



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF ENERJİ ÜRETİMİ

FATMA AVLİ FIRIŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2018

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF
ENERJİ ÜRETİMİ

FATMA AVLİ FIRIŞ

Bu tez,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2018

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Fatma AVLİ FIRIŞ tarafından hazırlanan “SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF ENERJİ ÜRETİMİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 19 / 12 / 2018 tarihinde oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ (DANIŞMAN)

.....

Elektrik-Elektronik Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ökkeş Fatih KEÇECİOĞLU (ÜYE)

.....

Elektrik-Elektronik Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KARTERİ (ÜYE)

.....

Enerji Sistemleri Müh.

Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatma AVLİ FIRIŞ



SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ İÇİN ALTERNATİF ENERJİ ÜRETİMİ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

FATMA AVLİ FIRIŞ

ÖZET

Dünya genelinde enerjiye olan ihtiyaç; nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelere paralel olarak baş döndürücü bir hızla artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için hâlihazırda kullanılmakta olan fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı oluşları ve yüksek miktarlarda tüketiminden kaynaklanan çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi sağlamıştır. Bu yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgâr, güneş ve su gücü enerjisi gibi sonu gelmeyecek ve yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Bu enerji kaynaklarından olan rüzgâr gücü ve güneş enerjisiyle elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanacak çok sayıda çalışmalar günümüze kadar yapılmıştır ve halen devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında, sinyalizasyon sistemlerinin enerji ihtiyacının karşılanmasında yararlanılacak olan rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleri üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü içerisinde bulunan trafik sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacı belirlenmiş, bu bölgedeki rüzgâr verilerinden de yararlanılarak hangi teknik özelliklere sahip rüzgâr türbini ile bu ihtiyacın karşılanabileceği bulunmuştur. Rüzgârın hiç esmeyeceği ihtimaline karşılık ise güneş enerjisinden yararlanılarak enerji üretilmesi planlanmıştır. Tasarlanan bu hibrit sistemin ortalama maliyeti belirlenerek aynı miktardaki enerjinin mevcut elektrik dağıtım şebekesinden karşılanması durumunda oluşacak maliyet ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yürütülen bu çalışma ile rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilerek sinyalizasyon sistemleri gibi birçok düşük güçlü sistemlerin enerji ihtiyacına cevap verilmesi ve bundan sonra yapılacak olan çalışmalara da emsal teşkil edilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Rüzgâr Enerjisi, Güneş Enerjisi, Hibrit Sistem, Trafik Sinyalizasyon Sistemleri

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Aralık / 2018

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Sayfa sayısı: 73

**ALTERNATIVE ENERGY PRODUCTION FOR SIGNALIZATION SYSTEMS
(M.Sc. THESIS)**

FATMA AVLİ FIRIŞ

ABSTRACT

The energy demand has increased rapidly parallel with population growth, industrialization and technological developments all over the world. In order to meet the increasing energy needs, the renewable energy resources have been used more than past because of high-rated consumption of fossil-based energy sources have damaged environment and human health and their reservoirs have limited. These new and renewable sources have been named as wind, solar and water power etc. which are unlimited energy sources. Numerous study about the meeting energy needs with wind energy have been carried out to date and they have been continued nowadays.

In this thesis, the wind energy systems which used in meeting the energy needs of traffic signaling systems was emphasized. In this context, the energy requirements of the signaling system in Avşar Campus of Kahramanmaraş Sütçü İmam University were determined and it was found that the wind turbines with the technical features could be met by using the wind data in this region. It is planned to generate energy by utilizing solar energy in case the wind will never blow. The average cost of the designed hybrid system was determined and compared with in case of the same amount of energy is met from the existing electricity distribution network. With this study, it had been aimed to produce electricity from wind energy to meet the energy needs of many low power systems such like signaling systems and to set a precedent for the works to be done.

Keywords: Electrical Energy, Renewable Energy Sources, Wind Power, Solar Energy, Hybrid System, Traffic Signaling Systems

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric-Electronic Engineering, Aralık / 2018

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Page Numbers: 73

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, mesleki hayatımda da kendisini örnek alıp yolunda ilerlemeyi dilediğim kıymetli hocam Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ'ye, çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından her türlü yardımda bulunarak yol gösteren, kendisine ne zaman danışsam vaktini ayırıp sabırla ve ilgiyle bana faydalı olabilmek adına elinden gelenin fazlasını sunan değerli büyüğüm Arş. Gör. Mustafa TEKİN'e teşekkürü bir borç bilir ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca beni bu günlere getiren, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyip her koşulda yanımda olan, haklarını asla ödeyemeyeceğim ve bu hayattaki en büyük şansım olan anne ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ	6
3.1. Hidroelektrik Enerji Sistemleri.....	7
3.2. Güneş Enerjisi Sistemleri	9
3.2.1.Dünya’da güneş enerjisinin durumu	10
3.2.2. Türkiye’de güneş enerjisinin durumu	11
3.2.3. Güneş enerjisi teknolojileri.....	13
3.3. Rüzgâr Enerjisi Sistemleri	15
3.3.1. Dünya’da rüzgâr enerjisinin durumu	18
3.3.2 Türkiye’de rüzgâr enerjisinin durumu	21
3.3.3. Rüzgâr türbinleri	27
3.3.3.1. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması.....	29
3.3.3.1.1. Eksenlerine göre rüzgâr türbinleri	29
3.3.3.1.2. Kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri.....	30
3.3.3.2. Rüzgâr türbinlerini oluşturan parçalar ve bileşenler.....	31
3.3.3.3. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan generatörler.....	33
3.3.3.3.1. Doğru akım generatörleri.....	33
3.3.3.3.2. Senkron generatörler.....	33
3.3.3.3.3. Asenkron generatörler	35
4. SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ.....	38
4.1. Sinyalizasyon Sistemlerinin Tarihçesi	38
4.2. Sinyalizasyon Sistemlerinin Gerekliği, Avantajları ve Dezavantajları	38
4.3. Sinyalizasyon Sistemlerine Dair Usul ve Esaslar.....	39
5. SİNYALİZASYON SİSTEMİ İÇİN HİBRİT SİSTEM KURULUMU VE MALİYETİ.	42
5.1. Sinyalizasyon Sisteminin Enerji İhtiyacı.....	42
5.2. Rüzgâr ve Güneş Enerjisinden Oluşan Hibrit Sistemin Kurulması.....	46
5.2.1. Bölgenin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi	46

Sayfa No

5.2.2. Rüzgâr türbini parametrelerinin ve üretilecek enerji miktarının belirlenmesi	50
5.2.3. Rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit sistemin tasarımı	55
5.3. Mevcut Elektrik Dağıtım Şebekesinden Enerji İhtiyacının Karşılanması	59
5.3.1. Elektrik dağıtım şebekesi ve elektrik faturalarına genel bakış	59
5.3.2. Şebekeden enerji alınması durumunda oluşan maliyet	62
5.4. Enerji İhtiyacının Karşılanmasında Oluşacak Maliyet Hesabı ve Karşılaştırılması	64
6. SONUÇ	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü (MW).....	6
Şekil 3.2. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimi (KWh).....	7
Şekil 3.3. Hidroelektrik Enerji Dönüşüm Şematığı.....	8
Şekil 3.4. Bolu Gökçesaray Barajı.....	8
Şekil 3.5. Türkiye Hidroelektrik Santralleri Haritası.....	9
Şekil 3.6. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası.....	12
Şekil 3.7. Türkiye'nin Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneşlenme Süresi.....	12
Şekil 3.8. Dolaylı Yöntemli Güneş Santrali Çalışma Yapısı.....	14
Şekil 3.9. Doğrudan Yöntemli Güneş Santrali Çalışma Yapısı.....	15
Şekil 3.10. Dünya Üzerindeki Kurulu Rüzgâr Türbinleri Kurulu Güçleri.....	19
Şekil 3.11. Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücündeki Artış ve Artış Oranları.....	20
Şekil 3.12. Elektrik İşleri Enstitüsü Türkiye Rüzgâr Atlası.....	22
Şekil 3.13. Rüzgâr Güç Yoğunluğu Haritası - 50 m.....	23
Şekil 3.14. Rüzgâr Güç Yoğunluğu Haritası - 100 m.....	23
Şekil 3.15. Rüzgâr Hızı Haritası - 50 m.....	24
Şekil 3.16. Rüzgâr Hızı Haritası - 100 m.....	24
Şekil 3.17. Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Kümülatif Kurulumu.....	26
Şekil 3.18. Rüzgâr İle Elektrik Üretiminin Toplam Tüketimi Karşılama Oranı.....	27
Şekil 3.19. Betz Kanununun Gösterimi.....	28
Şekil 3.20. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	29
Şekil 3.21. Düşey Eksenli Rotor Tipleri.....	30
Şekil 3.22. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	31
Şekil 3.23. Rüzgâr Türbini Bileşenleri.....	32
Şekil 3.24. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş RSSG'nin Şebekeye Bağlantısı.....	34
Şekil 3.25. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş SMSG'nin Şebekeye Bağlantısı.....	35

Şekil 3.26. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş RSAG'ün Şebekeye Bağlantısı.....	36
Şekil 3.27. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş SKAG'ün Şebekeye Bağlantısı.....	37
Şekil 4.1. Halojen Ampüllü Sinyal Vericisi.....	40
Şekil 4.2. Power Ledli Sinyal Vericisi.....	41
Şekil 5.1. Sinyalizasyon Sisteminin Günlük Tüketim Eğrisi.....	43
Şekil 5.2. Uzaktan Haberleşmeli Sayaç Okuma Sistemi Ekran Görüntüsü.....	45
Şekil 5.3. Sinyalizasyon Sisteminin Güç Ölçümü.....	46
Şekil 5.4. Kahramanmaraş'ta Rüzgar Hız Dağılımı - 50 m.....	47
Şekil 5.5. Kampüs Topoğrafik Haritası.....	48
Şekil 5.6. Ortalama Rüzgar Hızları Dağılımı.....	49
Şekil 5.7. Rüzgar Türbini İletişim Şeması.....	51
Şekil 5.8. Rüzgar Enerjisi Sistemi SistematiK Şeması.....	56
Şekil 5.9. Sinyalizasyon Abonesi Fatura Örneği.....	63

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1.	Bölgelere Göre Yıllık Güneş Enerjisi Potansiyeli Dağılımı..... 13
Tablo 3.2.	Rüzgâr Türbinlerinin Tarihsele Gelişimleri..... 17
Tablo 3.3.	İlk Büyük Çaplı Rüzgâr Türbinlerinin Performansları..... 18
Tablo 3.4.	Dünya’da Rüzgâr Enerjisi Kapasiteleri..... 21
Tablo 3.5.	EİE Türkiye Rüzgâr Atlası Hız ve Güç Akışı Değerleri..... 22
Tablo 3.6.	Türkiye Kara ve Deniz Rüzgâr Potansiyeli - 50 m..... 25
Tablo 3.7.	Bölgelerin Yıllık Ortalama Rüzgâr Hız ve Güç Yoğunlukları - 10 m 26
Tablo 3.8.	Çeşitli Generatör Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları..... 37
Tablo 5.1.	Armatür Adetleri ve Güçleri..... 42
Tablo 5.2.	Cihaz Çeşitleri ve Güçleri..... 42
Tablo 5.3.	Saatlik Bazda Tüketilen Enerji Miktarları..... 44
Tablo 5.4.	Kahramanmaraş’a Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrali Güç Kapasitesi..... 47
Tablo 5.5.	10 m ve 40 m Yüksekliklerde Ortalama Rüzgar Hızları..... 50
Tablo 5.6.	Rüzgar Türbini Saatlik, Günlük, Aylık Ve Yıllık Üretim Verileri..... 54
Tablo 5.7.	Rüzgar Türbininin Teknik Özellikleri..... 56
Tablo 5.8.	Fotovoltaik Panelin Teknik Özellikleri..... 58
Tablo 5.9.	Rüzgar Enerjisi Sistemi Fiyat Tablosu..... 59
Tablo 5.10.	Elektrik Faturalarındaki Bedeller..... 62
Tablo 5.11.	2003-2018 Yılları Arası Enflasyon Oranları..... 65
Tablo 5.12.	Enflasyon Verilerine Göre Fatura Bedelleri..... 66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
DSİ	: Devlet Su İşleri
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
EİE	: Elektrik İşleri Enstitüsü
TÜREB	: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
İEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
WWEA	: World Wind Energy Association (Dünya Rüzgâr Enerjisi Birliği)
GWEC	: Global Wind Energy Council (Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
LED	: Light Emitting Diodes
W	: Watt
MW	: Mega Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
GWh	: Giga Watt Saat
TWh	: Tera Watt Saat
V	: Volt
kV	: Kilo Volt
A	: Amper
MVA	: Mega Volt Amper
Ah	: Amper Saat
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım

RSSG	: Rotoru Sargılı Senkron Generatör
SMSG	: Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör
RSAG	: Rotoru Sargılı Asenkron Generatör
SKAG	: Sincap Kafesli Asenkron Generatör
P	: Güç (W)
P_r	: Rüzgâr Gücü (W)
P_m	: Mekanik Güç (W)
P_t	: Türbin Gücü (W)
P_e	: Elektriksel Güç (W)
E_k	: Kinetik Enerji (Nm)
V_r	: Rüzgâr Hızı (m/s)
η	: Verim
ρ	: Hava Yoğunluğu (kg/m ³)
C_p	: Türbin Verimi
π	: Pi Katsayısı

1.GİRİŞ

Enerji kavramı ve enerji kaynaklarının temini, güvenliği, erişilebilirliği ve sürdürülebilirliği, geçmişten günümüze kadar dünyanın en önemli konularından biri olmuştur. Ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin en önemli göstergelerinden biri olan enerji tüketimi; nüfus artışı, iletişim, maddi kazanç, lüks yaşantı arzusu ve sanayileşme ile birlikte sürekli olarak artış göstermektedir.

Dünya genelinde, artan enerji ihtiyacını karşılamak adına çeşitli kaynaklardan yararlanılmaktadır. Bu kaynakların başında kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kökenli yakıtlar gelmektedir. En çok kullanılan enerji kaynağı petrol olup ikinci sırada kömür, üçüncü sırada doğalgaz yer almaktadır. Dünya rezerv bilgilerine göre yaklaşık 892 milyar ton kömür, 186,9 trilyon metreküp doğalgaz, 1,7 trilyon varil petrol rezervi bulunmaktadır. Bu rezervler içerisinde kömür 114 yıl, doğalgaz 53 yıl, petrol ise 51 yıl boyunca küresel üretimi karşılamaya yeterli olup tükenecek olmaları kaçınılmaz bir gerçekliktir (ETKB, 2017).

Fosil yakıtların miktarlarının sınırlı oluşlarının yanı sıra kullanımlarının sera etkisi oluşturma, doğaya karbon gazları salma, toprağı ve suyu ciddi ölçüde kirletme gibi çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olması, kaynak ülkelere bağımlı olmanın beraberinde getirdiğı siyasi ve ekonomik sorunlar, mevcut enerji kaynaklarında değişikliğe gidilmesi gerektiğı algısını oluşturmaktadır. Bu fosil yakıtlara alternatif olarak geliştirilen enerji kaynakları; hem ciddi çevre sorunlarına yol açmayan hem de doğada hazır halde bulunup belirli sürelerde kendini yenileyen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle-atık, dalga-akıntı gibi kaynaklar başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarındandır.

Dünya genelinde tüketilmekte olan enerjinin yaklaşık olarak yüzde 20'si yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Hâlihazırda fosil kökenli yakıtlara olan bağımlılık yüksek seviyelerde olmasına rağmen yıllar içerisinde yenilenebilir enerjinin kullanım oranı giderek artmaktadır. Son dönemlerde ülkemizde de yenilenebilir enerji alanında önemli ilerlemeler kaydedilmektedir. 2018 yılı haziran sonu itibarıyla Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü 87.138,7 MW iken yenilenebilir enerji kurulu gücü 45.377,9 MW olarak belirlenmiştir. Bu kurulu gücün büyük çoğunluğunu yüzde 23,3'lük bir oran ile hidrolik enerji oluşturmakta iken rüzgâr enerjisi yüzde 7,6 ve güneş enerjisi yüzde 5,7 oranı ile yıllar içerisinde artış göstermektedir (TEİAŞ, 2018).

Bulunduğı coğrafi konumu sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülke olan Türkiye'nin gelecek planlamaları ve özellikle 2023 hedefleri doğrultusunda

attığı adımlar, bu mevcut potansiyeli değerlendirmeye öncelik vermektedir. Bu bağlamda Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını önemli ölçüde azaltacak olan yenilenebilir enerji; milli gelirden istihdama, yatırım alanlarından çevresel faktörlere kadar birçok alanda son derece önemli katkılar sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve güneş enerjisinden, sinyalizasyon sistemlerinin enerjisinin karşılanması durumu incelenmiştir. Bu amaçla tasarlanan sistem, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar kampüsü girişinde bulunan sinyalize kavşaklar üzerinde düşünülmüştür. Sistemin enerji ihtiyacının rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit sistemden ve mevcut elektrik dağıtım şebekesinden karşılanması halinde oluşacak olan ekonomik durum analiz edilmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasının konusuyla alakalı literatürde bulunan bazı akademik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Bailey ve ark. (1997), ‘‘Wind Resource Assessment’’ adlı kitapta; rüzgar enerjisi kaynağının değerlendirilmesi amacıyla rüzgar enerjisi, rüzgar enerjilerinde ölçüm sistemleri, rüzgar türbinleri ve türbin bileşenleri hakkında bilgi vermiş, rüzgar türbinlerinin kurulum aşamalarından, çalışma ve bakım prosedürlerinden bahsetmiştir.

Ackerman ve ark. (2000), Dünya çapında çalışılan şebekeden bağımsız rüzgâr enerjisi sistemlerine ilaveten şebeke bağlantılı rüzgâr enerjisi sistemlerine genel bir bakış açısı sunmuştur. Bu kapsamda; rüzgâr gücünün tarihsel gelişiminden, rüzgâr türbini çeşitlerinden ve bileşenlerinden bahsedilmiş, şebeke bağlantılı rüzgâr türbini sistemlerinin çeşitli ülkelerdeki kullanım durumları incelenmiştir.

Köse ve ark. (2002), Rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretebilmek adına Kütahya ilinde bulunan Dumlupınar Üniversitesi kampüs alanının rüzgâr potansiyelini araştırmışlardır. Bu kapsamda kampüs alanına rüzgâr ölçüm düzeneği kurulmuş, 2001 yılı Temmuz ile 2002 yılı Ekim ayları arasında rüzgâr hızı ve yönünün değişimleri incelenmiştir. Belirtilen süreler arasında alınan veriler incelenip değerlendirilerek bu bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunmuştur. Araştırma sonucunda ortalama rüzgâr hızları 10 metre ve 30 metre yükseklikte sırasıyla 4,1 m/s ve 4,4 m/s olarak bulunmuştur.

Gençoğlu, M.T. (2002), Yayınlanmış olduğu makalesinde; yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlerinden, öneminden, ülkemizdeki potansiyelinden bahsetmiş, bu kaynakların kullanımının ülkemiz açısından oluşturacağı olumlu etkileri aktarmıştır.

Şahin, A.D. (2004), Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve bu kaynakların içerisinde yer alan rüzgâr enerjisi konusunu ele almıştır. Çalışma kapsamında; rüzgâr enerjisinin tarih boyunca kullanımı, meteorolojisi, rüzgâr türbini teknolojileri, mevcut kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi ve dünyadaki hibrit rüzgâr sistemi uygulamaları hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

Köse, R. (2004), Rüzgâr enerjisi potansiyelini kullanıp elektrik enerjisi üretmek amacıyla Kütahya ilinde bulunan Dumlupınar Üniversitesi kampüs alanında bir gözlem istasyonu kurmak suretiyle bu bölgedeki rüzgâr verilerini belirlemiştir. Kurulan bu gözlem istasyonundan Temmuz 2001 ve Şubat 2003 tarihleri arasında, CALLaLOG ve ALWIN paket programları kullanılarak rüzgâr hızı ve enerji yoğunluğu değerlerine ulaşılabilmektedir. 20 ay

boyunca alınan verilere göre; 30 m yükseklik için ortalama rüzgâr hızı 4.62 m/s iken enerji yoğunluğu 36.62 W/m² olarak tespit edilmiştir.

Johnson, L. (2004), ‘Wind Energy Systems’ adlı kitabında, rüzgâr gücü ve rüzgâr türbinlerinin kullanım tarihçesinden, türbin tiplerinden ve türbinlerde kullanılan generatörlerden bahsetmiş, rüzgâr enerji sistemlerinin ekonomik durumunu incelemiştir.

Köse, F. ve Özgören, M. (2005), yürüttükleri çalışmada, Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsünde bulunan bir bölgede ölçüm istasyonunun kurulmasıyla elde edilen verileri değerlendirip bu bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemişlerdir. Ölçülen değerler ve yerli imalat faktörleri de göz önünde bulundurularak bir maliyet hesabı yapılmış, bölgeye kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali için minimum maliyet ve geri ödeme süresi verecek şekilde uygun olan türbininin seçilmesi konusu işlenmiştir.

Akkaya, S. (2007), yüksek lisans tezinde alternatif enerji kaynaklarının ülkemizdeki potansiyelleri ve kullanımları konusunda çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada alternatif enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi üzerinde durularak Çanakkale, Balıkesir ve Manisa illerinde seçilen alanlarda, bu bölgede kurulacak rüzgâr santraline uygun bölge araştırılmıştır. Çalışma sonucunda yıllık 76.573 MWh’lik enerji üretimi ile Çanakkale’deki alanın en uygun olduğu bulunmuştur.

Çukurçayır, M.A. ve Sağır, H. (2008), enerji ihtiyacını karşılamada kullanılan geleneksel yakıtların yol açtığı çeşitli sorunlardan ve bu kaynaklara alternatif olarak kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsetmiştir. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitleri, avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuş; dünyada ve ülkemizdeki kullanım durumları incelenmiştir.

Durak, M. ve Özer, S. (2008), “Rüzgâr Enerjisi: Teori ve Uygulama” adlı kitabında rüzgâr enerjisinden, rüzgâr enerjisinin tarihsel gelişiminden, dünyadaki rüzgâr enerjisinin durumu ve piyasasından, rüzgâr türbinlerinin bileşenlerinden, yapılarından, çalışma prensiplerinden ve uygulama alanlarından bahsetmiştir.

Kazıcı, M.S. (2009), Yürüttüğü bu çalışmada rüzgâr oluşumu, türleri, rüzgâr enerjisi ile ilgili tanımlardan, dünyadaki ve ülkemizdeki durumlarından bahsetmiş, rüzgâr türbinlerinin çeşitleri ve türbin seçiminin maliyete etkisi hakkında geniş bilgilere yer vermiştir. Bu bağlamda Şanlıurfa iline ait 30 m yükseklikte ölçülen rüzgâr verilerinden yararlanılarak 50 MW’lık rüzgâr çiftliği oluşturulacak şekilde 10 adet rüzgâr türbini tiplerinden en yüksek verimi almak için dikkat edilmesi gereken hususlar araştırılmış, elde edilecek getiriye etkisi incelenmiştir.

Yiğit F. ve Kabul, A. (2014), Isparta yöresinde bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılacak olan rüzgâr enerjisi sisteminin ekonomik durumunu analiz etmişlerdir. Yapılan analizlerde başlangıç maliyeti, işletme gideri ve yıllık kazanç gibi parametreler baz alınarak rüzgar türbininin kurulumu sonrasında geri ödeme süresi bulunmuş ve bu şekilde yapılacak bir yatırımın sonuçları irdelenmiştir.

Kumar, Y. ve ark. (2016), ‘‘Wind Energy: Trends and Enabling Technologies’’ isimli makalede; fosil enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklı sorunlara değinerek alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi konusuna açıklık getirmiştir. Öte yandan bu alternatif enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisinin kullanımının avantajlarından ve dünya çapındaki kullanımlarından bahsedilerek bu kullanımın daha da artması gerektiği konusu vurgulanmıştır.

Bilir, L. ve Özcan, N. (2017), İzmir bölgesinde bulunan yüksek rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmek adına; yerleşim alanlarına yakın yerlerde kurulabilen küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinin incelemesini yapmışlardır. Çalışma kapsamında aynı güç kapasitesine sahip üç farklı rüzgâr türbininin, saatlik güç üretimleri hesaplanmıştır. Güç üretimi hesaplamalarında İzmir bölgesinde 2014 yılında 10 metre yükseklik için hesaplanmış olan saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Sonuç itibariyle, seçilen bu rüzgar türbinlerinin devreye girme hızlarına, nominal hız değerlerine göre kıyaslama yapılarak en düşük nominal hıza sahip olan türbinin en yüksek üretimi gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.

