

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yunus Emre TAŞKIN**

**ENTEĞRE RÜZGAR VE FOTOVOLTAİK (PV) ENERJİ  
SİSTEMLERİNİN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ADANA-2019**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENTEĞRE RÜZGAR VE FOTOVOLTAİK (PV) ENERJİ  
SİSTEMLERİNİN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

**Yunus Emre TAŞKIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANA BİLİM DALI**

Bu Tez / /2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir

.....  
Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK  
DANIŞMAN

.....  
Prof. Dr. CebraİL GÜMÜŞ  
ÜYE

.....  
Doç. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR  
ÜYE

Bu tez Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalında  
hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Mustafa GÖK  
Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge  
ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat  
Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



**ÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENTEĞRE RÜZGAR VE FOTOVOLTAİK (PV) ENERJİ  
SİSTEMLERİNİN PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

**Yunus Emre TAŞKIN**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK  
Yıl: 2019 Sayfa:79  
Üye : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK  
: Prof. Dr. Cebrail GÜMÜŞ  
: Doç. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR

Enerji, sahip olduğumuz medeniyetin temel taşlarından birini oluşturmaktadır. Temiz, ucuz, bol ve dünyada her yerde bulunabilen mükemmel bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden en verimli bir şekilde yararlanma yolları son yıllarda artarak araştırılmaktadır. Güneş enerjisi bakımından yeterli potansiyeli bulunan ülkemiz için de güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanma yollarının araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmalar sonucu, Güneş enerjisi ile çalışan ve güç üreten entegre(hibrit) sistemler üzerine bir çok bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada Güneş kaynaklı fotovoltaik paneller ile rüzgar jeneratörü sisteminden oluşan hibrit enerji sistemi tasarlanarak verim araştırması yapılmıştır. Güneş paneli ve dikey eksenli rüzgar türbinlerinden çıkan güçleri ve günün farklı saatlerindeki ve farklı rüzgar gücünde üretim aralıkları kontrol edilerek sistem analiz edilmiş. Verimli ve sürekli üretim sağlanmıştır. Buradan elde edilen kuramsal sonuçların, yapılması planlanan entegre sistemler hakkında önceden gerçeğe yakın ve doğru tahminler yapılması konusunda yardımcı olacağı kanaatindeyiz.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Fotovoltaik Paneller, Dikey Eksenli Rüzgar Türbini, Hibrit Enerji sistemleri

## ABSTRACT

### MSc THESIS

# INVESTIGATION OF PERFORMANCE THE INTEGRATED WIND AND PHOTOVOLTAIC (PV) ENERGY SYSTEMS

Yunus Emre TAŞKIN

CUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF PHYSICS

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK  
Year 2019 Page: 79  
Jury : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK  
: Prof. Dr. Cebrail GÜMÜŞ  
: Assoc. Prof. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR

Energy is one of the cornerstones of the civilization what we have. In recent years is increasingly being investigated to the most efficient way to benefit from solar energy which is Clean, inexpensive, abundant and can be found everywhere in the World as a perfect energy source. For our country, which has sufficient potential in terms of solar energy, it is of great importance to search for ways to make the most efficient use of solar energy. As a result of these researches, many scientific studies are carried out on integrated (hybrid) systems that work with solar energy and produce power. In this study, a hybrid energy system consisting of solar source photovoltaic panels and wind turbine system is designed and efficiency research is carried out. The system was analyzed by controlling the power output from solar panel and vertical axis wind turbines and production intervals at different times of the day and at different wind power. Efficient and continuous production is ensured. We believe that the theoretical results obtained here will help to make accurate and accurate predictions about the planned integrated systems.

**Keywords:** Energy, Photovoltaic Panels, Vertical Axis Wind Turbine, Hybrid Energy Systems

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Entegre rüzgar-güneş enerji sisteminin performansının araştırılmasına dayalı bu çalışmamızda hibrit enerji kaynaklarının kullanım amaçları yöntemleri ve elde edilen verim araştırılarak incelenmiştir. Çalışmada Güneş enerjisi ve rüzgar enerjileri araştırılmıştır. Enerji potansiyeli belirlenmiş ve çağımızın gereksinimleri doğrultusunda bu sonsuz enerji kaynaklarından elektrik üretme yöntemleri üzerine çalışılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım yöntemleri Güneş-Rüzgar özelinde ele alınmış Dünya ve Türkiye’de kullanım oranları karşılaştırılmıştır. Ülkemizdeki güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin potansiyelleri Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine dayandırılarak ortaya konulmuştur. Elde ettiğimiz verilere göre ülkemizdeki elektrik üretimi ve toplam üretimdeki payı karşılaştırılmıştır.

