanayi ve teknolojiye bağlı gelişmeler, enerji talebinin her geçen gün artmasına ve bu da dünyada büyük bir enerji sorununun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtların çevreye yaydığı CO gibi zehirli gazlar, küresel ısınmaya neden olmakta ve sonuç olarak çevreye ve insanlara zarar vermektedir.

Bu çalışmada, rüzgâr ve güneş için ayrı ayrı hazırlanan tablo ve grafikler ile Karabük Üniversitesi kampüsünün rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Oluşturulan bu tablolar kullanılarak, saatlik bazda rüzgâr ve güneş verilerinin girilmesi halinde başka bölgelerin de türbin ve panelden elde edeceği enerji miktarları ve geri ödeme süreleri hesaplanabilecektir.

2016-2017 yılına ait bir yıllık saatlik ortalama rüzgâr hızları ve saatlik ortalama küresel güneş radyasyon değerleri, Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden alınarak aylık ve yıllık olarak analiz edilmiştir. Daha sonra 1000 kW anma gücüne sahip bir türbin seçilerek yıllık üretilen enerji miktarı 697 939 kWh olarak hesaplanmıştır. Toplam maliyeti 4 992 000 TL olan türbinin kendini amorti etme süresi 23,3 yıl çıkmıştır. Aynı şekilde, 100 kWp gücünde güneş paneli kurulması halinde elde edilecek olan enerji miktarı güneş radyasyon değerleri ve panel katalog verileri kullanılarak hesaplanmış ve 124 871 kWh olarak kaydedilmiştir. 457 600 TL yatırım maliyeti olan panelden üretilen elektriğin piyasaya 13,3 centten satılacağı düşünülerek yapılan ekonomik analizler sonucunda, yatırımın geri ödeme süresi 8,1 yıl çıkmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Karabük Üniversitesi kampüsünde rüzgâr potansiyelinin yatırım yapılabilir seviyede olmadığı buna karşın güneş paneli yatırımının uygun olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Çevre kirliliği, rüzgâr ve güneş enerjisi, küresel ısınma.

**Bilim Kodu** : 928.1.038

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **ASSESSMENT OF WIND AND SOLAR ENERGY POTENTIAL IN KARABUK UNIVERSITY CAMPUS**

**Ahmet CANAN**

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

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK**

**July 2017, 64 pages**

Energy has become a great need in all areas of our life, especially in industry and technology. Developments in industry and technology cause energy demand to increase day by day, which emerges a major problem in the world. Fossil fuels such as naturel gas, petroleum and coal, which are used in energy production release toxic gases like CO to the air and brings about global warming and consequently damage the environment and people. Within the scope of this study, with the tables and graphics prepared separately for the wind and the sun have been examined the potential of wind and solar energy of Karabuk University campus. In addition, these tables will be able to calculate the amount of energy and repayment periods that turbines and panels will obtain from other regions if wind and sun data entered on an hourly basis.

The annual wind speeds and hourly mean global solar radiation values for the year 2016-2017 were obtained from Karabük Meteorology Department and were analysed monthly and annually. Then a turbine with a rated power of 1000 kW was selected and the amount of energy produced per a year was calculated as 697 939 kWh. The total cost of the turbine was 4 992 000 TL, and the self-depreciation time was obtained 23,3 years. In the same way, the amount of energy to be obtained in the establishment of a solar panel at 100 kW was calculated by using solar radiation values and panel catalogue data and recorded as 124 871 kWh. As a result of the economic analyses carried out by considering that the electricity which produced by a panel with an investment cost of 457 600 TL will be sold to the market at 13,3 cents, the repayment period of the investment has obtained as 8,1 years. As a result of the calculations, it is seen that the wind potential is not at the investmentable level but the solar panel investment is appropriate.

**Key Word** : Environmental pollution, wind and solar energy, global warming.

**Science Code** : 928.1.038



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanı hocam sayın Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Rüzgâr enerjisi verilerinin analizinde yardımcı olan sayın Öğr. Gör. Bayram KÖSE'ye, güneş enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında katkıları olan sayın Arő. Gör. Abdülsamed TABAK'a, tez yazma süresince verdikleri desteklerden dolayı Arő. Gör. Rahman ÇALHAN ve Arő. Gör. A. Emrah ERDOĐDU'ya teşekkür ederim.

Beni yetiőtirip bugünlere gelmemi sağlayan ve maddi-manevi hiçbir desteğini esirgemeyen canım aileme teşekkür ederim.

Her anımda yanımda olan ve tez yazma döneminde desteğini esirgemeyen canım eőime teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---|---------------------|
| KABUL.....  | ii                  |
| ÖZET.....   | iv                  |
| ABSTRACT.....                                       | vi                  |
| TEŞEKKÜR.....                                       | viii                |
| İÇİNDEKİLER .....                                   | ix                  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                | xi                  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                             | xii                 |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                | xiii                |
| <br>  |                     |
| BÖLÜM 1 .....                                       | 1                   |
| GİRİŞ .....   | 1                   |
| <br>  |                     |
| BÖLÜM 2 .....                                       | 6                   |
| LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                         | 6                   |
| <br>  |                     |
| BÖLÜM 3 .....                                       | 14                  |
| RÜZGÂR ENERJİSİ .....                               | 14                  |
| 3.1. TÜRKİYE’NİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ .....  | 15                  |
| 3.2. RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN TARİHÇESİ .....           | 16                  |
| 3.3. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ.....                         | 20                  |
| 3.3.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (YERT) ..... | 21                  |
| 3.3.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (DERT).....  | 24                  |
| 3.4. RÜZGÂR TÜRBİN ELEMANLARI.....                  | 26                  |
| 3.4.1. Kule .....                                   | 27                  |
| 3.4.2. Rotor.....                                   | 27                  |
| 3.4.3. Makine Bölümü.....                           | 28                  |
| 3.4.4. Fren Sistemi .....                           | 28                  |
| 3.4.5. Jeneratör .....                              | 28                  |

|  |    |
|--|----|
| 3.4.6. Rüzgâr Ölçer (Anemometre) Ve Rüzgâr Yön Sensörü.....  | 29 |
| BÖLÜM 4 .....  | 30 |
| GÜNEŞ ENERJİSİ .....   | 30 |
| 4.1. TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ .....            | 30 |
| 4.2. GÜNEŞ PİLLERİNİN TARİHÇESİ .....                        | 33 |
| 4.3. GÜNEŞ PİLLERİ.....                                      | 34 |
| 4.4. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ .....                 | 35 |
| 4.5. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ.....                               | 36 |
| 4.5.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri.....                   | 36 |
| 4.5.2. İnce Film Güneş Pilleri .....                         | 39 |
| BÖLÜM 5 .....  | 40 |
| MATERYAL VE METOD .....                                      | 40 |
| 5.1. HAKİM RÜZGÂR YÖNÜNÜN BELİRLENMESİ.....                  | 43 |
| 5.2. RÜZGAR ÖLÇÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....             | 44 |
| 5.3. ÇALIŞMADA KULLANILACAK TÜRBİN .....                     | 47 |
| 5.4. KAPASİTE FAKTÖRÜ .....                                  | 49 |
| 5.5. SICAKLIK VE BASINÇ İLE ÜRETİLEN ENERJİNİN DEĞİŞİMİ..... | 49 |
| 5.6. TÜRBİNDEN ELDE EDİLECEK YILLIK ENERJİ.....              | 50 |
| 5.7. EKONOMİK ANALİZ.....                                    | 51 |
| 5.8. GÜNEŞ VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....                | 51 |
| 5.9. GÜNEŞ PANELİNDEN ELDE EDİLECEK OLAN YILLIK ENERJİ ..... | 54 |
| 5.10. GERİ ÖDEME SÜRELERİNİN HESAPLANMASI.....               | 55 |
| BÖLÜM 6 .....  | 58 |
| SONUÇLAR .....   | 58 |
| KAYNAKLAR .....  | 60 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 64 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1. 2016 Sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı .....                 | 4  |
| Şekil 2.1. 2009-2010 yıllarında Kosice Hava İstasyonunda saatlik ortalama küresel radyasyonun ( $W/m^2$ ) gün içindeki değişimi ..... | 12 |
| Şekil 3.1. Türkiye rüzgâr atlası .....  | 16 |
| Şekil 3.2. Poul La Cour 'un 1891'de, Danimarka'da kurduğu rüzgâr türbini .....  | 18 |
| Şekil 3.3. Rüzgâr teknolojilerinde aerodinamik değişim .....  | 20 |
| Şekil 3.4. Rüzgâr türbini çeşitleri .....   | 21 |
| Şekil 3.5. Yatay eksenli rüzgâr türbini aerodinamik kaldırma prensibi .....   | 22 |
| Şekil 3.6. Darrieus ve Savonius tipi rüzgâr türbinleri .....  | 25 |
| Şekil 3.7. Rüzgâr türbini parçaları .....   | 27 |
| Şekil 4.1. Türkiye'nin yıllık global radyasyon değerlerini gösteren güneş haritası ( $kWh/m^2$ -yıl) .....                            | 32 |
| Şekil 4.2. Güneş pilinin genel gösterimi .....  | 34 |
| Şekil 4.3. Güneş pilinin çalışma prensibi .....   | 35 |
| Şekil 4.4. Kristal yapıllı pillerin üretim aşamaları .....  | 37 |
| Şekil 4.5. Czochralski Metodu uygulaması .....  | 38 |
| Şekil 5.1. Karabük Meteoroloji İstasyonunda bulunan ölçüm direği. ....  | 40 |
| Şekil 5.2. 80 m yükseklikteki aylık ortalama rüzgâr hızları. ....   | 43 |
| Şekil 5.3. Rüzgar gülü .....  | 43 |
| Şekil 5.4. 10 m yükseklikte rüzgarın hızlara göre esme frekansları. ....  | 45 |
| Şekil 5.5. 80 m yükseklikte rüzgâr hızlarının saatlik esme sayıları .....   | 46 |
| Şekil 5.6. Leitwind rüzgâr türbini güç eğrisi .....   | 48 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 1.1. Türkiye elektrik enerjisi yakıt cinslerine göre kurulu gücü (MW) .....                | 3  |
| Çizelge 3.1. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinin rüzgâr enerjisi potansiyeli .....                    | 15 |
| Çizelge 4.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli .....                           | 31 |
| Çizelge 4.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ..... | 32 |
| Çizelge 4.3. Kristal yapılı güneş pillerinin verimlilik değerleri .....                            | 38 |
| Çizelge 4.4. İnce film teknolojili güneş pillerinin verimlilik değerleri .....                     | 39 |
| Çizelge 5.1. Yeryüzü şekillerine göre pürüzlülük katsayıları .....                                 | 41 |
| Çizelge 5.2. 80 m yükseklikte aylara göre günlük ortalama rüzgâr hızları (m/s) ....                | 42 |
| Çizelge 5.3. Yönlere göre rüzgar esme sayıları. ....   | 44 |
| Çizelge 5.4. Rüzgâr güç yoğunluğu tablosu .....  | 45 |
| Çizelge 5.5. 80 m yükseklikte elde edilen saatlik rüzgâr cetveli .....                             | 47 |
| Çizelge 5.6. Leitwind 1000 kW rüzgâr türbini özellikleri .....                                     | 48 |
| Çizelge 5.7. Uluslararası standart atmosfer tablosu .....  | 50 |
| Çizelge 5.8. Türbinin yıllık üreteceği enerji miktarı .....  | 50 |
| Çizelge 5.9. Türbin kurulumunun maliyet bileşenleri ve yüzde oranları .....                        | 51 |
| Çizelge 5.10. Günlük ortalama küresel güneş radyasyon değerleri (kWh/m <sup>2</sup> ) .....        | 52 |
| Çizelge 5.11. Alfa Solar marka panelin katalog verileri .....                                      | 53 |
| Çizelge 5.12. Leitwind türbini için geri ödeme süresinin hesabı .....                              | 55 |
| Çizelge 5.13. Alfa Solar güneş paneli için geri ödeme süresinin hesabı. ....                       | 56 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|                |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| m              | : metre                          |
| W              | : Watt                           |
| s              | : saniye                         |
| kW             | : kilo Watt                      |
| kWh            | : kilo Watt saat                 |
| m <sup>2</sup> | : metrekare                      |
| €              | : euro                           |
| \$             | : dolar                          |
| MW             | : mega Watt                      |
| GWh            | : giga Watt saat                 |
| kg             | : kilogram                       |
| $\alpha$       | : Hellmann katsayısı             |
| $\rho$         | : hava yoğunluğu                 |
| $k_f$          | : kapasite faktörü               |
| $\eta_g$       | : PV hücrenin anlık verimi       |
| $G_t$          | : küresel güneş radyasyon değeri |
| $A_m$          | : panel alanı                    |
| $\eta_r$       | : PV üretici referans verimi     |
| $\beta_t$      | : sıcaklık katsayısı             |
| $U_L$          | : ısı kaybı katsayısı            |
| $\tau$         | : iletkenlik katsayısı           |

## **KISALTMALAR**

- LNG : Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
- WASP : Wind Atlas Analysis and Application Program (Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama Programı)
- DMİ : Devlet Meteoroloji İşleri
- ARCGIS : Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi)
- YERT : Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini
- DERT : Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini
- DC : Direct Current (Doğru Akım)
- AC : Alternating Current (Alternatif Akım)
- YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Enerji, en genel anlamda iş yapabilme kabiliyeti olarak ifade edilebilir. Enerji; insanların yaşamında önemli bir yere sahip olan sanayi, iletişim, teknoloji ve ulaşım gibi alanlardaki faaliyetlerini gerçekleştirmek için gerekli olan temel bir ihtiyaçtır. Nüfustaki artış, teknolojinin hızla gelişmesi, sanayileşme ve gelişen teknolojiyle birlikte insanların daha iyi bir yaşam konforunu talep etmesi sonucunda artan enerji talebi, bütün dünyada enerjinin büyük bir sorun haline gelmesine ve üretilen enerjinin tüketimi karşılayamayarak oluşan bu açığın zamanla artmasına neden olmaktadır. Bugün bütün bu sebepler düşünüldüğünde, enerji sorunu küresel bir problem olmaya başlamıştır. Geçmişte insanların en temel ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan enerji, şimdilerde ise ülkelerin politikalarını yönlendirmeye ve bunun sonucunda işgallerin ve hatta savaşların çıkmasına neden olmaktadır. Kullanılan enerjinin büyük bir kısmını petrol, kömür ve doğalgaz gibi yenilenemeyen fosil kaynaklar oluşturmaktadır. Sonsuz enerji olmayan fosil kaynakların enerji talebini karşılayamayarak yakın gelecekte tükenen olması, bu kaynakların kullanıldığı birçok teknolojinin de çalışamaz hale gelmesine sebep olacaktır.

Bütün bu olumsuzluklarının yanı sıra fosil kaynakların kullanılması sonucunda oluşan zararlı gazlar, çevresel kirlenmeye sebep olmakta ve doğal olarak yaşanan çevrenin kalitesini düşürerek insanlara zarar vermektedir. Enerji denildiği zaman akla ilk gelen terimlerin başında olan küresel ısınma ve sera gazı etkisi, söz konusu yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan zehirli gazların meydana getirdiği durumlardır. Bunun dışında toprağın ve suların kirlenmesi ile bitkilerin zarar görmesi, asit yağmurları ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi etkiler fosil yakıtların çevreye ve insanlığa verdiği zararlar arasında sıralanabilir. Ekolojik dengenin bozulmasına sebep olan bu durumların en temel sebebi fosil kaynaklı yakıtların çok fazla miktarlarda kullanılmasıdır.



Bütün bu olumsuz etkiler bilim adamlarını, özellikle 1973 petrol krizinin yaşanmasından sonra bu yakıtlara alternatif olabilecek yeni enerji kaynaklarını araştırmaya yönlendirmiştir. Bu enerji kaynakları ise rüzgâr, hidrojen, güneş, biyokütle, jeotermal ve hidroelektrik gibi kendini yenileyebilen temiz ve doğal enerji türleridir. Bu enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararın minimum olması ve ekonomik açıdan fosil yakıtlara göre daha ucuz olması, gelişmekte olan ülkelerin yatırımı bu kaynaklara yapmasına ve böylece teknolojinin gelişerek ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Fosil yakıtların çevreye ve insanlara verdiği zararlar düşünüldüğünde, yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecekte enerji ihtiyacı olan her yerde kullanılmasının zorunlu hale geleceği aşikardır [1].

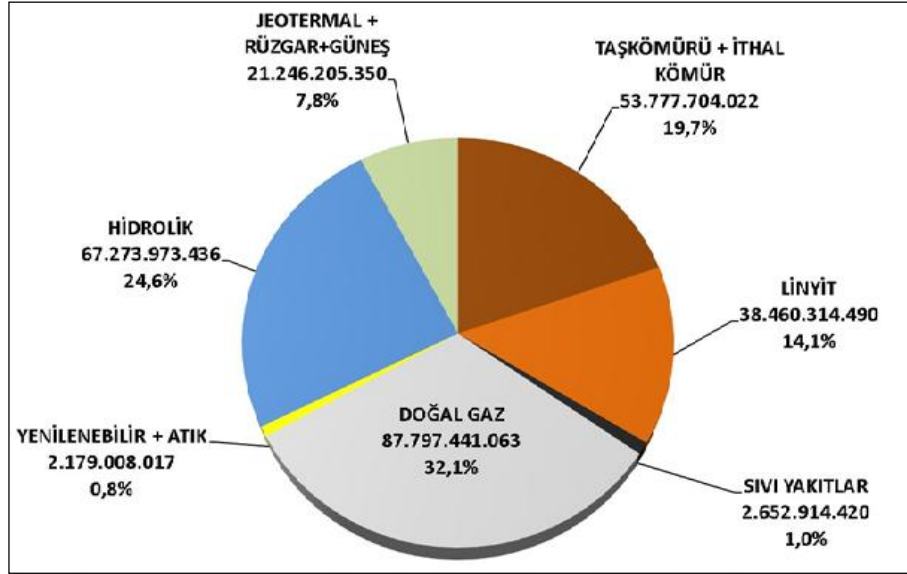
Enerji, Türkiye'nin kalkınmasında en önemli önceliklerden birisidir. Yerli fosil yakıtların sınırlı olması ve doğalgaz rezervinin olmayışı, enerjinin büyük çoğunluğunun diğer ülkelerden ithal edilmesine ve bu da Türkiye'nin enerjide dışa bağımlı bir ülke olmasına neden olmaktadır. Türkiye sınırlı petrol ve doğalgaz rezervleri ile, enerji güvenliğini arttırmak ve yurt dışından ithal edilen doğalgaza bağımlılığını azaltmak için giderek yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Bu sebeplerden dolayı, ülkenin gelişmesi ve yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojilerinin kullanımının artırılması, Türkiye'nin sürdürülebilir ekonomik kalkınması için hayati önem kazanmaktadır [2].

Türkiye'de elektrik ağırlıklı olarak Çizelge 1.1'de gösterildiği gibi kömür, doğalgaz ve fuel oil kullanan termik santraller ile hidroelektrik santraller tarafından üretilmektedir. 2017 yılı mart ayı itibariyle Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü 78.788,5 MW olarak gerçekleşmiştir. 22.095,2 MW kurulu güce sahip doğalgaz ve LNG santralleri %28'e karşılık gelen oranıyla ilk sırayı almıştır. Enerji talebinin her geçen gün arttığı ülkemizde, rüzgâr ve güneş santralleri %8,6'ya karşılık gelen 6.781,2 MW kurulu gücü ile düşük seviyelerde kalmıştır. Enerjide dışa bağımlı olan ülkemizde, elektrik ihtiyacının yerli kaynaklardan sağlanması için, rüzgâr ve güneş santrallerinin sayısının yeni yatırımlar yapılarak artırılması devam etmektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye elektrik enerjisi yakıt cinslerine göre kurulu gücü (MW) [3].

| YAKIT CİNSLERİ                               | ŞUBAT 2017 SONU İTİBARI İLE |              |
|--|-----------------------------|--------------|
|  | KURULU GÜÇ                  | KATKI        |
|  | MW                          | %            |
| Fuel-Oil + Nafta+ Motorin                    | 368,7                       | 0,5          |
| Yerli Kömür (Taş Kömürü + Linyit + Asfaltit) | 9.869,9                     | 12,5         |
| İthal Kömür                                  | 7.473,9                     | 9,5          |
| Doğalgaz + LNG                               | 22.095,2                    | 28,0         |
| Yenilenebilir +Atık ısı+ Pirolitik Yağ       | 474,5                       | 0,6          |
| Çok Yakıtlı (Katı +Sıvı)                     | 667,1                       | 0,8          |
| Çok Yakıtlılar (Sıvı + D. Gaz)               | 3.354,0                     | 4,3          |
| Jeotermal                                    | 835,9                       | 1,1          |
| Hidrolik Barajlı                             | 19.633,1                    | 24,9         |
| Hidrolik Akarsu                              | 7.147,9                     | 9,1          |
| Rüzgâr                                       | 5.867,4                     | 7,4          |
| Güneş  | 12,9                        | 0,0          |
| Termik (Lisanssız)                           | 87,2                        | 0,1          |
| Rüzgâr (Lisanssız)                           | 14,9                        | 0,0          |
| Güneş (Lisanssız)                            | 886,0                       | 1,1          |
| <b>TOPLAM</b>                                | <b>78.788,5</b>             | <b>100,0</b> |

2016 sonu itibariyle Türkiye’de üretilen 273.387.560.799 kWh elektriğin kaynaklara göre dağılımını gösteren grafik ise Şekil 1.1’de verilmiştir. %32,1’lik pay ile 16.402.173.480,0 kWh elektrik doğalgazdan elde edilmiştir. 2016 yılında Elektrik üretimimizin, %32,1’i doğalgazdan, %33,8’i kömürden, %24,6’sı hidrolikten, %5,7’si rüzgârdan, %1,8’i jeotermalden ve %2’si de diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektriğin yıllar içerisinde artarak devam etmesinin yanında, sahip olduğu konum ve iklim itibariyle güneşlenme süresi fazla olan ülkemizde güneş enerjisinden üretilen elektrik %1’in altında kalmıştır.



Şekil 1.1. 2016 Sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı [4].