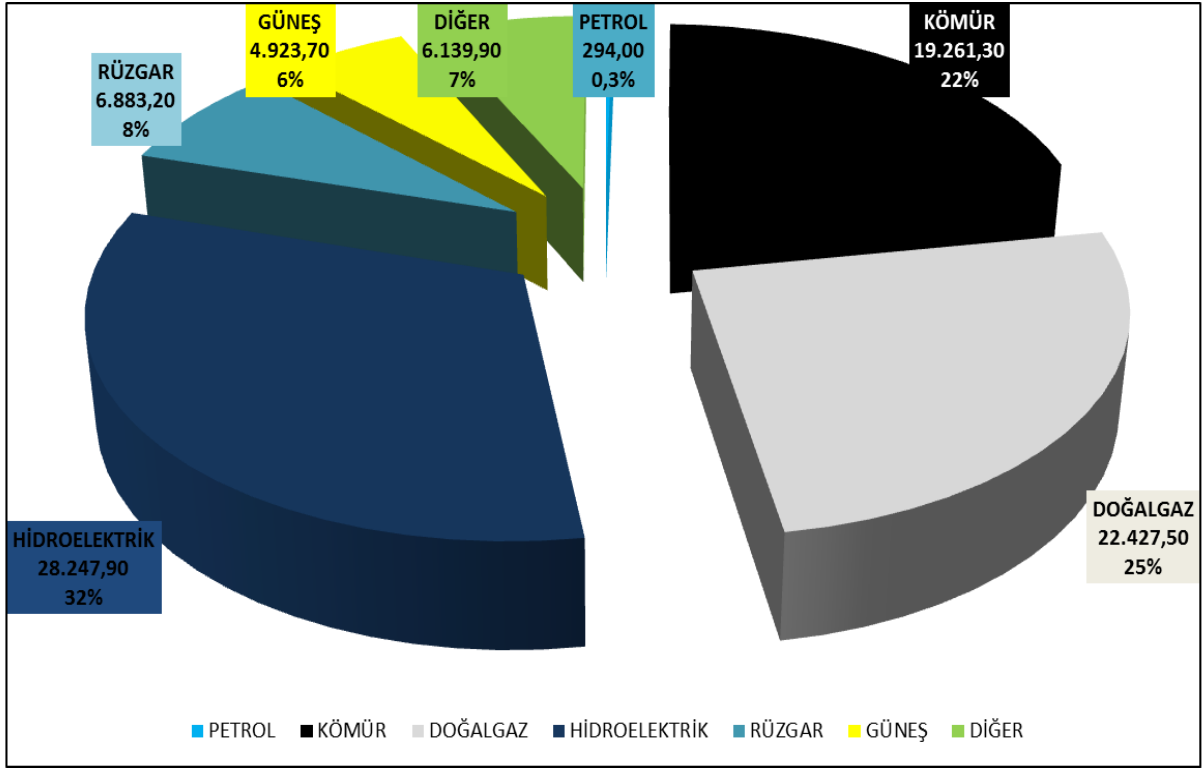
Willis, D.J. ve ark. (2018), yayınlamış oldukları bu makalede rüzgâr enerjisi araştırmalarında geline en son teknolojiyi incelemiştir. Bu kapsamda; kontrol, güç üretimi, ölçüm, test, güvenilirlik ve enerji depolama konularını içeren rüzgâr türbini tasarımı ve imalatı konuları aktararak bu konulara dair gelecekteki yönelimler tartışılmıştır.

Chen, J. ve ark. (2018), rüzgâr enerjisinin özelliklerinden kısaca bahsetmiş, yıllık rüzgâr istatistiklerine ve türbin çıkış güçlerine dayalı bir maliyet analizi yapmıştır. Türbinin maliyet analizinde ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen bir rüzgâr türbini maliyet modeli kullanılmıştır. Son olarak ise rüzgâr türbinlerinin maliyetini en aza indirmek için matematiksel bir yaklaşım gösterilmiş ve yaklaşımın etkinliğinin gösterilmesi için vaka çalışması yapılmıştır.

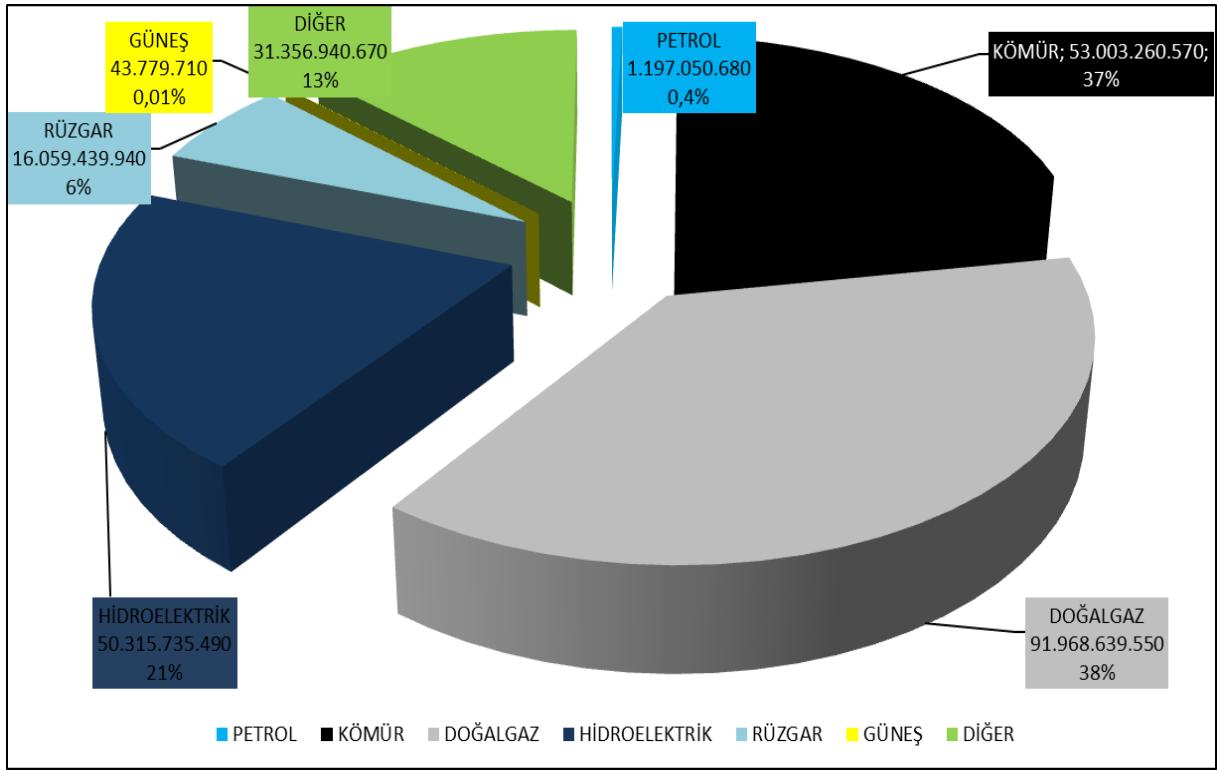
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

Yenilenebilir enerji, tükenebilir kaynakların kullanımını içermeyen, doğada bulunan kaynaklardan ve doğal işlemlerden elde edilen, sürekli olarak üretilen enerji olarak tanımlanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları denildiğinde ilk akla gelenler; hidrolik, güneş ve rüzgâr enerjisidir (Kocatürk ve ark.,2017).

Türkiye'nin 2018 yılı haziran sonu itibarıyla kurulu gücü 87.138,7 MW'tır. Aynı dönem içerisinde elektrik üretiminin 141.844.340.870 kWh olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Şekil 3.1'de ve 3.2'de, elektrik enerjisinin kurulu gücündeki ve üretimindeki, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarının payları gösterilmektedir (TEİAŞ, 2018).



Şekil 3.1. Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü (MW) (TEİAŞ, 2018)

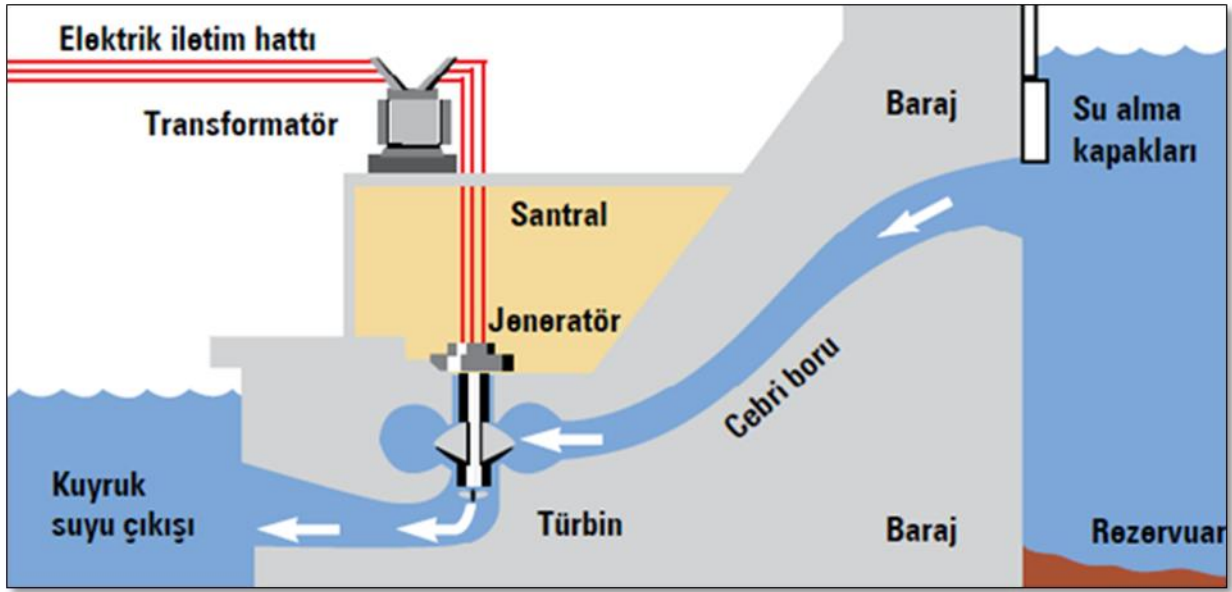


Şekil 3.2. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimi (KWh), (TEİAŞ, 2018)

Bu veriler ışığında, ülkemizdeki elektrik enerjisinin azımsanmayacak ölçüde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebildiği görülmektedir. Bu kaynaklardan hidrolik enerjisinin kurulu gücü 27.904,7 MW olup bu değer, toplam kurulu gücün %32'sine denk gelmektedir. Rüzgâr enerjisi 6.620,6 MW ile %8, güneş enerjisi ise 5.026 MW ile %6'lık kurulu güç payına sahiptir.

3.1. Hidroelektrik Enerji Sistemleri

Hidroelektrik enerjisi, hidroelektrik santraller (HES) tarafından üretilen elektrik enerjisidir. Buradaki asıl prensip, suyun potansiyel enerjisini önce mekanik enerjiye, sonrasında elektrik enerjisine çevirmektir. Hidroelektrik sistemlerde su, borular veya kanal aracılığıyla yüksek bir yerden alınarak türbine verilmektedir. Türbinlere bağlı jeneratörlerin dönmesi ile de mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşmektedir. Şekil 3.3'te bu dönüşüm işlemlerin görseli verilmiştir.



Şekil 3.3. Hidroelektrik Enerji Dönüşüm Şematiği (Web1, 2018)

Hidroelektrik santraller; sera gazı emisyonuna yol açmaması, teknik ömürlerinin uzun olması, yakıt giderlerinin olmaması, inşaatının yerli imkânlarla yapılması ve kurulduğu kırsal kesimlerde hem sosyal hem de ekonomik yapıyı canlandırmaları yönünden önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı türüdür. Şekil 3.4'te örnek bir hidroelektrik santral görülmektedir.



Şekil 3.4. Bolu Gökçesaray Barajı (DSİ, 2017)

Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin içerisinde en önemli yeri tutan hidrolik kaynaklarımızın teorik potansiyeli 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyeli 216 milyar kWh ve ekonomik potansiyeli 140 milyar kWh/yıl olarak belirlenmiştir. Teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin %1'i, ekonomik hidroelektrik potansiyeli ise Avrupa ekonomik hidroelektrik potansiyelinin %16'sıdır. 2018 Haziran sonu itibariyle işletmede bulunan 636 adet hidroelektrik santralinin toplam kurulu gücü 27.912 MW olup 2017 yılında hidroelektrik kaynaklı 52,2 milyar kWh elektrik üretilmiştir. Şekil 3.5'te Türkiye 2017 yılı itibariyle kurulmuş olan hidroelektrik santrallerinin haritası gösterilmektedir (Web2, 2018).



Şekil 3.5. Türkiye Hidroelektrik Santralleri Haritası (Web3, 2018)

3.2. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisinin kullanımı, milattan önceki dönemlere kadar dayanmakta olsa da modern anlamda bu alandaki ilk gelişmeler ise 18. ve 19. yüzyıllarda gerçekleşmiştir. 1767 yılında İsviçreli bilim adamı Horace de Saussure tarafından dünyanın ilk güneş kolektörü yapılmıştır. Bu kolektör daha sonrasında 1830'lu yıllarda Güney Afrika seferi sırasında Sir John Herschel tarafından yemek pişirme amacıyla kullanılmıştır. Aynı dönemde, İskoç bilim adamı Robert Stirling 27 Eylül 1816'da icat ettiği bir makine için patent başvurusunda bulunmuştur. Bu makine sonraları Çanak/Stirling Sistemi adı verilen güneşin ısı enerjisini elektrik üretmek amacıyla yoğunlaştıran güneş ısı elektrik teknolojisinde kullanılmıştır (Pentland, 2009).

1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmund Becquerel tarafından iki metal plaka arasındaki elektrik akımı şiddetini gözlemleme yoluyla ışık şiddetini ölçebilen bir cihaz icat edilerek fotovoltaiik etki keşfedilmiştir. Güneş ışığı cihaz tarafından soğurulduğunda, güneş enerjisi elektronları atomlardan koparıp malzeme içinde akmasına yol açar ve bu şekilde elektrik üretimi elde edilir. Işığın (fotonlar) elektriğe (gerilim) dönüştüğü bu sürece fotovoltaiik (veya fotoelektrik) etki denilmektedir (TDED, 2009).

Becquerel'in bu dönüşüm süreci güneş ışığının yalnızca % 1'ini elektriğe çevirebilmekteydi. Bir başka deyimle, bu dönüşüm sürecinin verimi sadece %1 idi. Fotovoltaiik etkinin ilk keşfinden itibaren bilim adamları değişik malzemeler kullanarak fotovoltaiik etkinin pratik bir kullanımını bulmak amacıyla çalışmalar yapmışlardır. 1873 yılında İngiliz bilim adamı Willoughby Smith selenyumun fotoiletken olduğunu keşfetmiştir. 1877 yılında yine İngiliz bilim adamları W.G. Adams ve R.E. Day katı selenyumdaki fotovoltaiik etkiyi gözlemleyerek bu konuda bir makale yayımlamışlardır. 1884 yılında Amerikalı kâşif Charles Fritts selenyumu çok ince bir altın tabakasıyla kaplayarak dünyanın ilk çalışan güneş pilini yapmıştır. Selenyumun özellikleri yüzünden bu pilin verimi sadece %1 civarında kalmıştır. Kullanılan malzemenin yüksek maliyetine karşılık verimindeki düşüklük bu pilin enerji üretiminde kullanımını engellemiştir. Ancak güneş pilleri konusunda araştırmalar sürmüş ve 1888, 1894 ve 1897 yıllarında Amerikan Patent Dairesi'nden güneş pilleri için çeşitli patentler alınmıştır. (TDED, 2009)

3.2.1. Dünya'da güneş enerjisinin durumu

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma hususunda, coğrafi konum büyük önem taşıyan başlıklar arasındadır. Özellikle güneş tarlalarından alınan verim açısından, coğrafi konum güneşlenme süresi ve ışıyım şiddetini etkilediğinden, bazı ülkeler coğrafi konumları sayesinde avantajlı durumdadır.

Dünya genelindeki güneş enerjisi kullanım durumuna bakıldığında, ABD başta olmak üzere Avrupa ülkeleri ve Çin ilk sıralarda yer almaktadır. Güneş enerjisini kullanan ülkelere bakıldığında ise bazı ülkelerin güneş potansiyeli ile bazı ülkelerin de sahip oldukları teknolojik birikim ve enerji ile olan olmazsa olmaz ilişkilerinden dolayı ön plana çıktığı görülmektedir. Bu kapsamda yer alan ülke bölgelerin detaylı anlatımı aşağıdaki ifadelerde verilmiştir. (Web23, 2018)

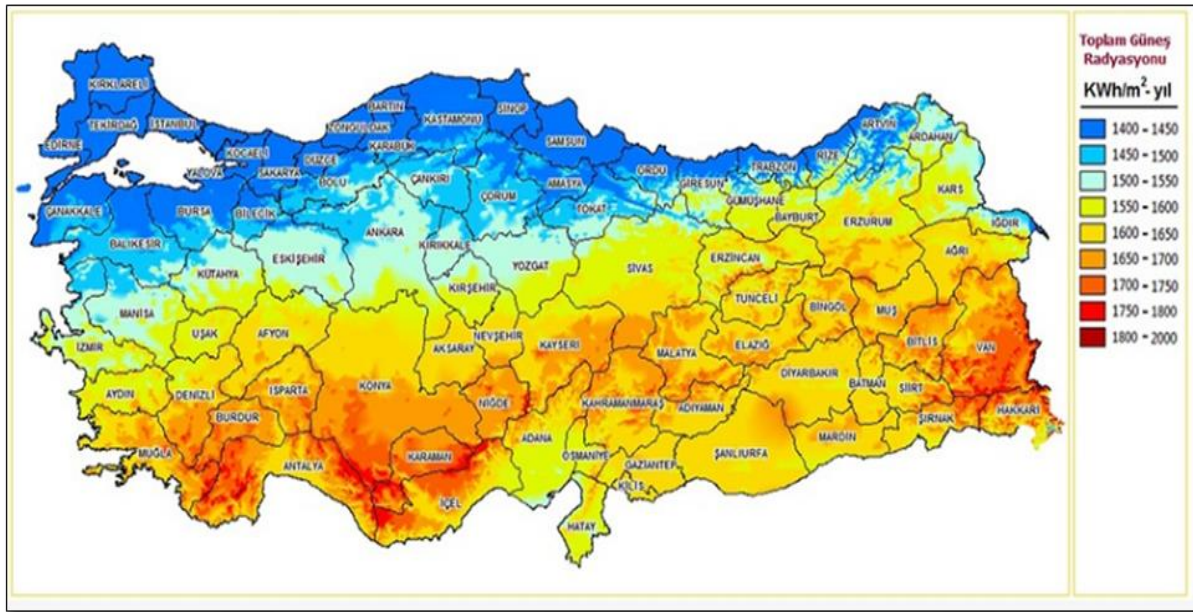
Dünya'da En Çok Güneş Alan Bölge Ve Ülkeler: Afrika'nın büyük bir bölümü (özellikle de Sahra Afrika olarak bilinen ve tamamen çöl olan bölge), Avustralya ve Amerika'nın orta bölgesi güneşin en fazla ulaştığı yerler olarak, dünyadaki diğer bölgelere

göre daha avantajlıdır. Burada güneş ışığı alan bölgelerin neredeyse tamamı çöllerden oluşmakta, bu bölgeler de yerleşim ve yatırım bölgelerine çok uzak kalmaktadır. Diğer yandan buralara yatırım yapılırsa dahi bu sefer de üretilen enerjinin nakliyesi ikinci bir maliyeti gerektirecektir. Bunun için Türkiye, İspanya gibi ülkeler yatırım imkânları, tüketim merkezleri benzer biçimde hususları göz önüne aldığımızda dünyanın en şanslı ülkeleri olarak dikkat çekmektedir. Ancak Afrika'nın kuzey kıyılarında yerleşim ve nakil bölgelerine yapılacak enerji yatırımları da dikkate değer bir verimlilik getirebilmektedir. (Web23, 2018)

Dünya'da Güneş Enerjisi Üretiminde Öne Çıkan Ülkeler: Almanya, Danimarka, İspanya gibi ülkeler güneş enerjisi üretimi ve teknolojisi konusunda Avrupa'nın öncüleridir. Küresel bir güç olma yolunda ilerleyen Almanya, bu güneş enerjisi konusunda önemli bir ülkedir. Danimarka da güneş pilleri üretiminde çarpıcı bir şekilde ön plana çıkmaktadır. İspanya ise mineral yakıtlar konusunda Avrupa'nın en fakir ülkesi olduğundan dolayı enerji üretiminde birçok alanda Avrupa'da dikkat çekici çalışmalar yürütmesinin yanı sıra, diğer yandan güneş enerjisi konusunda da büyük çaba sarf etmektedir. (Web23, 2018)

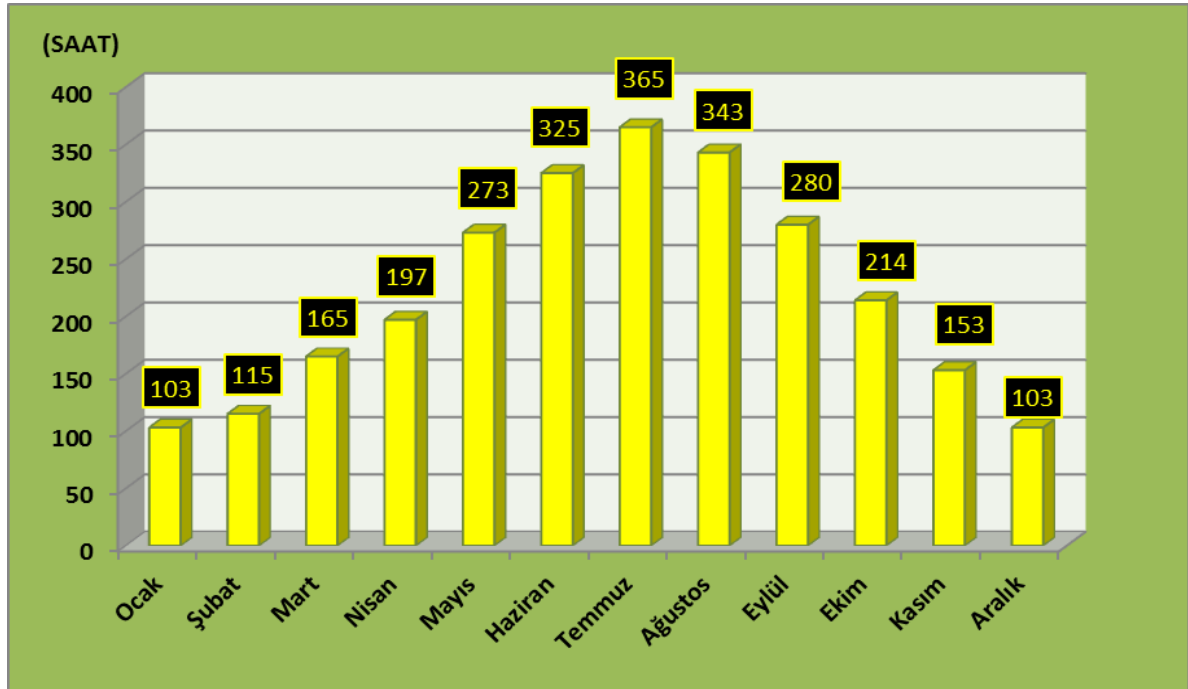
3.2.2. Türkiye'de güneş enerjisinin durumu

Türkiye, 36° – 42° Kuzey paralelleri ile 26° – 45° Doğu meridyenleri arasında bulunur ve bulunduğu coğrafi konum gereği güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli oldukça yüksektir. Şekil 3.6'da yer alan, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritasına göre; ülkemizin güneyi güneş enerjisi bakımından oldukça verimli bir konumda olup en çok güneş enerjisine sahip olan bölgeler Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesidir. En az güneşlenme ise yağışlı bir iklime sahip olan Doğu Karadeniz Bölgesi'nde olmaktadır. Burada toplam güneş radyasyon değerleri koyu maviden (1400-1450 kWh/m²), koyu kırmızıya (1800-2000 kWh/m²) doğru değişmektedir. Bu şekilden de anlaşılacağı üzere ülkemizin ekvator çizgisine yaklaşan Ege, İç Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri güneş radyasyon miktarı bakımından daha verimli bölgeleri olarak öne çıkmaktadır (Web4, 2018).



Şekil 3.6. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (Web4, 2018)

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat (günde ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m² (günde ortalama 4,18 kWh/m²) olarak belirlenmiştir. (Web5) Şekil 3.9’da ülkemizdeki aylık bazda güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süreleri gösterilmektedir. Bu verilere göre Türkiye yılda ortalama 110 gün boyunca güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülebilmektedir.



Şekil 3.7. Türkiye’nin Aylık Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Güneşlenme Süresi (Web5,2018)

Türkiye’de en fazla güneş alan bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup bu bölgeyi ikinci sırada Akdeniz bölgesi takip etmektedir (YEGM, 2016). Tablo 3.1’de Türkiye’ nin bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Bölgelere Göre Yıllık Güneş Enerjisi Potansiyeli Dağılımı (YEGM,2016)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

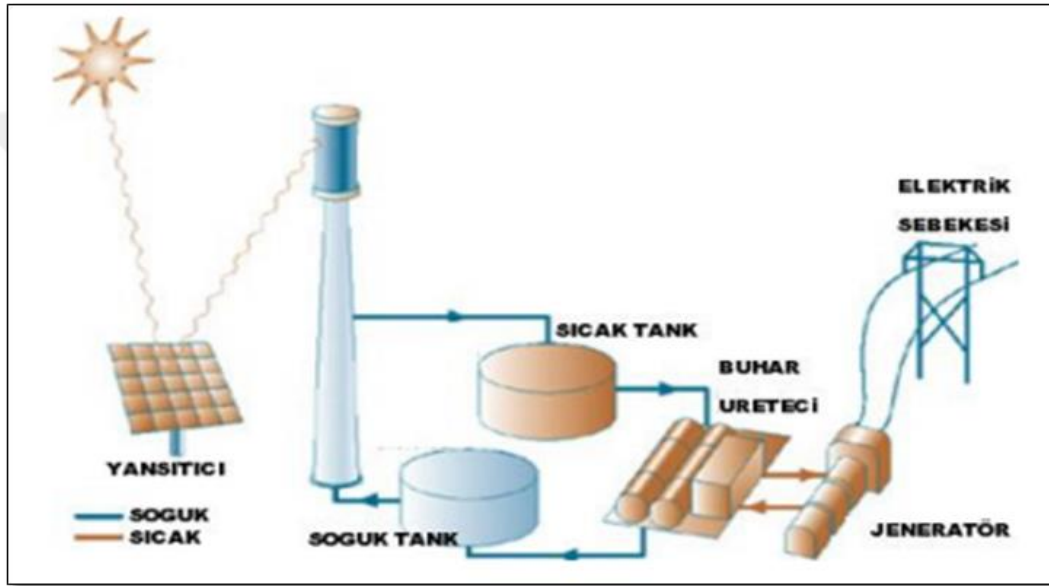
2018 Haziran ayı sonu itibarıyla ülkemizde lisanssız 4.703 MW, lisanslı 23 MW olmak üzere toplam güneş enerjisi santrali kurulu gücü 4.726 MW olup 2017 yılında güneş enerjisinden 2,9 milyar kWh elektrik üretilmiştir (Web5, 2018).

3.2.3. Güneş enerjisi teknolojileri

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojenin helyuma dönüşmesi şeklinde oluşan füzyon süreci sonucunda ortaya çıkan bir ısıma enerjisidir. Güneşin ölçülebilen sıcaklığı yaklaşık olarak 5.800 °C’dir. Bir saniyede yayılan ısıma enerjisi ise yaklaşık 4x10²³ olarak belirlenmiştir. Bu değer 100 Watt değerinde 400 trilyon ampule eşittir. Güneşin tüm yüzeyinden yayılan enerjinin sadece 2 milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Güneşten dünyaya 8 dakikada 150 milyon km mesafe kat ederek gelen enerji, dünyada bir yıl içerisinde kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır (WEC, 2009).