Fotovoltaik (PV) paneller ve rüzgar türbininden oluşan sistem kurulmuştur. Kurduğumuz sistemde 2 adet 195W monokristal güneş paneli ve 350W gücünde elektrik motoruna bağlı dikey eksenli rüzgar türbini mevcuttur. Dikey eksenli rüzgar türbini seçmemizin amacı ise daha düşük rüzgar hızının olduğu 2-6 m/s hız aralığında da az da olsa elektrik üretmek ve bir süreklilik sağlayabilmektedir. Bilindiği gibi rüzgar enerjisinden elektrik kullanım imkanlarında ortalama 8 m/s ve üzeri rüzgar hızlarında verimli şekilde çalışılmaktadır. Türkiye rüzgar potansiyeli olarak ortalama değerlere sahip olduğundan dolayı bazı bölgeler dışında genel rüzgar hızı yaklaşık 6 m/s hızı değerindedir. Bu da bizim çalışma amacımızın uygunluğunu ortaya koymaktadır. Çalışmadaki amacımız büyük rüzgar hızlarına uygun kurulu olan devasa yatay eksenli ticari rüzgar türbinlerinden ziyade şehir merkezleri, kırsal alanlar, bağ evleri, köy ve köy altı yerleşimlerde temel ihtiyaçları karşılayabilecek, yaklaşık 2 m/s hızla dönmeye başlayacak, direk ve yüksekliğe ihtiyaç duyulmayan dikey eksenli rüzgar türbini kurarak güneş panellerine destek ve sürekli üretim sağlamaktır.

Bu çalışmada kullanılan rüzgar türbini motoru ve güneş paneli dışında kalan sistem bileşenleri tarafımızca tasarlanmış ve üretilmiştir. Hazır türbin almak yerine kendi türbinimizi üretmemizin amacı sistemin kurulumunun yüksek maliyet ve teknoloji gerektirmeden de yapılabilecek olması hissiyatı uyandırarak bilinç artırmak ve teşvik etmektir. Bununla birlikte kullanılan malzemeler de türbin kanadının tüm iskeleti hurda metalden üretilerek farkındalık yaratılmak istenmiştir. Tamamen çevre dostu olan, yeşil enerji olarak tanımlanan, karbon bileşeni gazlar salmayan bu sistemin üretim aşamasının da aynı şekilde geri dönüşüme giden atık ürünlerden kullanılması hem maliyeti düşürmüştür hem de sosyal sorumluluk bilincine katkı sağlamıştır.

Rüzgar türbini ve güneş panellerinden oluşan hibrit sistemimizin kurulumu gerçekleştirilerek belirli periyotlarda gözlem yapılmıştır. Güneş panellerinden gün boyu gelen elektriğin akımı ve gerilim değerleri okunmuş invertör üzerinden bilgisayara aktararak veri kaydı yapılmıştır. Rüzgar türbinine belirli hızlarda rüzgar hızı verilmiş ve bu rüzgar hızı ve anlık sıcaklık anemometre ile ölçülmüş veriler UNI-T IENV programı ile akıllı telefona kaydedilmiş ve grafiklendirilmiştir. Multimetre yardımı ile rüzgar türbininin belirli aralıklardaki rüzgar hızlarındaki çalışması incelenerek ürettiği elektrik ölçülmüştür. Multimetre üzerinde okunan volt ve gerilim değerleri kaydedilmiş ve teorik verilerle kıyaslama yapılarak kurulan sistemin verimliliği incelenmiştir. Meteoroloji verilerine göre yılın belirli dönemlerindeki rüzgar hızları göz önünde bulundurularak mevsim normallerine uygun rüzgar hızları doğal ve yapay olarak gönderilmiştir.