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr ve güneş enerjisi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin fazla olması nedeniyle bu kaynaklara yapılan yatırımlar devlet tarafından desteklenerek geliştirilmesi yönünde adımlar atılmaktadır. Bu kapsamda, Enerji Bakanlığının yayınlamış olduğu yönetmeliklerde kurulacak olan rüzgâr ve güneş sistemlerinin nasıl yapılacağı ve hangi işlemlerin takip edileceği belirtilerek yatırımcılara kolaylıklar sağlanmaktadır. Bu sistemlerden biri olan ve rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan rüzgâr türbinlerinin kurulum aşamasından önce yapılması gereken işlemlerin en başında, türbinin kurulacağı yerdeki rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi gelmektedir. Bunun için türbinin kurulacağı bölgeye dikilen rüzgâr ölçüm direğinden veya en yakın meteoroloji istasyonundan en az 1 yıl süreyle elde edilen hız verilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde güneş enerjisinden güneş panelleri kullanılarak elektrik üretebilmek için bölgenin sahip olduğu küresel radyasyon miktarının bilinmesi ve buna göre hesaplamalar yapılarak en uygun güneş panelinin seçilmesi gerekmektedir. Yapılacak olan bu çalışmada Karabük Üniversitesi kampüs alanındaki rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelinin belirlenebilmesi için kampüs içerisinde bulunan rüzgâr ölçüm direğinden alınan rüzgâr hızı ve güneş radyasyon verileri kullanılacaktır. Ancak ölçüm direğine yıldırım çarpması sonucu hız ölçümü yapan anemometreler zarar

görmüş ve ölçümler sadece 2 ay süreyle alınabilmiştir. Karabük merkezde bulunan meteoroloji istasyonunun 10 m yükseklikte ölçmüş olduğu hızlar ile kampüsteki direktten alınan hızların birbirine yakın olması sebebiyle hesaplamalarda, Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden alınan rüzgâr verileri ve küresel güneş radyasyon verileri kullanılmıştır. Yapılacak olan bu fizibilite çalışmasında, Excel programında rüzgâr ve güneş için ayrı ayrı tablo ve grafikler hazırlanarak analizler yapılmıştır. Oluşturulan bu program sayesinde, bir sene boyunca saatlik olarak alınan rüzgâr hızı ve küresel güneş radyasyon değerlerinin girilmesiyle, hesaplamaların farklı bölgeler için de kullanılabilir olması sağlanacaktır. 10 m yükseklikte ölçülen ve kaydedilen rüzgâr hızları aylık ve yıllık olarak analiz edilerek bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Kurulacak olan türbinin göbek yüksekliği 80 m olduğu için 10 m yükseklikteki rüzgâr hızları Hellmann yükseklik bağıntısı yardımıyla pürüzlülük katsayısı 0,40 alınarak 80 m yüksekliğe uyarlanmıştır. Daha sonra kampüse anma gücü 1000 kW olan bir türbinin kurulması halinde elde edilecek olan yıllık enerji miktarı hesaplanmıştır. Bunun yanında güneş radyasyon verileri de kendi içerisinde analiz edilerek kampüs alanı içerisinde ki güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır. 100 kWp gücünde güneş panelinin kurulması halinde ne kadarlık bir enerji üretileceği, güneş radyasyon değerleri ve panel katalog verileri kullanılarak bulunmuştur. Son olarak, yatırımcılardan alınan güncel fiyatlar kullanılarak yapılan ekonomik analiz ile rüzgâr türbini ve güneş panelinin geri ödeme süreleri hesaplanarak yatırımların uygun olup olmadığı incelenmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Fosil kaynaklı yakıtların yakın zamanda tükenerek olmaları yatırımcıları temiz ve yenilenebilir kaynaklara yönlendirmektedir. Sonsuz enerjiye sahip güneşten ve güneşin bir türevi olan rüzgâr enerjisinden elektrik üretmek için rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, rüzgâr hızları ve güneş ışınım değerlerinden yararlanılarak yatırım yapılacak istenilen bölgelerin veya kampüs alanlarının rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelleri değerlendirilmiştir. Bunun için de kurulan ölçüm istasyonlarından veya en yakın meteoroloji istasyonlarından alınan veriler analiz edilmiş ve birtakım öneriler sunulmuştur. Elde edilen rüzgâr güç yoğunlukları ve güneş radyasyon değerleri, Türkiye'nin enerji potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer aldığını göstermektedir. Yapılan çalışmaların ortak sonucu ise kurulacak olan PV-rüzgâr hibrit sistemlerinin, elektrik ihtiyacını karşılamada önemli bir rol üstlenecek olmasıdır.

Uçar ve Balo, çalışmalarında Türkiye'deki 6 bölgenin (Erzurum, Elâzığ, Bingöl, Kars, Manisa ve Niğde) 2000-2006 yılları arasındaki rüzgâr potansiyelini analiz etmişlerdir. 10 m yükseklikte yapılan ölçümlerde sırasıyla 8,7 m/s, 8,5 m/s, 5,9 m/s, 6,9 m/s, 7,4 m/s ve 8,0 m/s yıllık ortalama rüzgâr hızlarını elde edilmiştir. Weibull şekil parametresi olan  $k$  1,71 ile 1,96 değerleri arasında iken ölçek parametresi  $c$  ise 6,81 ile 9,71 m/s arasında çıkmıştır. 600 kW, 1000 kW, 1500 kW ve 2000 kW kapasiteye sahip 4 adet rüzgâr türbini araştırma kapsamında incelenerek ürettikleri enerjiler ve kapasite faktörleri hesaplanmıştır. 2000 kW kapasiteye sahip De Wind D8 rüzgâr türbininin bütün bölgelerde en büyük enerjiyi veren türbin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca incelenen bölgeler içinde en büyük enerji yoğunluğu  $65 \text{ W/m}^2$  ile Erzurum, en az enerji yoğunluğu ise  $42 \text{ W/m}^2$  ile Bingöl olmuştur. Çalışmadaki bu altı bölge, ekonomik açıdan uygun elektrik enerjisi üretmeye elverişli yerler olarak değerlendirilmiştir [5].

Uğur Yıldırım vd. yaptıkları çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünün 2008-2009 yılları arasında Niğde Meteoroloji İstasyonunda 10 m yükseklikte ölçtüğü saatlik ortalama rüzgâr şiddeti verilerini, Weibull dağılımı fonksiyonunda kullanarak Niğde bölgesi rüzgâr enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak irdelemişlerdir. Moment metodu ve enerji eğilim faktörü, weibull dağılımında bulunan parametrelerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerdendir. Bu çalışmada kullanılan iki yöntemden biri olan moment yönteminde, hesaplanan değerlerin Niğde merkezdeki gerçek verilere daha yakın olduğu ancak ilçesi olan Ulukışla'da enerji eğilim faktörü yönteminin daha doğru bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu da rüzgâr hızının coğrafi koşullara bağlı olarak değiştiğinin bir ispatı olmuştur [6].

Şermin Tağıl, çalışmasında Sinop ve çevresinin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemeyi amaçladığından dolayı, söz konusu bölgenin 1990-1996 yıllarını kapsayan rüzgâr hızı verilerini Sinop Meteoroloji İstasyonunun kurmuş olduğu 10 m yükseklikteki rüzgâr ölçüm istasyonundan alarak bu verileri WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) bilgisayar programında analiz etmiştir. Elde edilen veriler saatlik, aylık ve yıllık periyotlara bölünerek bölgenin hangi dönemlerde enerji üretimine uygun hızlara sahip olduğu belirlenmiştir. Kış ve yaz aylarındaki rüzgâr hızının diğer mevsimlere göre daha düşük olduğu görülmüştür.  $324 \text{ W/m}^2$  enerji yoğunluğu dikkate alındığında bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin iyi olduğu ve bu enerjinin çeşitli yerlerde kullanılarak ekonomiye katkı sağlayacağı saptanmıştır [7].

Muharrem İmal vd. yaptıkları çalışmada Kahramanmaraş ilinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için gerekli olan yıllık ortalama rüzgâr hızı verilerini, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ana kampüsüne yerleştirilen rüzgâr ölçüm direğinden ölçüm cihazı vasıtasıyla almışlardır. Ekim 2010 ve Nisan 2012 yılları arasında kaydedilen veriler WAsP programı ile analiz edilerek 10 m ve 40 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı değerleri sırasıyla 4,70 m/s ve 4,82 m/s olarak bulunmuştur. Yapılan araştırmalar sonucunda bölgeye kurulacak olan 600 kW nominal güçlü bir rüzgâr türbininin yıllık yaklaşık olarak 851.530 GWh/yıl elektrik üreteceği hesaplanmıştır. Üretilen bu elektrik enerjisiyle kampüste gerekli olan enerjinin bir bölümünün karşılanabileceği görülmüştür [8].

Talat Koç, araştırmasında 1990-1996 dönemindeki rüzgâr verilerini kullanarak Ayvalık'taki rüzgâr enerjisi potansiyelini irdelemiştir. Ayvalık Meteoroloji İstasyonundan alınan 7 yıllık veriler analiz edildiğinde bölgenin ortalama rüzgâr hızı değeri 3 m/s'den fazla çıkmıştır. Bu da bölgenin önemli bir rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ölçüm istasyonunun şehir içinde konumlandırılması, rüzgâr hızını etkileyen faktörlerin varlığını arttırdığı varsayılarak gerçek rüzgâr hızı değerinin bulunan değerden daha fazla olabileceği düşünülmüştür [9].

B.M. Mukulo vd. bu makalelerinde Kenya'nın Mwingi-Kitui bölgesinde 20 m ve 40 m yükseklikten elde edilen rüzgâr hızı verilerini kullanarak bölgenin yıllık ortalama rüzgâr hızı değerlerini sırasıyla 4,24 m/s ve 4,88 m/s olarak elde etmişlerdir. En büyük rüzgâr güç yoğunlukları ise 60 m, 80 m ve 100 metrede sırasıyla 84,3 W/m<sup>2</sup>, 100,5 W/m<sup>2</sup> ve 115 W/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Bu değerler de küçük ölçekli bir rüzgâr türbininin elektrik üretmek amacıyla kullanılmasının uygun olacağını göstermiştir [10].

Hasan D. Yıldızay vd. yaptıkları çalışmada Eskişehir ilinin rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyellerinin yatırım yapılacak seviyede olup olmadığını belirlemek için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi meşelik kampüsünde rüzgâr ve güneş ölçüm istasyonu kurmuşlardır. Elde edilen veriler analiz edilerek rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik elde etmenin ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. 30 m yükseklikte ölçülen ve kaydedilen ortalama rüzgâr hızları incelendiğinde hafif sınıfa dahil edilen ve su pompalarının çalıştırılmasında kullanılabilen hız değerleri elde edilmiştir. Söz konusu bölgenin güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için yapılan ölçümlerde ise aralık ve ocak ayları dışındaki tüm aylarda ortalama ışıınım şiddeti oldukça yüksek çıkmıştır [11].

B. Yanıktepe vd. bu çalışmalarında Weibull ve Rayleigh dağılım metotlarını kullanarak Osmaniye ilinin 2009-2010 yılları arasında 10 m yükseklikte ölçülen 12 aylık rüzgâr hız verileri incelemişler ve bölgenin ortalama rüzgâr hızını 2,26 m/s ve en yüksek rüzgâr hızını 2,72 m/s olarak bulmuşlardır. Weibull parametlerinin bulunması için grafik metodu kullanılmış ve şekil parametresi olan k değeri 1,16 ve

ölçek parametresi  $c$  1,76 m/s olarak hesaplanmıştır. Ortalama rüzgâr yoğunluğu  $26.579 \text{ W/m}^2$  olan Osmaniye ilinin rüzgâr enerjisinden direkt olarak elektrik üretiminin düşük olduğunu göstermiştir. Bu hızların, yalnızca küçük elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan pil şarj etmede ve su pompalamada kullanılabileceğini belirtmişlerdir [12].

Leyla Özgener, çalışmasında Celal Bayar Üniversitesi muradiye kampüsünün rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için 2006-2007 yılları arasında 30 m yüksekliğe konumlandırılan anemometrelerden elde edilen rüzgâr hızı verilerini kullanmıştır. Bu veriler incelendiğinde bu yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı 3,21 m/s olarak bulunmuştur. Enercon E48 (800 kW) rüzgâr türbininin kullanılması halinde kapasite faktörü %14,1 olarak tahmin edilmiş ve bu değer de rüzgârdan elektrik enerjisi üretmek için ekonomik olmadığı sonucuna varılmıştır [13].

Murat Gökçek vd. araştırmalarında Kırklareli ilinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için gerekli olan rüzgâr hız verilerini Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğünden alarak aylık, yıllık ve mevsimsel olarak bunları analiz etmişlerdir. Rüzgâr güç yoğunluğunun hesaplanmasında Weibull ve Rayleigh olasılık fonksiyonları kullanılmış ve Weibull şekil parametresi  $k$  ve ölçek parametresi  $c$  sırasıyla 1,75 ve 5,25 m/s olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu  $138,85 \text{ W/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler ışığında, bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin elektrik üretmek için uygun olduğu gözlemlenmiştir [14].

Ahmet Öztopal vd. araştırmalarında Türkiye'nin rüzgâr hızı ve enerji haritalarını ortaya koymuşlar ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin yatırım yapılabilir seviyede olduğu bölgelerin önemini vurgulayarak belirtmişlerdir. Genel olarak Türkiye'nin kuzey ve kuzeybatı kısımları ile Ege Denizi kıyısı boyunca uzanan yerlerin potansiyel rüzgâr enerjisi bölgeleri olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde Gökçeada, Bandırma ve Orta Karadeniz Bölgesi ile Akdeniz'in doğusu rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan yerler arasında belirtilmiştir [15].



Özerdem ve Türkeli (2003), yaptıkları çalışmada İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüsündeki rüzgâr karakteristiğini 1 yıldan fazla bir süre incelemişlerdir. Weibull olasılık dağılımının diğer dağılımlara göre daha iyi sonuç verdiği yapılan analizlerle saptanmıştır. 10 m ve 30 m yükseklikteki rüzgâr hızlarının yanında nem, basınç ve sıcaklıklar da incelenmiştir. 16,3 °C ortalama sıcaklığa, 967 hPa basınca ve %65 ortalama neme sahip kampüste 10 m ve 30 m yükseklikteki rüzgâr hızları sırasıyla 7,03 m/s ve 8,14 m/s olarak hesaplanmıştır. WAsP ve WindPro yazılımları vasıtasıyla, ölçülen veriler ve yapılan değerlendirmeler kampüsün dikkate değer bir rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Yapılan bu çalışma, aynı zamanda oluşturulacak olan Türkiye Rüzgâr Atlası için bir kaynak niteliği oluşturmaktadır [16].

I. Ulfat vd. bu makalelerinde Pakistan'ın başkenti İslamabad'da güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için yeryüzüne düşen aylık ışınım şiddetini analiz etmişlerdir. Yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin umut vaat ettiğini göstermiştir. Özellikle yaz aylarındaki ışınım şiddetinin fazla olması, bu dönemde elde edilecek olan elektrik enerjisinin, bölgenin bir kısmının enerji problemini çözebileceğini ve elektrik enerjisi kullanımını rahatlatılabileceğini göstermiştir [17].

Taşkın ve Korucu, bu çalışmada güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretilen tesislerin yapım aşamasından önce söz konusu bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin belli bir süre araştırılması gerektiği göz önünde bulundurularak Kahramanmaraş ilinin merkez ve ilçelerinin güneş enerjisi potansiyeli, piranometre vasıtasıyla elde edilen değerler kullanılarak irdelenmiştir. Bu veriler analiz edildiğinde bölgenin yıllık güneşlenme süresi 2918 saat ve ışınım şiddeti 1608 kWh/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, bölgenin güneş enerjisi potansiyeli yüksek olmasına rağmen elde edilen bu enerjiden sıcak su temini dışında çok fazla yararlanılmadığı görülmüştür. Araştırmacı güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için sistemlerin kurulup bir an önce bu potansiyelin kullanılması gerektiğini vurgulamıştır [18].

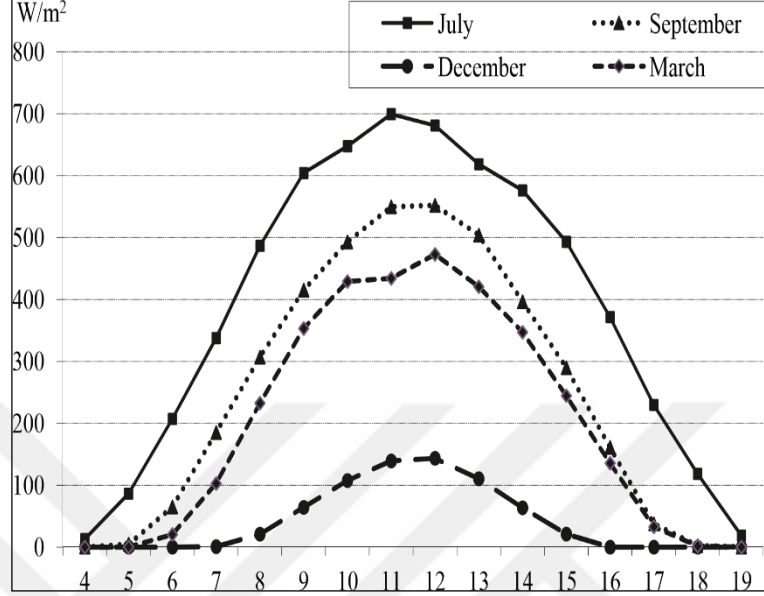
D. Kipchhirchir Choge, çalışmasında Kenya Eldoret bölgesindeki rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelini incelemiştir. Bunun için 2004-2008 yılları arasındaki verileri

Eldoret Meteoroloji İstasyonundan almıştır. Analizler sonucunda 2 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı 2,5 m/s ve 20 m yükseklikten elde edilen veriler ışığında rüzgâr güç yoğunluğu  $80,739 \text{ W/m}^2$  olarak bulunmuştur. Küresel güneş ışınımı ise 2008 yılında  $21,44 \text{ MJ/M}^2.\text{day}$  ile maksimum, 2007 yılında  $16,00 \text{ MJ/M}^2.\text{day}$  ile minimum olarak ölçülmüştür. Bu değerlere göre, rüzgâr ve güneş enerjisinin birlikte kullanılması halinde elde edilecek olan elektrik enerjisiyle, küçük güçlerde çalışan bir rüzgâr türbini kullanılarak küçük ölçekli uygulamaların çalıştırabileceği düşünülmüştür [19].

Kasra Mohammadi vd. çalışmalarında İran'ın Kish Salafchegan ve Chabahar bölgelerindeki rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelini incelemişlerdir. Güneş enerjisinden yararlanma olanağı; aylık ortalama güneş ışınım değerleri, güneş radyasyonları ve berraklık indeksi kullanılarak irdelenmiştir. Sonuç olarak bölgelerin güneş enerjisi potansiyellerinin yıl boyunca çok yüksek olduğu ve böylece farklı panel çeşitlerinin kullanılmasıyla elektrik üretmeye elverişli olduğu görülmüştür. Farklı yüksekliklerdeki rüzgâr potansiyelinin analizi için ise Weibull dağılımı kullanılmıştır. 10 m yükseklikte anemometre ile ölçülen rüzgâr hızları bu üç bölge için sırasıyla 2,87 m/s, 4,10 m/s ve 4,34 m/s olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, bu üç bölgeden Chabar'ın rüzgâr enerjisi potansiyelinin zayıf olduğunu göstermiştir. Diğer iki bölgenin ise yıllık ortalama rüzgâr yoğunlukları sırasıyla  $111,28 \text{ W/m}^2$  ve  $114,34 \text{ W/m}^2$  olarak bulunmuştur. Bu yoğunluklar, bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyellerinin türbin vasıtasıyla elektrik üretimine uygun olduğuna işaret etmiştir. Araştırmacılar da bu kapsamda bu bölgeler için 3 farklı rüzgâr türbini modeli önermiştir [20].

Karoly Tar vd. çalışmalarında Hernad Vale bölgesinin rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelini hesaplamak için Kosice Havaalanının hava istasyonundan alınan rüzgâr hızı verileri ve güneş radyasyon değerlerini kullanılmışlardır. Güneş verilerinin yanı sıra ArcGIS (Geographic Information System) coğrafi bilgi yazılımından da yararlanılmıştır. 2009-2010 yılları arasındaki veriler analiz edildiğinde, kış aylarında güneşin çok fazla olmaması sebebiyle güneş radyasyon değerlerinin düşük olduğu, ilkbaharda yavaş yavaş artarak yaz aylarında maksimum değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen küresel güneş radyasyon değerlerinin temmuz, eylül,

mart ve aralık aylarında gün içerisindeki değişimini gösteren değerler Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. 2009-2010 yıllarında Kosice Hava İstasyonunda saatlik ortalama küresel radyasyonun ( $W/m^2$ ) gün içindeki değişimi [21].

Rüzgâr enerjisi potansiyelinin incelenmesinde ise 2010-2012 tarihleri arasındaki rüzgâr verileri kullanılmıştır. Rüzgâr verilerinden yararlanılarak Hellmann katsayısı 0,22 olarak bulunmuştur. 10 m ve 20 m yüksekliklerdeki ortalama rüzgâr hızları sırasıyla 3,2 m/s ve 3,4 m/s olarak elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, elde edilen rüzgâr hızları ve rüzgâr güç yoğunluklarının küçük hızlarda harekete geçen bir türbinin kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur [21].

Sedat Yayla vd. bu araştırmada Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanına bir rüzgâr ölçüm direği dikilerek rüzgâr hızını ölçmek için 30 m yüksekliğe anemometre ve yön sensörü yerleştirilmiştir. Nisan 2004-Mart 2005 yılları arasındaki veriler WASP programı kullanılarak analiz edilmiştir. 30 m’deki rüzgâr hızı ve rüzgâr güç yoğunluğu sırasıyla 3,87 m/s ve 78  $W/m^2$  olarak hesaplanmıştır. Bu veriler yardımıyla kampüs alanına Vestas V52 (850 kW) türbini kurulması halinde üreteceği enerji miktarı 237 MWh olarak bulunmuştur. Hesaplamalar sonucunda, bu bölgenin rüzgâr potansiyelinin Türkiye’nin ortalama rüzgâr potansiyelinin üzerinde olduğu görülmüştür [22].