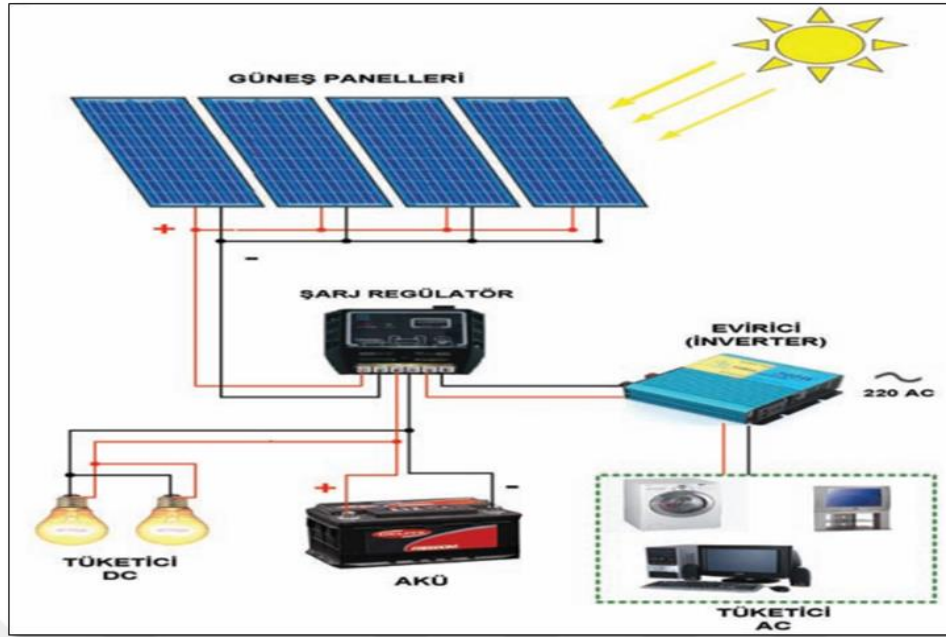
Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, dolaylı ve doğrudan olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilmektedir.

Dolaylı Yöntem: Bu yöntemde güneş ışığı, yönlendirilebilen güneş izleme aynaları vasıtasıyla bir kulenin üzerine yerleştirilmiş olan alıcıya yansıtılır. Güneş ışınlarının ayna yardımıyla belli bir noktaya yoğunlaştırılmasıyla teorik olarak güneş sıcaklığına yakın bir sıcaklık elde edilmiş olur. Alıcının içinden geçen su güneş ışınlarının yardımıyla ısıtılarak buhar elde edilir. Elde edilen buhar, buhar türbinine uygulanarak mekanik enerjiye ve buradan da türbine bağlı olan jeneratöre iletilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Şekil 3.6’da dolaylı yöntemle güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi şematize edilmiştir (Yıldız,2011).



Şekil 3.8. Dolaylı Yöntemli Güneş Santrali Çalışma Yapısı (Yıldız, 2011)

Doğrudan Yöntem: Bu yöntemde kullanılan fotovoltaik panellerin (güneş pilleri) yapısı itibariyle; panellerin üzerine güneş ışığı düştüğünde, panellerde elektron yayılması gerçekleştirilmektedir ve fotovoltaik hücre, bir akım kaynağı gibi davranış göstermektedir. Böylece güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Şekil 3.7’de doğrudan yöntemle güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi şematize edilmiştir (Yıldız, 2011).



Şekil 3.9. Doğrudan Yöntemli Güneş Santrali Çalışma Yapısı (Köroğlu ve ark., 2010)

Günümüzde, güneşten elektrik enerjisi elde etmek için yaygın olarak güneş pilleri kullanılmaktadır. Güneş pilleri; dayanıklı, çok az bakım gerektiren, çevre kirliliğine yol açmayan araçlar olup çok küçük güç gereksinimlerini karşılayabildikleri gibi tek başlarına birer güç santrali gibi de çalışabilirler. Yatırım maliyetlerinin yüksek, verimlerinin düşük olması ise güneş pillerinin en büyük dezavantajlarıdır.

Güneş hücreleri, kendi yüzeylerine ulaşan güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken maddelerdir. Yüzeyleri daire, kare ve dikdörtgen biçimlerinde şekillendirilen güneş panellerinin alanları çoğunlukla 100 cm² olup, enleri ise 0,2–0,4 mm arasında değişmektedir.

Fotovoltaik panellerin üzerlerine ışık düştüğü anda uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır ve yapılarına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında değişen bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Güneş hücreleri belirli gerilim aralıklarında bir araya getirilerek talep edilen güçte fotovoltaik paneller oluşturulmaktadır (Anonim, 2011).

3.3. Rüzgâr Enerjisi Sistemleri

Rüzgâr enerjisi indirekt, bir diğer deyişle çevrime uğramış güneş enerjisidir, şeklinde tanımlanabilir. Güneş enerjisinin atmosferi, karaları, denizleri farklı ısıtmasından oluşan sıcaklık ve bu sıcaklığa bağlı basınç farkları, rüzgârı oluşturmaktadır. Rüzgâr, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru yer değiştiren havanın dünya yüzeyine göre bağlı hareketidir.

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak bilinen hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, dalga enerjileri içerisinde teknolojisi en fazla gelişeni ve en yaygın olanı, rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisinin bu denli hızlı şekilde gelişmesinin sebebi, doğada serbest bir şekilde fazla miktarda bulunması ile enerji kaynak çeşitliliği oluşturmaması, dışarı bağımlı olmayan ve temiz bir enerji kaynağı olmasıdır.

Tarihte bilinen ilk yel değirmenleri, M.Ö. 7. yüzyılda Afgan yaylalarında tahıl öğütmede kullanılan dikey eksenli yel değirmenleridir. Yatay eksenli ilk yel değirmenlerine dair bilgiler M.S. 1000 yılı civarında Çin, Tibet ve İran kaynaklarından edinilmektedir. Bu yel değirmeni tipi dikey düzlemde dönen bir yatay şaft ve bıçaklara veya yelkenlere sahiptir. İran ve Orta Doğu'daki ilk kullanımlarından itibaren Orta Avrupa ve Akdeniz ülkelerine yayılmıştır. 1150 yılında İngiltere'de, 1180 yılında Fransa'da, 1222 yılında Almanya'da, 1259 yılında Danimarka'da kullanılmaya başlanmıştır. Tahılları öğütmenin yanı sıra su pompalamada da kullanılan yer değirmenlerinin donanımları ve performansları 12. ve 19. yüzyıllar arasında Avrupa'da sürekli olarak geliştirildi ve 19. yüzyılın sonunda 25 metre çapında rotora ve 30 metre uzunluğunda yapıya sahip standartlarda üretilmeye başlandı. (Ackermann ve Söder, 2000)

1891 yılında Danimarkalı bilim adamı Dane Poul La Cour tarafından ilk defa elektrik üreten bir rüzgâr türbini inşa edildi. 1941 ve 1942 yılları arasında Danimarka şirketi F.L. Smidth tarafından geliştirilerek modern rüzgâr türbin generatörlerinin öncüsü haline geldi. Bu gelişmelerle aynı zaman dâhilinde Amerikan Palmer Putnam, Amerikan şirketi Morgan Smith Co. için 53 m'lik bir çapa sahip, tasarım anlamında da oldukça gelişmiş bir rüzgâr türbini inşa etti. Danimarka tasarımı düşük rüzgâr hızında, sabit değerlerde, rüzgâra karşı çalışan bir rotora dayanırken Putnam'ın tasarımı değişken değerli ve rüzgâr yönünde çalışan rotora dayanmaktaydı. (Ackermann ve Söder, 2000)

1956 ve 1967 yılları arasında, Danimarka'nın Gedser şehrinde Johannes Juul tarafından 200 kW gücünde bir rüzgâr türbini üretildi. Aynı zamanda ise Alman Hütter tarafından yeni bir yaklaşım geliştirildi. Bu tasarıma göre türbin, ince cam elyafından yapılmış ve rüzgâr doğrultusunda aşağıya doğru sarkan iki adet kanat içermekteydi. (Ackermann ve Söder, 2000)

Rüzgâr türbinleri konusundaki gelişmelere ve artan başarılarla rağmen II. Dünya Savaşı'ndan sonra büyük ölçekli rüzgâr türbinlerine olan ilgi azaldı ve sadece batarya şarjı gibi küçük ölçekli rüzgâr türbinlerine ilgi duyuldu. 1970'lerin başındaki petrol krizleri ile rüzgâr gücüyle elektrik üretimine tekrar ilgi duyulmaya başlandı. Sonuç olarak çeşitli

ülkelerde araştırma ve geliştirme için sağlanan finansal desteklerin de katkısıyla rüzgâr enerjisi kullanılır hale geldi. (Ackermann ve Söder, 2000).

Tablo 3.2’de rüzgâr türbinlerinin tarihsel gelişimleri ve Tablo 3.3’te ilk büyük ölçekli rüzgâr türbinlerinin performansları gösterilmiştir. (Wiley,1995)

Tablo 3.2. Rüzgâr Türbinlerinin Tarihsel Gelişimleri (Wiley,1995)

Türbin, Ülke	Çap (m)	Süpürme Alanı (m²)	Güç (kW)	Özgül Güç (kW/m²)	Kanat Sayısı	Kule Uzunluğu (m)	Kullanım Tarihi
Poul LaCour, Danimarka	23	408	18	0,04	4	-	1891
Smith- Putnam, USA	53	2231	1250	0,56	2	34	1941
F.L. Smidth, Danimarka	17	237	50	0,21	3	24	1941
F.L. Smidth, Danimarka	24	456	70	0,15	3	24	1942
Gedser, Danimarka	24	452	200	0,44	3	25	1957
Hütter, Almanya	34	908	100	0,11	2	22	1958

Tablo 3.3. İlk Büyük Çaplı Rüzgâr Türbinlerinin Performansları (Wiley,1995)

Türbin	Çap (m)	Süpürme Alanı (m ²)	Kapasite (MW)	Çalışma Saatleri	Üretilen Enerji (GWh)
Mod-1	60	2827	2	-	-
Growian	100	7854	3	420	-
Smith-Putnam	53	2236	1,25	695	0,2
WTS-4	78	4778	4	7200	16
Nibe A	40	1257	0,63	8414	2
WEG LS-1	60	2827	3	8441	6
Mod-2	91	6504	2,5	8658	15
Nasudden 1	75	4418	2	11.400	13
Mod-OA	38	1141	0,2	13.045	1
Tjaecreborg	61	2922	2	14.175	10
Ecole	64	4000	3,6	19.000	12
Mod-5B	98	7466	3,2	20.561	27
Maglarp	78	4778	3	26.159	34
Nibe B	40	1257	0,63	29.400	8
Tvind	54	2290	2	50.000	14

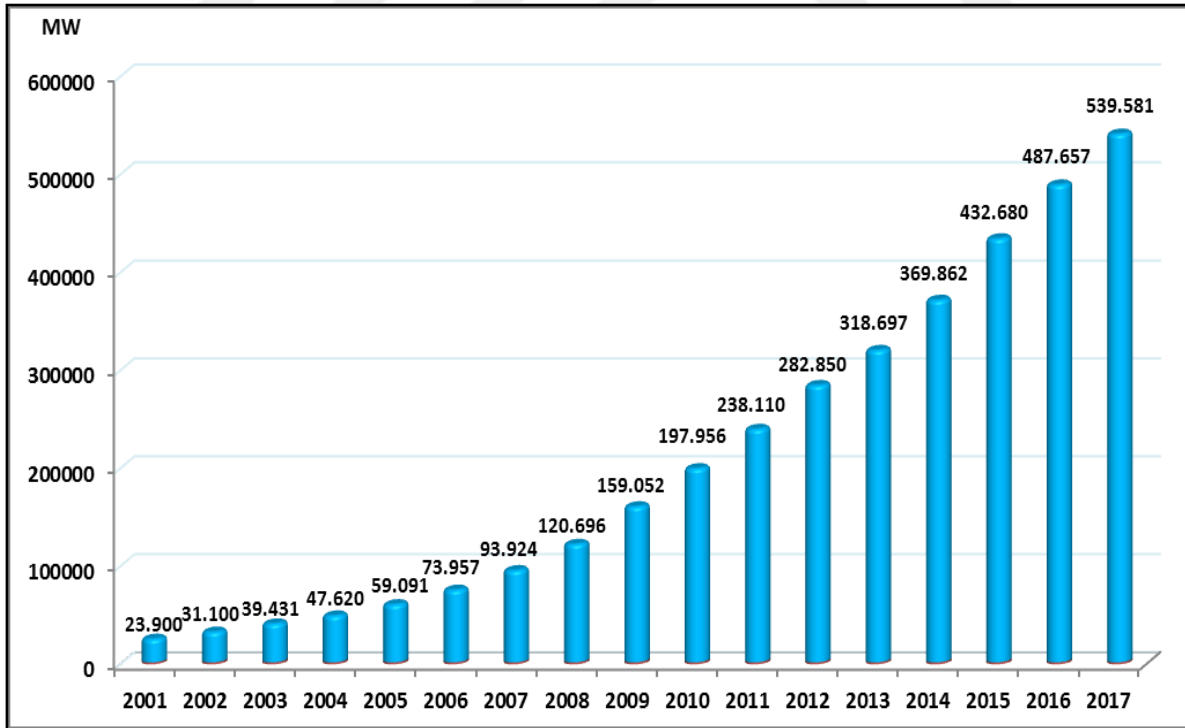
3.3.1. Dünya’da rüzgâr enerjisinin durumu

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kullanımı giderek artan ve tükenmeyecek olan bir enerji kaynağıdır. Dünyadaki rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenebilmesi amacıyla Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalara göre rüzgar hızı 5.1 m/s üzerinde olan bölgelerin, mevcut kapasitenin %4’ünün kullanılacağı öngörülerek dünyadaki teknik rüzgâr potansiyeli 53000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dünyada rüzgâr enerjisi potansiyeline göre kıta ve bölge bazlı sıralama yapılacak olursa en yüksekten düşüğe doğru: Kuzey Amerika (14000TWh/yıl), Doğu

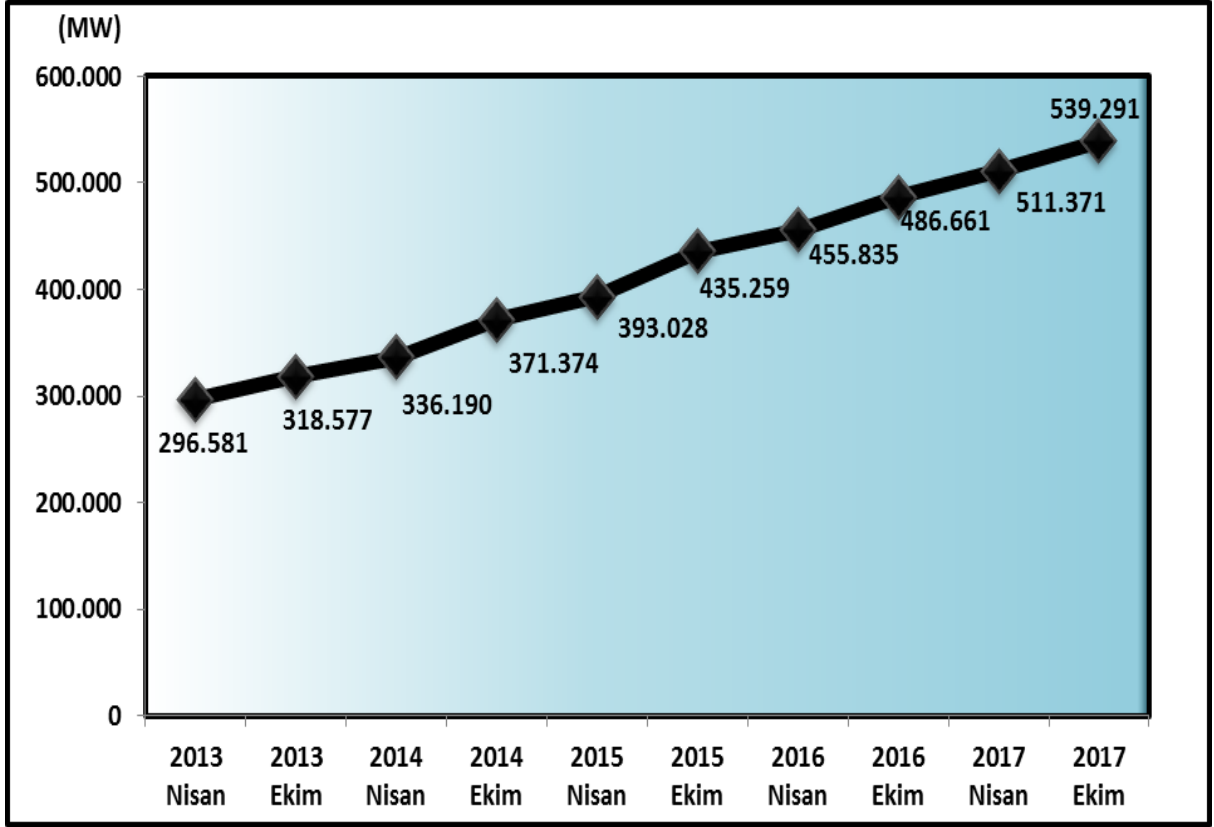
Avrupa ve Rusya (10600 TWh/yıl), Afrika (10600 TWh/yıl), Güney Amerika (5400 TWh/yıl), Batı Avrupa (4800 TWh/yıl), Asya (4600 TWh/yıl) ve Okyanusya (3000 TWh/yıl) şeklinde ifade etmek mümkündür. (Web6, 2018)

Dünya çapında rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi, 1990'lı yılların başından itibaren artmaya başlamıştır ve 2000'li yıllardan itibaren bu artış gittikçe ivme kazanarak devam etmektedir. Bu artışın sebepleri arasında; devletlerin enerji kaynaklarında çeşitlilik oluşturarak dışarıya olan bağımlılığı önlemek, sürdürülebilir bir kaynak ve çevre yönetimi sağlamak sayılabilmektedir. (Kocatürk ve ark., 2017)

Dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2017 yılı sonu itibariyle 539.581 MW' tır. Rüzgâr enerjisine yönelik uygulanan teşvikler neticesinde, dünya rüzgâr enerjisi kurulu gücünde her yıl ortalama %10'un üzerinde bir büyüme gerçekleşmiştir. Bu büyüme oranlarıyla rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en hızlı büyüyen enerji kaynağı olmuştur. Bu durum, ekonomik ve endüstriyel gelişmelerin yanı sıra ülkelerin enerji politikalarını rüzgâr enerjisine öncelik verme yönünde geliştirmelerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.10'da 2001-2017 yılları arasındaki rüzgâr türbinlerinin kurulu güçleri, Şekil 3.11'de ise son beş yıl içerisindeki altı aylık dönemlerde, bu kurulu güçlerdeki artış oranları gösterilmektedir (GWEC, 2017).



Şekil 3.10.Dünya Üzerindeki Kurulu Rüzgâr Türbinleri Kurulu Güçleri (GWEC, 2017)



Şekil 3.11. Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücündeki Artış ve Artış Oranları (WWEA, 2017)

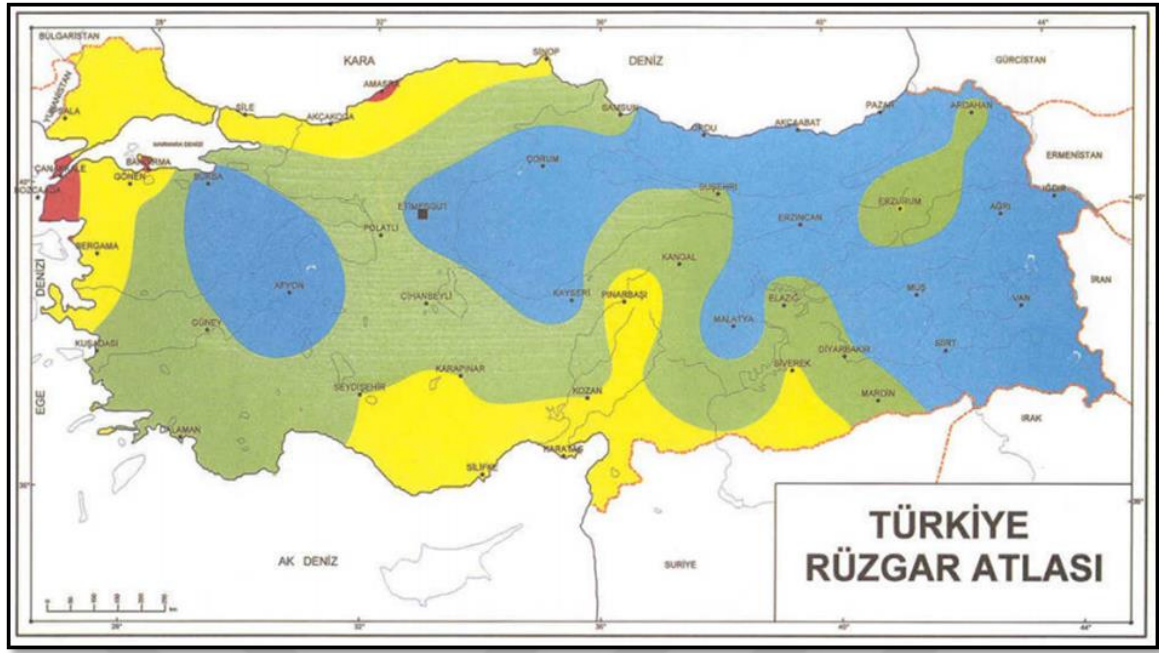
Tablo 3.4'ten de görüleceği üzere en büyük rüzgâr enerjisi pazarı olan Çin, 2017 yıl sonu itibariyle 187.730 MW'lık rüzgâr kapasitesi ile dünyanın rüzgâr enerjisi lideri olarak tartışmasız konumunu sürdürmektedir. Önde gelen diğer pazarlardan olan ABD 88.927 MW, Almanya 56.164 MW, Hindistan 32.879 MW, Birleşik Krallık 17.852 MW, Fransa 13.760 MW ve Brezilya 12.763 MW'lık kapasiteye sahip olup 2017 yılı itibariyle çok güçlü bir büyüme kaydeden ülkelerdir (WWEA, 2017).

Tablo 3.4. Dünya’da Rüzgâr Enerjisi Kapasiteleri (Preliminary Data 2017, WWEA)

Ülke	2013 Sonu Toplam Kapasite (MW)	2014 Sonu Toplam Kapasite (MW)	2015 Sonu Toplam Kapasite (MW)	2016 Sonu Toplam Kapasite (MW)	2017 Sonu Toplam Kapasite (MW)
Çin	91.413	114.763	148.000	168.730	187.730
ABD	61.108	65.754	73.867	82.033	88.927
Almanya	34.658	40.468	45.192	50.019	56.164
Diğer Ülkeler	26.493	32.219	37.522	42.822	48.500
Hindistan	20.150	22.466	24.759	28.279	32.879
İspanya	22.959	22.987	22.987	23.020	23.026
Birleşik Krallık	10.531	12.440	13.614	14.512	17.852
Fransa	8.254	9.296	10.293	12.065	13.760
Brezilya	3.399	5.962	8.715	10.800	12.763
Kanada	7.698	9.694	11.205	11.898	12.239
İtalya	8.551	8.663	8.958	9.257	9.700
Türkiye	2.958	3.763	4.718	6.081	6.981
İsveç	4.470	5.425	6.029	6.493	6.721
Polonya	3.390	3.834	5.100	5.782	6.534
Danimarka	4.772	4.883	5.064	5.227	5.320
Portekiz	4.724	4.953	5.050	5.316	5.316
Avustralya	3.049	3.806	4.186	4.326	4.879
Toplam	318.577	371.374	435.259	486.661	539.291

3.3.2 Türkiye’de rüzgâr enerjisinin durumu

Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin bir ülke olduğu gerçeği, bu alanda yapılan çeşitli çalışmalarla ortaya konulmakta ve çeşitli platformlarda dile getirilmektedir. Bu kapsamda Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye rüzgâr atlası Şekil 3.12’de görülmektedir. Tablo 3.5’te ise şekilde yer alan renkli alanların hangi sayısal değerlere denk geldikleri verilmiştir. Burada yer alan verilere 45 meteoroloji istasyonundan toplanan ölçümler toplanarak ve WasP ile WindPro yazılımları kullanılarak ulaşılmıştır (Web7, 2018).



Şekil 3.12. Elektrik İşleri Enstitüsü Türkiye Rüzgâr Atlası (Web7, 2018)

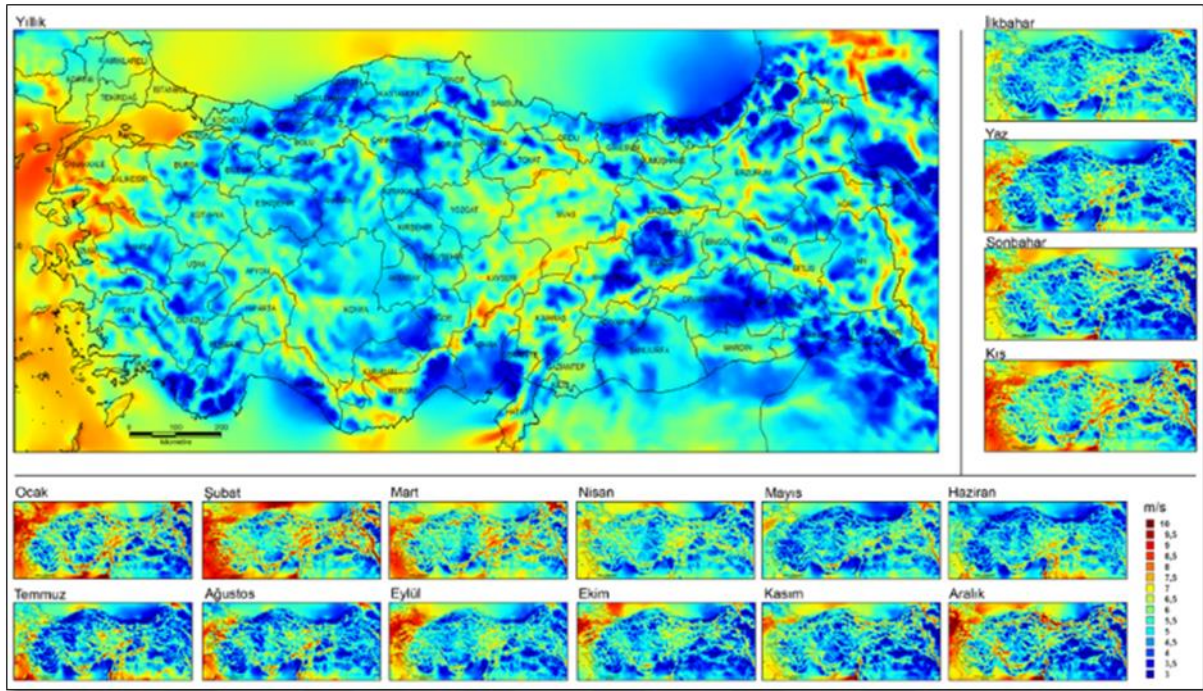
Burada yer alan mavi renkli alanlar rüzgâr hızının ve yoğunluğunun en düşük olduğu alanlar olup yeşil renkli alanlarda bu değerler, mavi renkli alanlara kıyasla daha yüksek durumdadır. Sarı renkli alanlarda ise rüzgâr hızı ve yoğunluğunun azımsanmayacak ölçüde yüksek olduğu görülmekte, ülke genelindeki en yüksek rüzgâr hızı ve yoğunluğuna sahip alanların ise kırmızı renk ile ifade edildiği gözlemlenmektedir.