Çalışma sonunda elde edilen veriler değerlendirilmiş sistemin faydaları ve dezavantajları araştırılmıştır. Rüzgar türbininden az da olsa elektrik üretilmiş kurulum maliyetinin düşük olduğu düşünülürse kesinlikle yararlı ve geliştirilebilir olduğu anlaşılmıştır. Sistemimizin nasıl daha verimli hale getirileceği tartışılarak rüzgar türbininin motor gücü ve kanat tasarımının çeşitlendirilmesinin faydalı olacağı kanaatine varılmıştır. Bu bağlamda çalışmamız sonraki çalışmalara ışık tutacak niteliktedir.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi çalışmam boyunca gerek tez öncesi ve gerekse sonrasında desteğini esirgemeyen, fikirleri ve tavsiyeleriyle bana yön veren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Çalışmam boyunca yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Müzeyyen ÇİLOĞULLARI'na, Halil İbrahim ÖKSÜZ, Saygın ŞAN, Mehmet Selim ASLAN'a ve tüm Fizik Bölümü hocalarıma saygı ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak bütün hayatım boyunca bana olan inancımı ve desteğini asla esirgemeyen her zaman yanımda olan en değerli varlığım canım aileme çok teşekkür eder sevgi ve saygılarımı sunarım.



<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
ÖZ .....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER .....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	7
3. MATERYAL VE METOD.....	15
3.1. Materyal .....	15
3.1.1. Güneş Enerjisi .....	15
3.1.1.1. Güneş Havuzları .....	20
3.1.1.2. Güneş Kolektörleri .....	21
3.1.1.3. Güneş Çanakları ve Parabolik Paneller .....	22
3.1.1.4. Güneş Kulesi .....	23
3.1.1.5. Güneş Pilleri .....	24
3.1.2. Rüzgar Enerjisi.....	25
3.1.3. Fotovoltaik Panel(PV).....	35
3.1.4. Dikey Eksenli Rüzgar Türbini(DERT) .....	40
3.1.5. İnverter .....	47
3.1.6. Akümülatör(Batarya) .....	49
3.1.7. Anemometre.....	51
3.1.8. Multimetre.....	52
3.2. Metod .....	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61

5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 1.1. Ülkelere göre 2015 yılı elektrik üretim miktarı ve oranları(ETKB,2017).....	2
Çizelge 1.2. Türkiye’de birincil kaynaklara göre 3 yıllık elektrik üretim miktar ve oranları (ETKB,2017).....	2
Çizelge 1.3. Ülkeler Birincil Enerji Tüketimi(Milyon TEP)(ETKB,2017) .....	3
Çizelge 3.1. Ülkelere göre rüzgar enerjisi kurulu gücü ve Dünya sıralaması.....	32
Çizelge 3.2. Linuo Power monokristal güneş paneli elektriksel özellikleri.....	39
Çizelge 3.3. Rotor büyüklüğü- Maksimum güç ilişkisi .....	41
Çizelge 3.4. Jel akü teknik özellikleri .....	51
Çizelge 3.5. Anemometre teknik özellikleri .....	52
Çizelge 4.1. 11 Aralık 2018 saat başı ve anlık toplam güç üretimi.....	64
Çizelge 4.2. 31 Ağustos 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi.....	64
Çizelge 4.3. 15 Eylül 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi .....	65
Çizelge 4.4. 30 Eylül 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi .....	66
Çizelge 4.5. 20 Ekim 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi .....	67
Çizelge 4.6. 1 Kasım 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi .....	68