Majid Vafaeipour vd. çalışmalarında Tahran'ın rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelini incelemiştir. Günlük ve aylık güneş ışınım değerleri ısıya dayalı metot kullanılarak analiz edilirken, rüzgâr hızları ve yoğunlukları Weibull olasılık dağılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ortalama yıllık küresel güneş ışınımı  $1,85 \text{ MWh/m}^2$ -yıl olarak bulunmuştur. Aralık ayı ışınımın en az olduğu ay iken, haziranda ışınımın maksimum değeri elde edilmiştir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı  $4,09 \text{ m/s}$  çıkmıştır. Bu verileri değerlendiren araştırmacı, bölgeye kurulacak küçük ölçekli bir türbinin ekonomik olacağını belirtmiştir. Araştırma kapsamında, bölgenin rüzgâr enerjisi yoğunluğunun güneş enerjisi potansiyeline oranla daha az olduğu görülmüştür. Ancak ocak, şubat, mart ve nisan aylarındaki güneş ışınımının bu aylardaki rüzgâr enerjisine göre düşük olması, PV-rüzgâr hibrit enerji sistemlerinin kullanılmasının muhtemel olabileceğini göstermektedir [23].

## BÖLÜM 3

### RÜZGÂR ENERJİSİ

Rüzgâr, sıcaklık farklarından kaynaklı olarak atmosferdeki hava kütlelerinin hareket etmesi ile meydana gelen bir olaydır. Oluşan bu sıcaklık farkları ise değişken güneş ısısından kaynaklanmaktadır. Ekvatorial bölgeler kutuplardaki bölgelere göre daha fazla güneş ışınlarına maruz kalır. Sonuç olarak, ekvatorial bölgedeki sıcak ve hafif olan hava, atmosferin dış tabakalarına kadar yükselir ve kutuplara hareket ederek alt tabakalardaki soğuk havayla yer değiştirir. Oluşan bu hava sirkülasyonu, dünyanın dönüşü ile ilişkili olan koriolis kuvvetlerinde de etkilenecek şekilde rüzgârı oluşturur.

Hava hareketleri sonucunda oluşan rüzgârın kinetik enerjisinden yararlanılarak elde edilen rüzgâr enerjisi, doğada bol miktarda bulunmasının yanında temiz ve yenilenebilir olması sebebiyle dünyanın en hızlı büyüyen ve en çok kullanılan alternatif enerji kaynakları arasında yerini almaktadır. Rüzgâr enerjisinin taşıma problemi bulunmamaktadır ve kullanılabilmesi için yüksek teknolojilere ihtiyaç yoktur. Rüzgâr enerjisinden yararlanmak için bu enerjinin farklı türdeki enerjilere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için de rüzgârın kinetik enerjisi önce mekanik enerjiye dönüştürülür ve daha sonra da bu enerji rüzgâr türbinleri kullanılarak elektrik enerjisine çevrilir. Diğer dönüştürme sistemleri ile karşılaştırıldığında, rüzgâr enerjisini diğer enerji türlerine çeviren teknoloji daha ekonomiktir.

Rüzgâr enerjisi, Türkiye’de üretilen yerli bir enerji kaynağıdır. Petrol fiyatlarındaki artışlar ve fosil yakıtlardaki olumsuzluklar Türkiye’de rüzgâr enerjisi kullanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak, halen Türkiye’de elektrik üretiminin büyük bir kısmı hidrolik ve termal kaynaklıdır. Bu yüzden, Türkiye’nin sahip olduğu rüzgâr enerjisi potansiyeli iyi değerlendirilmeli ve yapılacak yatırımlarla tüketilen elektrik enerjisinin yerli kaynaklardan karşılanması sağlanmalıdır [24].

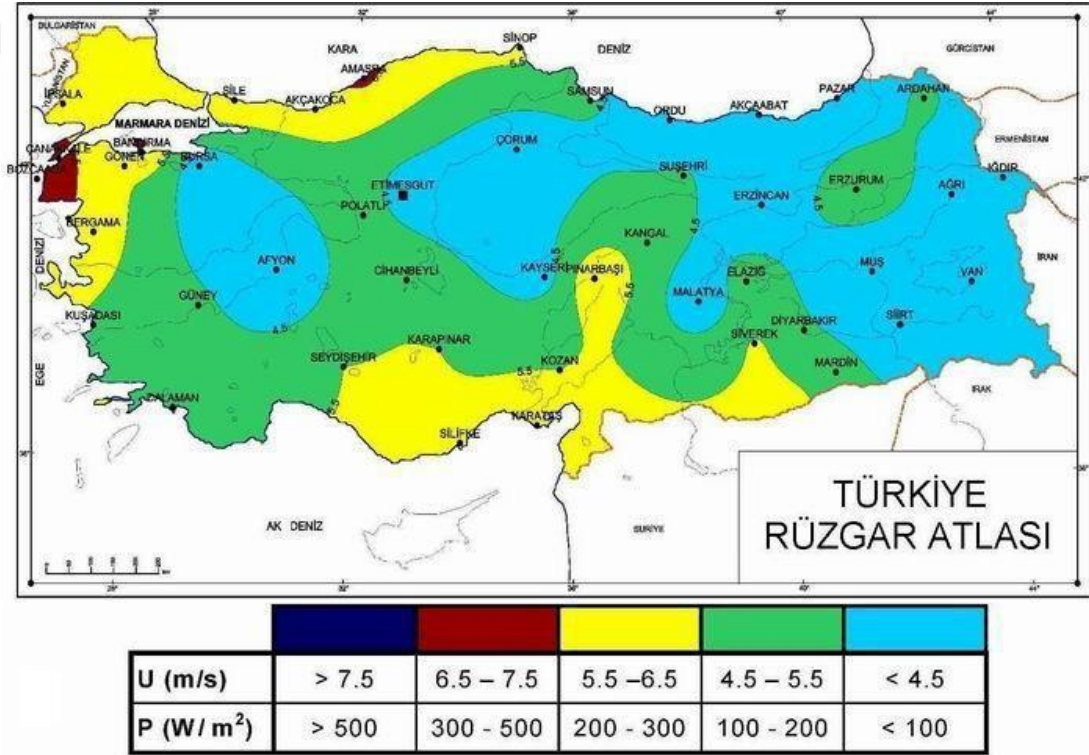
### 3.1. TÜRKİYE’NİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye, sahip olduğu jeopolitik konum itibariyle rüzgâr enerjisinden yararlanılabilecek ülkeler arasındadır. Teorik olarak, Türkiye’nin yıllık rüzgâr potansiyeli çok büyüktür ve ülkenin mevcut elektrik üretiminin yaklaşık iki katı kadardır. Ülkemizin teknik rüzgâr enerjisi potansiyeli 88.000 MW ve ekonomik rüzgâr enerjisi potansiyeli ise yaklaşık 10.000 MW’dır. Devlet Elektrik Araştırma Kurulu raporlarına göre, Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 120 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir. Araştırmalar, Türkiye’nin toplam rüzgâr enerjisi potansiyelinin mevcut termal ve hidrolik enerji üretiminden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Türkiye’nin çeşitli bölgelerinin yıllık ortalama rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr enerjisi yoğunluğu Çizelge 3.1’de gösterilmektedir. Ülkenin yedi bölgesi karşılaştırıldığında, rüzgâr enerjisi yoğunluğu Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu’da daha yüksek görülmektedir. Rüzgâr hızları da bu sebeple bu üç bölgede daha yüksektir. Yıllık ortalama rüzgâr hızı, Doğu Anadolu Bölgesi’nde 2,12 m/s iken Marmara Bölgesi’nde ise 3,29 m/s’dir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) verilerine göre, Türkiye’nin yıllık ortalama rüzgâr hızı 2,58 m/s ve rüzgâr enerjisi yoğunluğu 25,82 W/m<sup>2</sup>’dir. Rüzgâr enerjisi uygulamaları için en iyi bölgeler Marmara, Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgeleridir. Bu alanlarının çoğunluğunda rüzgâr hızı 3 m/s’den fazla olduğu için, bu bölgeler rüzgâr enerjisi üretimi için oldukça uygundur [2].

Çizelge 3.1. Türkiye’nin çeşitli bölgelerinin rüzgâr enerjisi potansiyeli [2].

| Bölge                     | Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s) | Yıllık Ortalama Rüzgâr Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------|-----------------------------------|--|
| Marmara Bölgesi           | 3,29                              | 51,91  |
| Ege Bölgesi               | 2,65                              | 23,47  |
| Akdeniz Bölgesi           | 2,45                              | 21,36  |
| İç Anadolu Bölgesi        | 2,46                              | 20,14  |
| Karadeniz Bölgesi         | 2,38                              | 21,31  |
| Doğu Anadolu Bölgesi      | 2,12                              | 13,19  |
| Güneydoğu Anadolu Bölgesi | 2,69                              | 29,33  |

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi kaynakları çoğunlukla arazilerde ve kıyı şeritlerinde dağılmıştır. Şekil 3.1'de gösterilen Türkiye rüzgâr atlasına göre; rüzgâr bakımından zengin alanlar ağırlıklı olarak Türkiye'nin kuzeybatı, batı, kuzey ve kuzey-güney doğrultusunda, özellikle batı kıyılarında (özellikle Çanakkale ve Bandırma deniz kıyısında) ve ada yakınlarında dağılmıştır. Buna ek olarak, rüzgâr enerjisi kaynağı Güneydoğu Akdeniz bölgesi, Doğu Antakya, Kuzey Osmaniye, Doğu Siverek ve Mardin'de ve güneybatıdaki bazı bölgelerde bol miktarda bulunmaktadır. Teknik olarak kullanılabilir bu alanlarda, yıllık ortalama rüzgâr enerjisi yoğunluğu 200 ile 300 W/m<sup>2</sup>'yi aşmaktadır [2].



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

Şekil 3.1. Türkiye rüzgâr atlası [3].

### 3.2. RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN TARİHÇESİ

Rüzgârın temiz, yenilenebilir ve bedava olması, rüzgâr enerjisinden çok eski dönemlerde bile yararlanıldığını göstermektedir. Yüzyıllarca, yelkenli gemileri hareket ettirmek için rüzgârın kinetik enerjisi kullanılmıştır. Yeni dünya, rüzgâr gücüyle çalışan gemiler kullanılarak keşfedilmiştir. Watt, 18. yüzyılda buhar

makinesini icat edene kadar rüzgâr gemiler için neredeyse tek güç kaynağı olmuştur. Kara üzerinde rüzgâr türbinlerinin varlığı yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Kaynaklar Babil hükümdarı Hammurabi'nin 17. yüzyılda sulama için rüzgâr türbinlerini kullandığını işaret etmektedir. Milattan önce 3. yüzyılda yaşamış İskenderiye kahramanı, basit dört yelkenli bir yatay eksen makineyi kullanmıştır. Persler, milattan sonra 17. yüzyılın ortalarında rüzgâr türbinlerini yaygın bir biçimde kullanmışlardır. Bilinen en eski İngiliz türbini 1191 yıllarında kullanılmıştır. Buğday öğütmek için rüzgârın enerjisinden yararlanarak çalışan yel değirmenleri ilk defa 1439 yılında Hollanda'da inşa edilmiştir. Yüzyıllar içerisinde birçok teknolojik gelişmeler yaşanmış ve 1600 yılına gelindiğinde en yaygın rüzgâr makinesi olan kule değirmeni kullanılmaya başlanmıştır.

1800'lerin ortasında, su pompalamada kullanılan küçük bir rüzgâr türbininin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Batı Amerika'ya insanlar yerleşmeye başlamış ve verimli olan bu topraklarda yeterli suyun olmadığını sadece yerin birkaç metre derinliklerinde olduğunu görmüşlerdir. Bu durum Amerikan multi-bladed rüzgâr türbini olarak bilinen yeni bir rüzgâr türbininin geliştirilmesinde etkili olmuştur. Yüksek başlangıç torkuna ve yeterli verime sahip olan bu türbin, istenilen su pompalama işine çok uygun olduğu için uzun bir dönem Afganistan, İran gibi ülkelerde kullanılmıştır. 1880 ve 1930 yılları arasında çeşitli şirketler tarafından Amerika'da yaklaşık 6,5 milyon adet türbin kurulmuştur. Bunların birçoğu hala çalışmaya devam etmektedir.

1888 yılına gelindiğinde Amerika'nın Cleveland kentinde, Charles Brush'un evinin bahçesine kurduğu 18 m yüksekliğindeki rüzgâr türbini 4 ton ağırlığa sahip ve 144 tane parçadan oluşmaktaydı. İnşa ettiği bu yapının en ağır ve en önemli parçası olan rüzgâr jeneratöründen elde ettiği enerjiyi, evinde bulunan pilleri şarj etmek için kullanmıştır. 17 m rotor çapına sahip olan bu devasa türbinin üzerine konumlandırılan çok sayıda dar kanat, yüksek momentlerin elde edilmesini sağlarken devrin ise düşmesine neden olmuştur. 12 kW güç sağlanan bu türbin 20 yıla yakın kullanıldıktan sonra çok kanatlı düşük devirli makinelerin elektrik üretiminde sınırlı olduğu görülmüştür.



Danimarka, rüzgâr türbinlerini elektrik üretmek için kullanan ilk ülkedir. 1891 yılında Danimarkalı Poul La Cour, rüzgâr türbini üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda ilk 4 kanatlı ve 20-35 kW arasında güç üreten Şekil 3.2'deki türbini geliştirmiştir.



Şekil 3.2. Poul La Cour 'un 1891'de, Danimarka'da kurduğu rüzgâr türbini [25].

1910 yılına kadar 5 kW güce sahip türbinlerden 25 kW güce sahip türbinlere kadar yüzlercesi Danimarka'da kullanılmıştır. 1925 yılında, Amerika pazarında 2-3 kanatlı rüzgâr türbinlerinin kullanıldığı ticari rüzgâr santralleri oluşturulmuştur. 200 W-1200 W arasında güce sahip olan Wincharger ile 1,5-3 kW güce sahip Jacobs en yaygın markalar olmuştur. Bu markadaki türbinler çiftliklerde bataryaları şarj etmek için ve daha sonraki zamanlarda ise radyo, ışık ve diğer küçük uygulamaları çalıştırmak için kullanılmıştır.

Bu zamandan sonra büyük firmalar tarafından müşterilerine daha fazla güç sağlamak için daha büyük rüzgâr türbinleri üretilmeye başlanmıştır. Bu çerçevede, 1941 yılında Vermont şehrinin yakınında bulunan Granpa's Knob'da, 1250 kW gücü ile en

büyük rüzgâr türbini inşa edilmiştir. 1934 tarihinde mühendis Palmer C. Putnam'ın Cape Cod evinde elektrik maliyetini azaltmak için rüzgâr elektrik jeneratörlerini araştırmaya başlamasıyla birlikte bu kadar büyük türbinlerin üretilmesi fikri ortaya çıkmıştır. 1939 yılında, Putnam bu fikrini Amerika'nın önemli bir şirketine sunmuştur. Bu fikrin kabul edilmesiyle Smith-Putnam rüzgâr türbini ortaya çıkmıştır. Bu türbin 34 m yüksekliğe sahip bir kule ve 53 m çapa sahip bir rotordan oluşmaktadır. Paslanmaz çelikle kaplanmış olan ve her birinin ağırlığı 7300 kg olan kanatların çapı 3,45 m uzunluktadır. Kanatların eğimi 28,7 r/min sabit rotor hızında dönmesi için ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır. Bu dönme hızı da 32 m/s rüzgâr hızlarına karşılık gelmektedir. Daha yüksek rüzgâr hızlarında kanatlar makineyi durduracak şekilde ayarlanmıştır. Türbin, 13 m/s rüzgâr hızlarının üzerinde toplamda 1250 kW'lık güç üretmiştir. Belli bir süre sonra kanatlardan bir tanesinin hasar görmesiyle 10 yıl boyunca bu durum incelenmiş ve sonunda ekonomik uygulanabilirlik için 6500 kW ve 7500 kW güçlere sahip iki tane çok büyük türbin dizayn edilmiştir. 6500 kW güce sahip türbinin kule yüksekliği 145 m iken rotorunun çapı 61 m idi.

Diğer ülkeler de türbin araştırmalarına devam etmiş ve Dr. Ulrich Hutter 1957 yılında Almanya'da 100 kW'lık bir türbin inşa etmiştir. Bu türbin daha önceki türbinlerden daha düşük hızda maksimum güce ulaşmıştır. Türbin 35 m çapında hafif fiberglas kanatlardan oluşmuş ve içi boş boru kule, teller ile yüzeye sabitlenmiştir.

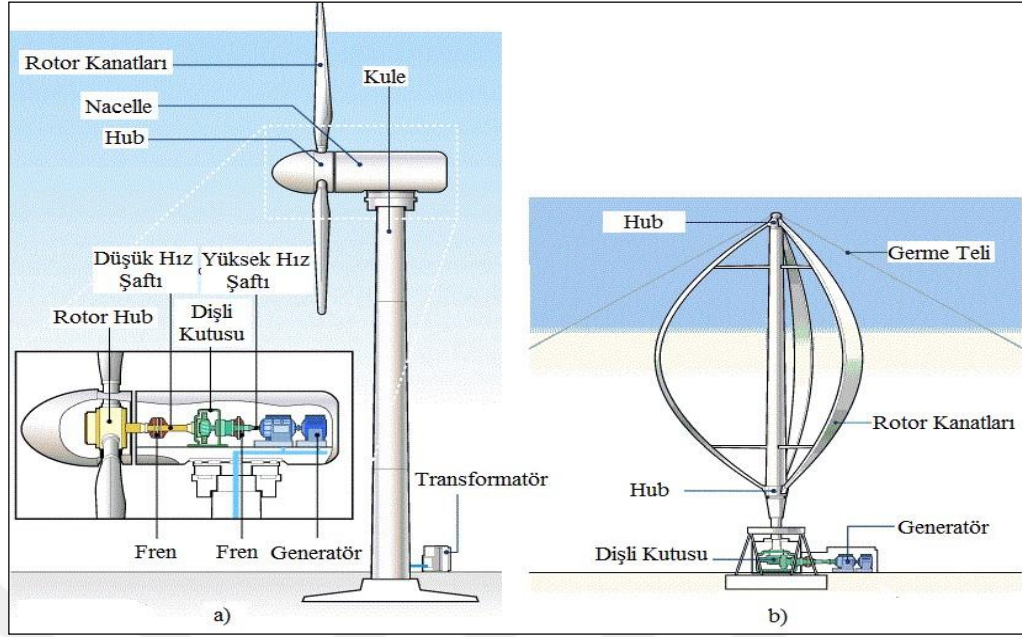
Türbin üretim kapasitesinin fazla olduğu ülkelerden biri olan Danimarka, Gedser rüzgâr türbinini 1957 yılında inşa etmiştir. Bu türbin 15 m/s rüzgâr hızında 200 kW güç üretmiştir. Kule yüksekliği 26 m olan türbinin rotoru 24 m çapındadır. Jeneratör kulenin en tepesinde konumlandırılmıştır. Bu sistemin yaklaşık olarak maliyeti \$250/kW olmuştur. Bu türbin de 1968 yılına kadar kullanılmıştır. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte rüzgâr türbinlerinin pazar payı artmış ve yüksek verimlere sahip düşük maliyetli türbinler üretilmeye başlanmıştır [26]. Şekil 3.3'de rüzgâr türbinlerindeki aerodinamik değişim görülmektedir.



Şekil 3.3. Rüzgâr teknolojilerinde aerodinamik değişim.

### 3.3. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ

Rüzgâr türbinleri, temiz ve yenilenebilir bir enerji olan rüzgâr enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan ve bu işlem için rüzgârın kinetik enerjisinden yararlanan makinelerdir. Rüzgârın kanatlar üzerinde oluşturduğu kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri türbinin çalışmasını sağladığı için en basit şekilde türbinler kaldırma tipi (lift-type) ve sürüklenme tipi (drag-type) olarak sınıflandırılırlar. Şekil 3.5’de rüzgâr türbinlerin aerodinamik kaldırma prensibi yer almaktadır. Sahip oldukları eksen yapısına göre ise yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere iki çeşit rüzgâr türbini bulunmaktadır. Şekil 3.4’de yatay ve dikey eksenli türbinlerin ekipmanlarının da bulunduğu şekiller yer almaktadır. Geçmişte küçük aletleri çeviren mekanik bir cihaz olarak daha sık kullanılmaktayken, günümüzde ise hem karada hem de denizde rüzgâr çiftliklerinde büyük miktarda elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. Günümüzde birçok yerde ve uygulamada yatay eksenli rüzgâr türbini tercih edilmektedir. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri ise daha çok deney amaçlı ve daha az enerji gerektiren yerlerde kullanılmaktadır [27].



a) Yatay eksenli rüzgâr türbini

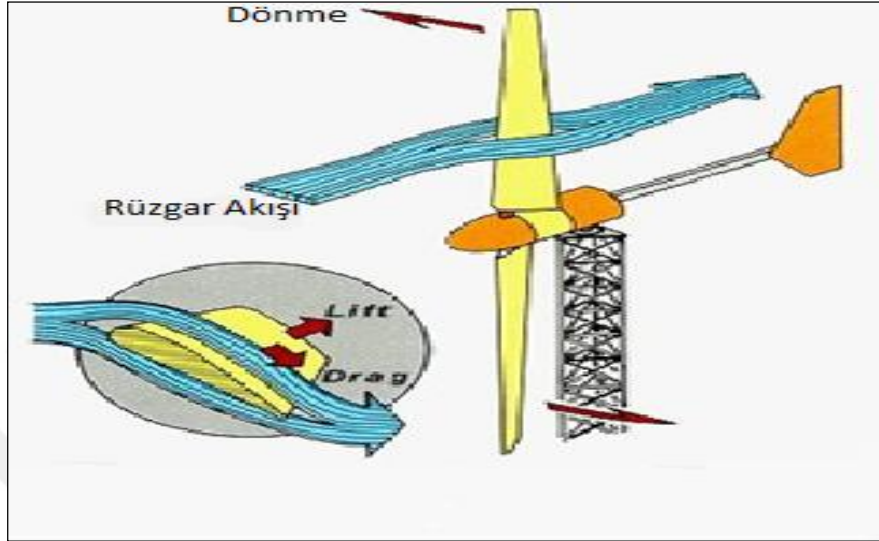
b) Düşey eksenli rüzgâr türbini

Şekil 3.4. Rüzgâr türbini çeşitleri [28].