Tablo 3.5. EİE Türkiye Rüzgâr Atlası Hız ve Güç Akışı Değerleri (Web7, 2018)

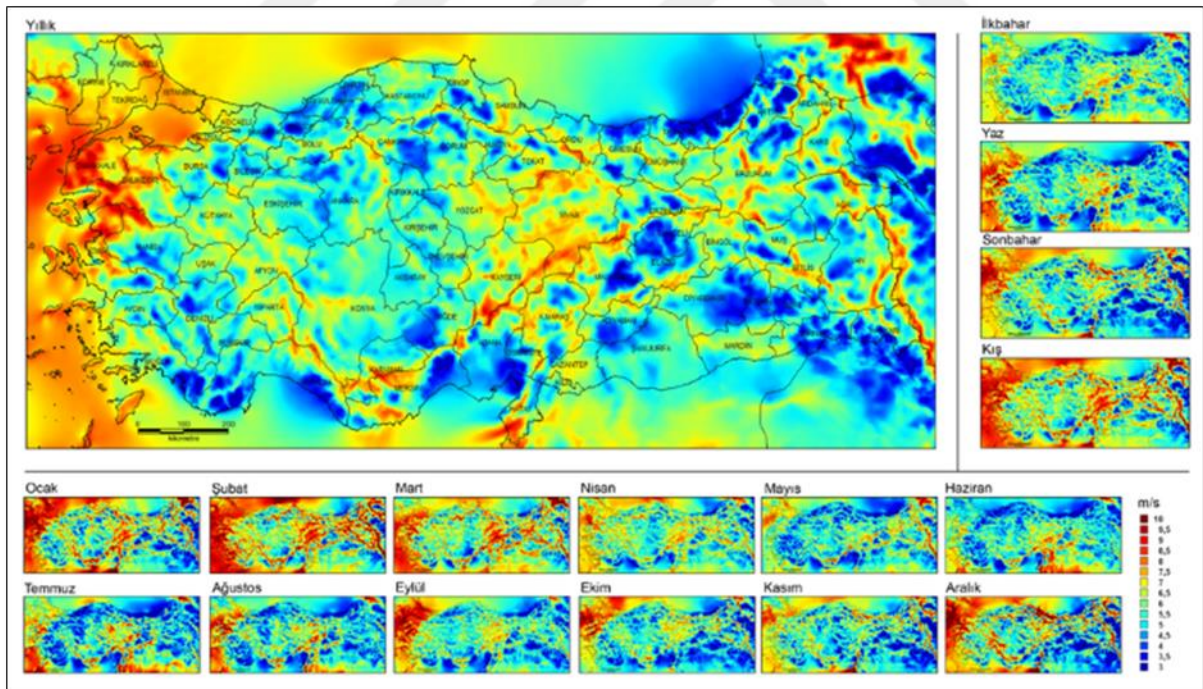
	Kapalı Araziler		Açık araziler		Kıyılar		Tepe ve Bayırlar	
	ms^{-1}	Wm^{-2}	ms^{-1}	Wm^{-2}	ms^{-1}	Wm^{-2}	ms^{-1}	Wm^{-2}
	>5.0-6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>11.5	>1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	7.0-8.5	400-700
	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<7.0	<400

Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan bir başka çalışma ise Şekil 3.13'te ve Şekil 3.14'te gösterilen 50 ve 100 m'deki yıllık ortalama güç yoğunluğu haritası ile Şekil 3.15'te ve Şekil 3.16'da gösterilen 50 ve 100 m'deki yıllık ortalama rüzgâr hızları haritasıdır.

Yıllık ortalama değer baz alındığında, en iyi rüzgar alanlarının yüksek dağların tepelerinde, kıyı şeritlerinde ve açık alanların yakınlarında olduğu belirlenmiştir. Bu açık



Şekil 3.15. Rüzgâr Hızı Haritası - 50 m (Web7, 2018)



Şekil 3.16. Rüzgâr Hızı Haritası - 100 m (Web7, 2018)

50 m ve 100 m yükseklikte belirlenen rüzgâr hızı haritaları incelendiğinde rüzgâr hızlarının en şiddetli olduğu alanların; ülkemizin batı kıyılarının şeritleri, Marmara denizi civarı ve orta kesimlerde İç Anadolu Bölgesi'nin bazı orta kesimleri olduğu görülmektedir.

Yükseltinin arttığı Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Doğu Karadeniz kesimlerinde ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise rüzgâr hızlarının düşük seyrettiği görülmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan rüzgâr hızı ve potansiyeli ölçümlerinin rakamsal bazda ve kara ile deniz potansiyeli olacak şekilde detaylı incelemesi yapıldığında, 6.5 m/s'nin üzerindeki rüzgar hızlarında Türkiye'nin karadaki rüzgâr enerjisi potansiyelinin 131.756,40 MW, denizlerdeki rüzgar enerjisi potansiyelin ise 17.393,20 MW olduğu belirlenmiştir. Tablo 3.6'da çeşitli rüzgâr hızlarına ait olan kara ve deniz rüzgâr enerjisi potansiyellerinin detaylı gösterimi verilmektedir. Kurulacak olan deniz üstü rüzgâr santrallerinin maliyetlerinin karaya kurulacak olan rüzgâr santrallerine göre çok daha yüksek olacağından dolayı öncelikli olarak karadaki rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi konusu ülkemiz açısından olumlu bir strateji olarak değerlendirilmektedir. (Şenel ve Koç, 2015)

Tablo 3.6. Türkiye Kara ve Deniz Rüzgâr Potansiyeli – 50 m

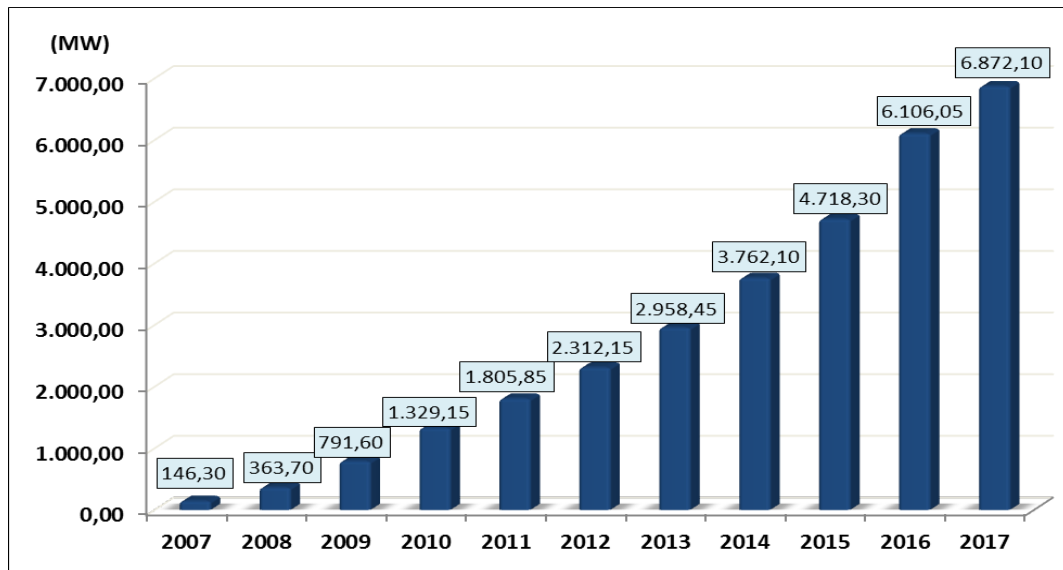
Rüzgâr Hızı (m/s)	Kara Toplam Rüzgâr Potansiyeli (MW)	Deniz Toplam Rüzgâr Potansiyeli (MW)
6,5 – 7,0	83.906,96	6.929,92
7,0 – 7,5	29.259,36	5.133,20
7,5 – 8,0	12.994,32	3.444,80
8,0 – 9,0	5.399,92	1.742,56
> 9,0	195,84	142,72
Toplam	131.756,40	17.393,20

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 10 m yükseklikte yapılan ölçümlere göre, Türkiye'nin ortalama rüzgâr hızı yıllık 2.54 m/s, rüzgâr gücünün yoğunluğu ise 24 W/m² olarak belirlenmiş olup bu rakamlar bölge bazlı olarak Tablo 3.7'de gösterilmiştir. Bu verilere göre en yüksekten en düşüğe doğru olacak şekilde rüzgâr enerji potansiyeli sıralaması; Marmara, Güneydoğu Anadolu, Ege, Akdeniz, Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesidir.

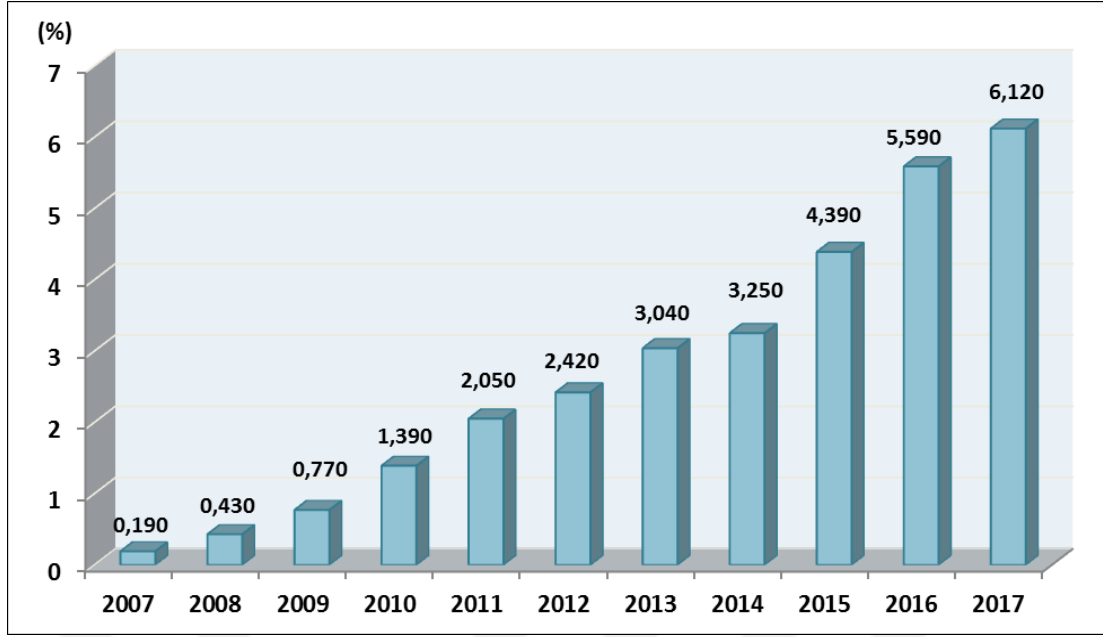
Tablo 3.7. Bölgelerin Yıllık Ortalama Rüzgâr Hız ve Güç Yoğunlukları – 10 m

Bölge	Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Yıllık Ortalama Rüzgâr Yoğunluğu (W/m ²)
Marmara Bölgesi	3,30	51,91
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	2,70	29,33
Ege Bölgesi	2,60	23,47
Akdeniz Bölgesi	2,50	21,36
Karadeniz Bölgesi	2,40	21,31
İç Anadolu Bölgesi	2,50	20,14
Doğu Anadolu Bölgesi	2,10	13,19
Ortalama	2,58	25,81

Türkiye’deki rüzgâr enerjisinin mevcut durumuna bakılacak olursa; elektrik enerji kurulu gücünün %8’ini 6.883,2 MW ile rüzgâr enerjisi oluşturduğu, elektrik üretiminin ise 16.059.439.940 kWh ile %6’sının rüzgâr enerjisinden sağlandığı görülmektedir (Enerji İstatistikleri Çalışma Grubu, TEİAŞ). Şekil 3.17’de verilen; 2007-2017 yıllarında rüzgar enerjisi santrallerinin kümülatif durumuna ve Şekil 3.18’de verilen aynı yıllar arasındaki rüzgar enerjisi elektrik üretiminin toplam tüketimi karşılama oranına bakıldığında rüzgar enerjisi alanındaki ilerlemelerin özellikle son yıllarda ivme kazanarak arttığını söylemek mümkündür.



Şekil 3.17. Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Kümülatif Kurulumu (TÜREB, 2018)



Şekil 3.18. Rüzgâr İle Elektrik Üretiminin Toplam Tüketimi Karşılama Oranı (Web8, 2018)

Türkiye’de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine ilk olarak İzmir-Çeşme Altinyunus otelinde 55 kW nominal rüzgâr güç kapasitesi ile 1986’da başlanmıştır. Daha sonrasında, 1992 yılında Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği kurulup Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği’ne dâhil olmasının ardından Türkiye’de ilk rüzgâr enerji santrali İzmir-Çeşme-Alaçatı mevkiinde 1998 yılında kurulmuştur ve bu türbinler toplam 7,2 MW gücündedir. 2005 yılına gelindiğinde, yenilenebilir enerji santrallerinin öneminin artması ve devlet desteğini alması, 5246 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile gerçekleşmiştir. (Özcan, 2011)

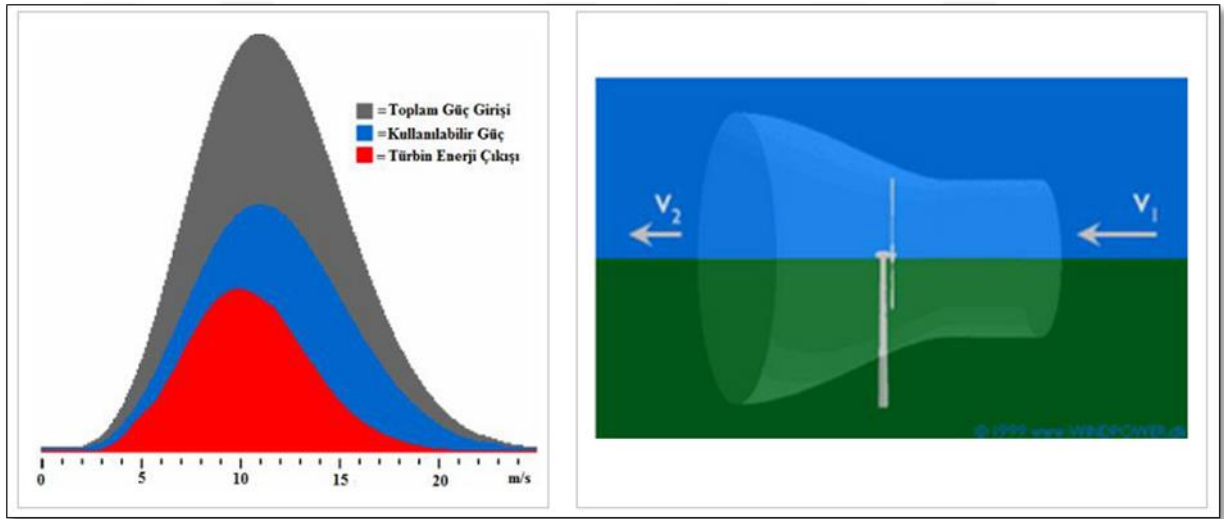
Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’ndan alınan bilgilere göre; Türkiye’de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu bağlamda 2018 Haziran sonu itibariyle işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 6.671 MW olup 2017 yılında rüzgâr enerjisinden 17,9 milyar kWh elektrik üretilmiştir. (Web8, 2018)

3.3.3. Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr, geniş açık bir yüzey üzerinde havanın yere göre yatay hareketi olarak tanımlanabilir. Hem rüzgâr hızı hem de yönü yerden yüksekliğe bağlı olarak belirgin bir değişkenlik göstermektedir.

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerjisinin aktif kullanım sistemi olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye ve elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir (Elibüyük, 2014).

Rüzgâr türbinleri ile ilgili ilk teori 1926 yılında Alman Dr. Albert BETZ tarafından ortaya atılmıştır. Rüzgâr türbinleri, rüzgârı sektirerek saptırdığından ötürü rüzgârın bütün enerjisini almak mümkün olmamaktadır. İdeal bir rüzgâr türbini, rüzgâr hızını $2/3$ oranında düşürmektedir. Bu durum, rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için en fazla $16/27$ yani %59'nun rüzgârgülü aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştüğünü ifade eden Betz kanunu ile açıklanmaktadır. Betz kanununun gösterimini ifade eden görsel, Şekil 3.19'da gösterilmiştir (Seri, 2016).



Şekil 3.19. Betz Kanununun Gösterimi (Web22)

Betz'e göre rüzgârdan elde edilebilecek maksimum güç, şu formülle verilir: (Ünsalver, 2008)

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot C_p \quad (3.1)$$

Bu denklemde: P = Rüzgâr Gücü [W] , ρ = Hava Yoğunluğu = $1,225 \text{ [kg/m}^3]$, V = Rüzgâr Hızı [m/s] , R = Rotor Yarıçapı [m] , C_p = Rotor Verimi değerlerine tekabül etmektedir. (Ünsalver, 2008)

Rüzgâr türbinlerinden elektrik enerjisi üretilmesi, genel itibariyle şebeke bağlantısı olmayan (off-grid) ve şebeke bağlantısı olan (on-grid) sistemler olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir (Elliott, 2003).

Şebeke bağlantısı olmayan (off-grid) sistemler: Bu sistemler, çoğunlukla şebeke bağlantısı olmayan dağ ve deniz evlerinde, meteoroloji istasyonlarında ve gözetleme kulelerinde kullanılmaktadır. Rüzgârın esmediği zamanlarda enerji sürekliliğinin sağlanması adına akü gibi enerji depolama donanımlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Elliott, 2003).

Şebeke bağlantısı olan (on-grid) sistemler: Bu sistemlerde, üretilen elektriğin bir kısmının veya tamamının şebekeye aktarılması mümkün olmaktadır. Elektrik üretiminin tek bir rüzgâr türbiniyle sağlanabileceği gibi, yüzlerce rüzgâr türbinin bir araya getirildiği rüzgâr çiftlikleri (wind farms) tarafından da gerçekleştirilmesi mümkündür. Bununla birlikte, bu tipteki rüzgâr türbinleri, karada (on-shore) veya kıyı ötesinde (off-shore) de kurulabilmektedir (Elliott, 2003).

3.3.3.1. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması

3.3.3.1.1. Eksenlerine göre rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinleri; dönme eksenlerine göre yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

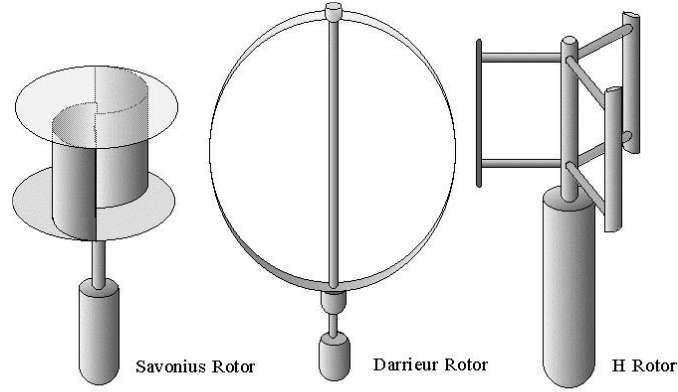
Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Bu türbin tiplerinin dönme eksenleri rüzgâr ile paralel yönde iken kanatlar rüzgârın esme yönüne diktir. Kanatlardaki kaldırma kuvveti rotorun dönmesini sağlamakta ve kanatların rüzgârın esme yönüne dik olması sayesinde rotor, maksimum miktarda enerjiyi tutabilmektedir. Şekil 3.20’de yatay eksenli rüzgâr türbininin görsel ifadesi verilmektedir (Elibüyük,ve Üçgül, 2014).



Şekil 3.20. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (Anonim, 2008)

Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri: Bu tipteki türbinlerin milleri düşey yönlü olup rüzgârın geliş yönüne dik doğrultudadır. Kanatların iç bükey ve dış bükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkıyla dönme hareketi oluşmaktadır. Savonius tipi,

Darrieus tipi gibi çeşitleri bulunmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerine göre daha düşük verime sahiptir ve ticari amaçlı kullanımları oldukça azdır. Şekil 3.21’de yatay eksenli rüzgâr türbininin görsel ifadesi verilmektedir (Elibüyük,ve Üçgül, 2014).



Şekil 3.21. Düşey Eksenli Rotor Tipleri (Anonim,2012)

3.3.3.1.2. Kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri

Kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri; tek kanatlı, çift kanatlı, çok kanatlı ve üç kanatlı olarak sınıflandırılabilir (Toprak, 2011).

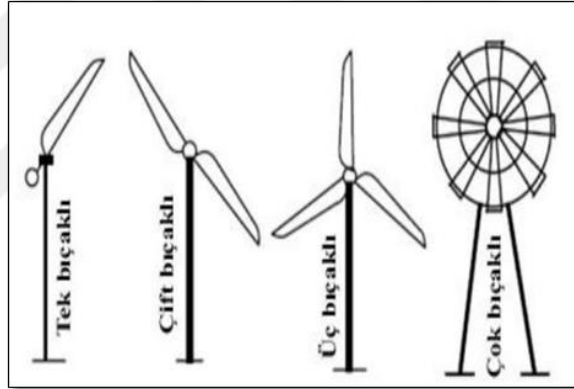
Tek Kanatlı Rüzgâr Türbinleri: Rüzgâr türbinlerinin tek kanatlı olarak yapılmasının nedeni, dönme hızının yüksek olması ve bunun sayesinde rotorun döndürme momentinin azaltılmasını sağlamaktır. Ek yüklerden dolayı meydana gelen aerodinamik dengesizlik ve mekanik hareketin kontrol altına alınması için rotor göbeği çok iyi yapılmalıdır. En büyük dezavantajları, yüksek hızlarda kanat-uç hızının neden olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesinin yüksek olmasıdır (Toprak, 2011).

Çift Kanatlı Rüzgâr Türbinleri: Bu tipteki türbinlerde amaç üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesidir. Rotorların balansı tek kanatlı rotorlarına nazaran daha düzgün durumdadır. Üç kanatlı rotora göre kanat uç hızları yüksektir. Gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgâr hızlarında çalıştırılması ise dezavantajdır (Toprak, 2011).

Çok Kanatlı Rüzgâr Türbinleri: Bu tipteki türbinler, diğer bir ifadeyle rüzgâr gülleri, uzun yıllar rüzgâr gücünden su pompalanmasında kullanılmış olup modern türbinlerinin gelişmemiş ilk örneklerindendir. Kanatlarının genişlikleri, pervanenin göbeğinden uçlara doğru gidildikçe artar. Pervanenin milinin dişli kutusuna bağlanması suretiyle generatör ilinin devir sayısının artırılması sağlanır. Pervane düzleminin rüzgâr-hız vektörünü daima dik alabilmesi için rüzgâr gülü yönlendiricisi taşımaktadır (Toprak, 2011).

Üç Kanatlı Rüzgâr Türbinleri: Dünyanın her yerinde kullanılan bu türbinlerde üç kanat kullanılmasının esas nedeni, dönme hareketlerinin daha düzgün olmasıdır. Gürültü seviyesinin düşüklüğü ve sarsıntısız olarak dönüşü sayesinde göz estetiğinin bozulmaması, halk tarafından kabulünü sağlamıştır (Toprak, 2011).

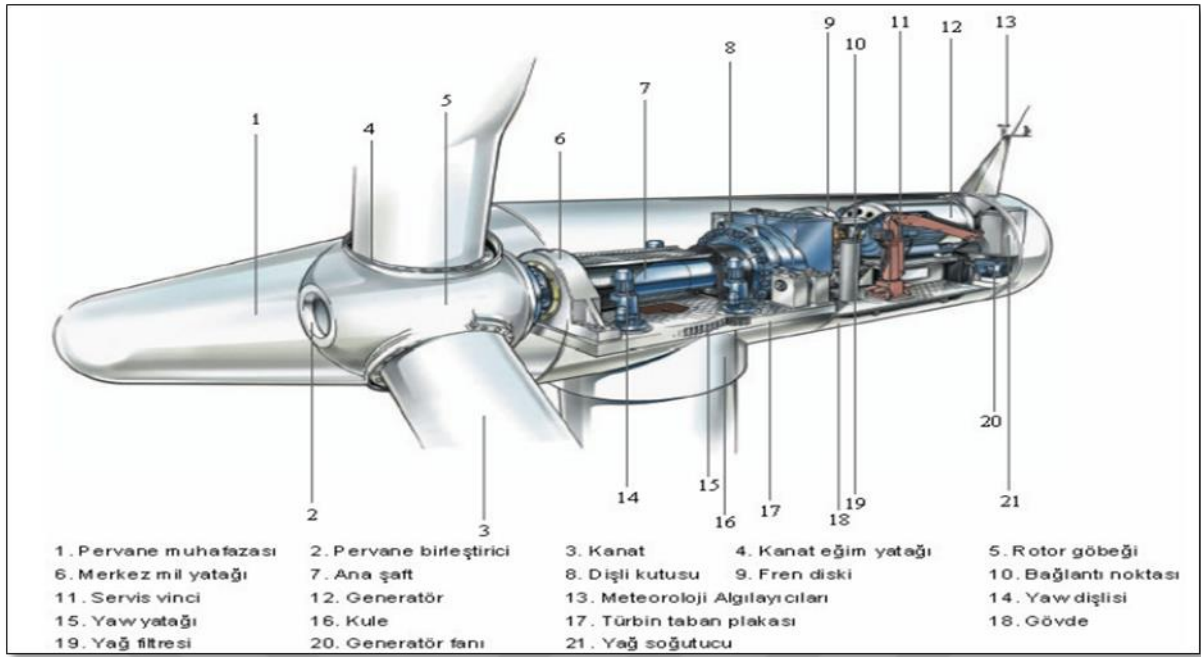
Şekil 3.22’de farklı kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri gösterilmektedir (Durdyev, 2010).