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1.	Kaynaklarına Göre Dünya 2016 Yılı Elektrik Üretimi Oranları (UEA,2018).....	4
Şekil 3.1.	Güneşte meydana gelen füzyon reaksiyonu (Demircan,2017).....	17
Şekil 3.2.	Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası(GEPA)(YEGM,2019).....	18
Şekil 3.3.	Türkiye’de aylara göre ortalama günlük güneşlenme süresi( YEGM,2019).....	19
Şekil 3.4.	Güneş havuzu şeması .....	21
Şekil 3.5.	Güneş Kolektörü şeması.....	22
Şekil 3.6.	Güneş Çanağı uygulaması .....	23
Şekil 3.7.	Parabolik Güneş Paneli .....	23
Şekil 3.8.	İspanya Sevilla PS20 Merkezi alıcılı güneş enerji sistemi .....	24
Şekil 3.9.	Güneş pili ve fotovoltaik modül görüntüsü (YEGM,2019).....	25
Şekil 3.10.	Rüzgarın oluşumu ( MGM,2019).....	26
Şekil 3.11.	Dikey eksenli rüzgar gülü ve yel değirmeni.....	27
Şekil 3.12.	Paul La Cour tarafından icat edilen ilk rüzgar türbini.....	28
Şekil 3.13.	Charles F. Brush tarafından yapılan ilk rüzgar türbini .....	29
Şekil 3.14.	1941 yılında kurulan 1250 kW güce sahip ilk YERT .....	30
Şekil 3.15.	YERT iç yapısı ve bileşenleri(KBT,2015) .....	31
Şekil 3.16.	Türkiye’de yıllara göre rüzgar enerjisi kurulu gücü.....	33
Şekil 3.17.	Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası 50 m yükseklik (YEGM,2019).....	34
Şekil 3.18.	Güneş pilinden elektrik üretim şeması .....	35
Şekil 3.19.	Güneş hücresinin yapısı.....	36
Şekil 3.20.	Güneş hücresinin elektriksel iç devre yapısı .....	37
Şekil 3.21.	Rüzgar türbininde kullanılan elektrik motoru .....	43
Şekil 3.22.	Dikey eksenli rüzgar türbini kanadının karşıdan görünümü .....	44
Şekil 3.23.	Dikey eksenli rüzgar türbini kanadının üstten görünümü .....	45

Şekil 3.24.	Tommatech marka inverter.....	47
Şekil 3.25.	Tommatech inverter teknik özellikleri .....	48
Şekil 3.26.	Yiğit marka 12V 150 Ah jel akü .....	50
Şekil 3.27.	UNI-T UT70A Dijital Multimetre görüntüsü.....	54
Şekil 3.28.	Torna makinasında üretilen aparat ve monte edilmiş motor .....	56
Şekil 3.29.	Motorun panel üzerindeki profile sabitleme montajı .....	56
Şekil 3.30.	Galvanizli sacın bükülmesi işlemi.....	57
Şekil 3.31.	Kanat iskeletinin üretimi .....	58
Şekil 3.32.	Kanat iskeleti üretimi kaynak aşaması .....	59
Şekil 3.33.	Kurulumu tamamlanan hibrit enerji sistemi görüntüsü .....	60
Şekil 4.1.	WatchPower programı arayüz görüntüsü .....	61
Şekil 4.2.	WatchPower uygulamasından veri kaydetme aralığı belirleme ekranı .....	62
Şekil 4.3.	WatchPower üzerinden kaydedilen verilerin görüntülenme sayfası.....	62
Şekil 4.4.	1 Ağustos 2019 saat 12:00 da anlık olarak inverterda okunan voltaj değeri.....	63
Şekil 4.5.	Kasım- Aralık 2018 tarihleri aylık ortalama güç.....	69
Şekil 4.6.	Temmuz- Ekim 2019 tarihleri aylık ortalama güç.....	69
Şekil 4.7.	Rüzgar türbininin dönmeye başladığı rüzgar hızı grafiği.....	70
Şekil 4.8.	Çukurova Üniversitesi ortalama yıllık rüzgar hızı baz alınarak türbine verilen rüzgar grafiği.....	70
Şekil 4.9.	Çeşitli rüzgar hızlarında üretilen elektrik değerleri.....	71
Şekil 4.10.	Çeşitli rüzgar hızlarında üretilen güç- teorik güç hesabı .....	71
Şekil 4.11.	Adana ili aylara göre rüzgar hızı dağılımı .....	72

## SİMGELER VE KISALTMALAR

TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
PV	: Fotovoltaik Panel
AU	: Astronomik Birim
W	: Watt
P	: Güç ( power)
DERT	: Dikey Eksenli Rüzgar Türbini
YERT	: Yatay Eksenli Rüzgar Türbini
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
GTS	: Güneş Takip Sistemi
AU	: Astronomik Birim ( Güneş-Dünya arasındaki mesafe)
E	: Enerji
m	: kütle
c	: ışık hızı
$I_{PV}$	: PV panelin akımı
$I_{SD}$	: Diyot akımı
D	: Diyot
$R_P$	: PV panelin direnci
$R_S$	: PV panelin seri direnci
$V_{PV}$	: PV panelin çıkış gerilimi
$\rho$	: Hava yoğunluğu
V	: rüzgar türbininin olduğu yerdeki rüzgar hızı
A	: Türbin kanadının süpürdüğü alan
s	: saniye