### 3.3.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (YERT)

Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde; rotorun dönme eksenini rüzgâr akıntısına ve yere paralel, kanatlar ise rüzgâr yönüne dik bir şekilde yer almaktadır. Günümüzde çoğu yatay eksenli rüzgâr türbini iki veya üç kanattan oluşmakla birlikte tek kanatlı veya daha çok kanatlı rüzgâr türbinleri de mevcuttur. Rotorun sahip olduğu kanat sayısı ne kadar az olursa dönme hızı da o derece fazla olmaktadır. Bütün bu nedenlerin yanında daha ekonomik ve verimli olması sebebiyle üç kanatlı türbinler piyasada en çok tercih edilen türbin çeşididir. Verimleri %45 olan bu türbinler genellikle yerden 20-30 metre yüksekliğe konumlandırılmaktadır. Rüzgârı önden alan ve arkadan alan olmak üzere iki türlü yatay eksenli rüzgâr türbini bulunmaktadır. Söz konusu türbinlerin büyük bir kısmı rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde, rüzgârın yönü ile kanatlar arasında oluşan açı, kanatların iki yüzeyindeki basıncın farklı olmasına neden olmaktadır. Üst ve alt yüzeylerde oluşan bu basınç farkı, kanatlarda oluşan yük dağılımının düzenli olmamasından kaynaklanmaktadır. Ve sonuçta meydana gelen basınç farkıyla aerodinamik bir kaldırma kuvveti oluşmakta bu da türbinin kanatlarının dönmesini sağlamaktadır.

Rüzgâr türbinin kanatları, merkezde bir göbek ile bir düzlemde hareket etmek üzere sınırlandırılmıştır. Kaldırma kuvvetine ek olarak, kaldırma kuvvetine dik olan sürüklenme kuvveti ise rotorun dönmesini engelleyici bir etki yaratmaktadır [29].



Şekil 3.5. Yatay eksenli rüzgâr türbini aerodinamik kaldırma prensibi.

- Rüzgârı Önden Alan Rüzgâr Türbini

Rüzgârı önden alan rüzgâr türbini, kanatların rüzgârla karşı karşıya bulunduğu türbindir. Rüzgâr türbinlerinin çoğunluğu bu tasarıma sahiptir. En temel avantajı kulenin arkasında meydana gelen rüzgâr gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Bu tip rüzgâr türbinleri, rüzgârı tam olarak yakalayabilmek için bir yaw mekanizmasına ihtiyaç duymaktadır. Bu mekanizma sayesinde, rüzgâr yön değiştirdiğinde türbin rüzgârı en iyi alacak açığa gelene kadar hareket etmektedir [30].

- Rüzgârı Arkadan Alan Rüzgâr Türbini

Bu tür rüzgâr türbinleri, rotorun rüzgâr sönmleyici tarafında olduğu türbinlerdir. Yaw mekanizmasına ihtiyaç duymaması en büyük avantajlarından bir tanesidir. Kanatların daha esnek üretilmesi diğer türbinlere kıyasla ağırlık ve makinenin güç dinamiği yönünden üstün olmasını sağlamaktadır. Temel dezavantajı ise, akışın kule tarafından olması sebebiyle kanatlara gelinceye kadar rüzgâr hızında meydana gelen

dalgalanmaların verimi azaltıcı yönde etki etmesidir. Ayrıca oluşan bu dalgalanmanın verdiği zarar diğer türbinlere oranla daha fazladır [30]. Türbinlerin sahip olduğu özellikler dikkate alındığında birbirlerine göre üstünlükleri ve eksiklikleri mevcuttur. Bu kapsamda, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yatay Eksenli Türbinlerin Avantajları

- Kanatlar, türbinin ağırlık merkezinde bulunmaktadır ve bu da kararlılığa yardımcı olmaktadır.
- Türbininin kanatları, fırtınada en az şekilde hasar görecektir şekilde tasarlanmaktadır.
- Kule uzunluğunun yüksek olması nedeniyle, rüzgâr değişiminin fazla olduğu düzensiz arazilerde ve offshore konumlarda daha güçlü rüzgâra erişim imkânı sağlar.
- Çoğu yatay eksenli türbin kendiliğinden devreye girdiği için ekstradan bir elektrik motoruna ihtiyaç duymaz.
- Yüksek üretim hacmi nedeniyle diğer türbinlere göre maliyeti daha ucuzdur [31].

- Yatay Eksenli Türbinlerin Dezavantajları

- Uzun kulelere ve uzun kanatlara sahip olması taşınmasını zorlaştırmaktadır.
- Jeneratör, mil ve vites kutusu gibi ağır parçaların kulenin en tepesine yerleştirilmesi özel bir kurulum prosedürünü gerektirmektedir.
- Rüzgârı arkadan alan türbinlerde rüzgâr gölgelenmesi sonucunda oluşan türbülans parçalara zarar verdiği için yatay eksenli türbinlerin çoğunluğu rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanır. Bu şekildeki türbinlerde ise rüzgârı yakalamak için bir “yaw” mekanizmasına ihtiyaç vardır [31].

### 3.3.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (DERT)

Düşey eksenli rüzgâr türbini yaklaşık 4000 yıl öncesine dayanan eski bir teknolojidir. Yatay eksenli türbinlerin aksine, düşey eksenli rüzgâr türbini rotoru yatay olarak değil, eksenini etrafında dikey olarak döner. Rüzgârın esme yönüne bağlı kalmaksızın her yöndeki rüzgârı kullanması en önemli üstünlüklerinden bir tanesidir. Rüzgârın sürüklenme veya kaldırma özelliğini kullanarak elektrik üretirler. Elektrik üretici ve vites kutusu zeminde olduğu için kuleye ihtiyaç yoktur ve bu da daha düşük rüzgâr hızlarında çalışma zorunluluğu yaratmaktadır. Yatay eksenli türbin kadar verimli olmasa da düşük rüzgârlarda büyük avantaj sağladıkları için binalarda ve küçük işletmelerde tercih edilmektedir. Kurulumu daha kolay ve daha güvenlidir. Verimleri maksimum %30 olduğu için sadece özel kullanımlara elverişlidir. Darrieus ve Savonius türbinler bu tür rüzgâr türbinleri sınıflandırmada kullanılmaktadır [29].

- Darrieus Türbinler

Bir Darrieus türbininde, kanatlar mil boyunca elips oluşturacak şekilde dikey olarak yerleştirilmiştir. Kanatlar alttan ve üstten her iki uca sabitlenmiştir. Kanatların kavisli olması dikey şaftın zemine kablolar yardımıyla sabitlenmesini sağlamaktadır. Bu nedenle türbin şaftının bağlı olduğu ana kulenin sert ve güçlü olmasına gerek yoktur. Düşük rüzgâr hızlarında kendiliğinden dönmeye başlayamadığı için, dönme işlemini başlatmak için küçük ve güçlü bir motor gereklidir. Yeterli hıza ulaştığında, kanatçıklar tork üretir ve böylece rotor rüzgâr tarafından çevrilerek elektrik üretimine devam edebilmektedir. Darrieus türbinlerinin kullanımı günümüzde pek yaygın değildir [32].

- Savonius Türbinler

Savonius rüzgâr türbini piyasadaki en basit türbinlerden bir tanesidir. Bu türbinlerin en basit yapısı iki yarım silindirin şaftta “S” harfi şeklinde sabitlenmesiyle oluşmaktadır. Rüzgâr yakalama kapasitesini arttırmak için şaftta daha fazla yarım silindir eklenebilir. İyi bir başlangıç torkuna sahiptir ve düşük hızlardaki rüzgâr ile harete geçer. Aynı anda kanatlardan bir tanesi rüzgârı yakalarken diğeri rüzgâra karşı

hareket eder. Türbinin dönmesini sağlayan net tork, rüzgârı yakalayan kanattan elde edilen tork ile rüzgâra karşı hareket eden kanatın ürettiği torkun farkına eşittir. Bu da bütün “drag-sürüklenme tipi” türbinlerin çalışma prensibidir. Yatay ve dikey eksenli olarak kullanılabilen Savonius rüzgâr türbinleri, düşük hızlarda çalışarak az miktarda elektriği karşılayabilmek için yapısal olarak sağlam olan çatılarda kullanılabilir. Ayrıca bu tip türbinler, rüzgâr hızının ölçülmesinde anemometre olarak kullanılmaktadır. Düşük güç katsayısı ve ağır kütlesi yüzünden endüstriyel alanlarda kullanımı sınırlıdır [32]. Şekil 3.6’da Savonius ve Darrieus tipi rüzgâr türbinleri gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Darrieus ve Savonius tipi rüzgâr türbinleri [28].

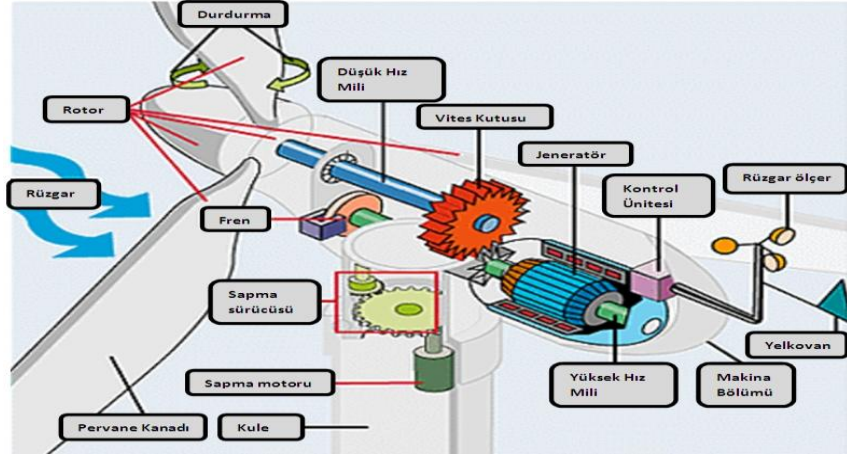
- Dikey Eksenli Türbinlerin Avantajları
  - Zemine yakın yerleştirildiğinden bakımları sırasında erişim daha kolaydır.
  - Jeneratör ve dişli kutusu zeminde olduğu için kuleye ihtiyaç yoktur.
  - Rüzgâr hızının sürekli değiştiği tepelerde veya türbülanslı bölgelerde kullanılmaya elverişlidir.
  - Çatılarda ve yatay eksenli türbinlere göre daha sessiz çalıştığı için yerleşim yerlerinde daha çok tercih edilmektedir.
  - Türbin bir şaft ile direk olarak rotorun jeneratörüne bağlanmıştır. Bu da elde edilen gücü düşürücü yönde etki eden vites kutusunun türbinde yer almamasını sağlamıştır.
  - Daha az üretim, kurulum ve taşıma maliyetine sahiptirler.



- Etkili olması için türbinin rüzgâra doğru yönlendirilmesi gerekmez yani “yaw mekanizmasına” ihtiyaç duymaz.
  - Rotor daha düşük hızlarda döndüğü için kuşların yaralanma ihtimalini azaltır [31].
- **Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerin Dezavantajları**
    - Rüzgârın kanatlarda yarattığı sürüklenme kuvveti nedeniyle verimleri diğer türbinlerden daha düşüktür.
    - Zemine yakın yerlerde, hava akımı ve diğer nesnelere titreşim sorunlarına yol açarak türbülanslı bir akış oluşturabilirler.
    - Kendiliğinden çalışmaya başlayamadığı için ilk hareketin sağlanması için bir elektrik motoruna ihtiyaç vardır.
    - Yükseklikleri az olduğu için genellikle düşük rüzgâr hızlarında çalışırlar.
    - Türbinin mil yatakları değiştirileceği zaman, türbinin komple yere indirilmesi gerekmektedir [31].

### **3.4. RÜZGÂR TÜRBİN ELEMANLARI**

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini kullanarak ürettiği mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan makinelerdir. Bu işlemi gerçekleştirmek için ise mekanik ve elektriksel bileşenlere ihtiyaç duymaktadır. Bir rüzgâr türbini başta rotor olmak üzere değişik işlevleri yerine getiren birçok parçadan oluşmaktadır. Bunlar; vites kutusu, düşük hız mili, jeneratör, kontrol ünitesi, anemometre, rüzgâr yön sensörü, yüksek hız mili, fren, makine bölümü, yaw mekanizması, kanatlar ve kule olarak sıralanabilir. Rüzgâr parçalarının bulunduğu bir rüzgâr türbini Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Rüzgâr türbini parçaları [33].

### 3.4.1. Kule

Kule, diğer tüm parçaların üzerine yerleştirildiği ve zemine sabitlenen kısımdır. Bu nedenle kulenin, desteklediği bileşenlerin ağırlıklarına ve eğilmesine ya da kırılmasına neden olacak rüzgâr kuvvetlerine dayanacak şekilde yapısal olarak sert olması gerekmektedir. Eskiden üretilen türbinlerin kuleleri, birbirine kaynakla veya civatayla bağlanmış birçok metal çubuktan oluşurken, günümüzde bunun yerini haddelenmiş çelikten üretilen boru şeklindeki kuleler almaktadır. Çapı 3-4 m olan bu kulenin içerisine yerleştirilen merdiven sayesinde türbinin bakımları yapılmaktadır. Kulenin parçaları birbirine ve çelik ile güçlendirilmiş zemine civatalar ile bağlanır [32].

### 3.4.2. Rotor

Göbek ve kanatlardan oluşan rotor kısaca türbinin dönen parçalarını belirtir. Rotorun üzerinde bulunan kanatlar türbinin rüzgârı yakalayan parçalarıdır. Rüzgârın türbin kanatlarında oluşturduğu kaldırma kuvveti ile oluşan tork, türbin şaftını döndürmektedir. Yakın geçmişte üretilen türbinlerde kanatlar civata ile göbeğe sabitlenmiş bir şekilde üretilmekteydi. Yeni nesil türbinlerde ise bunun yerini kanat açısının kontrol edilebildiği türbinler almıştır. Bu şekilde piyasaya sürülen türbinlerde kanatlar göbeğe sabitlenmediği için dönme eksenini tek bir yönde sabit kalmayarak rüzgârın yönüne göre hareket edebilmektedir. Yakalama açısı olarak da

bilinen bu özellik sayesinde kanatların rüzgârı yakalama kabiliyeti artmakta ve rüzgârdan maksimum oranda fayda sağlanmaktadır. Rüzgâr türbininden elde edilen enerji kanat boyutuyla orantılı bir şekilde değişir. Büyük kanatlı türbinlerden elde edilen enerji küçük kanatlı türbinlere göre daha fazla olmaktadır [32].

### **3.4.3. Makine Bölümü**

Rotor ile kule arasında kalan ve dişli kutusu, elektrik üretici dâhil önemli parçaların bulunduğu makine bölümü, rotor ile beraber dönmemesine rağmen kuleye uyarak bir yaw mekanizması ile rüzgâr yönüne göre konum almaktadır. Dakikada 30-60 devirle dönen kanatların bağlı olduğu düşük hız mili makine bölümüne bağlanmıştır. Jeneratörlerde mekanik enerjinin elektriğe dönüştürülmesi için dakikada 1200-1500 devirlere ihtiyaç vardır. Bu işlem için de vites kutusu kullanılmaktadır. Türbinin en ağır parçası olan vites kutusu, rüzgârın döndürdüğü kanatların meydana getirdiği düşük dönme hızını jeneratörde gerekli olan yüksek hızlara dönüştürmek için kullanılır. Yüksek devirlerdeki dönme hızlarının jeneratöre aktarımı da yüksek hız mili ile olmaktadır. Vites kutusunda sürtünmeler ile oluşan ısının parçalara zarar vermesini engellemek için parçaların periyodik olarak yağlanması gerekmektedir [32].

### **3.4.4. Fren Sistemi**

Bakım çalışmaları, kuvvetli rüzgârlar veya bazı bileşenlerinin arızalanması gibi durumlarda türbinlerin durdurulması gerekmektedir. Bunun için her bir türbinin mekanik fren sistemi ile donatılması önemli hale gelmiştir. Türbinin yukarıda sayılan durumlardan biri ile karşı karşıya kalması halinde fren sistemi devreye girerek rotoru döndüren tork minimum seviyeye düşürülür ve böylece türbin bu durumdan en az şekilde etkilenmiş olur [32].

### **3.4.5. Jeneratör**

Jeneratörler, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan parçalardır. Elde edilecek güç ile orantılı olarak büyüklükleri değişmektedir. Elektrik

ile beslenmesi halinde bir motor gibi davranan jeneratörler, elektriğin kesilmesi halinde mekanik enerjiyi kullanarak jeneratör görevini üstlenirler. Makinenin dizaynına bağlı olarak bir jeneratör, doğru akım (DC) veya alternatif akım (AC) üretir. Bir fazlı asenkron jeneratör, iki fazlı asenkron jeneratör, üç fazlı asenkron jeneratör, doğru akım elektrik jeneratörü, senkron jeneratörler türbinlerde kullanılan çeşitleridir [32].

#### **3.4.6. Rüzgâr Ölçer (Anemometre) Ve Rüzgâr Yön Sensörü**

Anemometre, rüzgârın hızını ölçmek için kullanılan bir ekipmandır. İki çeşit anemometre yaygın olarak kullanılmaktadır. En çok tercih edilen ise dikey bir milin üzerine yerleştirilmiş ve rüzgârı yakalayabilmek için üç tane fincana benzer yarımküreden oluşan döner keçe anemometredir. Rüzgârın esmesiyle birlikte dönmeye başlayan anemometre, mile bağlı olan DC motorunda rüzgârın hızına göre değişik gerilimlerde sinyal oluşturur. Elde edilen bu sinyaller yardımıyla esen havanın hızı belirlenmiş olur. Diğer bir anemometre türü ise her bir uçtan yayılan ses dalgasının diğer kol tarafından alınması sırasında geçen sürenin ölçülmesi prensibine göre çalışan ultrasonik anemometredir. Rüzgâr hızının ölçüldüğü kısımda yer alan yön sensörü ise rüzgârın hangi yönde estiğini belirlemek için kullanılan bir alettir [32].

## BÖLÜM 4

### GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, füzyon tepkimesi olarak da bilinen ve güneşin yapısında bulunan hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında meydana gelen ışıma enerjisidir. Güneş enerjisinin ışıma şiddeti, atmosfer dışında neredeyse sabittir ve bu değer de güneş sabiti olarak da bilinen  $1370 \text{ W/m}^2$ 'e karşılık gelmektedir. Ancak, güneş enerjisinin bu şiddeti yeryüzünde 0 ile  $1100 \text{ W/m}^2$  aralığında değişmektedir. Füzyon tepkimesi sürecinde ortaya çıkan ışımanın %30'a yakın bölümü, yer yüzeyine ulaşmadan dünya atmosferinden yansıtılır. %50'lik bir kısım ise atmosferden geçip dünya yüzeyine ulaşarak Dünya'nın sahip olduğu sıcaklığı yaşamın mümkün olacağı seviyelere kadar yükseltir. Okyanusta oluşan dalgalanmalar ve yeryüzünde meydana gelen rüzgâr hareketleri bu ısınmadan kaynaklanmaktadır. Geriye kalan %20'lik ışıma ise atmosfer ve bulutlar tarafından tutulmaktadır. Dünya'ya ulaşan güneş ışımasının tamamı, kullanıldıktan sonra ısıya dönüşerek tekrardan uzaya gönderilir. Güneş enerjisinin devamlı olmayışı etkin kullanılamamasına ve bu da verimliliğin değişken olmasına sebep olmaktadır. Güneşten gelen ve dünyada kullanılan enerjinin 15-16 bin kat fazlasına denk olan bu enerjiden, kurulan güneş enerjisi sistemleri ile etkin bir şekilde yararlanılmaktadır [34]. Güneş enerjisinin kullanıldığı bu sistemlerden elde edilen enerji; suların ve seraların ısıtılmasında, su arıtma işlemlerinde, ürünlerin kurutulmasında ve elektrik enerjisi elde etmede kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde fotovoltaik hücrelerden yani güneş pillerinden yararlanılmaktadır.

#### 4.1. TÜRKİYE'NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Ülkemizin coğrafi konumu baz alındığında güneş enerjisi potansiyeli bakımından diğer ülkelerden daha şanslı olduğu görülmektedir.

2016 yılı itibariyle Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından ölçülüp kaydedilen ışınım şiddeti ve güneşlenme süresi verileri kullanılarak yapılan çalışma neticesinde Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük toplam 7,5 saat) ve ortalama toplam ışınım şiddeti ise 1527 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m<sup>2</sup>) olarak belirlenmiştir. Aylara göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir [34]. Yaz aylarında özellikle temmuz ve ağustos aylarında güneşlenme sürelerinin fazla olması sonucunda güneşten gelen toplam ışınım da maksimum değerlerde olmuştur.