Şekil 3.22. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri (Durdyev,2010)

3.3.3.2. Rüzgâr türbinlerini oluşturan parçalar ve bileşenler

Tipik bir rüzgâr türbinine ait elemanlar ve konumları Şekil 3.23’de görülmekte olup bu diyagram az farklarla da olsa rüzgâr türbinlerini temsil etmektedir.



Şekil 3.23. Rüzgâr Türbini Bileşenleri (Anonim, 2018)

Bir türbinde yer alan belli başlı bileşenler; anemometre, kontrol sistemi, kanatlar, fren düzeni, dişli kutusu, jeneratör, yüksek ve düşük hız şaftları, gövde (yatak), pitch, rotor, kule rüzgâr vanası, yaw motoru ve tahrik gurubundan oluşmaktadır. Bu bileşenlere ait özet bilgiler aşağıda yer almaktadır (Demirtaş, 2008).

Anemometre: Rüzgâr hızını ölçüp elektronik kontrol sistemine iletmeye yarayan bir ölçüm cihazıdır.

Kanatlar: Rüzgâr enerjisinin etkisiyle harekete geçerek rotorun dönmesi için gerekli olan mekanik enerjinin meydana gelmesini sağlarlar.

Frenler: Acil durumlar için rotorun hareketinin durdurulmasını sağlayan sistemlerdir.

Kontrol sistemi: Rüzgâr türbinlerin dönme hareketini başlatan, bu hareketi yöneten ve yüksek hızlarda durduran sistemdir. Fırtınalı havalarda ve özellikle 120 m/sn'yi aşan rüzgâr hızlarında, aşırı ısındığından dolayı jeneratörleri çalıştırmazlar.

Dişli kutusu: Düşük ve yüksek hız şaftlarının yatakları mekanizmalarıdır. Rotor milinin düşük dönme hızını jeneratörün ihtiyaç duyduğu yüksek hıza dönüştüren kısımdır.

Generatör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren kısım olup çeşitli yapılarda üretilirler.

Yüksek Hız Şaftı: Generatörü süren, dişli kutusunda artırılan hızı jeneratöre ileten kısımdır.

Düşük Hız Şaftı: Kanatların bağlandığı mil olup rotoru dişli kutusuna bağlayan kısımdır.

Pitch: Kanatların aşırı yüksek veya düşük hızlarda dönmesini kontrol eden döndürme mekanizmasıdır.

Rotor: Kanatlar ve dişli kutusunun yuvalandığı kapalı kısımdır.

Kule: Türbinin destek elemanı olup tepe düzlemine türbin gövdesinin yerleştirilmesini sağlayan direklerdir. Malzemesi genellikle çelik veya beton olup yuvarlak veya kafes şeklinde tasarlanmışlardır.

Yaw (kuyruk) tahrik: Üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgâra doğru konuşlanır. Rüzgârın hız değişimine göre, rotor kafasını, rüzgâra dik tutacak şekilde ayarlayan mekanizmalardır.

Kuyruk motoru: Kuyruk tahrik sistemini hareketlendiren motordur.

Rüzgâr vanası: Rüzgâr yönünü ölçerek, değişimlere göre, yaw (kuyruk) motoru ile haberleşmeyi sağlayan, türbini rüzgâr yönüne taşıyan mekanizmadır (Demirtaş, 2008).

3.3.3.3. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan generatörler

Rüzgâr enerjisi sistemlerinde kullanılan generatörler; doğru akım generatörü, senkron generatör ve asenkron generatör olmak üzere 3 grupta incelenebilmektedir.

3.3.3.3.1. Doğru akım generatörleri

Doğru akım generatörleri, güvenilirliklerinin düşük olması ve sık aralıklarla bakım gerektirmesi gibi dezavantajları olmasına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması sebebiyle rüzgâr türbinlerinde kullanılmaktadır. Günümüzde doğru akım generatörleri küçük kapasiteli rüzgâr türbinlerinde, özellikle elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde akülere enerji depolamak için tercih edilmekte olup sürekli mıknatıslı ve fırçasız olarak tasarlanmaya başlanmıştır. Bu yapısal değişiklikle kayıplar azaltılıp verimi artırmak amaçlanmıştır (Mergen ve Zorlu, 2005)

3.3.3.3.2. Senkron generatörler

Senkron makinalar elektromıknatıslı veya küçük güçlerde sabit mıknatıslı bir rotor ile statorunda bir veya çok fazlı alternatif akım sargısı bulunan, sabit bir senkron hızla dönen, motor veya generatör olarak çalışabilen alternatif akım makinasıdır. Güçleri günümüzde 1500-2000 MVA'ya kadar ulaşmış olup gerilimleri 6, 15, 20, 27 kV'dir. Senkron makinalar direkt olarak şebekeye bağlanmazken özel yol verme yöntemleriyle çalıştırılırlar ve daha çok generatör olarak kullanılırlar (Güzelbeyoğlu, 2010).

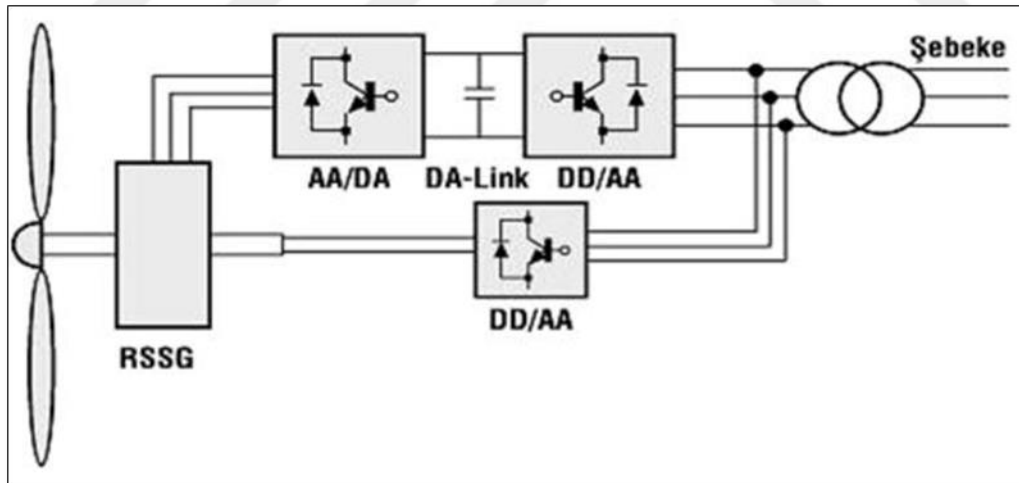
Senkron generatörler daha çok sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde kullanılmakta olup frekansları sabittir. Rüzgar türbinlerinde kullanılan senkron generatörler için gerekli olan DC gerilim, şebekeden karşılanır. Şebekeden alınan AC doğrultularak DC'ye çevrilir ve fırçalar

aracılığıyla rotor sargılarına iletilir. Rüzgar türbinlerinde, genellikle alan sargılı (rotor sargılı) ve sürekli mıknatıslı olmak üzere iki tip senkron generatör kullanılmaktadır (Güven ve Özarslan).

Senkron generatörlerin doğru akım generatörlerine göre avantajı, veriminin yüksek olması ve daha düşük dönme hızında elektrik üretebilmesidir. Asenkron generatörlere göre ise daha pahalı ve mekanik açıdan daha karmaşıktır (Güven ve Özarslan).

Rotoru *Sargılı* *Senkron* *Generatör* *(RSSG):*

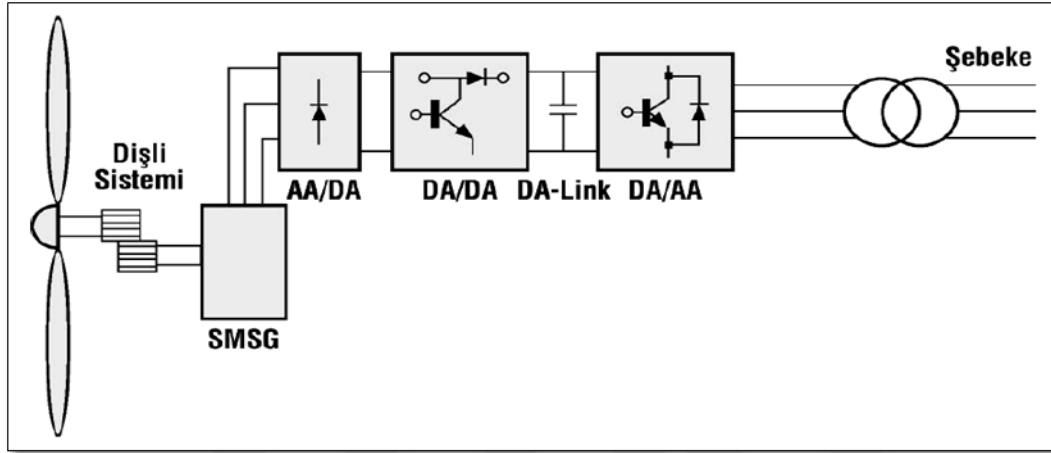
Bu tip generatörlerde manyetik alan rotorda üretilir. Rotordaki kutup sargılarına doğru akım uygulanmasıyla oluşan bu manyetik alan, rotorun dönmesiyle stator sargılarında gerilim indüklenmesine neden olur. Stator sargılarında indüklenen gerilim AC olup güç elektroniği elemanlarından oluşan konverterler üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Sistemde kullanılan konverterler; stator kısmında elektromanyetik torku, şebeke kısmında ise sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü kontrol eder. Generatörün hızı frekans ve kutup sayısına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.24'te rotoru sargılı senkron generatörün (RSSG) şebekeye bağlantısı görülmektedir (Dursun ve Binark, 2011).



Şekil 3.24. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş RSSG'nin Şebekeye Bağlantısı (Toprak, 2011)

Bu generatörlerin rotorunda sargı devresinin bulunması, sürekli mıknatıslı senkron generatörlerine göre bir dezavantajdır. Ayrıca bu generatörlerde üretilen aktif ve reaktif gücü regüle etmek için, nominal rüzgâr gücünün 1.2 katı büyüklüğünde konverterler kullanılması gerekmektedir (Dursun ve Binark, 2011).

Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG): Bu tipteki generatörlerin statoru sargılı olup rotorunda sürekli mıknatıslar bulunmaktadır. Bu generatörler; kendinden uyarımlı olup bakım maliyetleri düşük ve herhangi bir hızda güç üretebilme kabiliyetlerine sahiptirler. Bu generatörler daha çok küçük güçlü rüzgâr sistemlerinde tercih edilirler. Şebeke bağlantıları güç elektroniğindeki gelişmelere paralel olarak çeşitlilik göstermektedir. Şekil 3.25'te rüzgâr türbinine akuple edilmiş SMSG'nin şebekeye bağlantısı verilmiştir (Toprak, 2011).



Şekil 3.25. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş SMSG'nin Şebekeye Bağlantısı (Toprak, 2011)

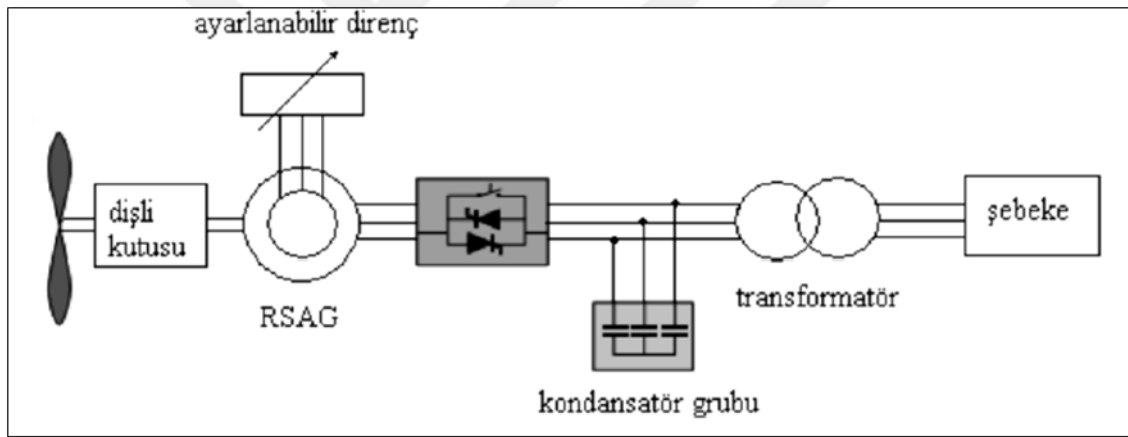
Şekilden de görüleceği gibi sistemden elde edilen gerilim üç fazlı doğrultucu, DA-DA kıyıcı ve DA-AC dönüştürücü yardımı ile şebekeye aktarılmaktadır. Sistemdeki kıyıcı elektromanyetik torku, konverter ise güç faktörünü ve DA link gerilimini kontrol etmektedir. Bu generatörlerin, güç faktörünün kontrol edilememesi, kullanılan mıknatısların maliyetlerinin yüksek olması, sıcaklıkla mıknatısların manyetiklerinin bozulması, doğrultucudan dolayı akımın genliğinin artması gibi dezavantajları da mevcuttur (Dursun ve Binark, 2011).

3.3.3.3.3. Asenkron generatörler

Asenkron generatörler rotorundan aldığı mekanik enerjiyi, özel koşullar altında stator sargılarında elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Bir, iki, üç ve çok fazlı yapılabilirler. Çalışma sırasında mıknatıslanma akımına ihtiyaç duyar ve gerekli olan mıknatıslanma akımı şebekeden veya kondansatörlerden sağlanır. Senkron generatörün tersine üretilen gerilimin frekansı sabit değildir. Ancak güç elektroniği devreleri ile bu frekans sabit frekanslı alternatif akım güç kaynağına çevrilebilir (Colak ve ark., 2011).

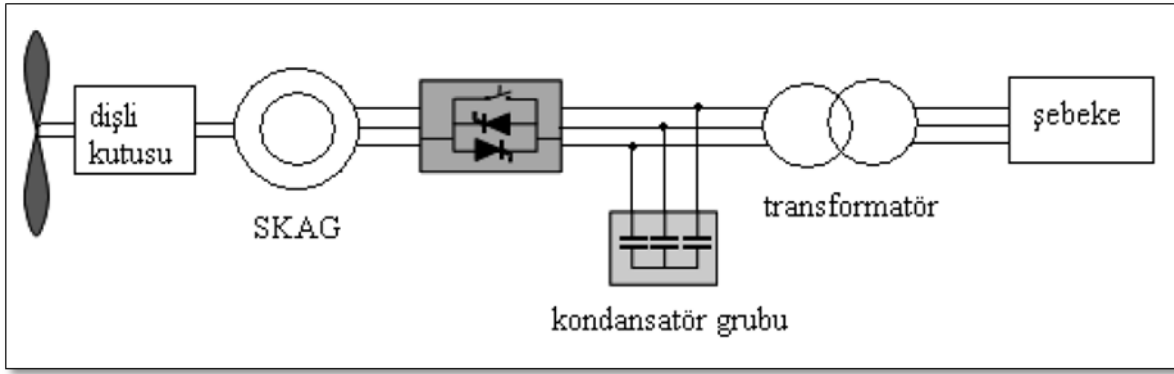
Rotor yapısı bakımından rotoru sargılı (bilezikli) ve sincap kafesli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Genellikle rüzgâr türbinlerinde rotoru sargılı ve sincap kafesli asenkron generatörler kullanılır. Bu generatörler güvenilir, ucuz ve kW/kg oranının yüksek olması nedeniyle tercih edilirler (Colak ve ark., 2011).

Rotoru sargılı asenkron generatör (RSAG): RSAG elektriksel olarak dışarıdan kontrol edilerek rotor gerilimleri değiştirilebilmektedir. RSAG'lerin rotor sargı uçları rotorla birlikte dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerindeki fırçalar yardımıyla, rotor sargıları üç fazlı bir yol verme direncine veya bir kaynağa bağlanabilmektedir. Bu sayede jeneratörün hız ayarı yapılabilmektedir. RSAG jeneratörlerin dezavantajı ise üretim maliyetlerinin yüksek ve yapı olarak çok sağlam olmamalarıdır.(Açıkgoz., 2014). Şekil 3.26'de rüzgâr türbinine akuple edilmiş rotoru sargılı asenkron generatörün şebekeye bağlantısı görülmektedir (Koç ve Güven, 2011).



Şekil 3.26. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş RSAG'ün Şebekeye Bağlantısı (Toprak, 2011)

Sincap Kafesli Asenkron Generatörler: Sincap kafesli asenkron generatörler fırçasız, güvenilir, sağlam ve ekonomik bir yapıya sahip olmalarından dolayı sabit ve değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bu makinalarda rotor çubukları manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor eksenine paralel olmayıp belli bir açıyla yerleştirilmiştir. Şekil 3.27'de rüzgâr türbini ile tahrik edilmiş sincap kafesli asenkron generatörün şebekeye bağlantısı görülmektedir (Koç ve Güven, 2011).



Şekil 3.27. Rüzgâr Türbinine Akuple Edilmiş SKAG’ün Şebekeye Bağlantısı (Toprak, 2011)

Sistemde üretilen gerilim güç elektroniği dönüştürücüleri vasıtasıyla şebekeye aktarılır. Stator tarafındaki konverter makine için gerekli olan reaktif gücü sağlar ve elektro manyetik torku kontrol eder. Şebeke tarafındaki konverter doğru akım linkini ve şebekeye aktarılan gücü kontrol eder (Koç ve Güven, 2011).

Tablo 3.8’de, yukarıda açıklanan rüzgâr türbin generatörlerinin yaygın kullanılan tiplerinin genel bir karşılaştırılması yapılmış, avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir (Kim ve Lu, 2010).

Tablo 3.8. Çeşitli Generatör Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları (Kim ve Lu,2010)

Generatör Tipi	Avantajlar	Dezavantajlar
SMSG Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör	Yüksek enerji verimi	Yüksek maliyet
	Yüksek aktif / reaktif güç kontrolü	Demanyetizasyon
	Fırça / bilezik yokluğu	Karmaşık montaj süreci
	Düşük mekanik stres	Büyük boyutlar
	Rotor bakır kaybının olmaması	
RSSG Rotoru Sargılı Senkron Generatör	Yüksek enerji verimi	Bakır sargıların yüksek maliyeti
	Yüksek aktif / reaktif güç kontrolü	Büyük boyutlar
	Fırça / bilezik yokluğu	
	Düşük mekanik stres	
SKAG Sincap Kafesli Asenkron Generatör	Tasarım, montaj ve kontrol kolaylığı	Düşük enerji verimi
	Roboust operation (sağlam çalışma) özelliği	Aktif / reaktif güç kontrolünün olmaması
	Düşük maliyet	Yüksek mekanik stres
		Yüksek dişli kutusu kaybı

4. SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Sinyalizasyon; kelime anlamı olarak demir yolu, kara yolu ve limanlarda trafiği düzenleyen ışıklı sisteme verilen isim iken sinyalizasyon sistemi şehir içi ve şehirlerarası trafik karayolları üzerinde bulunan trafik lambalarının, işaretlerin ve otomatik olarak çalışan tüm trafik envanterlerinin bunları kumanda eden cihazlar kullanılarak düzenlenmesidir (Dağüstü, 2010).

4.1. Sinyalizasyon Sistemlerinin Tarihçesi

İlk trafik lambaları, yedi metre yüksekliğindeki demir kolonlar üzerinde Londra'nın Parlamento Alanına kondu ve 10 Aralık 1868 tarihinde hizmete girdi. Kullanımları; kırmızı ve yeşil renkli iki adet gaz lambasının bir polis memuru tarafından kurmalı bir kol ile döndürülüp renklerinin değiştirilmesi şeklindeydi. Buna göre kırmızı "dur" yeşil "dikkat" anlamına gelmekteydi ve at arabalarının yoğun olduğu bazı caddelerde, bu şekilde trafiğin düzenlenmesine çalışılmaktaydı (Web24, 2018).

İlk elektrikli trafik lambası, 5 Ağustos 1914 tarihinde, ABD'nin Ohio Cleveland kentinde hizmete girdi. Beş metre yüksekliğindeki lambanın üzerinde yer alan "dur" anlamına gelen kırmızı ve "dikkat" anlamına gelen yeşil ışıkların dışında uyarıcı ses de bulunmaktaydı. Bu ışıkların değişim sürelerine çok az bir süre kala, sesle uyarı yapılıyordu (Web9, 2018).

Türkiye'de trafik ışıklarının ilk kez kullanımı 1929 yılında İstanbul'da gerçekleşmiş olup günümüzde de 2918 sayılı trafik yasası 47-1-b maddesi gereği kırmızı ışıktaki araçların geçmeleri yasaktır (Web10, 2018).

4.2. Sinyalizasyon Sistemlerinin Gerekliliği, Avantajları ve Dezavantajları

Sinyalizasyon sistemlerinin görevi, sadece araç kazalarını önlemek ve yayaların güvenli geçişlerini sağlamak değil aynı zamanda yolların da kapasitesinde kullanılabilmesini sağlamaktır. Sağladığı faydaların yanı sıra, bu sistemlerin de çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Ayfer, 1977).

Sinyalizasyon sistemlerinin avantajları:

- Taşıtların diğer taşıtlarla veya yaya akımları ile kesiştikleri noktalarda trafiğin düzenli ve güvenli bir şekilde akışını sağlar.
- Taşıtların 90 derece ile çarpışmalarını önleyerek kaza ihtimalini azaltır.

- Sinyalizasyonun yerinin, konumunun ve periyot sürelerinin trafik koşullarına göre uygun şekilde belirlenmesiyle kavşağın kapasitesi artar.
- Yapılacak katlı kavşaktan daha ekonomiktir (Özdirim,1994).

Sinyalizasyon sistemlerinin yanlış kullanılması ve trafik hacimlerine uymayan düzenlemeler ise çeşitli problemlere yol açabilmektedir. Bu dezavantajlar:

- Sinyal sürelerinin uygun ayarlanmadığı durumlarda ve yüklü olmayan trafik saatlerinde durma sayıları artıp gereksiz bekleme süreleri oluşur. Bu durum sonucunda da akaryakıt tüketimi artar.
- Arkadan çarpma gibi kazaların sayısında artış görülebilir.
- Gereksiz ve hatalı yapılan sinyalizasyonlar, sürücülerin sinyallere uyum sağlamasını güçleştirir. Bunun sonucunda ise sürücülerde sabırsızlık ve ihlaller meydana gelir (Özdirim,1994).

4.3. Sinyalizasyon Sistemlerine Dair Usul ve Esaslar

Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığından: Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'in 2. Bölümünün Sinyalizasyon Sistemleri başlıklı 15. Maddesinin 1. Ve 2. Fıkrasında:

“(1) Şehir içi ve şehirlerarası karayollarında trafik akımını yönetmek, trafik güvenliğini artırmak, mevcut/planlanan karayolu ve karayolu elemanlarının kapasitesini maksimum düzeylerde kullanabilmek için oluşturulacak sinyalizasyon sistemleri KGM tarafından belirlenmiş/belirlenecek kriter, usul ve teknik esaslara uygun olarak yapılır. Trafik sinyalizasyon sistemlerinin gerekliliği, faz hesaplamaları ile diğer teknik hususlarda kullanılacak malzemeler; Karayolları Teknik Şartnamesi'nde belirlenmiş/belirlenecek şartlara uygun şekilde ilgili birimler tarafından temin edilir.

(2) Sinyalizasyon Sistemlerinde kullanılan malzemelerde; Trafik Sinyal Denetleyicileri-Fonksiyonel Güvenlik Kuralları için TS EN 12675, Trafik Kontrol Donanımı-Sinyal Lambaları için TS EN 12368 ve Karayolu Trafik Sinyal Sistemleri için TS HD 638 S 1 standartlarında belirtilen şartlar aranır.” denilmektedir. (Web11, 2018)

Karayolları Teknik Şartnamesine göre Sinyal Vericiler olarak ifade edilen trafik lambaları; Halojen Ampüllü ve Led İle İmal Edilmiş Sinyal Verici Grupları olarak iki gruba ayrılmaktadır:

- **Halojen ampüllü sinyal verici grupları:** Bu tipteki sinyal vericilerde optik ünitenin (oto, yaya, flaşör vb.) anma çapı 200 mm veya 300 mm +/- %2 olup ışık kaynağı olarak 10 volt, 50-55 Watt halojen ampul kullanılmaktadır (Web12, 2018).

Bu lambaların ilk kurulum maliyetlerinin düşük olmasından dolayı ekonomik olarak görünse de harcadığı enerjinin yüksek olması ve kullanım ömürlerinin kısa olmasından dolayı oldukça yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Bu özelliklerinin yanı sıra; bu sistemdeki sinyal vericinin camları renkli olduğu için güneş ışığı yansımaları gibi sebeplerle, yanmayan ampulün yanıyor gibi gözükmesi nedeniyle trafik kazaları meydana gelebilmektedir. Şekil 4.1’de bu tipteki sinyal vericinin bir örneği görülmektedir (Web13, 2018).



Şekil 4.1. Halojen Ampüllü Sinyal Vericisi (Web13, 2018)

- **Led ile imal edilmiş sinyal verici grupları:** Bu tipteki sinyal vericilerin anma çapı 200 mm veya 300 mm +/- %10 olup ışık kaynağı olarak LED (Light Emitting Diodes) kullanılmaktadır. Burada ünite başına düşen güç, 8-12 Watt aralığındadır (Web12, 2018).