Çizelge 4.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [34].

| AYLAR           | AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ         |                                  | GÜNEŞLENME SÜRESİ<br>(Saat/ay) |
|-----------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|                 | (Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)          | (kWh/m <sup>2</sup> -ay)         |                                |
| <b>OCAK</b>     | 4,77                                | 55,49                            | 127,41                         |
| <b>ŞUBAT</b>    | 6,02                                | 70,00                            | 146,16                         |
| <b>MART</b>     | 10,31                               | 119,97                           | 194,37                         |
| <b>NİSAN</b>    | 12,70                               | 147,90                           | 223,80                         |
| <b>MAYIS</b>    | 16,36                               | 190,34                           | 282,10                         |
| <b>HAZİRAN</b>  | 16,95                               | 197,10                           | 324,30                         |
| <b>TEMMUZ</b>   | 17,33                               | 201,50                           | 350,61                         |
| <b>AĞUSTOS</b>  | 15,49                               | 180,11                           | 331,70                         |
| <b>EYLÜL</b>    | 12,41                               | 144,30                           | 276,9                          |
| <b>EKİM</b>     | 9,23                                | 107,26                           | 212,97                         |
| <b>KASIM</b>    | 5,52                                | 64,20                            | 154,5                          |
| <b>ARALIK</b>   | 4,24                                | 49,29                            | 116,25                         |
| <b>TOPLAM</b>   | 131,33                              | 1527                             | 2741                           |
| <b>ORTALAMA</b> | <b>364,0 cal/cm<sup>2</sup>-gün</b> | <b>4,2 kWh/m<sup>2</sup>-gün</b> | <b>7,5 saat/gün</b>            |

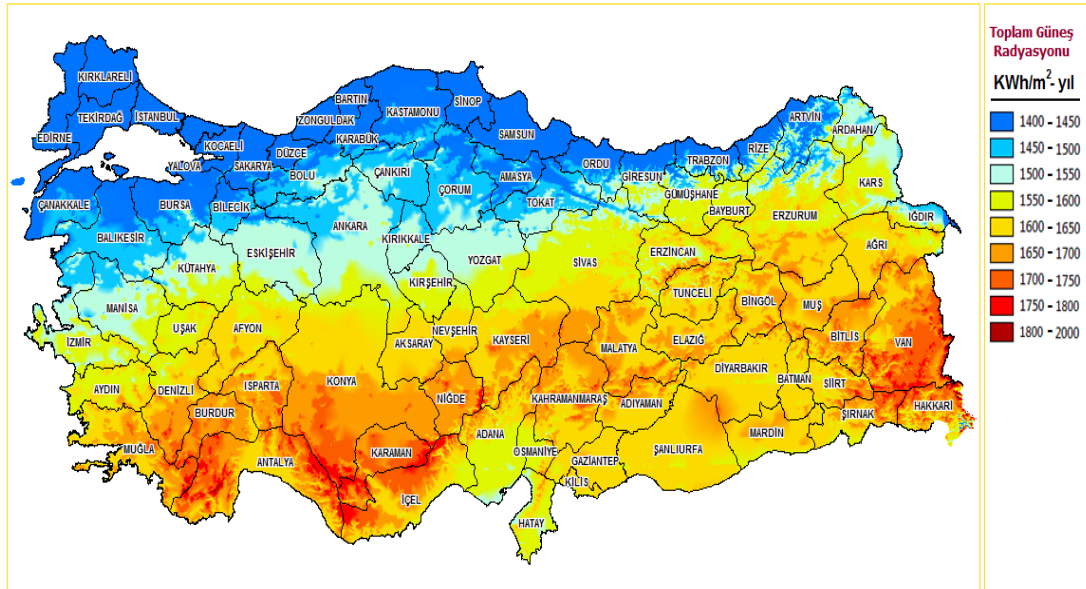
Bölgeler incelendiğinde ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi Türkiye'nin en fazla güneş enerji potansiyeline sahip kısmıdır. Yıllık 2956 saat güneşlenme süresiyle bunu

Akdeniz Bölgesi takip etmektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [34].

| BÖLGE           | TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ<br>(kWh/m <sup>2</sup> -yıl) | GÜNEŞLENME SÜRESİ<br>(Saat/yıl) |
|-----------------|--|---------------------------------|
| G. DOĞU ANADOLU | 1460   | 2993                            |
| AKDENİZ         | 1390   | 2956                            |
| DOĞU ANADOLU    | 1365   | 2664                            |
| İÇ ANADOLU      | 1314   | 2628                            |
| EGE             | 1304   | 2738                            |
| MARMARA         | 1168   | 2409                            |
| KARADENİZ       | 1120   | 1971                            |

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından hazırlanan güneş enerjisi potansiyeli atlası ülkemizin güneşlenme süresi ve güneş enerjisi potansiyeli hakkında yararlanılabilecek önemli bir kaynaktır. Yatırım yapılmadan önce bu kaynaklar yatırımcılar tarafından incelenerek söz konusu bölge hakkında ön bir bilgi edinilebilmektedir. Şekil 4.1’de Türkiye’nin yıllık toplam güneş radyasyonu değerlerinin yer aldığı güneş haritası verilmiştir.



Şekil 4.1. Türkiye’nin yıllık global radyasyon değerlerini gösteren güneş haritası (kWh/m<sup>2</sup>-yıl) [34].

## 4.2. GÜNEŞ PİLLERİNİN TARİHÇESİ

Güneş pillerinin tarihi gerçekten çok ilginçtir. 1839 yılında Edmond Becquerel bir sıvıya daldırılmış iki farklı pirinç levhanın güneş ışığı ile aydınlatıldığında sürekli bir akım ürettiğini keşfetmiştir. Daha sonra 1870'lerde Willoughby Smith, W. G. Adams ve R. E. Day selenyumda PV etkisini keşfetmiştir. Birkaç yıl sonra C. E. Fritts adında bir Amerikalı bilim adamı, metal bir destek üzerine amorf selenyum tabakası yerleştirmiş ve selenyumu şeffaf altın bir yaprak film ile kaplamıştır. Bu selenyum hücre dizisinin güneş ışığına maruz kalmasıyla "sürekli, sabit ve önemli miktarda güce sahip" bir akım ürettiğini rapor etmiştir.

Bununla birlikte hem ince film bakır oksit hem de amorf selenyum güneş pillerinin enerji dönüşüm verimleri %1' den düşük olmuştur. Kuantum mekaniğinin keşfinin üzerinden yaklaşık 75 yıl geçmesiyle, tek kristalli yarı iletkenler keşfedilmiş ve p-n katmanları açıklanmıştır. 1954'te Chapin ve arkadaşları Bell laboratuvarında, %6 verime sahip tek kristalli silikon güneş pilini keşfetmişler ve bunu yayınlamışlardır. Birkaç yıl sonra, araştırmacılar silikon güneş pillerinin verimini %15'lere kadar yükseltmişlerdir. 1957 yılında uzaya fırlatılan Sputnik ile artık güneş pilleri son derece hafif, bakım gerektirmeyen bir elektrik güç kaynağı olmuştur. Uzay araçlarında kullanılmaya başlanan hücreler için bu tarih bir dönüm noktası olmuştur. Günümüzde, silikon güneş pilleri uzay istasyonlarını çalıştırmak için bile kullanılmaya başlanmıştır.

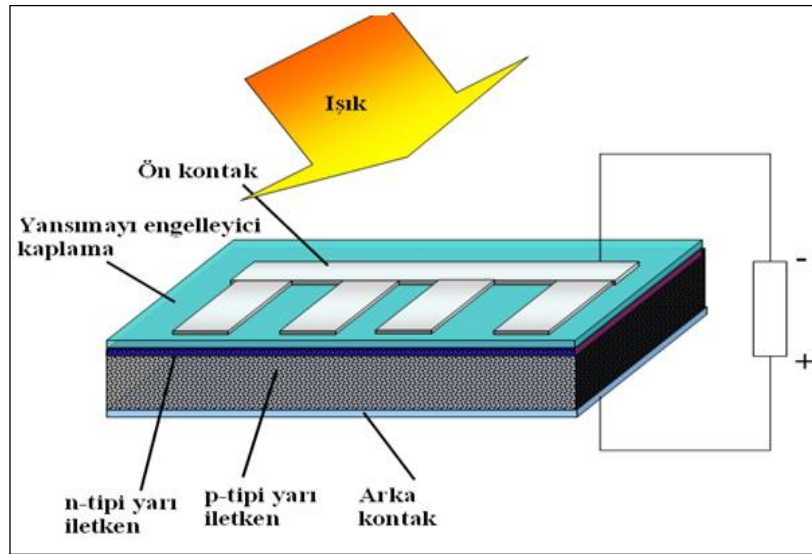
Güneş pili endüstrisi, 1973'te yaşanan ilk Arap ambargosuna kadar gelişme sağlayamamıştır. Bu zamana kadar güneş pili endüstrisi düşük seviyelerde kalmıştır; ancak sürekli ve kararlı güneş hücresi ve dizisi üretimi ile ileriki zamanlara sağlam bir dayanak oluşturmuştur. İlk 20 yıl boyunca güneş pili üretiminde güvenilirlik önemliyken maliyet ikinci planda kalmıştır. 1973'ten sonra, düz plakalı silikon modül tanıtılmış ve bu modül hava direncine karşı geliştirilmiştir. Bu süreç aynı zamanda, maliyetleri önemli ölçüde düşüren hücre ve modül üretiminin de başlangıcı olmuştur. Modül üretim verimliliği ilk örnekler için %10 iken günümüzde bu değer %19'lara kadar yükselmiştir. En önemlisi de bu hücrelerin yıllık üretim miktarları



çarpıcı bir şekilde yükselmiştir [35]. Gelişen teknolojiyle birlikte üretilen güneş hücrelerinin verimlilikleri laboratuvar şartlarında %20-25 seviyelerine ulaşmıştır.

### 4.3. GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pili, güneş fotovoltajlarının temel yapı taşıdır. Hücre, karanlıkta bir diyot gibi davranan ve güneş tarafından yüklendiğinde gerilim üreten iki uçlu bir cihaz olarak kabul edilebilir. Genellikle yarı iletken malzemeden oluşan yaklaşık 1 m<sup>2</sup>'lik alana sahip kare, dikdörtgen ve daire şeklinde biçimlendirilmiş ince bir dilimdir. Yüzey mümkün olduğunca az görülür ışık yansıtacak şekilde üretilir ve elde edilen yüzey siyah veya koyu mavi olarak görünür. Elektrik temasını sağlamak için yüzeye metal bir kontak deseni basılır. Bu temel ünite, güneş tarafından şarj edildiğinde 0,5 ile 1 voltluk bir doğru akım gerilimi ve kısa devre halinde cm<sup>2</sup> başına birkaç mili amperlik fotoakım üretir. Akım yeterli olmasına rağmen, elde edilen gerilim çoğu uygulama için oldukça küçüktür. Gerekli olan gerilmeleri üretmek için, hücreler seri veya paralel olarak birbirine bağlanır ve böylece güneş panelleri oluşur. Bir akünün doldurulabilmesi için gerekli olan gerilimin 14-18 V olduğu düşünülürse söz konusu fotovoltajik güneş paneli yaklaşık 36 tane güneş pilinden oluşmaktadır [36]. Şekil 4.2'de bir güneş pilinin genel gösterimi bulunmaktadır.

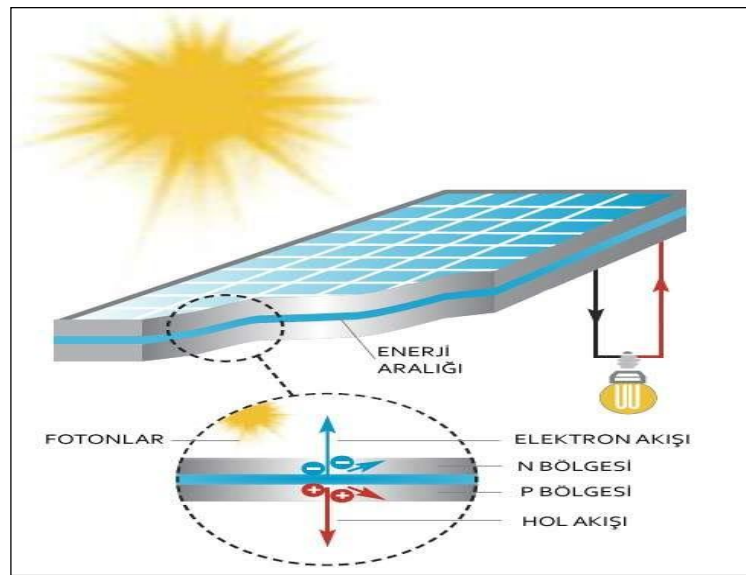


Şekil 4.2. Güneş pilinin genel gösterimi [37].

#### 4.4. GÜNEŞ PİLLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Foton olarak adlandırılan ışık, küçük enerji paketlerinin birleşmesinden meydana gelmiştir. Fotonlar, atoma çarptıkları zaman atomun tamamı enerjiyle yüklenerek son yörüngesinde bulunan ve kolay biçimde atomdan ayrılabilir durumdaki valans elektron koparak serbest kalır. Sonuç olarak voltaj diye isimlendirilen potansiyel bir enerji ortaya çıkmış olur.

Yarı iletken malzemeler, yasak enerji aralığıyla birbirinden ayrılan, valans ve iletkenlik bandı olarak adlandırılan iki tane enerji bandından oluşmaktadır. Yasak enerji aralığından büyük veya eşit enerjiye sahip foton, yarı iletken malzeme tarafından emildiği zaman, sahip olduğu enerjiyi valans bantta bulunan elektrona verir ve böylece elektron iletkenlik bandına çıkarak elektron-hol çiftleri oluşur. Bu durum güneş pilinin ara yüzeyinde olduğu zaman, elektron-hol çiftleri elektrik alan ile birbirinden ayrılmaktadır. Bunun sonucunda güneş pilleri, elektronları n bölgesine ve holleri p bölgesine doğru iten pompa gibi çalışmaktadır. Birbirlerinden ayrılarak uzaklaşan bu elektron-hol çiftleri, güneş hücresinin uçlarında meydana getirdiği yararlı güç sayesinde elektrik akımı oluşmaktadır. Bu süreç güneşten gelen her bir fotonun pilin yüzeyine gelmesiyle aynı biçimde tekrarlanır. Şekil 4.3'de güneş pilinin çalışma prensibi gösterilmektedir [38].



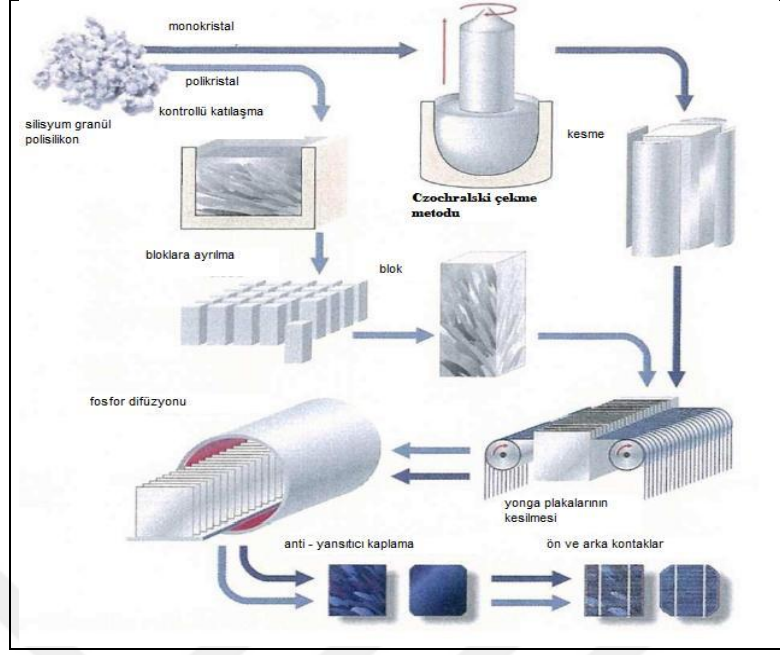
Şekil 4.3. Güneş pilinin çalışma prensibi [38].

## 4.5. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ

Güneş pilleri isimlerini genellikle üretildikleri yarı iletken malzemelerden alırlar. Bu malzemelerin, güneş ışığını soğurabilmesi için belirli özelliklere sahip olması gerekir. Bazı piller Dünya'nın yüzeyine ulaşan güneş ışığını işlemek için tasarlanırken diğerleri uzaydaki kullanım için optimize edilmiştir. Güneş pilleri birinci, ikinci ve üçüncü nesil güneş pilleri olarak sınıflandırılabilir. Geleneksel veya silikon esaslı olarak da adlandırılan birinci nesil güneş pilleri, monokristal silikon ve polikristal silikon gibi malzemeler içeren PV teknolojisinde baskın bir şekilde yer alan kristal silikondan yapılmıştır. İkinci nesil güneş pilleri; amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellürid (CdTe) ve bakır indiyum galyum selenid (CIGS) gibi hücreleri içeren ve geleneksel silikon pillere göre üretiminde daha az malzeme kullanıldığı için üretimi daha ucuz olan ince film güneş pilleridir. Üçüncü nesil güneş pilleri ise sıklıkla yeni nesil güneş pilleri olarak tanımlanan ve birkaç ince film teknolojisini kapsayan, henüz ticari olarak uygulamada yer almayan ve halen araştırma ve geliştirme aşamasında olan güneş pilleridir. Birçoğu organik metalleri, çoğunlukla organometalik bileşikleri ve inorganik maddeleri kullanmaktadır. Verimliliklerinin düşük ve emici malzemenin kararlılığının ticari uygulamalar için çok kısa olmasının yanında, düşük maliyetli ve yüksek verimli üretim hedefine ulaşmak için birçok araştırma yürütülmeye devam etmektedir [39]. Güneş pilleri; kristal silikon piller, ince film piller ve diğer piller olmak üzere 3 grupta ele alınmaktadır.

### 4.5.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

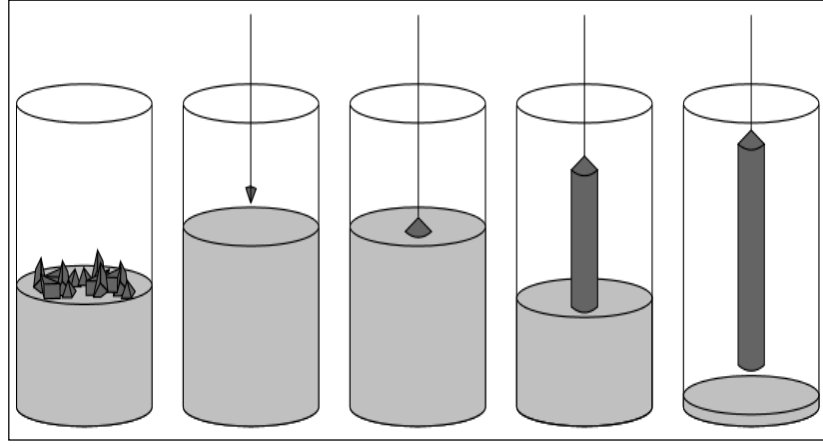
Kristal silisyum (c-Si), fotovoltaik teknolojide kristal güneş panellerinin (mono ve poli kristal PV) üretim sürecinde yaygın olarak kullanılan bir elementtir. PV teknolojisinin neredeyse %90'ı kristal silikon güneş panellerinde kullanılan silikon üzerine kurulmuştur. Fotovoltaik teknolojide silikonu kullanmak için pek çok faktör bulunmaktadır ve bunlardan en önemlisi de silikonun saflaştırma kabiliyetinin fazla olması ve böylece güneş panelinin güneş ışığını elektriğe çıkış gücü olarak dönüştürme potansiyelinin yüksek olmasıdır. Kristal silikon (c-Si), monokristal ve polikristal PV hücrelerinin temelini oluşturmaktadır [40]. Şekil 4.4'de kristal yapılı pillerin üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kristal yapılı pillerin üretim aşamaları.

- Monokristal Güneş Pilleri

Tek kristal silikon hücreler, güneş pilleri alanında en eski hücrelerdir. Bu tür kristal güneş pilleri “Czochralski Metodu” olarak bilinen kristal çekme yöntemi ile üretilmektedir. Söz konusu metodun uygulanışı Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Bu yöntemde, yüksek saflıktaki silisyum bir pota içerisinde yarı iletkenliğini arttırmak için eklenen bor veya fosfor katkı maddeleri ile birlikte eritilmektedir. Eklenen bu katkı maddeleri aynı zamanda güneş pillerinin p-tipi ve n-tipi tabakalarını oluşturmak için kullanılmaktadır. Sürekli olarak dönen bir aşı kristali, erimiş silisyumun içerisine daldırılır ve yukarı doğru soğuk bölgeye çekilir. Bir süre sonra eriyik halde bulunan silikondan tek kristalli düzgün bir molekül yapısına sahip silikon külçe oluşur. Bu silikon külçeler dairesel, dikdörtgen ya da çokgen biçiminde pahlandıktan sonra çok ince kalınlıklarda dilimlenir. Elde edilen bu güneş pillerinin verimleri yaklaşık %15-20 arasında olmaktadır. Çok yüksek verimliliğe sahip olmasına karşın monokristal güneş pillerinin üretimi karmaşık, pahalı ve zaman alıcı bir süreçtir. Monokristal güneş pillerinin performansları sıcaklığın yükselmesinden daha fazla etkilenmesine rağmen pillerin ömrü diğerlerine göre daha fazladır [41].



Şekil 4.5. Czochralski Metodu uygulanişı.

- Polikristal Güneş Pilleri

Polikristal silikon hücreler, döküm işlemleri kullanılarak saf erimiş silisyumdan üretilmektedir. Düzensiz kristal yapıya sahip olan silikon soğuduğunda kare veya dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Tek kristalden oluşmaması, yani materyalin tam olarak homojen olmaması monokristal hücrelere göre verimliliklerinin daha az olmasına neden olmaktadır. Ancak düşük silikon maliyetleri ile bu açık kapatılmaktadır. Bu tipteki hücreler ve modüller, genellikle pürüzlü parlak mavi renkte görünmektedir. Polikristal piller, %11-15 arasında verimliliğe sahiptir ve son yıllarda üretim hacimleri monokristal güneş pillerinden fazla olmaktadır [42].

Çizelge 4.3. Kristal yapıları güneş pillerinin verimlilik değerleri [43].

|   | Verim (Ticari) | Verim (Laboratuvar) |
|---|----------------|---------------------|
| Tek Kristal Silisyum ( <b>Monokristal</b> ) | %15            | %24                 |
| Çok kristal Silisyum ( <b>Polikristal</b> ) | %14            | %18                 |

Kristal yapıları güneş pillerinin ticari ürünlerde ve laboratuvar ortamındaki verimlilik değerleri Çizelge 4.3’de olduğu gibidir.

#### 4.5.2. İnce Film Güneş Pilleri

İnce film güneş pili, 1-2 mikrometre kalınlığında cam, plastik veya demir gibi tabakalar üzerine yarı iletken malzemelerin kaplanmasıyla oluşmaktadır. Kullanılan yarı iletken malzemelerin büyüklüğü, birkaç nanometreden (nm), onlarca mikrometreye ( $\mu\text{m}$ ) kadar değişen küçük damarlardan oluştuğu için esnek bir yapıları mevcuttur. Bunun sonucu olarak fotovoltaik üretim maliyeti düşürülebilmektedir. İnce film güneş pilleri ticari olarak kadmiyum tellürid (CdTe), bakır indiyum galyum selenid (CIGS) ve amorf silisyum (a-Si) içeren birçok teknolojiye kullanılır. Bunun yanında; seri üretime uygun olması, hücrelerin arasındaki elektriksel bağlantıların basit oluşu ve büyük boyutlarda üretilebilmesi gibi avantajlarından dolayı uzun bir dönemde kristal silikon yapıları güneş pili teknolojisine göre üretim maliyetinin azaltılmasına olanak sağlayacak teknoloji olarak görülmektedir. İnce film güneş pilleri geleneksel güneş pillerine (kristal silikon) göre her zaman daha ucuz olmuştur. Ancak verimlilikleri incelendiğinde, geleneksel güneş pillerine göre geride kalmıştır. İnce film güneş pillerinin verimlilikleri %5 ile %8 arasında değişmektedir [39]. Çizelge 4.4’de ince film güneş pillerinin verimlilikleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. İnce film teknolojili güneş pillerinin verimlilik değerleri [43].

|  | Verim (Ticari) | Verim (Laboratuvar) |
|--|----------------|---------------------|
| Amorf Silisyum (a-Si)                          | %5-7           | %10                 |
| Galyum Arsenit (GaAs)                          | %25-28         | %30                 |
| Kadmiyum Tellürid (CdTe)                       | %7             | %16                 |
| Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe <sub>2</sub> ) | %10            | %17                 |

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, 2016-2017 yılında Karabük Meteoroloji İstasyonunda bulunan ölçüm direğinde saatlik olarak kaydedilen rüzgâr hızı ve küresel güneş radyasyon verileri kullanılarak kampüsün rüzgâr ve güneş potansiyeli incelenmiştir. Şekil 5.1’de 10 m yüksekliğe konumlandırılmış ve rüzgâr hızlarını kaydetmek için kullanılan anemometre ile 2 m yükseklikte güneş radyasyon değerinin ölçüldüğü piranometrenin bulunduğu ölçüm direği yer almaktadır.



Şekil 5.1. Karabük Meteoroloji İstasyonunda bulunan ölçüm direği.

Piyasadaki rüzgâr türbinleri, belirli rüzgâr hızlarında enerji üretebilmektedir. Bu sebepten dolayı, rüzgâr türbini sistemlerinin kurulacağı bölgenin sahip olduğu rüzgâr rejiminin bilinmesi en önemli ve öncelikli konudur. Rüzgârdan elde edilecek olan enerjinin miktarı; rüzgârın hızıyla, sürekliliğiyle, esme süresiyle, esme yönüyle, rotorun süpürme alanıyla ve kule yüksekliğiyle orantılıdır. Bunların içerisinde ise enerji üretimine en fazla katkısı olan rüzgâr hızıdır. Yerden yükseldikçe rüzgârın hızı artış gösterir.

Ölçüm yapılan yükseklikte elde edilen veriler, daha yüksekte yer alan kule yüksekliklerine uyarlanırken bölgenin sahip olduğu pürüzlülük dikkate alınarak işlemler yapılmaktadır. Çizelge 5.1’de pürüzlülük katsayısı  $\alpha$  değerinin yeryüzü yapısına bağlı değişimi gösterilmiştir. Bitki örtüsü, arazinin konumu ve bölgedeki yapılaşmanın yer yüzeyinin her yerinde farklı olması da pürüzlülük katsayısı olan  $\alpha$  değerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır [44]. Buna göre, 10 m yükseklikte ölçülüp kaydedilen rüzgâr verileri, Hellmann yükseltme bağıntısı kullanılarak türbin kule yüksekliği olan 80 m’ye uyarlanırken bölgenin koşulları dikkate alınarak Hellmann katsayısı olan  $\alpha$  değeri 0,40 alınmıştır.

Çizelge 5.1. Yeryüzü şekillerine göre pürüzlülük katsayıları [44].

| Yeryüzü Yapısı                           | Pürüzlülük Katsayısı ( $\alpha$ ) |
|--|-----------------------------------|
| Pürüzsüz sert toprak, durgun su          | 0,10                              |
| Toprak seviyesinde uzun çimli bölge      | 0,15                              |
| Toprak seviyesinin üzerinde uzun mahsul  | 0,20                              |
| Kırsal orman alanları, birçok ağaç       | 0,25                              |
| Ağaçlıklı kasabalar                      | 0,30                              |
| Uzun binalarla ve dağlarla dolu şehirler | 0,40                              |

Rüzgâr hızının yükseklikle değişiminin belirlenmesinde kullanılan ve Eşitlik 5.1’de yer alan bağıntıdan yararlanılarak 80 m yükseklikte elde edilen rüzgâr hızlarının günlük ortalamalarının aylara göre değişimini gösteren veriler Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelgede 1’den 12’ye kadar olan sayılar ayları ifade etmektedir. Çizelge incelendiğinde, yaz aylarında yüksek rüzgâr hızları elde edilirken kış aylarında bu durum tam tersini göstererek hızlar minimum seviyelerde olmuştur.

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (5.1)$$

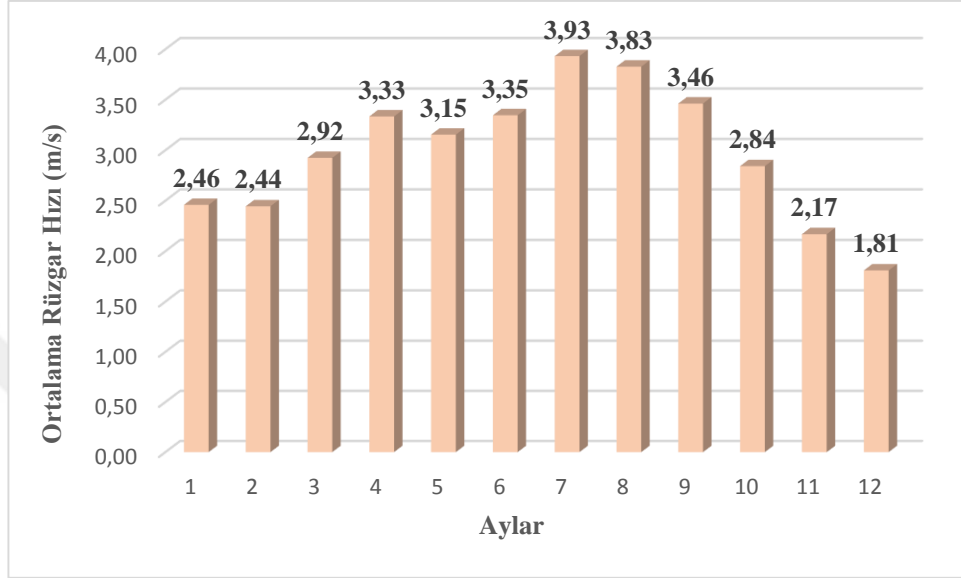
Burada;  $V$  hesaplanmak istenen yükseklikteki rüzgâr hızını,  $V_0$  ölçüm sonuçları bilinen referans yükseklikteki rüzgâr hızını,  $H$  hesaplanmak istenen yüksekliği,  $H_0$  ölçüm sonuçları bilinen referans yüksekliğini ve  $\alpha$  ise pürüzlülüğü gösteren Hellmann katsayısını ifade etmektedir [44].



Çizelge 5.2. 80 m yükseklikte aylara göre günlük ortalama rüzgâr hızları (m/s).

| Günler | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1      | 1,63 | 2,13 | 1,53 | 2,91 | 3,50 | 3,30 | 3,81 | 3,09 | 3,76 | 2,74 | 1,95 | 1,77 |
| 2      | 3,23 | 2,91 | 2,23 | 4,20 | 2,76 | 3,93 | 3,19 | 4,30 | 3,80 | 3,02 | 2,06 | 2,85 |
| 3      | 1,57 | 1,80 | 3,47 | 4,13 | 3,91 | 2,77 | 3,81 | 4,86 | 4,31 | 2,84 | 1,84 | 3,61 |
| 4      | 1,55 | 2,27 | 2,67 | 2,95 | 2,91 | 3,53 | 4,31 | 3,14 | 3,46 | 2,52 | 1,53 | 2,13 |
| 5      | 1,73 | 2,66 | 2,24 | 3,18 | 3,22 | 2,89 | 4,34 | 3,17 | 3,57 | 2,87 | 1,31 | 2,26 |
| 6      | 1,27 | 3,17 | 2,73 | 2,66 | 2,88 | 3,52 | 3,96 | 3,68 | 3,29 | 3,31 | 1,85 | 1,96 |
| 7      | 4,19 | 3,57 | 2,67 | 2,64 | 2,93 | 3,76 | 3,78 | 4,07 | 3,23 | 3,13 | 1,57 | 1,18 |
| 8      | 4,95 | 2,38 | 2,85 | 1,79 | 3,45 | 2,49 | 4,80 | 3,67 | 3,49 | 5,31 | 2,01 | 1,76 |
| 9      | 3,25 | 1,73 | 2,42 | 3,71 | 2,62 | 2,61 | 4,12 | 3,67 | 3,64 | 3,16 | 2,99 | 1,74 |
| 10     | 1,91 | 2,61 | 2,89 | 3,11 | 2,93 | 3,38 | 5,02 | 3,97 | 3,91 | 2,82 | 5,19 | 2,68 |
| 11     | 1,28 | 2,53 | 3,13 | 3,57 | 3,20 | 3,54 | 3,81 | 3,87 | 4,00 | 2,55 | 2,49 | 1,78 |
| 12     | 2,58 | 2,04 | 2,74 | 2,04 | 2,88 | 2,74 | 3,52 | 4,87 | 4,20 | 2,62 | 2,02 | 1,61 |
| 13     | 3,36 | 2,19 | 2,92 | 2,96 | 2,70 | 1,97 | 4,19 | 2,82 | 4,03 | 2,65 | 3,13 | 2,59 |
| 14     | 1,73 | 2,34 | 2,25 | 2,88 | 3,28 | 3,26 | 3,92 | 3,91 | 4,02 | 3,19 | 3,78 | 2,54 |
| 15     | 2,58 | 2,11 | 2,65 | 4,43 | 4,79 | 3,42 | 3,92 | 3,87 | 3,62 | 2,12 | 2,28 | 1,70 |
| 16     | 2,46 | 1,84 | 3,87 | 2,94 | 3,61 | 3,93 | 3,26 | 4,24 | 4,02 | 3,00 | 2,72 | 1,50 |
| 17     | 4,57 | 1,73 | 3,27 | 2,72 | 3,47 | 3,58 | 4,27 | 3,72 | 3,22 | 4,09 | 2,02 | 2,30 |
| 18     | 4,72 | 2,08 | 3,30 | 2,60 | 4,10 | 3,04 | 4,63 | 3,67 | 2,92 | 3,33 | 1,98 | 2,20 |
| 19     | 3,58 | 4,70 | 1,60 | 2,42 | 3,27 | 2,65 | 4,19 | 3,82 | 3,13 | 2,78 | 1,78 | 1,72 |
| 20     | 2,51 | 3,01 | 3,10 | 5,12 | 3,14 | 3,13 | 3,95 | 4,74 | 3,58 | 2,84 | 1,69 | 1,12 |
| 21     | 1,27 | 2,91 | 3,35 | 4,86 | 2,43 | 4,20 | 2,90 | 4,43 | 2,70 | 2,23 | 1,54 | 1,24 |
| 22     | 2,18 | 2,52 | 2,95 | 3,10 | 2,67 | 2,72 | 3,71 | 4,21 | 2,68 | 2,83 | 1,80 | 2,20 |
| 23     | 2,50 | 2,22 | 3,50 | 2,70 | 2,30 | 3,98 | 3,61 | 3,93 | 3,61 | 1,61 | 1,73 | 1,70 |
| 24     | 2,65 | 1,68 | 5,38 | 3,94 | 2,59 | 5,02 | 3,96 | 4,25 | 2,97 | 3,54 | 1,65 | 1,19 |
| 25     | 2,42 | 1,69 | 2,87 | 2,83 | 3,33 | 2,99 | 3,77 | 3,25 | 3,10 | 1,61 | 1,51 | 1,33 |
| 26     | 1,64 | 2,60 | 4,31 | 4,01 | 3,53 | 3,40 | 4,14 | 4,19 | 3,03 | 2,69 | 1,75 | 1,17 |
| 27     | 2,21 | 2,41 | 2,37 | 4,86 | 2,99 | 3,71 | 3,88 | 3,79 | 3,50 | 1,20 | 1,62 | 1,43 |
| 28     | 1,22 | 2,62 | 2,73 | 3,43 | 2,68 | 3,23 | 3,29 | 2,93 | 3,34 | 2,62 | 2,46 | 0,81 |
| 29     | 1,20 |      | 3,04 | 3,45 | 1,63 | 3,52 | 3,89 | 3,37 | 3,29 | 2,51 | 2,29 | 2,51 |
| 30     | 1,89 |      | 2,80 | 3,90 | 3,95 | 4,18 | 4,29 | 3,42 | 2,43 | 3,99 | 2,46 | 1,29 |
| 31     | 2,36 |      | 2,79 |      | 4,12 |      | 3,63 | 3,75 |      | 2,41 |      | 0,20 |

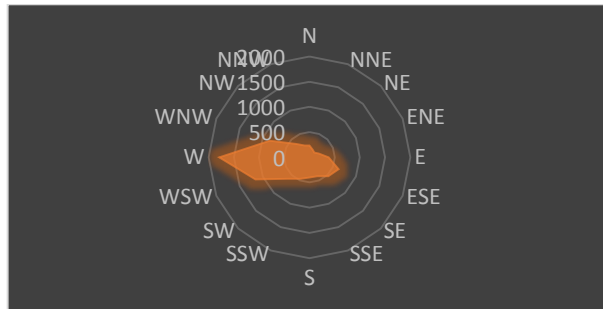
Şekil 5.2’de verilen ortalama rüzgâr hızları incelendiğinde ise en yüksek rüzgâr hızı 3,93 m/s ile temmuz ayında gerçekleşirken, en düşük ortalama rüzgâr hızı aralık ayında 1,81 m/s olarak kaydedilmiştir. Genel olarak elde edilen rüzgâr hızları, Türkiye ortalamasının altında kalmıştır.



Şekil 5.2. 80 m yükseklikteki aylık ortalama rüzgâr hızları.

### 5.1. HAKİM RÜZGÂR YÖNÜNÜN BELİRLENMESİ

Rüzgârın estiği yönün belirlenmesi, türbinin yerleştirileceği yerin seçilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bir yıl boyunca saatlik olarak ölçülen ve rüzgârın hangi yönde estiğini gösteren 8760 adet veri, Excel programı kullanılarak yönler göre analiz edilmiş ve Çizelge 5.3’de yer alan tablo oluşturulmuştur. Elde edilen tablo incelendiğinde, bölgenin hâkim rüzgâr yönünün W (Batı) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.3. Rüzgar gülü.

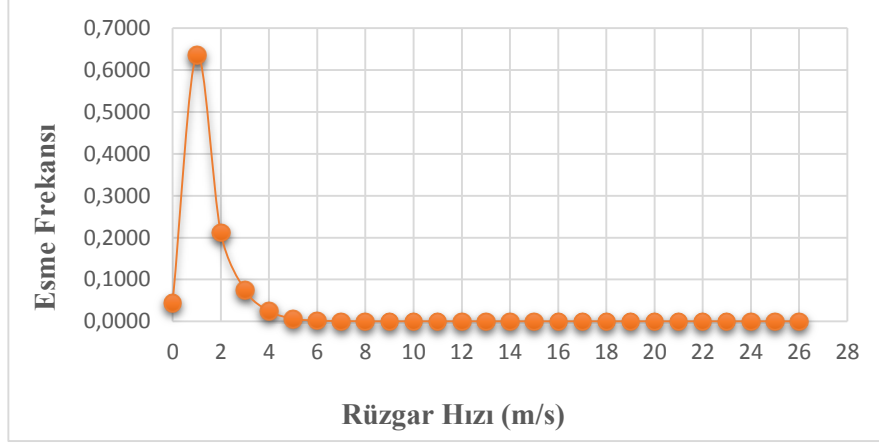
Çizelge 5.3. Yönlere göre rüzgar esme sayıları.

| Rüzgâr Yönleri | Esme Sayısı |
|----------------|-------------|
| N              | 232         |
| NNE            | 165         |
| NE             | 133         |
| ENE            | 200         |
| E              | 379         |
| ESE            | 625         |
| SE             | 535         |
| SSE            | 405         |
| S              | 402         |
| SSW            | 465         |
| SW             | 607         |
| WSW            | 1158        |
| W              | 1791        |
| WNW            | 851         |
| NW             | 378         |
| NNW            | 252         |
| C              | 182         |
| <b>TOPLAM</b>  | <b>8760</b> |

Çizelge 5.3’de verilen rüzgar yönleri ve esme sayılarından faydalanılarak hazırlanan rüzgar gülü ise Şekil 5.3’de verilmiştir.

## 5.2. RÜZGAR ÖLÇÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Karabük Üniversitesi kampüsünde rüzgar potansiyelinin incelenmesi için Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden alınan 8760 adet saatlik ölçümler 10 m yükseklikte yapılmıştır. Bu sonuçlar Excel programına girilerek hesaplamaların tümü Excel ortamında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 10 m yükseklikte saatlik olarak ölçülen ortalama rüzgar hızlarının esme olasılıkları hesaplanarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4. 10 m yükseklikte rüzgarın hızlara göre esme frekansları.

Daha sonra kaydedilen bu veriler, Eşitlik 5.2’de verilen olasılık yoğunluk dağılımında kullanılarak rüzgar güç yoğunluğu hesaplanmıştır [45]. Çizelge 5.4’te rüzgarın esme olasılıklarından yararlanılarak oluşturulan rüzgar güç yoğunluğu tablosu verilmiştir. 10 m yükseklikteki ortalama rüzgar hızları kullanılarak hesaplanan rüzgar güç yoğunluğu 4,32 W/m<sup>2</sup> dir.

$$P_m = \sum_{i=1}^n (0,5 \rho V_m^3 f(V_i)) \quad (5.2)$$

Burada;  $V_m$  ortalama rüzgâr hızını (m/s),  $\rho$  hava yoğunluğunu (kg/m<sup>3</sup>),  $P_m$  rüzgâr güç yoğunluğunu (W/m<sup>2</sup>) ve  $f(V_i)$  ise rüzgâr esme olasılıklarını göstermektedir [45].

Çizelge 5.4. Rüzgâr güç yoğunluğu tablosu.

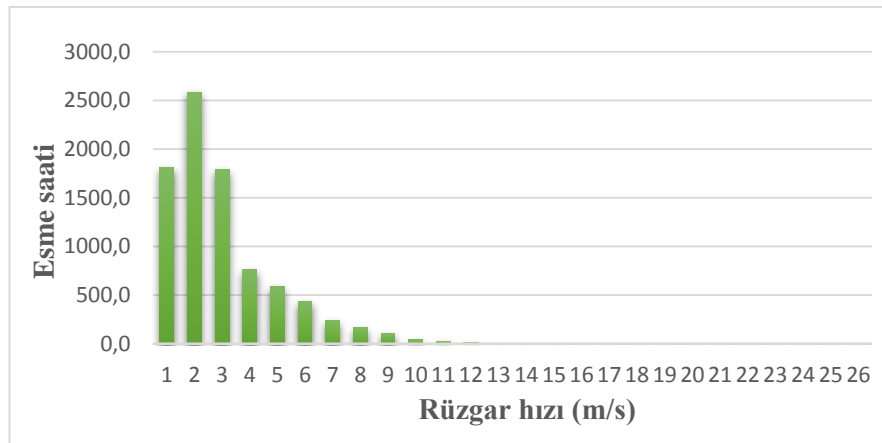
| <b>i</b>                      | $V_i$ | $F_i$  | $P_m$                 |
|-------------------------------|-------|--------|-----------------------|
| <b>1</b>                      | 1     | 0,6360 | 0,378                 |
| <b>2</b>                      | 2     | 0,2119 | 1,007                 |
| <b>3</b>                      | 3     | 0,0751 | 1,205                 |
| <b>4</b>                      | 4     | 0,0248 | 0,942                 |
| <b>5</b>                      | 5     | 0,0061 | 0,450                 |
| <b>6</b>                      | 6     | 0,0017 | 0,220                 |
| <b>7</b>                      | 7     | 0,0006 | 0,116                 |
| <b>Ortalama Güç Yoğunluğu</b> |       |        | 4,32 W/m <sup>2</sup> |

10 m yükseklikten elde edilmiş olan rüzgar ölçüm verileri Helmann Yükseltme bağıntısı yardımıyla 80 m yüksekliğe uyarlanmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak rüzgarın bu yükseklikte, hangi hızlarda kaç saat estiği 2016 yılının her ayı için ayrı ayrı yapılarak Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. Ayrıca çizelgeye göre hazırlanan saatlik rüzgar cetvelinin grafik olarak gösterimi Şekil 5.5’de verilmiştir.

Rüzgar türbinlerinden elde edilecek olan yıllık enerjinin hesaplanabilmesi için iki farklı değere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar, rüzgar türbininin mekanik özellikleri ve kanat tasarımına bağlı olan güç değerleri ile bölgeye ait olan rüzgar verileridir. Eşitlik 5.3’te verilen denkleme göre, türbinin güç eğrisinde yer alan güç değerleri ile bölgeye ait olan rüzgar hızlarının yıllık esme sürelerinin çarpılması sonucunda türbinden yıllık elde edilecek olan enerji hesaplanabilmektedir [46].

$$E_{tot} = \int_{V_{min}}^{V_{max}} P_g \times f(V) \times 8760 \times dV \quad (5.3)$$

Burada;  $E_{tot}$  yıllık üretilen toplam enerjiyi (kWh),  $P_g$  rüzgar türbini güç eğrisi fonksiyonunu (kW),  $f(V)$  rüzgar hızı olasılık fonksiyonunu,  $V_{max}$  rüzgar türbininin devreden çıkma hızını (m/s) ve  $V_{min}$  ise rüzgar türbininin devreye girme hızını (m/s) göstermektedir [46].



Şekil 5.5. 80 m yükseklikte rüzgâr hızlarının saatlik esme sayıları.