Gelişen teknoloji ile birlikte son yıllarda, trafik sinyalizasyonunda akkor flamanlı lambaların yerine LED’ler kullanılmaya başlanmıştır. LED’lerin kullanılmasındaki en önemli neden, trafik sinyalizasyonunda harcanan elektrik enerjisinden tasarruf edilmesidir. LED’ler akkor flamanlı lambalarla kıyaslandığında; LED’lerin ilk kurulum maliyeti akkor flamanlı lambalara göre oldukça yüksek olmasına rağmen harcadığı düşük enerji ve uzun ömürlü olmaları, işletme ve bakım maliyetlerini azaltan bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Trafik sinyalizasyonundaki LED’lere dönüşüm, ilk başlarda 16-24 W gücündeki çok LED’li modeller ile başlamış ve kısa sürede yaygınlaşmıştır. Ancak bu tip kullanımlarda, lamba

üzerinde bir LED'in arızalanması o gruptaki diğer dizilerin de arızalanmasını tetikleyerek grubun tamamının arızalanmasına neden olabilmekte ve trafik güvenliğini tehlikeye atabilmekteydi (Tunçalp ve ark., 2002).

Power LED olarak isimlendirilen yüksek güçlü LED'lerin piyasaya sürülmesi ve trafik sinyalizasyonu için özel renklerde LED'lerin üretilmesiyle trafik lambalarında bu LED'ler çoğunlukla kullanılmaya başlanmıştır. Power LED'lerin kullanıldığı trafik lambalarında, dışarıdan bakıldığında çok LED'li sinyal vericilerdeki gibi taneli görünüm oluşmamakta, halojen ampüllü sinyal vericilerdeki gibi bütün ve homojen bir işaret elde edilmektedir. Şekil 4.2'de power LED ile imal edilmiş sinyal vericinin iç aksamı görülmektedir (Web13, 2018).



Şekil 4.2. Power Ledli Sinyal Vericisi (Web13, 2018)

5. SİNYALİZASYON SİSTEMİ İÇİN HİBRİT SİSTEM KURULUMU VE MALİYETİ

Çalışmanın bu bölümünde, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü içerisinde bulunan sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacı belirlenmiş, daha önce çalışması yapıp elde edilmiş olan rüzgâr verilerinden de yararlanılarak bu enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik bir rüzgâr türbini ve rüzgârın hiç esmediği durumda enerji ihtiyacının karşılanacağı fotovoltaik panellerden oluşan bir hibrit sistem tasarlanmıştır. Buradaki sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacını mevcut şebekeden karşılaması durumunda oluşacak olan ekonomik durum belirlenerek tasarlanan hibrit sistemin kurulması ile oluşacak olan ekonomik durum ile karşılaştırılması yapılmıştır.

5.1. Sinyalizasyon Sisteminin Enerji İhtiyacı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünde bulunan sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacının belirlenmesinde, uzaktan haberleşmeli sayaç okuma sisteminden yararlanılmış ve sahada yapılan güç ölçümüyle de bu değerler teyit edilmiştir.

Sinyalizasyon sistemi dâhilinde bulunan sinyalizasyon kavşaklarında; 6 adeti 3'lü lamba grubundan, 6 adeti ise 2'li lamba grubundan oluşan toplam 30 adet sinyal verici (lamba) bulunmaktadır. Her bir lamba 8 W gücündeki power ledli sinyal verici kapsamında olup toplamda 240 W'lık güç mevcuttur. Bu lambalara ilaveten 12 Volt ve 5 Amper değerine sahip; 60 W'lık bir trafik sinyal denetleyici bulunmaktadır. Tablo 5.1'de, Tablo 5.2'de bu detaylar gösterilmektedir.

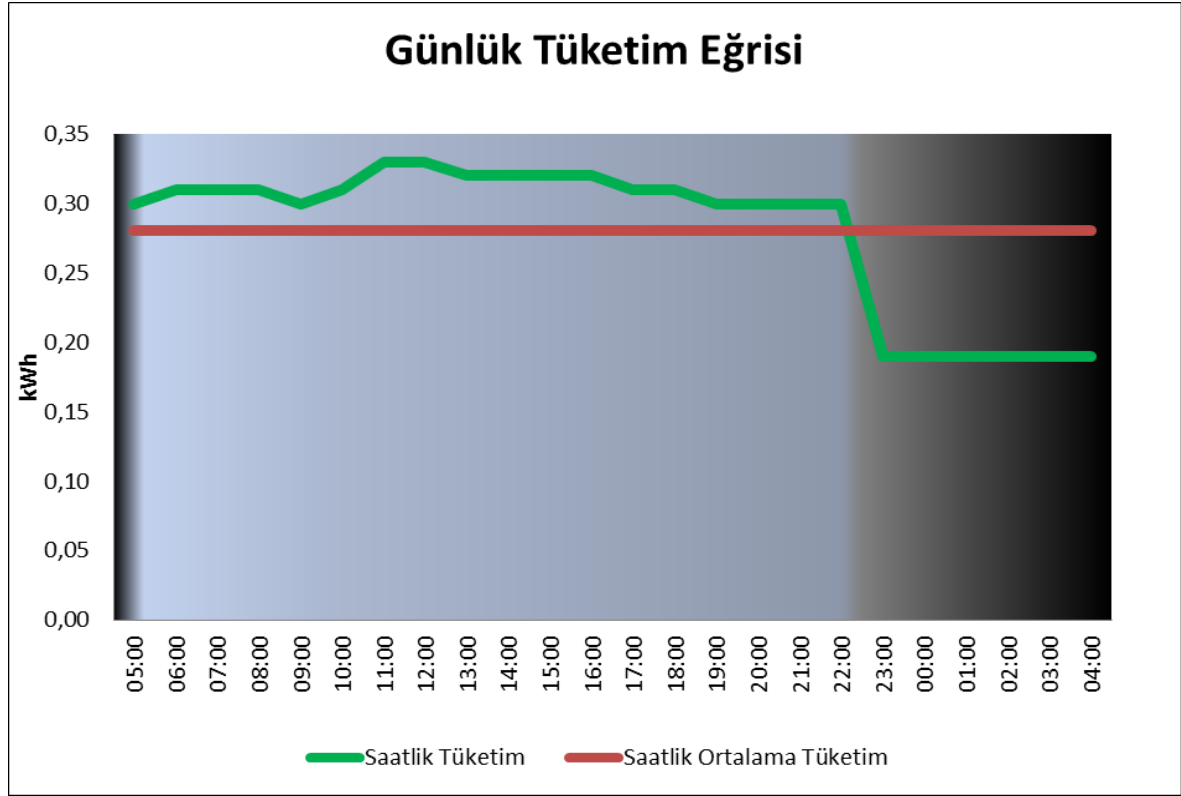
Tablo 5.1. Armatür Adetleri ve Güçleri

Lamba Grubu	Lamba Adeti	Toplam Adet	Lamba Gücü	Toplam Güç
3'lü Grup	6 adet	18 adet	8 W	144 W
2'li Grup	6 adet	12 adet	8 W	96 W
TOPLAM				240 W

Tablo 5.2. Cihaz Çeşitleri ve Güçleri

Cihaz	Güç
Power Ledli Lambalar	240 W
Trafik Sinyal Denetleyici	60 W
TOPLAM	300 W

Sinyalizasyon sistemleri günün belirli saatlerinde devre dışı kalmakta ve tek renk ışıklı olacak şekilde belirli aralıklarla yanıp sönmektedir. Bu sebepten ötürü sistemin enerji ihtiyacı günün her saatinde aynı olmamaktadır. Şekil 5.1’ de, sistemin bir gün içerisindeki farklı saatlerde tükettiği enerjiyi ve saatlik ortalama tüketimi gösteren günlük tüketim eğrisi verilmiştir.



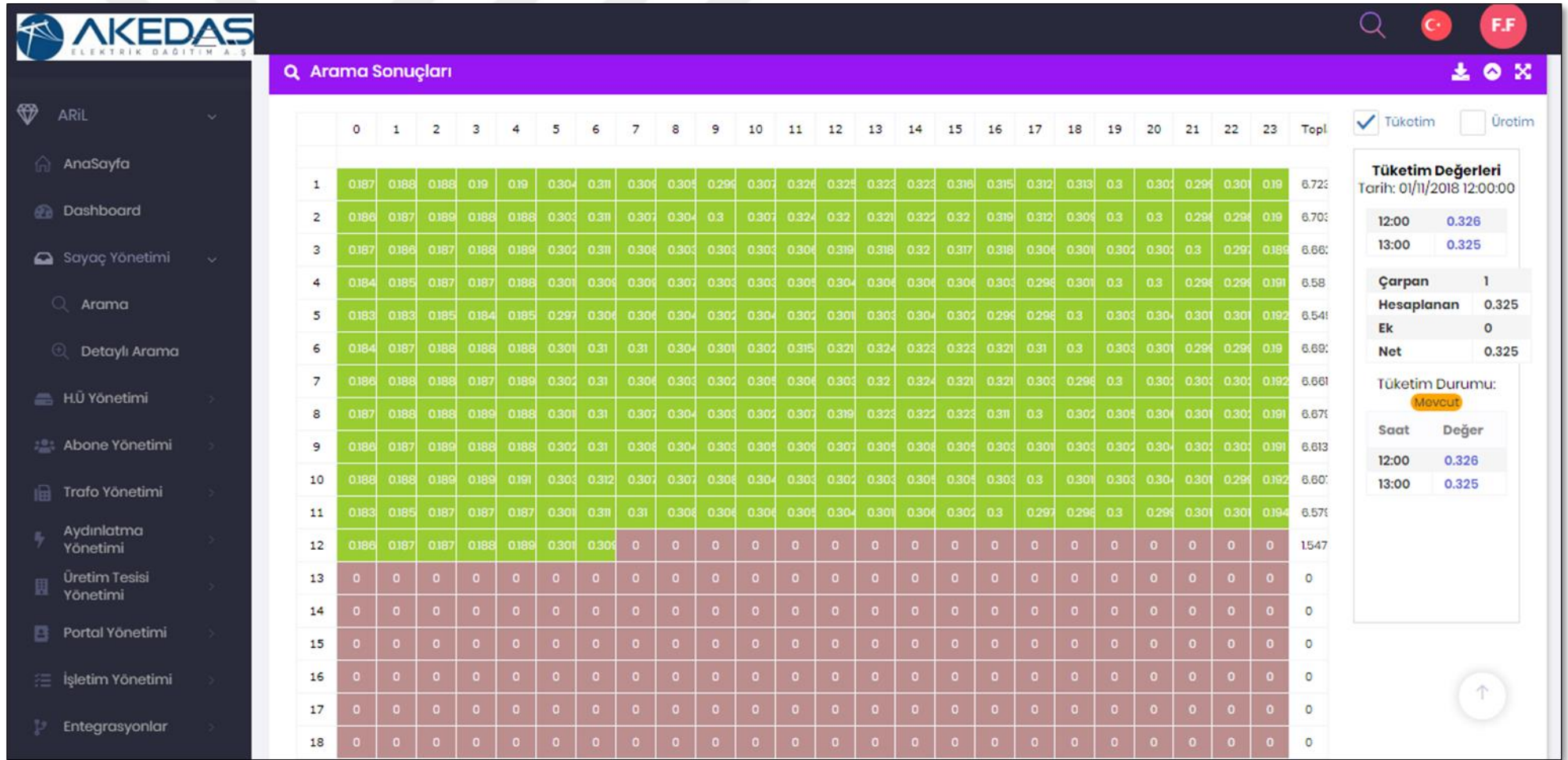
Şekil 5.1. Sinyalizasyon Sisteminin Günlük Tüketim Eğrisi

Sistemin gün içerisinde tükettiği enerji miktarını detaylı olarak analiz edebilmek adına uzaktan haberleşmeli sayaç okuma programından 10 gün boyunca alınan veriler, Tablo 5.3’ te ifade edilmekte, Şekil 5.2’de ise verilerin alındığı programdan bir ekran alıntısı gösterilmektedir. Buradaki tabloya göre; sistemin enerji tüketimi saat 23:00’ dan itibaren 0,19 kWh’e düşmekte, saat 05:00’ dan sonra 0,30 kWh’a çıkmakta, gün içinde en yüksek değer olarak 0,32 kWh’ı bulmaktadır. Şekil 5.3’ te ise bu değerlerin teyidi amacıyla ölçü aletiyle güç ölçümü sırasında çekilen bir fotoğraf yer almakta olup buradaki değerler de aynı aralıkta seyretmektedir.

Tablo 5.3. Saatlik Bazda Tüketilen Enerji Miktarları (kWh)

TARİH SAAT	01.11 2018	02.11 2018	03.11 2018	04.11 2018	05.11 2018	06.11 2018	07.11 2018	08.11 2018	09.11 2018	10.11 2018	
00:00	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	
01:00	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
02:00	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
03:00	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
04:00	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
05:00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
06:00	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	
07:00	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	
08:00	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	
09:00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	
10:00	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,30	0,31	0,30	
11:00	0,33	0,32	0,31	0,31	0,30	0,32	0,31	0,31	0,31	0,30	
12:00	0,33	0,32	0,32	0,30	0,30	0,32	0,30	0,32	0,31	0,30	
13:00	0,32	0,32	0,32	0,31	0,30	0,32	0,32	0,32	0,31	0,30	
14:00	0,32	0,32	0,32	0,31	0,30	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	
15:00	0,32	0,32	0,32	0,31	0,30	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	
16:00	0,32	0,32	0,32	0,30	0,30	0,32	0,32	0,31	0,30	0,30	
17:00	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	
18:00	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
19:00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	
20:00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,30	0,30	
21:00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
22:00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
23:00	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
GÜNLÜK TÜKETİMLER (kWh)	6,72	6,70	6,66	6,58	6,55	6,69	6,66	6,68	6,61	6,61	6,65

GÜNLÜK
ORTALAMA
TÜKETİM
(kWh)



Şekil 5.2. Uzaktan Haberleşmeli Sayaç Okuma Sistemi Ekran Görüntüsü



Şekil 5.3. Sinyalizasyon Sisteminin Güç Ölçümü

Sinyalizasyon sisteminin günlük ortalama enerji ihtiyacının 6,65 kWh olduğu Tablo 5.3'te görülmektedir. Buna göre bu sistemin saatlik, günlük, aylık ve yıllık enerji ihtiyacının gösterimi sağlanmak istenirse:

- 1 Saatlik Ortalama Tüketim: 0,27 kWh,
- 1 Günlük Ortalama Tüketim: 6,65 kWh/gün,
- 1 Aylık Ortalama Tüketim: 199,5 kWh/ay,
- 1 Yıllık Ortalama Tüketim: 2.394 kWh/yıl olarak hesaplanabilir.

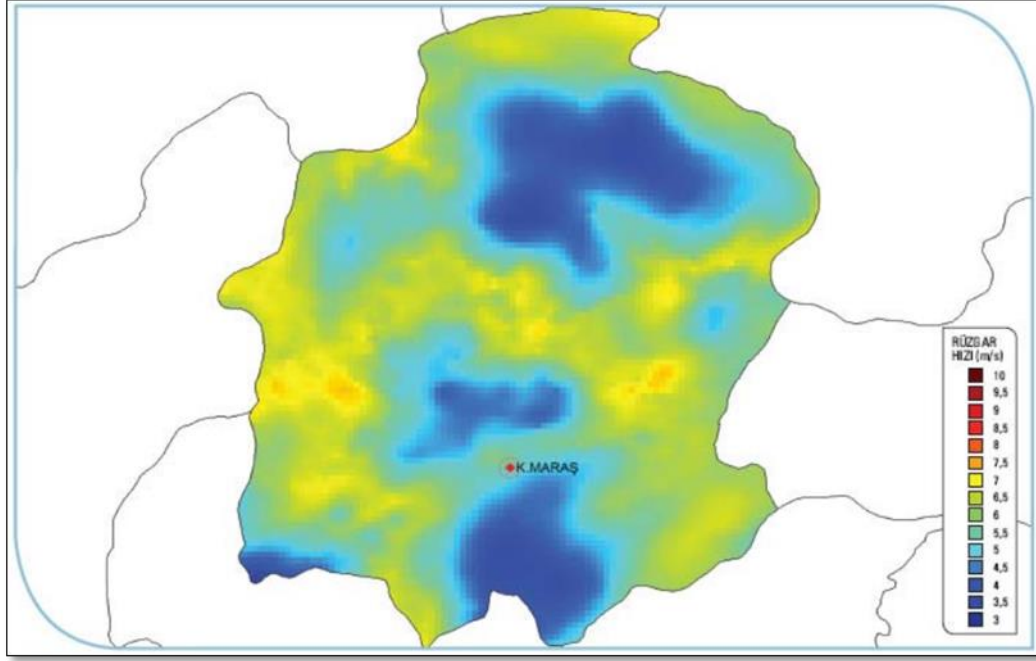
5.2. Rüzgâr ve Güneş Enerjisinden Oluşan Hibrit Sistemin Kurulması

5.2.1. Bölgenin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi

Bir bölgedeki rüzgâr enerjisinden faydalanmak amacıyla yapılan çalışmaların ilkinin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi çalışmaları oluşturmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin ilk kurulum maliyetlerinin düşük olmaması sebebiyle, kurulum öncesinde yapılan yanlış bir hesaplama, yüksek oranlarda finansal kayıplara sebep olabilmektedir. Bu amaçla 2010-2012 tarihleri arasında Muharrem İMAL, Mustafa ŞEKKELİ ve Ceyhun YILDIZ tarafından yürütülen ‘‘Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ana Kampüste Rüzgâr Enerji Potansiyeli Araştırması ve Değerlendirmesi’’ isimli çalışmadan, burada kurulması tasarlanan rüzgâr türbini için gerekli olacak rüzgâr verilerine ulaşılmıştır.

Kahramanmaraş ili, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin birbirine en çok yaklaştığı alanda yer almakta olup koordinatları enlem: 37.5753 ve boylam: 36.9228 şeklindedir. 14.327 km² 'lık yüzölçümüne sahip Kahramanmaraş ilinin rakımı ortalama 568 m'dir (Anonim).

Şekil 5.4' te Kahramanmaraş'ta 50 m yükseklikteki rüzgar hız dağılımları, Tablo 5.4'te ise Kahramanmaraş'a kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi gösterilmektedir. (Web14, 2018)



Şekil 5.4. Kahramanmaraş'ta Rüzgar Hız Dağılımı - 50 m (Web14, 2018)

Tablo 5.4. Kahramanmaraş'a Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrali Güç Kapasitesi
(Web14, 2018)

50 m'de Rüzgâr Gücü (W/m ²)	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 - 400	6.8 - 7.5	329,06	1.645,28
400 - 500	7.5 - 8.1	81,90	409,52
500 - 600	8.1 - 8.6	3,52	17,60
600 - 800	8.6 - 9.5	0,00	0,00
> 800	> 9.5	0,00	0,00
		414,48	2.072,40

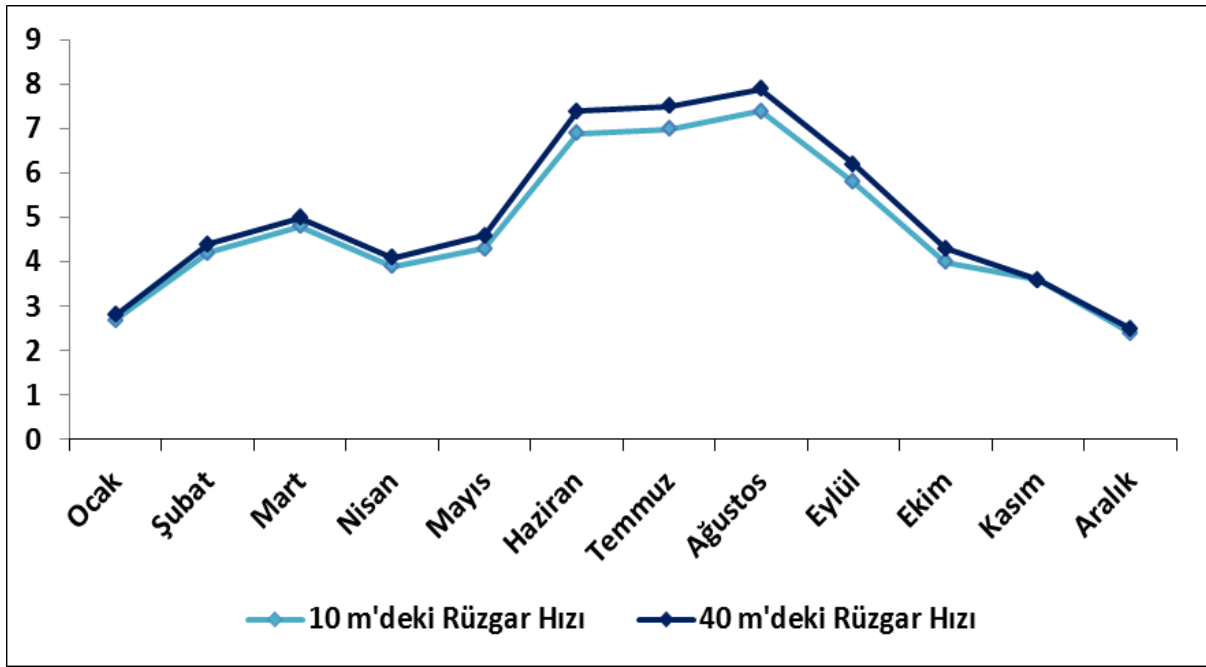
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüs alanı 1800 dönüm civarındadır. Bu bölge coğrafik yapısı itibariyle düz bir alana sahip olup rüzgâra engel olacak herhangi bir şey bulunmamaktadır. Kampüse ait bölgeyle alakalı topografik harita Şekil 5.5'te verilmiştir. Bölgenin rakımı 530 m olup buradaki rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi adına yapılan çalışmalarda en uygun alan; 37de 35dak 07.46" Kuzey ve 36de 48dak 36.86" Doğu koordinatları olarak belirlenmiştir (İmal ve ark., 2012).



Şekil 5.5. Kampüs Topoğrafik Haritası (Google Earth)

Çalışma kapsamında; ilgili alana 40 metre uzunluğunda bir ölçüm direği yerleştirilmiştir. Bu ölçüm direği üzerine, anemometre olarak isimlendirilen rüzgâr ölçüm sensörü yerleştirilmiştir. Ölçümler, 10 metreden ve 40 metreden alınmak üzere iki farklı seviyeden yapılmıştır. 10 metre seviyesindeki yere bir adet anemometre, 40 metre seviyesindeki yere iki adet anemometre ve rüzgâr yönünü ölçen bir rüzgârgülü yerleştirilmiştir. Bu seviyelerde alınacak verileri kayıt altına alabilmek amacıyla da bir adet data logger olarak isimlendirilen veri kaydedici yerleştirilmiştir. Kurulan bu düzenekteki sensörlerin ve data loggerın enerji ihtiyacı, bir batarya aracılığıyla karşılanmıştır. 2010 yılı Ekim ayından 2012 yılı Nisan ayına kadar bu bölgedeki rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü değerleri ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Ölçüm sonuçları, Rüzgâr Atlası Analizi ve Uygulaması (WAsP) programı kullanılarak analiz edilerek bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli, seçilmesi gereken rüzgâr türbini gücü ve türbinin üreteceği yıllık ortalama elektrik enerjisi değerleri elde edilmiştir (İmal ve ark., 2012).

Bu veriler ışığında, kampüsteki sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılacak olan rüzgâr türbinin seçiminde gerekli olacak rüzgâr hızı bilgilerine ulaşım sağlanmıştır. Bir bölgenin rüzgâr potansiyelinin değerlendirilmesi için en az bir yıl boyunca ölçüm yapılması gerekmekte olduğu bilgisinden hareketle, çalışmada ölçülen değerlerin bir yıllık kısmı (2011 yılı) alınarak ortalama rüzgar hızı çıkarımında bulunulmuş ve çeşitli yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının dağılımları Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6.Ortalama Rüzgar Hızları Dağılımı

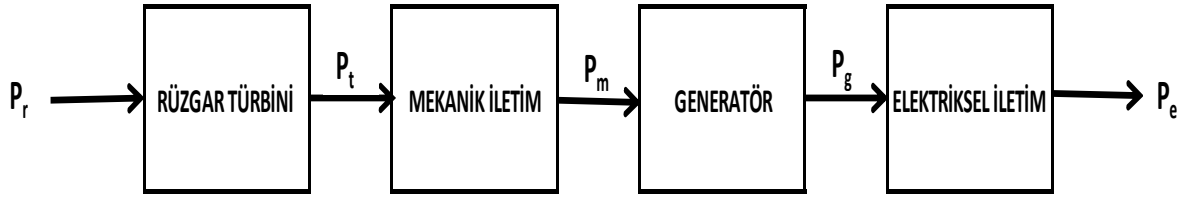
Tablo 5.5. 10 m ve 40 m Yüksekliklerde Ortalama Rüzgar Hızları

Yıl	Ay	10 m'deki Rüzgâr Hızı	40 m'deki Rüzgâr Hızı	Ortalama Rüzgâr Hızı
2011	Ocak	2,7	2,8	2,75
	Şubat	4,2	4,4	4,3
	Mart	4,8	5	4,9
	Nisan	3,9	4,1	4
	Mayıs	4,3	4,6	4,45
	Haziran	6,9	7,4	7,15
	Temmuz	7	7,5	7,25
	Ağustos	7,4	7,9	7,65
	Eylül	5,8	6,2	6
	Ekim	4	4,3	4,15
	Kasım	3,6	3,6	3,6
	Aralık	2,4	2,5	2,45
Ortalama Rüzgâr Hızı		4,75	5,03	4,89

10 m ve 40 m yüksekliklerde ölçülen rüzgar hızlarının rakamsal bazda detaylı gösterimi Tablo 5.5'te mevcuttur. Buradan da anlaşılacağı üzere 2011 yılı boyunca 10 metre yükseklikte ölçülen rüzgâr hızının ortalaması 4,75 m/s ve 40 metre yükseklikte ölçülen rüzgâr hızının ortalaması 5,03 m/s olarak bulunmuştur. Bu iki değerin ortalaması alındığında ise ortalama rüzgâr hızının 4,89 m/s olduğu sonucuna varılabilecektir.

5.2.2. Rüzgâr Türbini Parametrelerinin ve Üretilcek Enerji Miktarının Belirlenmesi

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler olup bu sistemlerde; rüzgârın sahip olduğu kinetik enerji kanatlar aracılığıyla mekanik enerjiye dönüştürülmekte, mekanik enerji ise kanatların döndürdüğü generatörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Bayhan, 2012). Bu dönüşümün mekanik ve elektriksel iletim şeklindeki akış diyagramı, Şekil 5.7'de gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Rüzgar Türbini İletişim Şeması

Rüzgâr, hareket halindeki hava olup V_r hızıyla hareket eden m kütesine sahip rüzgârın kinetik enerjisi:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_r^2 \quad \text{Nm} \quad (5.1)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir (Ünsalver, 2008).