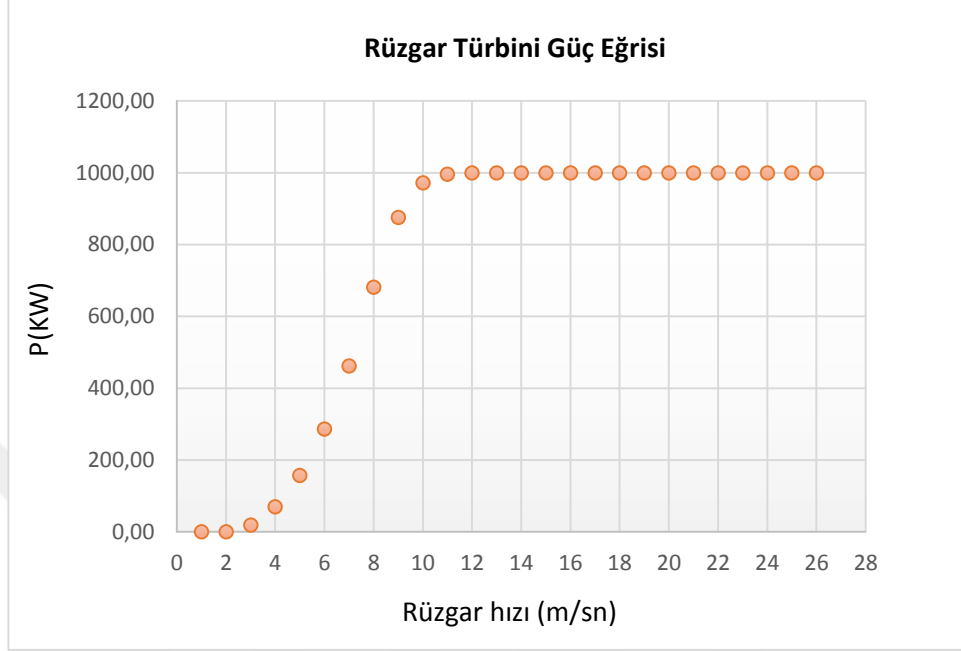
Çizelge 5.5. 80 m yükseklikte elde edilen saatlik rüzgâr cetveli.

| Rüzgâr Hızı (m/s)      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | Toplam      |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| $0 \leq V < 0,49$      | 21  | 10  | 7   | 2   | 7   | 31  | 3   | 16  | 0   | 12  | 18  | 62  | <b>189</b>  |
| $0,49 \leq V < 1,49$   | 190 | 149 | 147 | 87  | 85  | 186 | 101 | 87  | 103 | 182 | 233 | 257 | <b>1807</b> |
| $1,49 \leq V < 2,49$   | 261 | 240 | 226 | 206 | 238 | 142 | 152 | 179 | 180 | 224 | 260 | 276 | <b>2584</b> |
| $2,49 \leq V < 3,49$   | 156 | 174 | 181 | 197 | 179 | 130 | 119 | 116 | 152 | 128 | 151 | 104 | <b>1787</b> |
| $3,49 \leq V < 4,49$   | 44  | 59  | 68  | 82  | 99  | 25  | 95  | 79  | 93  | 66  | 24  | 26  | <b>760</b>  |
| $4,49 \leq V < 5,49$   | 25  | 19  | 44  | 41  | 53  | 77  | 94  | 92  | 70  | 49  | 11  | 10  | <b>585</b>  |
| $5,49 \leq V < 6,49$   | 21  | 9   | 30  | 46  | 39  | 48  | 62  | 73  | 59  | 39  | 4   | 4   | <b>434</b>  |
| $6,49 \leq V < 7,49$   | 10  | 3   | 20  | 20  | 17  | 34  | 41  | 39  | 30  | 22  | 3   | 2   | <b>241</b>  |
| $7,49 \leq V < 8,49$   | 5   | 2   | 10  | 18  | 10  | 24  | 40  | 29  | 15  | 12  | 2   | 2   | <b>169</b>  |
| $8,49 \leq V < 9,49$   | 5   | 3   | 4   | 9   | 9   | 9   | 25  | 15  | 12  | 6   | 5   | 0   | <b>102</b>  |
| $9,49 \leq V < 10,49$  | 2   | 3   | 3   | 1   | 6   | 0   | 9   | 10  | 3   | 0   | 2   | 1   | <b>40</b>   |
| $10,49 \leq V < 11,49$ | 2   | 0   | 0   | 4   | 2   | 2   | 3   | 7   | 1   | 1   | 5   | 0   | <b>27</b>   |
| $11,49 \leq V < 12,49$ | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   | 7   | 0   | 1   | 2   | 2   | 1   | 0   | <b>15</b>   |
| $12,49 \leq V < 13,49$ | 1   | 0   | 0   | 2   | 0   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | <b>7</b>    |
| $13,49 \leq V < 14,49$ | 1   | 0   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | <b>7</b>    |
| $14,49 \leq V < 15,49$ | 0   | 1   | 1   | 3   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | <b>6</b>    |
| <b>Toplam (Saat)</b>   | 744 | 672 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | 744 | 720 | 744 | 720 | 744 | <b>8760</b> |

### 5.3. ÇALIŞMADA KULLANILACAK TÜRBİN

Karabük Üniversitesi kampüsünde rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler, 1000 kW nominal güce sahip Leitwind marka rüzgâr türbini seçilerek türbinin yıllık üreteceği enerji hesabında

kullanılmıştır. Seçilen türbinin hangi hızlarda ne kadar enerji üreteceğini gösteren güç eğrisi grafiği Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Leitwind rüzgâr türbini güç eğrisi.

Düşük rüzgâr hızlarının görüldüğü bölgelerde, seçilecek olan türbinin devreye girme hızı ne kadar düşük olursa üreteceği enerji de o derece fazla olmaktadır. Bunun için türbin seçimi yapılırken kapsamlı bir araştırma yapılarak kampüs için en uygun türbin belirlenmiştir. Seçilen türbinin özellikleri Çizelge 5.6'da yer almaktadır.

Çizelge 5.6. Leitwind 1000 kW rüzgâr türbini özellikleri.

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| <b>Göbek Yüksekliği</b>    | 80 m                 |
| <b>Anma Gücü</b>           | 1000 kW              |
| <b>Kule</b>                | Çelik                |
| <b>Devreye Girme Hızı</b>  | 3 m/s                |
| <b>Devreden Çıkma Hızı</b> | 25 m/s               |
| <b>Kanat Sayısı</b>        | 3                    |
| <b>Rotor Çapı</b>          | 80,3 m               |
| <b>Rotor Süpürme Alanı</b> | 5 604 m <sup>2</sup> |

#### 5.4. KAPASİTE FAKTÖRÜ

Rüzgâr türbinlerinin performansını gösteren unsurlardan biri olan kapasite faktörü; rüzgârın rejimiyle orantılı olarak ölçülen rüzgâr hızları kullanılarak hesaplanan yıllık ortalama enerjinin, türbinin maksimum güçte üreteceği enerjiye oranıdır ve bu değer Eşitlik 5.4'deki bağıntı ile bulunabilir. Kapasite faktörü genel olarak %25 ile %40 aralığında bir değer alıp, bir bölgenin kapasite faktörü %40 ve üzerinde çıktığı zaman bölgenin rüzgârdan enerji üretmeye elverişli olduğu söylenebilir [47].

$$K_f = \frac{\text{Üretilen Toplam Enerji}}{P_R \times 8760} \quad (5.4)$$

Burada;  $K_f$  kapasite faktörünü, 8760 yıllık toplam esme süresini ve  $P_R$  ise türbinin maksimum gücünü göstermektedir [47].

Karabük Üniversitesi kampüsünde rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma kapsamında, anma gücü 1000 kW olan türbinin yıllık üretmiş olduğu 697 939 kWh enerji kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda, kapasite faktörü %8,2 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer çok düşük olması sebebiyle kampüste türbin yatırımının uygun olmadığı görülmüştür.

#### 5.5. SICAKLIK VE BASINÇ İLE ÜRETİLEN ENERJİNİN DEĞİŞİMİ

Rüzgârdan elde edilecek olan enerji, havanın yoğunluğu ile doğru orantılı bir şekilde değişim göstermektedir. 15 °C sıcaklıkta ve 1 atm. basınçta havanın sahip olduğu yoğunluğun 1,225 kg/m<sup>3</sup> olduğu kabul edilmektedir. Sıcaklığın ve basıncın değişmesi ile hava yoğunluğu da değişmektedir [44]. Çizelge 5.7'te verilen standartlar tablosu kullanılarak kurulacak olan türbinin kule yüksekliğinde ve Karabük'ün ortalama sıcaklığı olan 13,45 °C'de hava yoğunluğu 1,188 kg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Hava yoğunluğunun etkisi düşünüldüğünde, yoğunluğun azalması sonucunda elde edilen enerjinin düştüğü görülmüştür.



Çizelge 5.7. Uluslararası standart atmosfer tablosu [48].

| h (ft) | h (m)  | $\theta = T/T_0$ | $\delta = p/p_0$ | $\sigma = \rho/\rho_0$ | T (°C) | T (°K) | P (Pa)   | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | a (m/s) | a (kts) |
|--------|--------|------------------|------------------|------------------------|--------|--------|----------|-----------------------------|---------|---------|
| 0      | 0,0    | 1,0000           | 1,0000           | 1,0000                 | 15,00  | 288,15 | 101325,0 | 1,2250                      | 340,29  | 661,5   |
| 1000   | 304,8  | 0,9931           | 0,9644           | 0,9711                 | 13,02  | 286,17 | 97716,6  | 1,1896                      | 339,12  | 659,2   |
| 2000   | 609,6  | 0,9862           | 0,9268           | 0,9428                 | 11,04  | 284,19 | 94212,9  | 1,1549                      | 337,95  | 656,9   |
| 3000   | 914,4  | 0,9794           | 0,8962           | 0,9151                 | 9,06   | 282,21 | 90811,7  | 1,1210                      | 336,77  | 654,6   |
| 4000   | 1219,2 | 0,9725           | 0,8637           | 0,8881                 | 7,08   | 280,23 | 87510,5  | 1,0879                      | 335,58  | 652,3   |

## 5.6. TÜRBİNDEN ELDE EDİLECEK YILLIK ENERJİ

Excelde hazırlanan program kullanılarak hesaplanan rüzgâr hızlarının esme olasılıkları ve türbinin güç eğrisinde rüzgâr hızına karşılık gelen güç değerleri çarpılarak türbinden yıllık elde edilecek olan enerji hesaplanmıştır. Çizelge 5.8'de Leitwind marka türbinin standart koşullarda yıllık üreteceği toplam enerji yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde, elde edilen yıllık enerji miktarı 719 677 kWh olarak gerçekleşmiştir. Ancak Karabük şartlarında ve türbin kule yüksekliğindeki hava yoğunluğunda bu değer 697 939 kWh'e düşmüştür.

Çizelge 5.8. Türbinin yıllık üreteceği enerji miktarı.

| Rüzgâr Hızı (m/s) | Olasılık | Esme (Saat) | Güç (kW) | Enerji (kWh)      |
|-------------------|----------|-------------|----------|-------------------|
| 1                 | 0,206    | 1807        | 0,00     | 0,00              |
| 2                 | 0,295    | 2584        | 0,00     | 0,00              |
| 3                 | 0,204    | 1787        | 19,00    | 33.953,00         |
| 4                 | 0,0868   | 760         | 70,00    | 53.200,00         |
| 5                 | 0,0668   | 585         | 157,00   | 91.845,00         |
| 6                 | 0,0495   | 434         | 286,00   | 124.124,00        |
| 7                 | 0,0275   | 241         | 462,00   | 111.342,00        |
| 8                 | 0,0193   | 169         | 681,00   | 115.089,00        |
| 9                 | 0,0116   | 102         | 876,00   | 89.352,00         |
| 10                | 0,0046   | 40          | 972,00   | 38.880,00         |
| 11                | 0,0031   | 27          | 996,00   | 26.892,00         |
| 12                | 0,0017   | 15          | 1.000,00 | 15.000,00         |
| 13                | 0,0008   | 7           | 1.000,00 | 7.000,00          |
| 14                | 0,0008   | 7           | 1.000,00 | 7.000,00          |
| 15                | 0,0007   | 6           | 1.000,00 | 6.000,00          |
| <b>Toplam</b>     |          |             |          | <b>719.677,00</b> |

## 5.7. EKONOMİK ANALİZ

Kampüs içerisinde rüzgâr potansiyelinin incelenmesi için yapılan bu çalışmada, saatlik olarak kaydedilen ortalama rüzgâr hızları dikkate alınarak piyasadaki en uygun rüzgâr türbini seçilmiş ve bu türbin için ekonomik analizler yapılmıştır. Yatırımın uygun olup olmadığını belirlemek ve türbinin ne kadar sürede kendisini amorti edeceğini hesaplamak için ihtiyaç duyulan maliyetler, rüzgâr türbini kurulumu yapan firmalardan güncel fiyatlar alınarak hesaplanmıştır. Buna göre rüzgâr türbininin kurulumunda gerekli olan harcamaların yer aldığı güncel rakamlar Çizelge 5.9’da verilmiştir. Hesaplamalar yapılırken, maliyetler Euro cinsinden alındığı için 02.05.2017 tarihinde işlem gören 1 Euro 3,84 TL olarak alınmıştır.

Çizelge 5.9. Türbin kurulumunun maliyet bileşenleri ve yüzde oranları.

| MALİYET BİLEŞENLERİ          | MALİYET (Euro) | MALİYET (TL) | YÜZDE (%) |
|------------------------------|----------------|--------------|-----------|
| <b>Türbin</b>                | 949 000 €      | 3 644 160    | 73        |
| <b>İnşaat- Montaj</b>        | 260 000 €      | 998 400      | 20        |
| <b>Proje-Danışmanlık</b>     | 26 000 €       | 99 840       | 2         |
| <b>Bakım-Onarım (Yıllık)</b> | 19 500 €       | 74 880       | 1,5       |
| <b>Finansal Maliyetler</b>   | 45 500 €       | 174 720      | 3,5       |
| <b>Toplam</b>                | 1 300 000 €    | 4 992 000    | 100       |

## 5.8. GÜNEŞ VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu kısmında ise güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için küresel güneş radyasyon değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Çizelge 5.10’da Meteoroloji Müdürlüğünden saatlik olarak alınan küresel güneş radyasyon verilerinin her ay için günlük ortalamaları verilmiştir. Tablo incelendiğinde, temmuz ve ağustos ayındaki güneşlenme sürelerinin yüksek olması sonucunda elde edilen ortalama ışınlamaların da maksimum seviyelerde olduğu görülmektedir. Yaz aylarında maksimum seviyelerde olan ışıma, kış aylarında bölgenin iklim özellikleri dikkate alındığında minimum seviyelerde gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.10. Günlük ortalama küresel güneş radyasyon değerleri (kWh/m<sup>2</sup>).

| Günler        | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9            | 10           | 11           | 12           |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1             | 1,08         | 1,01         | 3,88         | 4,89         | 7,94         | 6,74         | 4,71         | 6,40         | 4,51         | 4,10         | 1,10         | 1,04         |
| 2             | 0,85         | 2,84         | 3,59         | 3,74         | 7,26         | 6,69         | 5,48         | 5,98         | 5,45         | 4,00         | 2,04         | 1,54         |
| 3             | 0,91         | 2,78         | 1,96         | 5,07         | 5,38         | 5,84         | 5,36         | 6,04         | 4,88         | 3,92         | 2,46         | 1,19         |
| 4             | 0,94         | 2,30         | 2,40         | 5,23         | 4,40         | 5,67         | 6,16         | 5,75         | 4,96         | 3,73         | 1,25         | 1,43         |
| 5             | 0,93         | 2,16         | 1,74         | 5,16         | 5,59         | 3,78         | 5,92         | 5,67         | 5,01         | 3,42         | 1,24         | 1,09         |
| 6             | 0,99         | 1,95         | 4,26         | 5,19         | 3,93         | 6,82         | 5,88         | 6,15         | 5,13         | 2,82         | 1,55         | 2,10         |
| 7             | 0,95         | 2,69         | 4,59         | 5,05         | 6,59         | 5,08         | 5,62         | 6,25         | 4,92         | 3,64         | 1,75         | 0,66         |
| 8             | 0,89         | 3,14         | 4,58         | 2,84         | 6,42         | 3,59         | 6,14         | 5,66         | 5,24         | 3,26         | 1,55         | 1,83         |
| 9             | 1,96         | 2,95         | 4,62         | 4,16         | 5,32         | 5,26         | 6,73         | 5,83         | 5,01         | 3,35         | 1,61         | 1,66         |
| 10            | 2,21         | 3,06         | 2,60         | 3,03         | 5,25         | 6,84         | 6,47         | 5,10         | 5,07         | 3,45         | 2,11         | 1,69         |
| 11            | 1,13         | 1,14         | 3,84         | 3,41         | 7,29         | 6,91         | 6,23         | 4,94         | 4,89         | 3,56         | 1,88         | 1,60         |
| 12            | 2,08         | 1,83         | 4,52         | 1,78         | 6,17         | 6,57         | 6,28         | 5,78         | 4,70         | 3,10         | 2,14         | 0,94         |
| 13            | 1,01         | 1,23         | 3,32         | 4,83         | 5,55         | 5,59         | 6,94         | 2,54         | 3,10         | 2,02         | 0,96         | 0,82         |
| 14            | 1,16         | 2,00         | 1,25         | 4,79         | 7,02         | 3,84         | 6,80         | 4,31         | 4,80         | 3,48         | 1,86         | 1,28         |
| 15            | 2,20         | 2,29         | 2,17         | 3,50         | 8,04         | 5,56         | 6,89         | 6,11         | 4,19         | 2,12         | 1,17         | 1,27         |
| 16            | 1,74         | 2,50         | 2,90         | 5,43         | 6,68         | 6,32         | 6,82         | 5,95         | 4,69         | 3,51         | 1,45         | 0,92         |
| 17            | 1,33         | 2,56         | 4,94         | 5,52         | 6,31         | 6,78         | 6,73         | 5,57         | 4,81         | 1,32         | 1,45         | 1,78         |
| 18            | 1,18         | 2,72         | 5,11         | 5,36         | 4,87         | 6,77         | 5,68         | 6,23         | 4,70         | 2,68         | 2,32         | 1,75         |
| 19            | 1,49         | 2,41         | 1,83         | 5,31         | 7,59         | 6,90         | 3,35         | 5,81         | 4,61         | 3,29         | 2,23         | 2,08         |
| 20            | 2,53         | 1,27         | 3,65         | 3,82         | 7,07         | 7,06         | 5,30         | 6,20         | 2,91         | 3,64         | 2,19         | 0,75         |
| 21            | 1,05         | 1,37         | 4,45         | 3,78         | 5,75         | 7,17         | 3,10         | 6,06         | 2,14         | 3,50         | 1,90         | 1,25         |
| 22            | 1,61         | 3,27         | 3,31         | 5,46         | 4,45         | 7,19         | 5,91         | 5,76         | 3,03         | 3,32         | 2,23         | 1,64         |
| 23            | 1,43         | 3,34         | 3,64         | 3,99         | 2,55         | 7,04         | 6,56         | 6,04         | 2,50         | 1,90         | 2,20         | 0,94         |
| 24            | 2,44         | 1,68         | 2,72         | 4,54         | 5,95         | 7,08         | 6,57         | 5,72         | 3,42         | 2,01         | 2,22         | 0,99         |
| 25            | 2,13         | 1,45         | 2,92         | 2,87         | 5,00         | 6,22         | 6,73         | 3,43         | 4,19         | 1,47         | 2,07         | 0,84         |
| 26            | 1,60         | 2,88         | 2,45         | 2,97         | 3,75         | 6,87         | 6,28         | 4,51         | 4,37         | 2,96         | 1,92         | 0,97         |
| 27            | 2,94         | 1,51         | 2,58         | 4,49         | 6,54         | 5,51         | 6,24         | 4,24         | 4,43         | 1,32         | 2,00         | 0,89         |
| 28            | 0,88         | 3,23         | 2,17         | 5,06         | 3,33         | 5,20         | 6,55         | 4,56         | 2,71         | 2,39         | 1,02         | 0,78         |
| 29            | 0,96         |              | 5,32         | 5,11         | 2,74         | 5,26         | 6,74         | 4,80         | 4,53         | 1,93         | 0,85         | 1,55         |
| 30            | 1,06         |              | 3,45         | 5,37         | 6,00         | 5,92         | 6,15         | 3,86         | 4,14         | 1,10         | 1,04         | 0,70         |
| 31            | 2,13         |              | 5,38         |              | 7,22         |              | 6,57         | 4,67         |              | 1,52         |              | 0,60         |
| <b>Toplam</b> | <b>45,78</b> | <b>63,56</b> | <b>106,1</b> | <b>131,7</b> | <b>177,9</b> | <b>182,6</b> | <b>186,9</b> | <b>165,9</b> | <b>129,1</b> | <b>87,84</b> | <b>51,74</b> | <b>38,55</b> |

Yıllık küresel güneş radyasyon değeri 1367,22 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanan Karabük Üniversitesi kampüsüne, 100 kWp gücünde polikristal güneş paneli kurulması

halinde elde edilecek olan yıllık enerjinin hesaplanması için ihtiyaç duyulan panel verilerinin yer aldığı bilgiler Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Alfa Solar marka panelin katalog verileri.

|  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>Güneş Hücresi</b>                   | Polikristal              |
| <b>Maksimum Güç</b>                    | 250 W                    |
| <b>Modül Verimi</b>                    | 15,18                    |
| <b>Maksimum Güç Noktası Akımı</b>      | 8,01 A                   |
| <b>Kısa Devre Akımı</b>                | 8,52 A                   |
| <b>Maksimum Güç Noktası Voltajı</b>    | 31,46 V                  |
| <b>Açık Devre Voltajı</b>              | 37,98 V                  |
| <b>Ölçü</b>                            | 1652 mm (L) x 997 mm (W) |
| <b>Ağırlık</b>                         | 20 kg                    |
| <b>Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı</b> | 45 °C                    |
| <b>Panel Referans Sıcaklığı</b>        | 25 °C                    |

Panel yüzeyine gelen güneş ışınım değerini, ortam sıcaklığını ve PV modülü üretici firma tarafından verilen data bilgileri kullanarak güneş panelinin üreteceği güç olan  $P_{PV}$ , Eşitlik 5.5’de verilen denklemden yararlanılarak hesaplanabilir [49]:

$$P_{PV} = \eta_g N A_m G_t \quad (5.5)$$

Bu denklemde;  $\eta_g$  PV hücrenin anlık verimliliğini,  $A_m$  sistemde kullanılan bir panelin alanını ( $m^2$ ),  $G_t$  küresel güneş radyasyon değerini ( $kWh/m^2$ ) ve N ise toplam güneş panel sayısını göstermektedir [49].