Güç, birim zamanda yapılan iş olarak tanımlandığından, rüzgâr gücü sahip olduğu kinetik enerjinin zamana göre türevidir ve rüzgârın iş yapabilme yeteneği:

$$P_r = \left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_r^2 \right) / t \quad \text{Nm/s} \quad (5.2)$$

olarak ifade edilmektedir. (Çetin, 2006)

Hareketli hava kütesi, süpürme alanı A olan bir rüzgâr türbininin pervanesine dikey yönde çarptığında, hava kütesinde bulunan kinetik enerjinin bir kısmı frenlenir ve frenlenen enerji türbin kanatlarının çalıştırılmasında kullanılır. (Kavas ve Tiryaki, 1998). Türbin kanatlarına V_r hızı ile çarpan ρ_h yoğunluğundaki havanın kütesel debisi;

$$m = \rho_h \cdot V_r \cdot A \quad \text{kg/s} \quad (5.3)$$

şeklinde ifade edilir (Çetin, 2006).

$d/dt=m$ şeklinde ifade edilip (5.2) numaralı eşitlikte yerine yazılırsa, rüzgârdan elde edilebilecek teorik güç aşağıdaki şekilde yazılabilir (Çetin, 2006).

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \quad \text{W} \quad (5.4)$$

Tüm sistemlerde olduğu gibi, rüzgâr dönüşüm sistemlerinde de bu teorik gücün tamamının kullanılması, teknik olarak mümkün değildir. Bir rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminde, toplam verim:

- Türbin verimi
- Dişli mekanizmasının verimi
- Mekanik kavrama sisteminin verimi
- Generatör verimi

değerlerine bağlı olup bunlardan en önemlisi C_p ile ifade edilen türbin verimidir (Özdamar, 1999). Bununla birlikte bir rüzgar türbininde elde edilebilecek verimin %59,26'yı aşamayacağı Betz tarafından ortaya konmuştur (Çetin ark., 2003). Günümüz modern rüzgâr türbinleri için ise C_p değeri yaklaşık olarak 0,40'tır. Bunun nedeni hava direnci, rotorun oluşturduğu girdap ve aktarma organları ile elektrik sistemi gibi noktalardaki kayıplardır (Ünsalver, 2008).

Optimal bir rüzgâr türbini pervanesinden alınabilecek güç;

$$P_r = C_{pBetz} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \quad W \quad (5.5)$$

olarak bulunabilirken uygulamada bu değere ulaşılammamaktadır. Bunun nedeni pervanede oluşan kayıplardır ve bu kayıplar üç ana başlık altında incelenmektedirler:

- Profil Kayıpları: İhmal edilen direnç kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır.
- Uç Kayıpları: Kanat ucunda, profil alt kısmından profil üst kısmına doğru hava akımı oluşmakta, kanat uçlarındaki bu akım ile kanada gelen hava akımı üst üste binerek, gittikçe genişleyen girdap oluşturmaktadır.
- Girdap Kayıpları: Betz Kriteri'ne göre rüzgâr hızı, pervane düzlemi öncesi ve sonrasında doğrultusunu değiştirmez. Ancak kanada çarpan hava kütlesi, kanat sonrasında doğrultusunu değiştirir ve girdap oluşturur (Ünsalver, 2008).

A rotor süpürme alanı (m^2), ρ hava yoğunluğu (kg/m^3), R türbin yarıçapı (m) olmak üzere mekanik çıkış gücü:

$$A = \pi \cdot R^2 \quad m^2 \quad (5.6)$$

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_w^3 \quad W \quad (5.7)$$

şeklinde ifade edilebilir (Chitti ve ark., 2010).

Burada P_m mekanik gücü, P_r rüzgâr gücü ve C_p güç katsayısı çarpımı ile bulunur. Ayrıca türbin çıkış gücü P_t , P_m ve dişli kutusu verimi çarpımıyla ve generatör çıkış gücü P_e ise generatör verimi ve iletim çıkış gücü P_t ' nin çarpımıyla belirlenir (Akyazı ve Akpınar, 2014).

$$P_m = P_r \cdot C_p \quad W \quad (5.8)$$

$$P_t = P_m \cdot \eta_m \quad W \quad (5.9)$$

$$P_e = P_t \cdot \eta_g \quad W \quad (5.10)$$

Kısacası herhangi bir rüzgâr türbinindeki elektriksel çıkış gücü:

$$P_e = P_r \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad W \quad (5.11)$$

Eşitliği ile bulunabilmekte olup sistemin geneline yapılan bir verimin tanımı:

$$\eta_{\text{toplam}} = C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (5.12)$$

şeklinde verilebilmektedir. (Can, 2010)

Rüzgâr türbinine ilişkin en yüksek verim %59,26 olarak hesaplanmıştır. Optimum şartlarda modern rüzgâr türbinleri bu verimin 3/4'ünü enerjiye çevirir. Generatör ve dişli kutusunun 2/3'ü elektrik enerjisine çevirmektedir. Bu faktörlerin birleşimi olarak toplam türbin verimi:

$$\eta_{\text{toplam}} = 0,59 \cdot 2/3 \cdot 3/4 = \%29,4 \quad (5.13)$$

değeri elde edilir (Can, 2010).

Bu eşitliklerden yola çıkılacak olursa;

$$P_e = P_r \cdot \eta_{\text{toplam}} \quad W \quad (5.14)$$

şeklinde bulunurken, 5.4 eşitliği 5.14 eşitliğinde yerine konulursa:

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \cdot \eta_{\text{toplam}} \quad W \quad (5.15)$$

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3 \cdot 0,294 \quad W \quad (5.16)$$

Denklemini elde edilir (Can, 2010).

Elde edilecek enerji miktarlarını belirli hale getirebilmek için rotor çapı 3,8 m olan 1,5 kW sınıfından bir rüzgâr türbini seçilerek üretilecek güç hesaplanmaya çalışılmıştır. Yukarıdaki eşitlikte yer alan hava yoğunluğu değeri olan ρ , deniz seviyesindeki standart atmosfer şartlarında kabul edilen yoğunluk olup sayısal değeri $1,225 \text{ kg/m}^3$ 'tür. A rotor dönüşü sırasında taranan alan olup matematiksel bir sabit olan pi sayısı (3,14) ile rotor yarıçapının karesinin çarpımıyla elde edilir. Rotor çapı olan 3,8'in yarısı rotor yarıçapını vereceği için $R=1,9$ m olarak alınır ve $A=3,14 \cdot (1,9)^2$ eşitliğinden $A=11,335 \text{ m}^2$ bulunur. Rüzgâr hızı değeri olan V ise 10 m ve 40 m yüksekliklerde ölçülen rüzgâr hızı değerlerinin

yıllık ortalamasıdır ve bu çalışmada ortalama rüzgâr hızı değeri 4,89 m/s olarak alınmıştır.

Buna göre rüzgâr türbinin çıkışından alınacak elektrik gücü:

$$P_e = 0,5 \cdot 1,225 \cdot 11,335 \cdot (4,89)^3 \cdot 0,294 = 238,672 \quad W \quad (5.17)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Üretilcek elektrik enerjisi miktarı, 2011 yılına ait rüzgar değerleri aylık bazda alınarak hesaplanmış ve Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Rüzgar Türbini Saatlik, Günlük, Aylık Ve Yıllık Üretim Verileri

Aylar	Hız	Saatlik Güç (W)	Saatlik Enerji (kWh)	Günlük Enerji (kWh/gün)	Aylık Enerji (kWh/ay)	Yıllık Enerji (kWh/yıl)
Ocak	2,75	42,449	0,042	1,019	30,563	2.816,212
Şubat	4,30	162,291	0,162	3,895	116,850	
Mart	4,90	240,148	0,240	5,764	172,906	
Nisan	4,00	130,638	0,131	3,135	94,060	
Mayıs	4,45	179,875	0,180	4,317	129,510	
Haziran	7,15	746,118	0,746	17,907	537,205	
Temmuz	7,25	777,865	0,778	18,669	560,063	
Ağustos	7,65	913,849	0,914	21,932	657,971	
Eylül	6,00	440,904	0,441	10,582	317,451	
Ekim	4,15	145,892	0,146	3,501	105,042	
Kasım	3,60	95,235	0,095	2,286	68,569	
Aralık	2,45	36,142	0,036	0,867	26,022	

Bu çalışmada ele alınan sinyalizasyon sisteminin yıllık ortalama enerji ihtiyacı 2.394 kWh olarak belirlenmişti. Tablo 5.6’da hesaplanan değerlere göre yıllık üretilmesi öngörülen enerji miktarı 2.816,212 kWh olup sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılayacağı görülmektedir.

5.2.3. Rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan hibrit sistemin tasarımı

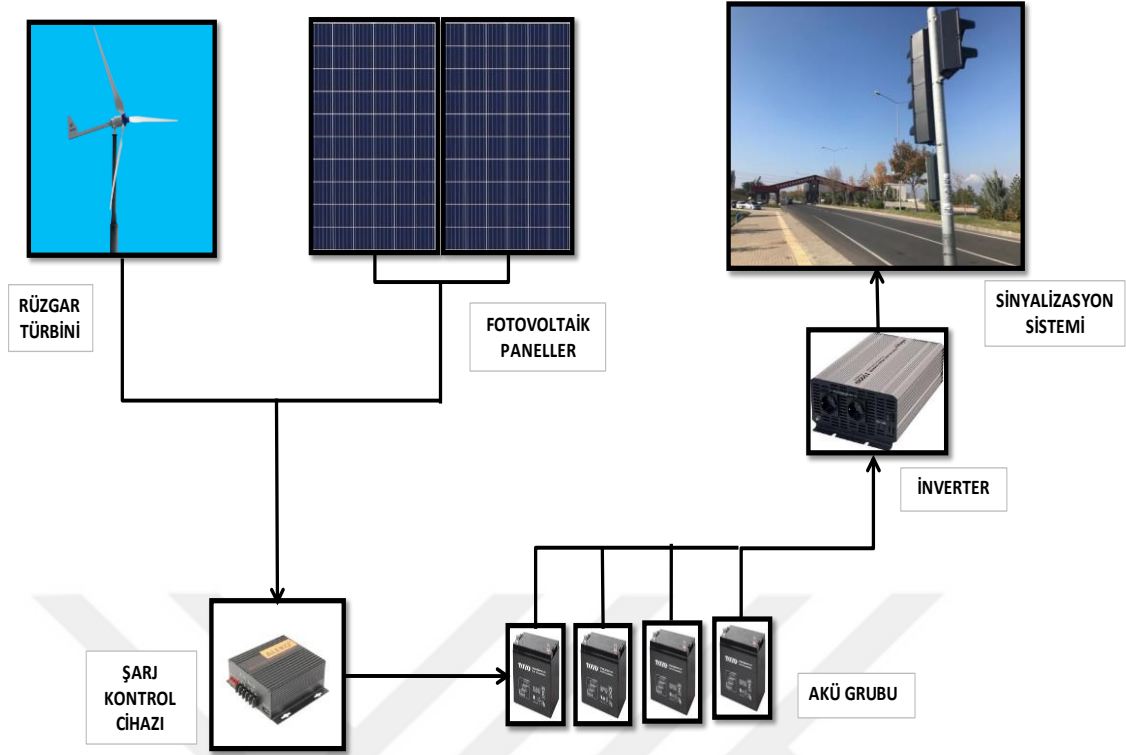
Türkiye'nin mevcut rüzgâr enerjisi potansiyeli, uluslararası rüzgâr türbinleri üreticileri tarafından çok fazla dikkate alınmamaktadır. Ülke genelindeki rüzgârlar genellikle düşük hızlarla esmekte iken uluslararası düzeyde üretilen rüzgâr türbinleri yüksek hızlı rüzgârlara yönelik tasarlanmaktadır. Bu durumda, rüzgâr enerjisi santrali kurulumu yapılacak arazinin rüzgâr karakteristiği ile rüzgâr türbinlerinin karakteristikleri tam olarak uymadığından rüzgâr türbinleri çok yüksek performans göstermemektedir (Tekin., 2016).

Uluslararası düzeyde üretilen rüzgâr türbinleri genellikle I. Ve II. sınıf rüzgâr türbinleridir. Ülkemizdeki rüzgâr hızlarında genel olarak III. sınıf rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. III. sınıf rüzgâr türbinlerinin tam kapasitede ve yüksek verimde çalışabilir hale gelebilmesi için rüzgâr türbinlerinin kanat çapları daha büyük ve direkleri daha sağlam olacak şekilde özel olarak dizayn edilmektedir (Şekerci ve ark., 2009).

Çalışma kapsamında tasarlanan rüzgâr türbini ile yıllık bazda üretilecek olan elektrik enerjisi miktarı 3.017 kWh/yıl, sinyalizasyon sisteminin yıllık ortalama enerji ihtiyacı 2.394 kWh/yıl olarak belirlenmişti. Hesaplanan değerlere göre rüzgâr türbini tarafından yıllık üretilmesi öngörülen enerji miktarının, sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacını fazlasıyla karşılayacağı görülmektedir. Ancak sinyalizasyon sistemlerinde oldukça önem arz eden enerji sürekliliğinin sağlanması adına rüzgârın hiç esmeyeceğinin varsayıldığı durumlar için rüzgâr türbininin yanına 2 adet fotovoltaik panel eklenmesi suretiyle bir hibrit sistem kurulması tasarlanmış ve rüzgârın esmediği durumlarda enerji ihtiyacının güneşten sağlanabileceği öngörülmüştür.

Bu tez çalışmasında tasarlanan hibrit sistemde bulunan elemanlar; 1 adet 1500 W rüzgâr türbini, 1 adet şarj kontrol ünitesi, 4 adet 12 V 200 Ah akü, 1 adet 2000 W invertör, 2 adet 260 W fotovoltaik panel ve 2,5 mm² çapındaki solar kablolardır.

Şekil 5.8'de bu elemanların yer aldığı sistematik şema gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Rüzgar Enerjisi Sistemi Sistemik Şeması

Rüzgâr Türbini: Bu sistemde yer alan rüzgâr türbini; 48 V, 1500 W güç çıkışı veren, 2 m/sn rüzgâr hızında çalışmaya başlayan, 3.80 m rotor çapında 3 kanatlı yapıya sahiptir. Türbine ait diğer teknik detaylar aşağıda yer almakta olan Tablo 5.7 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Rüzgar Türbininin Teknik Özellikleri

Model	FD1500
Anma Gücü (W)	1500
Anma Gerilimi (V)	48
Rotor Çapı (m)	3,80
Başlangıç Rüzgâr Hızı (m/s)	2
Anma Rüzgâr Hızı (m/s)	10
Emniyet Rüzgâr Hızı (m/s)	35
Kanat Sayısı (Adet)	3
Kanat Malzemesi	Naylon Kompozit
Generatör Malzemesi	Alüminyum Döküm

Akü Grubu: Günümüzde güneş panelleri, rüzgâr türbinleri veya hibrit sistemler için kullanılan aküler, üretilen elektriğin depolanmasını sağlarlar ve defalarca kez şarj edilip, deşarj edilebilen özelliğe sahiptirler. Paralel ya da seri bağlanarak talep edilen kapasiteye ulaşılabilir ve bu kapasite de istenilen otonomi süresine göre ayarlanabilir. Bu aküler Amper saat olarak isimlendirilmekte olup genellikle 20 saatlik ve 100 saatlik olarak üretilirler. Buradaki amper saat ifadesi, akım miktarını ifade etmektedir. 100 Ah'lık akü 20 sürekli akımı 5 saatin üzerinde verebilmektedir veya 10 sürekli akımı 10 saatin üzerinde verebilmektedir. Bir başka hesaplamaıyla, 6 Volt'luk 100 Ah'lık aküden $100 \text{ Ah} \times 6$ eşitliğiyle 600 Watt'lık bir güç elde edilmektedir şeklinde ifade edilebilir.

Bu sistemdeki akü grubu, 4 adet seri bağlanmış 12 Volt'luk 100 Ah'lık akülerden oluşmakta olup $12 \text{ Volt} \times 4$ eşitliğiyle 48 Volt gerilim çıkışını sağlamakta, $100 \text{ Ah} \times 12 \text{ Volt}$ eşitliğiyle ise 1200 Watt'lık bir güç elde edilmektedir.

Şarj Kontrol Cihazı: Şarj kontrol cihazları, güneş panelleri veya rüzgâr türbinleri ile üretilen gerilimin değerini dengelemek ve şarj işlemlerini kontrol altına almak için kullanılan bir cihazdır. Bir şarj kontrol cihazı seçilirken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, cihazın gerekli olan en yüksek akıma dayanıklı olmasıdır. Bir diğer önemli nokta, kullanılan akü voltajı ile uyumlu olmasına dikkat edilmesidir.

Bu sistemdeki şarj kontrol cihazı, 48 V 40 Amper'lik olup sistemdeki maksimum akıma dayanıklı özellikte ve kullanılan akü grubunun toplam voltajıyla uyumlu değerdedir.

İnverter: İnverterler, DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Ülkemizdeki şebeke gerilimi 220 Volt olduğundan ve elektrikli cihazlar da 220 Volt AC akımda çalıştığından giriş voltajı 12V, 24 V, 48 V, 96 V gibi farklı değerlerde olsa da genellikle çıkış voltajı 220 Volt olan inverterler tercih edilmektedir. Sinyalizasyon sistemindeki lambalar da 220 Volt alternatif akım ile çalıştıklarından dolayı rüzgâr enerjisinden elde edilip akülerde depolanan doğru akımdan alternatif akıma dönüşüm inverter vasıtasıyla sağlanmaktadır. İnverterlerin çıkış güçlerine ve çıkış dalga özelliklerine göre; tam sinüs dalga, kare dalga ve düzeltilmiş sinüs dalga olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemleri için en uygun özelliklere sahip 'tam sinüs inverter' şebeke elektriği ile aynı kalitede, çoğu zaman ise daha yüksek kalitede çıkış verip hiçbir elektrikli aletin çalışmasında sorun çıkarmamaktadır.

Bu sistemdeki inverter, giriş voltajı 48 Volt olan 2000 W gücündeki tam sinüs inverterdir.

Fotovoltaik Panel: Fotovoltaik paneller, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirebilen ve temel olarak yarı iletken maddeler kullanılarak elde edilmektedir. Güneş panelleri kullanıldıkları malzemeye göre verimleri ortalama %15 civarlarındadır.

Bu sistemdeki fotovoltatik paneller, her biri 260 W gücünde olup 2 adettir ve fotovoltaik panele ait olan diğer teknik detaylar Tablo 5.8’de gösterilmektedir.

Tablo 5.8. Fotovoltaik Panelin Teknik Özellikleri

Anma Gücü (W)	260
Anma Gerilimi (V)	31,2
Açık Devre Gerilimi (V)	38,1
Max Güç Noktası Akımı (A)	8,34
Kısa Devre Akımı (A)	8,76
Hücre Adeti	60
Hücre Tipi	Polikristal
Hücre Ebatı	156mm x156mm
Panel Ebatı	1641mm x 990mm x 40 mm

Solar Kablolar: Rüzgâr ve güneş enerjisi hibrit sisteminde kullanılacak olan kablo seçimi yapılırken kablonun maruz kalacağı dış ortam göz önünde bulundurulmaktadır. Dış ortamın özelliklerine göre kullanılacak kablolar; yanmaya, aşınmaya, kesilmeye ozon ve hava şartlarına karşı dayanıklı, çift izolasyonlu, üzerinden geçebilecek akımı taşıyabilecek kalınlıkta olmalıdır.

Bu sistemdeki solar kablolar, kırmızı ve siyah renklerde, 30 metre uzunluğunda, 2,5 mm² çapındadır. Bu kablolar elektrolit kalaylı, ince çok telli bükülü bakır iletkenlerden oluşmaktadır. UV, ozon ve hava şartlarına, darbelere ve aşınmalara karşı dayanıklıdır. Çift izolasyonlu bir yapıya sahip olup, izolasyon malzemesi çift bağlı özel kılıf içermektedir.

Rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi sistemlerine ait malzemelerin fiyatları belirlenirken çok net ifadeler kullanmak ve kesin sonuçlar gösteren bir maliyet analizi yapmak kolay olmamaktadır. Bu durum farklı firmalar tarafından üretilen türbin, panel, şarj kontrol cihazı, akü, inverter, solar kablolar gibi malzemelerin fiyatlarının değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin türbin üretimi yapan bir firma belirli özellikteki bir ürünü x

TL'ye satabilmekteyken, benzer özelliklerdeki bir ürünü bir başka firma 2x TL'ye satabilmektedir. Bu durumların beraberinde bu çalışmada sistemde kullanılan malzemelerin fiyatları bulunurken, çeşitli enerji firmalarından teklifler alınmıştır. Alınan teklifler değerlendirilerek ortalama düzeyde bir maliyet hesabına ulaşılmıştır.

Çalışma kapsamındaki rüzgâr enerjisi sisteminde bulunan malzemelerin maliyet hesaplaması Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9. Rüzgar Enerjisi Sistemi Fiyat Tablosu

Malzeme	Adet/Metraj (m)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
Rüzgâr Türbini	1	6.500,00	6.500,00
Şarj Kontrol Cihazı	1	450,00	450,00
Akü Grubu	4	900,00	3.600,00
İnverter	1	1.300,00	1.300,00
Fotovoltaik Paneller	2	600,00	1.200,00
Solar Kablo	20	13,00	260,00
Genel Toplam (TL)			13.310,00

5.3. Mevcut Elektrik Dağıtım Şebekesinden Enerji İhtiyacının Karşılanması

5.3.1. Elektrik dağıtım şebekesi ve elektrik faturalarına genel bakış

Elektrik enerjisini üretmeye, iletmeye, dağıtmaya ve tüketmeye yarayan ve bir yerde birbirine bağlanan, elektrikli işletme gereçlerinin tümüne elektrik tesisleri, aynı anma gerilimli ve birbirine bağlı elektrik tesislerinin tümüne şebeke adı verilmektedir. Elektrik şebekesi ise elektrik enerjisinin üretilmesinden tüketilmesine kadarki süreçte enerjinin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde iletilip dağıtılması için oluşturulmuş birleşik bir ağıdır. (Web15)

Elektrik gücü üreten enerji santralleri; üretim kaynaklarından talep merkezlerine enerji aktaran iletim (nakil) hatları ve kullanıcılara bağlantı sağlayan bileşik dağıtım hatlarından oluşmaktadır. Elektrik enerjisinin üretildiği santraller genelde yerleşim birimlerinden uzakta olup bazı yerlerde ise hiç santral bulunmamaktadır. Bu sebeple üretilen enerjinin yerleşim yerlerine ulaştırılması yani iletilmesi gerekmektedir. İletimde kullanılan şebekelere iletim şebekeleri, dağıtımda kullanılan şebekelere de dağıtım şebekeleri denilmektedir (Web16, 2018).

Elektrik şebekeleri kullanıldıkları gerilime göre; alçak gerilim şebekeleri (0-1 kV), orta gerilim şebekeleri (1 kV-35 kV), yüksek gerilim şebekeleri (35 kV-154 kV) ve çok

yüksek gerilim şebekeleri (154 kV ve üzeri) olmak üzere dört kısma ayrılırken, dağıtım şekillerine göre; dallı şebekeler, ring şebekeler, ağ gözlü şebekeler ve enterkonnekte şebekeler olmak üzere dört kısımda incelenir. Ülkemizdeki tüm santraller enterkonnekte şebeke kapsamında birbirlerine paralel bağlı olup enerji nakil hatları ile santraller ve yerleşim birimleri arasında bir ağ şeklinde şebeke tesis edilmiştir (Web17, 2018).

Elektrik enerjisinin gerilim seviyesinin 36 kV ve altındaki hatlar üzerinden nakline dağıtım denilmektedir. Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketine bağlı olan 21 elektrik dağıtım bölgesi özelleştirilmiştir. Dağıtım şirketi, şehir dağıtım ağlarının bakım, onarım ve işletilmesinden sorumludur. Dağıtım şirketlerinden alınan elektrik hizmetin karşılığında, tüketicilerin yaptıkları ödemeleri belirten ve bu alışverişin takibini yapabilecekleri en temel belgelerden biri elektrik faturasıdır (Web18, 2018).

Tüm elektrik birim fiyatları, Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) tarafından ulusal düzeyde bir yılda 4 çeyrek olmak üzere güncellenerek duyurulur. Ocak, Nisan, Haziran ve Ekim aylarından itibaren geçerli olacak şekilde her yıl 4 farklı elektrik tarife tablosu yayınlanır. Elektrik faturaları 3 grup verinin birleşiminden meydana gelir (Web19, 2018):

- Aktif Enerji Tüketim Tutarı
- Dağıtım Bedeli
- Vergiler

Aktif enerji tüketim tutarı (Aktif enerji bedeli): Toplam tüketilen elektrik enerjisi miktarı ile birim fiyat çarpıldığında harcanan elektriğin tutarı, yani Aktif Enerji Tüketim Tutarı bulunur. Elektrik birim fiyatının %52'sini aktif enerji bedeli oluşturur. Elektriğin fiyatındaki indirim ve zamlar bu aktif enerji tüketim tutarına etki etmektedir. Geri kalan kısım EPDK tarafından belirlenmiş bedeller ve vergiler olduğundan elektrik fiyatındaki değişimden etkilenmez, tüketime oranla artar veya azalır (Web19, 2018).

Dağıtım bedeli: Genellikle, elektrik üretim santralleri tüketim merkezlerine (şehirlere) uzaktır. Bu santrallerde üretilen elektrik depolanamaz, bu yüzden şehirlere yüksek gerilim hatlarıyla iletilir. Şehir şebekelerine ulaşan elektriği, o bölgede görevli olan dağıtım şirketi, dağıtım hatlarında taşıyarak tüketicilerin kapısına kadar ulaştırır. Faturalarda görünen bu bedel, dağıtım şirketi tarafından dağıtım şebekesine yapılan yatırımlar, işletme ve bakım giderleri karşılığında alınmaktadır. Bu bedel tüm dağıtım sistemi kullanıcılarından tahsil

edilmektedir. Elektrik faturasında ödenen tutarın %29'u dağıtım şirketlerinin hizmetine ayrılan paydır (Web19, 2018).