Sistemde kullanılan güneş modülünün ebatlarından yola çıkarak modülün alanı, uzunluğu 1652 mm ile genişliği 997 mm çarpılarak  $1,65 m^2$  olarak hesaplanmıştır. Kullanılacak olan bir adet modülün gücü 250 W olduğu için 100 kWp gücünde bir sistem için 400 adet güneş paneli gerekmektedir.

Anlık panel verimi olan  $\eta_g$ , Eşitlik 5.6'daki formül kullanılarak bulunabilir [49]:

$$\eta_g = \eta_r \cdot \eta_{pt} [1 - \beta_t (T_c - T_r)] \quad (5.6)$$

Burada;  $\eta_r$  PV üretici referans verimliliğini,  $\eta_{pt}$  maksimum güç noktası izleme ekipmanının verimliliğini (mükemmel maksimum güç noktası izleme ekipmanı kullanıldığı zaman 1 alınabilir),  $\beta_t$  sıcaklık katsayısını (kristal hücreler için 0,0045 alınabilir),  $T_c$  panelin sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $T_r$  ise panelin referans sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ) ifade etmektedir [49].

PV hücresinin sıcaklığı Eşitlik 5.7'deki gibi açıklanabilir [49]:

$$T_c = T_a + G_t \left[ \frac{\tau\alpha}{U_L} \right] \quad (5.7)$$

Burada;  $T_a$  ortam sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $U_L$  ısı kaybı katsayısını ( $\text{W}/\text{m}^2$  per  $^{\circ}\text{C}$ ),  $\tau$  ve  $\alpha$  sırasıyla iletkenlik ve soğurma katsayısını göstermektedir. Isı kaybı katsayısı ( $\frac{\tau\alpha}{U_L}$ ) panelin nominal çalışma hücre sıcaklığı kullanılarak Eşitlik 5.8'de yer alan formül kullanılarak elde edilebilir [49]:

$$G_t \left[ \frac{\tau\alpha}{U_L} \right] = \frac{\text{NOCT}-20}{0,8} \quad (5.8)$$

$T_a$  Ortam sıcaklığı Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden alınan yıllık ortalama hava sıcaklığı olup değeri  $13,40^{\circ}\text{C}$ 'dir.

## 5.9. GÜNEŞ PANELİNDEN ELDE EDİLECEK OLAN YILLIK ENERJİ

Genel denklemde, elde edilen sonuçlar yerine koyularak panelden elde edilecek olan yıllık enerji  $124\,871$  kWh olarak hesaplanmıştır.

$$P_{PV} = \eta_g N A_m G_t \quad (5.9)$$

$$P_{PV} = 0,138 (400) (1,65) 1367,22$$

$$P_{PV} = 124 871 \text{ kWh}$$

## 5.10. GERİ ÖDEME SÜRELERİNİN HESAPLANMASI

Çalışmanın bu bölümünde, üretilen enerji miktarları ile yatırım tutarları kullanılarak sistemlerin geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken yatırım tutarının %100 öz sermaye ile karşılanacağı ve üretilen enerjinin yıllık getirisi hesaplanırken, 1 kWh elektriğin piyasadan 0,41 kuruştan alındığı düşünülmüştür.

Çizelge 5.12. Leitwind türbini için geri ödeme süresinin hesabı.

| YIL | YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ | YILLIK GELİR (TL) | YATIRIM TUTARI (TL) | İŞLETME BAKIM GİDERİ (TL) | YATIRIMIN GERİ DÖNÜŞÜ (TL) |
|-----|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1   | 697.939,82            | 286.155           | -4.917.120          | -74.880                   | -4.705,845                 |
| 2   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -4.494,569                 |
| 3   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -4.283,294                 |
| 4   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -4.072,019                 |
| 5   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -3.860,743                 |
| 6   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -3.649,468                 |
| 7   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -3.438,193                 |
| 8   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -3.226,917                 |
| 9   | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -3.015,642                 |
| 10  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -2.804,367                 |
| 11  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -2.593,091                 |
| 12  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -2.381,816                 |
| 13  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -2.170,541                 |
| 14  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -1.959,265                 |
| 15  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -1.747,990                 |
| 16  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -1.536,715                 |
| 17  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -1.325,439                 |
| 18  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -1.114,164                 |
| 19  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -902,889                   |
| 20  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -691,613                   |
| 21  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -480,338                   |
| 22  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -269,063                   |
| 23  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | -57,788                    |
| 24  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | 153,488                    |
| 25  | 697.939,82            | 286.155           |                     | -74.880                   | 364,763                    |

Çizelge 5.12’de Leitwind marka türbin için geri ödeme süresinin hesaplanması yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde, türbinin geri ödeme süresinin 23 yıldan fazla olduğu görülmektedir. Bu da kampüs içinde ve Karabük’te rüzgâr potansiyelinin düşük olduğunu ve bu bölgelerin rüzgâr türbini yatırımı için uygun alanlar olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5.13. Alfa Solar güneş paneli için geri ödeme süresinin hesabı.

| Yıl | Güneş Paneli Verim Kaybı | Güneş Paneli Verimi | Panelin Ürettiği Yıllık Enerji Miktarı (kWh/yıl) | Yıllık Gelir (TL) | Yatırım Bedeli (TL) | Yıllık Gider (TL) | Yatırımın Geri Dönüşü (TL) |
|-----|--------------------------|---------------------|--|-------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|
| 1   |                          | 100%                | 124.871,67                                       | 51.197            | -457.600,00         | -2288             | -408.691                   |
| 2   |                          | 0,99                | 123.622,95                                       | 50.685            |                     | -2288             | -360.293                   |
| 3   |                          | 0,98                | 122.374,23                                       | 50.173            |                     | -2288             | -312.408                   |
| 4   |                          | 0,97                | 121.125,52                                       | 49.661            |                     | -2288             | -265.034                   |
| 5   |                          | 0,96                | 119.876,80                                       | 49.149            |                     | -2288             | -218.173                   |
| 6   |                          | 0,95                | 118.628,08                                       | 48.638            |                     | -2288             | -171.823                   |
| 7   |                          | 0,94                | 117.379,37                                       | 48.126            |                     | -2288             | -125.986                   |
| 8   |                          | 0,93                | 116.130,65                                       | 47.614            |                     | -2288             | -80.660                    |
| 9   |                          | 0,92                | 114.881,93                                       | 47.102            |                     | -2288             | -35.847                    |
| 10  |                          | 0,91                | 113.633,22                                       | 46.590            |                     | -2288             | 8.455                      |
| 11  | 90%                      | 0,9                 | 112.384,50                                       | 46.078            |                     | -2288             | 52.245                     |
| 12  |                          | 0,89                | 111.135,78                                       | 45.566            |                     | -2288             | 95.522                     |
| 13  |                          | 0,88                | 109.887,07                                       | 45.054            |                     | -2288             | 138.288                    |
| 14  |                          | 0,87                | 108.638,35                                       | 44.542            |                     | -2288             | 180.542                    |
| 15  |                          | 0,86                | 107.389,63                                       | 44.030            |                     | -2288             | 222.283                    |
| 16  |                          | 0,85                | 106.140,92                                       | 43.518            |                     | -2288             | 263.513                    |
| 17  |                          | 0,84                | 104.892,20                                       | 43.006            |                     | -2288             | 304.231                    |
| 18  |                          | 0,83                | 103.643,48                                       | 42.494            |                     | -2288             | 344.437                    |
| 19  |                          | 0,82                | 102.394,77                                       | 41.982            |                     | -2288             | 384.131                    |
| 20  |                          | 0,81                | 101.146,05                                       | 41.470            |                     | -2288             | 423.313                    |
| 21  | 80%                      | 0,8                 | 99.897,33  | 40.958            |                     | -2288             | 461.983                    |
| 22  |                          | 0,79                | 98.648,62  | 40.446            |                     | -2288             | 500.140                    |
| 23  |                          | 0,78                | 97.399,90  | 39.934            |                     | -2288             | 537.786                    |
| 24  |                          | 0,77                | 96.151,18  | 39.422            |                     | -2288             | 574.920                    |
| 25  |                          | 0,76                | 94.902,47  | 38.910            |                     | -2288             | 611.542                    |

Çizelge 5.13’de ise 100 kWp gücünde polikristal panelin geri ödeme süresinin hesaplanması verilmiştir. Sıcaklık, gölgelenme, tozlanma, kablo, invertör ve diğer kayıplar yüzünden güneş panellerinde meydana gelen verim kaybının her yıl %1 oranında gerçekleşeceği düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca kurulacak

olan sistemin yaklaşık maliyeti 130 000 Dolar olup 1 Dolar 3,52 TL olarak alınmıştır. 9,2 yılda kendisini amorti eden panelin 25 yıl sonunda 611 542 TL kar getireceği düşünüldüğünde üniversite için uygun bir yatırım olacağı görülmüştür. Elde edilen elektriğin üniversite içerisinde kullanılmayıp piyasaya 13.3 centten satılması halinde ise sistemin kendini amorti süresinin 8,1 yıla düşeceği ve 25 yıl sonunda 831 317 TL kar getireceği hesaplamalar sonucunda görülmüştür.





## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Karabük Üniversitesi kampüs alanının rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için Excel programında tablo ve grafikler oluşturularak analizler yapılmıştır. Oluşturulan bu program sayesinde, saatlik olarak alınan ortalama rüzgâr hızları ve küresel güneş radyasyon değerleri kullanılarak, uygulama bölgesi olan Karabük Üniversitesi kampüsü dışında diğer bölgelerin de rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelleri tahmin edilebilecektir. Bu kapsamda ilk olarak, Karabük Meteoroloji Müdürlüğünden alınan 2016-2017 yılına ait bir senelik rüzgâr hızları aylık ve yıllık olarak analiz edilmiştir. Buna göre, 10 m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı 1,29 m/s olarak bulunmuştur. Aralık ayında ortalama rüzgâr hızı 0,79 m/s ile en düşük seviyelerde iken, 1,71 m/s ile en yüksek ortalama rüzgâr hızı temmuz ayında gerçekleşmiştir. Bu yükseklikte rüzgâr güç yoğunluğu ise  $4,32 \text{ W/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. 10 m yükseklikteki hızlar ve bu yükseklikteki güç yoğunluğu incelendiğinde, kampüste yatırım yapılacak seviyede bir rüzgâr potansiyelinin olmadığı görülmektedir. Çalışmada, 1000 kW anma gücüne sahip olan bir rüzgâr türbini seçilmiş ve bu durum gösterilmiştir. Seçilen türbinin kule yüksekliği 80 m olduğu için 10 m yükseklikteki rüzgâr hızları Hellmann yükseklik bağıntısı kullanılarak 80 m yüksekliğe uyarlanmıştır. Bu işlem yapılırken pürüzlülük katsayısı olan  $\alpha$ , bölgenin koşulları dikkate alınarak 0,40 olarak seçilmiştir. Bu yükseklikte elde edilen ortalama rüzgâr hızı 2,98 m/s olmuştur. Rüzgârın esme frekansları kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, türbinden yıllık elde edilecek olan enerji miktarı 697 939 kWh olarak bulunmuştur. Elde edilen enerjinin üniversite içerisinde kullanılacağı düşünülerek ve elektriğin birim alış fiyatı 0,41 kuruş alınarak yapılan maliyet analizi sonucunda, türbinin kendini amorti etme süresi 23,3 yıl çıkmıştır. Bu da ömrü 20 yıl olan rüzgâr türbininin uygun bir yatırım olmadığını göstermiştir.

Aynı şekilde 2016-2017 yılına ait bir senelik ortalama küresel güneş radyasyon verileri analiz edildiğinde, yıllık ortalama küresel güneş radyasyon değeri 3,74 kWh/m<sup>2</sup> olarak kaydedilmiştir. Yaz aylarında bölgenin iklim koşulları dikkate alındığında en yüksek ışınımlar elde edilirken, kış aylarında bu durum tam tersi gerçekleşmiştir. Haziran ayında ortalama küresel güneş radyasyon 6,07 kWh/m<sup>2</sup> ile maksimum seviyede iken, en düşük ortalama küresel radyasyon değeri 1,24 kWh/m<sup>2</sup> ile aralık ayında gerçekleşmiştir. Yapılan analizler neticesinde, 100 kWp gücünde kurulacak olan güneş panelinin yıllık ürettiği enerji miktarı, güneş radyasyon verileri ve panel katalog verileri kullanılarak hesaplanmış ve 124 871 kWh olarak kaydedilmiştir. Yatırımcılardan alınan güncel fiyatlar kullanılarak yapılan ekonomik analiz ile yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır. İlk olarak, elektriğin üniversite içerisinde kullanılacağı varsayılmış ve elektriğin birim alış fiyatı 0,41 kuruş alınarak yapılan hesaplamada, yatırımın kendisini 9,2 yılda amorti edeceği ve 25 yıl sonunda 611 542 TL kar sağlayacağı görülmüştür. Daha sonra ise, elektriğin kampüs içerisinde kullanılmayıp piyasaya 13,3 centten satılacağı düşünülerek hesaplamalar yapılmış ve yatırımın geri ödeme süresi 8,1 yıla düşmüştür. Ayrıca 25 yıl sonunda 831 317 TL kar sağlayacağı görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar dikkate alındığında, Karabük Üniversitesi kampüs alanının güneş potansiyelinin yatırım yapılabilir düzeyde olduğu anlaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Sayın, S., "Yenilenebilir enerjinin ülkemiz uapı sektöründe kullanımının önemi ve yapılarda güneş enerjisinden yararlanma olanakları", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya (2006).
2. İlkılıç, C., "Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16: 1165-1173 (2012).
3. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, " Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü ", <http://www.eie.gov.tr> (2017).
4. İnternet: TEİAŞ, "Yük Dağıtım", <http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls> (2017).
5. Uçar, A., and Balo, F., "Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey", **Applied Energy**, 86: 1864-1872 (2009).
6. Yıldırım, U., Gazibey, Y., ve Güngör, A., "Niğde ili rüzgar enerjisi potansiyeli", **Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 1 (2): 37-47 (2012).
7. Tağl, Ş., "Sinop ve çevresinde rüzgar enerjisi potansiyeli", **Türkiye 8. Enerji Kongresi, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gelişimi**, Ankara, 2: 135-149 (2000).
8. İmal, M., Şekkeli, M., ve Yıldız, C., "Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ana kampüste rüzgar enerji potansiyeli araştırması ve değerlendirmesi", **KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15 (2): 11-16 (2012).
9. Koç, T., "Ayvalık'ta rüzgar enerjisi potansiyeli", **Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 1 (2): 1-18 (1998).
10. Mukulo, B. M., Ngaruiya, J. M., and KAmou, J. N., "Determination of wind energy potential in the Mwingi-Kitui Plateau of Kenya", **Renewable Energy**, 63: 18-22 (2014).
11. Yıldızay, H. D., Aras, H., ve Yılmaz, V., "Eskişehir'de rüzgar ve güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi", **Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi**, 5 (1): 49-58 (2014).
12. Yanıktepe, B., Özalp, C., Kaşka, Ö., and Köroğlu, T., "An assessment of wind power potential in Osmaniye, Turkey", **6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium**, Elazığ, 82-88 (2011).

13. Özgener, L., "Investigation of wind energy potential of Muradiye in Manisa, Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 3232-3236 (2010).
14. Gökçek, M., Bayülken, A., and Bekdemir, Ş., "Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey". *Renewable Energy*, 32 (10): 1739-1752 (2007).
15. Öztopal, A., Şahin, A. D., Akgün, N., and Şen, Z., "On the regional wind energy potential of Turkey", *Energy*, 25: 189-200 (2000).
16. Özerdem, B., and Türkeli, M., "An investigation of wind characteristics on the campus of İzmir Institute of Technology, Turkey", *Renewable Energy*, 28: 1013-1027 (2003).
17. Ulfat, I., Jawed, F., Abbasi, F. A., Kanwal, F., Usman, A., Jahangir, M., and Ahmed, F., "Estimation of solar energy potential for Islamabad, Pakistan", *Energy Procedia*, 18: 1496-1500 (2012).
18. Taşkın, O., ve Korucu, T., "Kahramanmaraş ili güneş enerjisi potansiyeli ve kullanım olanakları", *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 17 (4): 12-16 (2014).
19. Choge, D. K., "Analysis of wind and solar energy potential in Eldoret, Kenya", *Journal of Energy Technologies and Policy*, 5 (2): 7-13 (2015).
20. Mohammadi, K., Mostafaiepour, A., and Sabzpooshani, M., "Assessment of solar and wind energy potentials for three free economic and industrial zones of Iran", *Energy*, 60: 117-128 (2014).
21. Tar, K., Birone, A. K., B., Bartok, B., Szegedi, S., Lazar, I., Vass, R., Bai, A., and Toth, T., "Estimation of solar and wind energy potential in the Hernad Valley", *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 119 (4): 537-555 (2015).
22. Yayla, S., Yumak, H., ve Bayram, A., "Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanının rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi" *Y.Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (1): 17-23 (2010).
23. Vafaiepour, M., Valizadeh, M. H., Rahbari, O., and Eshkalag, M. K., "Statistical analysis of wind and solar energy potential in Tehran", *International Journal of Renewable Energy Research*, 4 (1): 233-239 (2014).
24. İlkılıç, C., and Türkbay, İ., "Determination and utilization of wind energy potential for Turkey", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (8): 2202-2207 (2010).
25. Hau, E., "Wind turbines \_ Fundamentals, Technologies, Applications, Economics 2nd ed.", *Springer Berlin Heidelberg*, Germany (2006).

26. Johnson, G.L., "Wind Energy Systems", *Electronic Edition*, Manhattan, 1-23 (2006).
27. Spera, D. A., "Wind Turbine Technolog Fundamental Concepts in Wind Turbine Engineering 2nd ed.", *Asme Press*, USA (2009).
28. Toprak, A., "Elektrik üretimi için düşük güçlü rüzgar enerji sistemi tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2011).
29. Oskarsdottir, M. O., "A general description and comparison of horizontal axis wind turbines and vertical axis wind turbines", M. Sc. Thesis, *University of Iceland School of Engineering and Naturel Science*, Reykjavik (2014).
30. Wagner, H. J., and Mathur, J., "Introduction to Wind Energy System Basics, Technology and Operation", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, New York (2009).
31. Eriksson, S., Bernhoff, H., and Leijon, M., "Evaluation of different turbine concepts for wind power", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (5): 1419-1434 (2008).
32. Hemami, A., "Wind Turbine Technology", *Cengage Learning*, USA, 31-87 (2012).
33. İnternet: Enerjibes, "Rüzgar Enerjisi Nedir?", <http://www.enerjibes.com/ruzgar-enerjisi-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/> (2017).
34. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, "Güneş Işınım", <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunesininim.html> (2017).
35. Fraas, L., and Partain, L., "Solar Cells and Their Applications 2nd ed.", *John Wiley & Sons*, New Jersey (2010).
36. Nelson, J., "The Physics of Solar Cells", *Imperial College Press*, UK (2003).
37. Bedeloğlu, A., Demir, A., ve Bozkurt, Y., "Fotovoltaik teknolojisi: Türkiye ve dünyadaki durumu, genel uygulama alanları ve fotovoltaik tekstiller", *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (2): 43-58 (2010).
38. Ortaçtepe, Y.C., "Güneş pillerinden elektrik üreten bir sistemin analizi ve tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2011).
39. Bagher, A. M., Vahid, M. M. A., Mohsen, M., "Types of solar cells and application", *American Journal of Optics and Photonics*, 3 (5): 94-113 (2015).

40. İnternet: Electrical Technology, "PV Types of Solar Panel", <http://www.electricaltechnology.org/2014/10/pv-types-of-solar-panel-best-pv-panel.html>.
41. Kumar, A., Richhariye, G., and Sharma, A., "Solar Photovoltaic Technology and Its Sustainability", Energy Sustainability Through Green Energy, Sharma, A., Kar, S. K., *Springer*, India, 3-25 (2015).
42. Lynn, P. A., "Electricity from Sunlight An Introduction to Photovoltaics", *Imperial College*, London (2010).
43. İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, "Güneş PV", <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html> (2017).
44. Arıkan, Y., "Yenilenebilir enerji sistem yatırımlarında enerji potansiyeli ve ekonomik analiz tabanlı yazılım tasarımı" Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale (2014).
45. Köse, B., Güneşer, M. T., Yazıcı, M., and Yılmaz, H., "Estimation of wind energy potential Eskipazar using Rayleigh, Lognormal and Weibull distribution model", *ISITES*, Valencia-Spain, 10-19 (2015).
46. Manwell, J. F., Morgan, J. G., and Rogers, A. L., "Wind Energy Explained Theory, Design and Application", *John Wiley&Sons*, England (2002).
47. Masters, G. M., "Renewable and Efficient Electric Power Systems", *John Wiley & Sons Inc.*, New Jersey (2004).
48. Çengel, Y. A., ve Boles, M. A., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik 5. baskı", *İzmir Güven Kitabevi*, İzmir (2012).
49. Diaf, S., Diaf, D., Belhamel, M., Haddadi, M., and Louche, A., "A Methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system", *Energy Policy*, Elsevier, 35: 5708-5718 (2007).

## ÖZGEÇMİŞ

Ahmet CANAN 1989 yılında İzmir’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Tire Kutsan Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2012 yılında 3,07 ortalamayla mezun oldu. 2011-2012 yılları arasında Erasmus Programı kapsamında Polonya’da bir sene eğitim gördü. Askerliğini kısa dönem er olarak Kıbrıs’ta tamamladı. 2014 yılında Öğretim Görevlisi Yetiştirme Programı (ÖYP) kapsamında Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir. Aynı sene Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.

### ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi  
Teknoloji Fakültesi  
Enerji Sistemleri Mühendisliği  
Balıklar kayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (506) 603 0973  
E-posta : ahmettcanan@hotmail.com