Vergiler: Elektrik tüketimi üzerinden dört farklı vergi alınır. Vergiler faturanın %19'una denk gelir (Web20, 2018).

- a) *Enerji Fonu:* Enerji sektörünün gelişimi için yapılacak olan bilimsel araştırmalarını, AR-GE çalışmaların finansmanı sağlamak, etüt, projeleri denetleyebilmek ve kurulacak olan tesislerin maliyetlerini karşılamak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nda bulunan Enerji Fonu'na aktarılmak üzere elektrik faturalarına yansıtılan bedeldir. Bu bedel, aktif enerji tüketim tutarı üzerinden %1 oranında alınır (Web20, 2018).
- b) *TRT Payı:* Türkiye Radyo Televizyon Kurumu'nun gelirlerinin büyük bir kalemını oluşturan TRT payı elektrik faturasına yansıyan bir vergidir. Türkiye Radyo Televizyon Kurumu Gelirleri Kanunları'na ilişkin Bakanlar Kurulu kararıyla TRT giderlerinin karşılanması amacıyla elektrik faturalarına yansıtılan bedeldir. Bu bedel, aktif enerji tüketim tutarının %2'si olarak belirlenir (Web20, 2018).
- c) *Elektrik (Belediye) Tüketim Vergisi – ETV:* Elektrik Tüketim Vergisi'nin bir diğer ismi Belediye Tüketim Vergisi'dir. Bu elektrik tüketim vergisinden elde edilen gelirler belediyelere aktarılır. Böylece elektrik tüketimi yapılan yerin belediyesinin gelirine katkıda bulunulur. Elektrik Faturalarında ETV ya da BTV kısaltmasıyla gösterilir. Bu vergiyi, hastane, sağlık ocağı, dispanser, rehabilitasyon merkezi, doğumevi, bakımevi, kreş gibi yerler, ibadethaneler ve doğrudan elektrik üreten, dağıtan kurumlar ödemezler. Elektrik tüketim vergisi, aktif enerji tüketim tutarı üzerinden hesaplanır ve tarife grubuna göre alınan vergi oranı değişir. Bu oran mesken ve ticarethaneler için %5, sanayi grubu için %1 olarak belirlenmiştir (Web20, 2018).
- d) *Katma Değer Vergisi – KDV:* Katma Değer Vergisi sadece elektrik tüketicilerine özel olmayıp devletin birçok hizmet ve üründe son tüketiciden tahsil ettiği bir vergi çeşididir. KDV, elektrik faturasının tutarını belirleyen önemli bileşenlerden biridir. Diğer vergilerin aksine; tüm bedel ve vergiler toplamı üzerinden hesaplandığı için KDV, fatura tutarını en fazla etkileyen vergi kalemidir. KDV, faturadaki tüm bedeller, vergiler, fonlar ve diğer muhtelif para ilaveleri üzerinden %18 oranında alınır (Web20, 2018).

5.3.2. Şebekeden enerji alınması durumunda oluşan maliyet

Avşar yerleşkesinde bulunan sinyalizasyon sisteminin aylık ortalama enerji ihtiyacı 199,5 kWh olarak belirlenmişti. Bu rakam yıllık bazda hesaplanacak olursa yıllık enerji ihtiyacı 2.394 kWh olarak bulunur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun belirlediği birim fiyat değerleri ışığında, bu değerlere denk gelen maliyet hesabı yapılarak enerji ihtiyacının mevcut elektrik şebekesinden karşılanması durumunda oluşacak bedeller aylık bazda olacak şekilde Tablo 5.10'da belirtilmiştir.

Tablo 5.10.Elektrik Faturalarındaki Bedeller

BEDELLER	BİRİM FİYAT (TL)	TÜKETİM (kWh)	TUTAR (TL)
Dağıtım Bedeli (kWh)	0,135	199,500	26,933
Aktif Tüm (kWh)	0,261	199,500	52,070
1. Ara Toplam	79,002		
VERGİ, FON VE PAYLAR	AKTİF ENERJİ TÜKETİM TUTARI	YÜZDE	TUTAR (TL)
Elektrik Tüketim Vergisi	52,070	0,050	2,604
Enerji Fonu	52,070	0,010	0,521
TRT Payı	52,070	0,020	1,041
	KDV HARİÇ TÜM TUTARLAR	YÜZDE	TUTAR (TL)
Katma Değer Vergisi	83,168	0,180	14,970
2. Ara Toplam	19,136		
GENEL TOPLAM (TL)	98,138		

Şekil 5.11'de ise mevcut elektrik dağıtım şebekesinden enerji alan bir sinyalizasyon abonesine ait fatura örneği yer almaktadır.



AKEDAS
ELEKTRİK DAĞITIM A.Ş.

ELEKTRİK FATURASI



İl Kodu 46

Akedaş Elektrik Dağıtım A.Ş.

Gayberli Mah. 28043. Sokak B Blok No:43/A
Onikişubat /Kahramanmaraş
Fax : 0344 221 53 24
Tel : 0344 221 35 10 / 444 46 02
Ticaret Sicil No : 5929
Kahramanmaraş Aslanbey V.D./0230046303
www.akedasdagitim.com.tr
e-posta: bilgi@akedasdagitim.com.tr

BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE BAŞKANLIĞI SİNY.
Normal Tüketici
Adres: N.FAZIL MAH.N.FAZIL
KIS.BULV.KÜLTÜR SIT.KAVŞAĞI SINYALIZASYO
Vergi Dairesi:
Vergi Numarası:

Ödenecek Tutar 205,24 ₺
Son Ödeme Tarihi 01.11.2018

FATURA TARİHİ :
FATURA SERİ NO :
FATURA SIRA NO :
YAZDIRMA BELGESİ :

Müşteri Numarası	Sözleşme Hesap No	Tesisat Numarası	Tekil Kod	Etso Kodu		
Müşteri Grubu	Tek Ter. Tek Zamanlı Genl. Ayd. AG		Sayaç Bilgisi	Seri No	Marka/Tip	
Kur.Güc(kVA)	6.67	İlk Okuma Tarihi	14.08.2018	Aktif / Kombi		
Sözleşme Gücü	4	Son Okuma Tarihi	28.09.2018			
Fatura Dönemi	2018/09	Sonraki Ok. Dönemi	2018/09			
A. Trf. Oranı		Gün Ort. Tük.(kWh)	9.267			
G. Trf. Oranı		Ekip No				
Önc. Yıl Tük.	4.760.000	Sayaç Okuma Birimi	30XXX999			
Bu Yıllık Tük.	2.865.000	Tüketici Sınıfı	ULUSAL TARIFE	Sayaç Saati / Okuma Saati	00:00/16:56	
	Aktif Tüm	Gündüz	Puant	Gece	Endüktif	Kapasitif
İlk Endeks	36.779,000	18.955,000	8.627,000	9.195,000	0,000	0,000
Son Endeks	37.196,000	19.166,000	8.724,000	9.305,000	0,000	0,000
Fark	417,000	211,000	97,000	110,000	0,000	0,000
Çarpan	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000
Tüketim	417,000	211,000	97,000	110,000	0,000	0,000
Trafo / Hat Kaybı	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Değişen Sayaç Tüketim	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Toplam Tüketim	417,000	211,000	97,000	110,000	0,000	0,000

Bedeller	Tüketim	Ek Tüketim	Birim Fiyat	Tutar
Dağıtım Bedeli (kWh)	418,000	0,000	0,134521	56,23
Aktif Tüm (kWh)	418,000	0,000	0,260700	108,98

1. ARA TOPLAM 165,21

Diğer Bedeller Tutar

Ödeme Yerleri: İş Bankası, Vakıfbank, Ziraat Bankası ve AKEDAŞ vezneleri

Vadesi Geçmiş Borç: 105,870
Vadesi Gelmemiş Borç: 205,240

IHD Öncesi :

2. ARA TOPLAM	165,21
Vergi, Fon ve Paylar	Tutar
Elektrik Tüketim Vergisi	5,45
Enerji Fonu	1,09
TRT Payı	2,18
Katma Değer Vergisi	31,31
FATURA TUTARI	205,24

ÖDENECEK TUTAR 205,24

Şekil 5.11. Sinyalizasyon Abonesi Fatura Örneği

Tüm bu değerler göz önüne alındığında; Ekim 2018 tarifesinde dağıtım şirketinden enerji alan ulusal enerji tarifesinde aylık kullanıma karşılık gelen aktif elektrik birim fiyatının 0,260 TL/kWh, elektrik dağıtım bedelinin 0,135 TL/kWh olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisinin tüketim bedeline diğer hizmet bedellerinin de eklenmesiyle 0,491 TL/kWh değeri elde edilmektedir. Aylık tüketim miktarı göz önüne

alınarak tüketilen enerji için ödenmesi gereken tutar aylık 98,138 TL'dir. Bu tutar yıllık olarak hesap edilirse 1.177,656 TL'lik bir bedel elde edilmektedir.

5.4. Enerji ihtiyacının karşılanmasında oluşacak maliyet hesabı ve karşılaştırılması

Elektrik birim fiyatları, Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) tarafından her üç ayda bir güncellenmektedir. Türkiye'nin elektrik ihtiyacı her geçen yıl artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamaya yönelik elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların büyük bir kısmı ithal edilmekte, yalnızca yerel kaynaklarla bu ihtiyaca cevap verilememektedir. Bu sebeple elektrik fiyatları birçok unsurdan etkilenmektedir. Bunlar; elektrik üretim kaynak maliyetleri, mevsimsel etkenler ve döviz kurundaki değişimler olarak özetlenebilir. Bu sebepten sürekli olarak yükselme eğiliminde olan elektrik fiyatlarının artış rakamını önceden tahmin etmek mümkün görülmemektedir. Bununla beraber Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2003 yılından 2018 yılına kadar olan enflasyon oranları verilerine bakılarak ortalama bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu değerler, Tablo 5.11'de gösterilmektedir (Web21, 2018).

Tablo 5.11. 2003-2018 Yılları Arası Enflasyon Oranları

TARİH	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllar Arası Enflasyon Oranı
2003	94,77	96,23	98,12	99,09	100,04	100,12	99,93	100,09	101,44	102,38	103,68	104,12	
2004	104,81	105,35	106,36	106,89	107,35	107,21	107,72	108,54	109,57	112,03	113,50	113,86	1,09
2005	114,49	114,51	114,81	115,63	116,69	116,81	116,14	117,13	118,33	120,45	122,14	122,65	1,08
2006	123,57	123,84	124,18	125,84	128,20	128,63	129,72	129,15	130,81	132,47	134,18	134,49	1,10
2007	135,84	136,42	137,67	139,33	140,03	139,69	138,67	138,70	140,13	142,67	145,45	145,77	1,08
2008	146,94	148,84	150,27	152,79	155,07	154,51	155,40	155,02	155,72	159,77	161,10	160,44	1,12
2009	160,90	160,35	162,12	162,15	163,19	163,37	163,78	163,29	163,93	167,88	170,01	170,91	1,05
2010	174,07	176,59	177,62	178,68	178,04	177,04	176,19	176,90	179,07	182,35	182,40	181,85	1,09
2011	182,60	183,93	184,70	186,30	190,81	188,08	187,31	188,67	190,09	196,31	199,70	200,85	1,08
2012	201,98	203,12	203,96	207,05	206,61	204,76	204,29	205,43	207,55	211,62	212,42	213,23	1,08
2013	216,74	217,39	218,83	219,75	220,07	221,75	222,44	222,21	223,91	227,94	227,96	229,01	1,08
2014	233,54	234,54	237,18	240,37	241,32	242,07	243,17	243,40	243,74	248,37	248,82	247,72	1,09
2015	250,45	252,24	255,23	259,39	260,85	259,51	259,74	260,78	263,11	267,20	268,98	269,54	1,08
2016	274,44	274,38	274,27	276,42	278,02	279,33	282,58	281,76	282,27	286,33	287,81	292,54	1,07
2017	299,74	302,17	305,24	309,23	310,61	309,78	310,24	311,85	313,88	320,40	325,18	327,41	1,12
2018	330,75	333,17	336,48	342,78	348,34	357,44	359,41	367,66	390,84	401,27			1,25
Ortalama Enflasyon Oranı													1,10

Bu veriler ışığında; 15 yıllık ortalama enflasyon değerinin 1,10 olduğu görülmüş ve bundan sonraki süreçte de ortalama %10 zam olacağı öngörüldüğünde elektrik fatura bedeli yıllık bazda hesaplanmış ve Tablo 5.12’de gösterilmiştir.

Tablo 5.12. Enflasyon Verilerine Göre Fatura Bedelleri

Yıl	Enflasyon Oranı	Fatura Bedeli (TL)
2018	1,1	1.177,656
2019	1,1	1.295,421
2020	1,1	1.424,963
2021	1,1	1.567,460
2022	1,1	1.724,206
2023	1,1	1.896,626
2024	1,1	2.086,289
2025	1,1	2.294,918
2026	1,1	2.524,410
2027	1,1	2.776,851
2028	1,1	3.054,536
2029	1,1	3.359,990
2030	1,1	3.695,989
2031	1,1	4.065,587
2032	1,1	4.472,146

Sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacının karşılanmasında öngörülen ilk 7 yılın toplam fatura maliyeti: 13.467,539 TL’dir.

Rüzgâr enerjisi sisteminin toplam maliyeti Tablo 5.9’da verilmişti. Buna göre bir adet rüzgâr türbini ve iki adet fotovoltaiik panelden oluşan hibrit sistemin maliyeti: 13.310 TL’dir.

Bu değerlerin karşılaştırılması ve hesaplanması yapılarak hibrit sistemin amortisman süresi olarak ifade edilen geri ödeme süresi:

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Hibrit Sistem Maliyeti}}{\text{Ortalama Fatura Maliyeti}} \quad (5.18)$$

formülü kullanılarak bulunabilir.

Hibrit Sistem Maliyeti: 13.310 TL

Ortalama Fatura Maliyeti: $13.467,539 / 8 = 1.683,442$ TL

Geri Ödeme Süresi: $13.310 / 1.683,442 = 7,90 \sim 8$ Yıl

olarak bulunabilmektedir.

Yapılan analizler incelendiğinde, kurulacak hibrit sistemin 8 yılın sonunda maliyetini karşılayacağı görülmüştür. Rüzgâr türbinlerinin ve fotovoltaik panellerin ortalama 20 yıl kullanılabileceği hesaba katıldığında geriye kalan 12 yılda ücret ödenmeden sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacı karşılanmış olacaktır.



6. SONUÇ

Fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervlerinin sınırlı olup bir gün tükenecek olması gerçeğinin yanı sıra çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlardan dolayı dünya genelinde alternatif enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Bu enerji kaynaklarının dâhilinde yer alan rüzgâr ve güneş enerjisi; temiz ve tükenmez olması, ham madde maliyetinin olmaması ve gelişen teknoloji ile birlikte daha düşük başlangıç maliyetiyle kurulum sağlanması sebeplerinden dolayı gün geçtikçe daha fazla talep görmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli bakımından zengin bir ülke olan ülkemizde mevcut kurulu kapasite bu yüksek potansiyelin altında kalmıştır. Bu potansiyeli kullanmak üzerine oluşturulacak politikalar ile enerjide dışa bağımlılık önemli ölçüde azalacak ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine bir adım daha yaklaşılmış olunacaktır.

Bu çalışmada, şehir içi ve şehirlerarası trafik lambalarından ve bunlara kumanda eden cihazlardan oluşan sinyalizasyon sistemlerinin enerji ihtiyacının rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan bir hibrit sistem ile karşılanması durumu ele alınmıştır. Ülke genelindeki aydınlatma sistemleri kapsamında yer alan sinyalizasyon sistemleri; cadde-sokak, park-bahçe, yürüyüş yolu gibi aydınlatma türlerinden farklı olarak daha az enerjiye ihtiyaç duyan ve olası trafik kazalarının önüne geçilmesi hususundaki önemi gereği enerjisinin kesintisiz olması gereken bir sistemdir. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü içerisinde bulunan sinyalizasyon sisteminin enerji ihtiyacının karşılanması; rüzgâr türbini, fotovoltaik paneller, şarj kontrol cihazı, akü grubu ve inverterden oluşan bir hibrit sistem ile sağlanmıştır. Enerji ihtiyacının, mevcut şebekeden karşılanması durumu ile tasarlanan hibrit sistemden karşılanması durumu incelenmiş ve hibrit sisteme yapılan yatırımın 8 yılda kendini amorti edeceği görülmüştür. Rüzgâr türbinlerinin ve fotovoltaik panellerin ortalama kullanım ömürlerinin 20 yıl olduğu göz önüne alınarak geriye kalan 12 yılda kullanılacak olan elektrik enerjisine ödeme yapılmayacağı ve dolayısıyla böyle bir yatırımın mantıklı olacağı düşünülmüştür.

Burada gerçekleştirilen hibrit sistemin düşük güçte bir sistem olması ile birlikte bu tarz çalışmaların daha yüksek güçlerde de gerçekleştirilmesi mümkündür. Mevcut sistem bu haliyle düşük güç ihtiyacı bulunan uygulamalarda kolaylıkla kullanılabilirken bu düşünceden yola çıkıldığında, ülkemizdeki rüzgâr ve güneş verileri yeterli olan bölgelerde bulunan sinyalizasyon sistemlerinin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla düşük güçlü sistemler kurularak ucuz ve kesintisiz enerjinin üretilmesi sağlanabileceği sonucuna ulaşılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Ayfer M.Ö., (1977). Trafik Sinyalizasyonu, Ankara: Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.
- Bayhan S., (2012). Çift Beslemeli Asenkron Generatör İçin Etkin Bir Denetleyici Tasarımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi.
- Boukhezzer B., Siguerdidjane H., (2009). Nonlinear control with wind estimation of a DFIG Variable Speed Wind Turbine For Power Capture Optimization, Energy Conversion and Management, *Elsevier*, 50, 885-892.
- Can T.M., (2010). Rüzgâr ve Güneş Enerjisi ile Bir Pompanın İhtiyacı Olan Elektrik Enerjisinin Sağlanması, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Çetin N.S., (2006). Şebeke Bağlantısız PM Generatörlü Rüzgâr Türbinlerinin YSA ile Sistem Optimizasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı.
- Çolak İ., Bülbül H.I., Sağiroğlu S., Sahin M., (2012). Modeling a Permanent Magnet Synchronous Generator Used in Wind Turbine and the Realization of Voltage Control on the Model with Artificial Neural Networks, Renewable Energy Research and Applications, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Araştırma ve Uygulamaları Konferansı.
- Dağüstü H.Ş., (2012). Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Demirtaş, M., (2008). Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı.
- Driesen J., De Brabandere K., D'hulst R., Belmans R., (2005). Small wind turbines in the built environment: opportunities and grid-connection issues", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2:1948 – 1949.
- Durdyev S., (2010). Rüzgâr Enerjisinde Uygun Türbin Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Dursun E., Binark A.K., (2008). Rüzgâr Türbinlerinde Kullanılan Generatörler, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008.
- Elibüyük U., Üçgül İ., (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgar Enerjisi Depolama Yöntemleri, *Yekarum e-Dergi*.
- Elliot D., (2007). Sustainable Energy: Opportunities and Limitations, Palgrave Macmillan Publications.

- Güzelbeyoğlu N., (2005). Elektrik Makinaları I-II Teori-Çözümlü Problemler, Birsen yayınevi.
- İmal M., Şekkeli M., Yıldız C., (2012). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ana Kampüste Rüzgâr Enerji Potansiyeli Araştırması ve Değerlendirmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2).
- Kim, H.,S., Lu, D., D., (2010). Wind Energy Conversion System From Electrical Perspective – A Survey, *Smart Grid and Renewable Energy*, Australia, Vol:1 No:3, Article ID:3324.
- Koç E., Güven N., (2011). Değişken Hızlı Rüzgâr Türbinlerinin Modellenmesi ve Arıza Sonrası Sisteme Katkı Yeteneklerinin İncelenmesi, *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 1.
- Koroğlu T., Teke A., Bayındır K.Ç., Tümay M., (2010). Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sayı:439.
- Köse F., Özgören M., (2006). Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgâr Türbini Seçimi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt:46, Sayı:551.
- Mergen A.F., Zorlu S., (2005). Elektrik Makineleri II Asenkron Makineler, Birsen Yayınevi.
- Messaoud M., Abdessamed R., (2011). Modeling And Optimization Of Wind Turbine Driving Permanent Magnet Synchronous Generator, *JJMIE Volume 5, Number 6*.
- Özcan İ., (2011). Isparta İlinde Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bir Rüzgâr Santrali Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı.
- Özdamar, A., (2001). Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Türbinlerine Genel Bakış, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Kitapçığı, İzmir, 242-254s.
- Özdirim M., (1994). Trafik Mühendisliği I ve II. Ankara: Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası.
- Pentland W., (2009). Solar Energy: A Synopsis of Everything Under the Sun.
- Rahim A.H.M.A., Ahsanul Alam M., Kandlawala M.F., (2009). Dynamic Performance Improvement of An Isolated Wind Turbine Induction Generator, *Computers and Electrical Engineering*, 35, 594-607.
- Sarıoğlu M.K., Gökaşan M., Boğosyan S., (2003). Asenkron Makinalar ve Kontrolü, Birsen Yayınevi.
- Seri İ.H., (2016). Rüzgâr Türbini Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi ve Türbin Kanat Tasarımlarının Analiz Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

- Şekerci E., Elfarra M., Albasan C., (2009). Rüzgâr Türbini Tahmini Yıllık Enerji Üretim Hesaplama Yöntemleri ve Araziye Uygun Rüzgâr Türbini Seçimi, Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu, EMO.
- Şenel M.C., Koç E., (2015). Dünyada ve Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt: 56, Sayı: 663.
- Taşkın A., (2013). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Yaşam Döngü Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Tekin M., Gani A., Açıkgöz H., Keçecioğlu Ö.F., Şekkeli M., (2016). Kahramanmaraş'ın Geleneksel ve Yenilenebilir Kaynaklı Elektrik Üretiminde Türkiye'deki Rolü, 10th International Clean Energy Symposium (ICES).
- Temiz Dünya Ekoloji Derneği, (2009). Temiz Dünya Rehberi Güneş Enerjisi, Fotovoltaiklerin Tarihçesi.
- Toprak A., (2011). Elektrik Üretimi İçin Düşük Güçlü Rüzgar Enerjisi Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Tunçalp K., (2002). Sucu M., Oğuz Y., Trafik Sinyalizasyonunda Enerji Tasarrufunun Sağlanabilmesi İçin LED'lerin Kullanımı, 4.Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul.
- Ünsalver C., (2008). Rüzgâr Enerji Sistemlerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Web1, 2018. www.iea.org (Erişim Tarihi: 10.08.2018)
- Web2, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik> (Erişim Tarihi: 08.09.2018)
- Web3, <http://cografyaharita.com/haritalarim/4eturkiye-hidroelektrik-santralleri-haritasib-2017.png> (Erişim Tarihi: 03.04.2018)
- Web4, <http://www.enerjiatlasi.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye> (Erişim Tarihi: 07.09.2018)
- Web5, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim Tarihi: 11.11.2018)
- Web6, <http://water.usgs.gov/edu/wuhy.html> (Erişim Tarihi: 02.07.2018)
- Web7, <https://www.mgm.gov.tr/genel/ruzgar-atlasi.aspx> (Erişim Tarihi: 08.06.2018)
- Web8, <http://www.enerjiatlasi.com/elektrik-uretimi/ruzgar> (Erişim Tarihi: 08.11.2018)
- Web9, <https://www.trthaber.com/haber/yasam/dunyanin-ilk-elektrikli-trafik-isiklari-104-yil-once-kullanildi-378663.html> (Erişim Tarihi: 08.05.2018)
- Web10, 2018. <http://emlakansiklopedisi.com/wiki/trafik-isiklarinin-tarihcesi> (Erişim Tarihi: 12.03.2018)

- Web11, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/06/20080609-3.htm> (Erişim Tarihi: 10.11.2018)
- Web12, http://bogaziciasfalt.com/kgm_sartname_2013.pdf (Erişim Tarihi: 07.10.2018)
- Web13, <http://www.aydinlatma.org/trafik-lambalarinda-mevcut-en-iyi-teknoloji-ledler-mi.html> (Erişim Tarihi: 03.07.2018)
- Web14, <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/KAHRAMANMARAS-REPA.pdf> (Erişim Tarihi: 08.11.2018)
- Web15, <https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1EnerjiUretimiIletimiVeDagitimi/unite10.pdf> (Erişim Tarihi: 13.11.2018)
- Web16, <http://emhk.itu.edu.tr/elektrik-dagitim-sebekeleri/> (Erişim Tarihi: 08.06.2018)
- Web17, <https://www.elektrikport.com/universite/elektrik-dagitim-sebekeleri/8703#ad-image-0> (Erişim Tarihi: 25.04.2018)
- Web18, <https://elektriksepeti.com/tuketici-sozlugu/dagitim-sirketi> (Erişim Tarihi: 26.08.2018)
- Web19, <https://gazelektrik.com/enerji-piyasalari/elektrik-bedel-vergi> (Erişim Tarihi: 08.09.2018)
- Web20, <https://akillitarife.com/elektrik-fatura-tum-bilgiler> (Erişim Tarihi: 08.09.2018)
- Web21, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (Erişim Tarihi: 20.11.2018)
- Web22, <https://www.voltimum.com.tr/target-group/ana-sayfa?page=201> (Erişim Tarihi: 03.07.2018)
- Web23, <https://www.enerji.gen.tr/dunyada-gunes-enerjisi.html> (Erişim Tarihi: 08.10.2018)
- Web24, <http://gazetearsivi.milliyet.com.tr/Arsiv/1985/09/30> (Erişim Tarihi: 17.11.2018)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Fatma AVLİ FIRIŞ
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 11.09.1991, Adana
Medeni hali : Evli
e-posta : fatma.avlifiris@akedasdagitim.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	KSÜ / Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2013
Lise	Adana Ramazan Atıl Lisesi	2009

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2015-halen	Akedaş Elektrik Dağıtım A.Ş.	Genel Aydınlatma Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Avli Fırış F., Tekin M., Karadöl İ., Şekkeli M., (2018). Alternatif Enerji Üretim Kaynaklarıyla Sinyalizasyon Sistemlerinin Elektrik İhtiyacının Karşılanması, 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress, Paper ID:35, Adana

Hobiler

Doğa Bilimleri, Fotoğrafçılık, Kitap okumak, Spor yapmak.