## 1. GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun var olduğu ve medeniyetlerin inşasından beri en temel ihtiyaçların başında gelmiştir. Topluluklar zaman içerisinde tüm gelişmelerinde enerjiyi doğrudan veya dolaylı olarak enerjiye gereksinim duymuşlardır. Isınma, aydınlanma, sağlık gibi temel gereksinimlerden uzay araştırmaları teknolojik çalışmalara kadar her alanda enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. İnsanlığın gelişmesi ve toplumsal refahı artırma çabaları enerjinin de kullanım alanlarını artırmıştır. İlk başlarda temel gereksinimlerle ilkel olarak kullanılan enerji kaynakları zamanla sanayi devrimi ve coğrafi keşiflerle birlikte üretim ve konforu artırmada kullanılmıştır. Buharlı makinelerin icadı ve takibindeki gelişmelerle enerjiye gereksinim gittikçe artmıştır. Enerjiye sahip olanın dünyaya sahip olacağı düşüncesi ülkeleri sürekli bir enerji arayışı ve mücadelesine sokmuştur. 1970'lerdeki Küresel petrol krizi bunun en büyük örneğidir.

Elektrik üretim ve tüketim miktarları ülkelerin ve bireylerin konforu ve gelişmişliğini göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde enerjiye ve elektriğe ulaşım kolay ve ucuzken gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde elektrik tüketimi yaşam temel ihtiyaçlarının ötesinde lüks olarak görülebilmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere göre 2015 yılı üretim oranı ise Çizelge 1.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Ülkelere göre 2015 yılı elektrik üretim miktarı ve oranları(ETKB,2017)

ÜLKE	Miktar (TWh)	Dünya Toplamındaki Payı (%)	SIRA
Çin	5.810,6	24,1%	1
ABD	4.303,0	17,9%	2
Hindistan	1.304,8	5,4%	3
Rusya	1.063,4	4,4%	4
Japonya	1.035,5	4,3%	5
Almanya	647,1	2,7%	6
Kanada	633,3	2,6%	7
Brezilya	579,8	2,4%	8
Fransa	568,8	2,4%	9
Güney Kore	522,3	2,2%	10
Birleşik Krallık	337,7	1,4%	11
Suudi Arabistan	328,1	1,4%	12
Meksika	306,7	1,3%	13
İran	281,9	1,2%	14
İtalya	281,8	1,2%	15
İspanya	278,5	1,2%	16
<b>Türkiye</b>	<b>261,8</b>	<b>1,1%</b>	<b>17</b>
Tayvan	258,0	1,1%	18
Avustralya	253,6	1,1%	19
Güney Afrika	249,7	1,0%	20

Ülkemizde ise birincil kaynaklara göre 2014, 2015 ve 2016 yılları elektrik üretim oranı Çizelge 1.2’de detaylı şekilde verilmiştir.

Çizelge 1.2. Türkiye’de birincil kaynaklara göre 3 yıllık elektrik üretim miktar ve oranları (ETKB,2017)

BİRİNCİL ENERJİ KAYNAĞI	2014		2015		2016		
	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI	
KÖMÜR	Taşkömürü+ İthal Kömür+ Asfaltit	39.647	15,7%	44.830	17,12%	53.778	19,67%
	Linyit	36.615	14,5%	31.336	11,97%	38.460	14,07%
SIVI YAKITLAR	FUEL-OIL	1.663	0,66%	980	0,37%	1.103	0,40%
	MOTORİN	482	0,19%	1.244	0,48%	1.548	0,57%
	LPG		0,00%		0,0%		0,0%
	Nafta		0,00%		0,0%	2	0,00%
DOĞALGAZ + LNG	120.576	47,9%	99.219	37,9%	87.820	32,1%	
YENİLENEBİLİR + ATIK	1.433	0,57%	1.758	0,67%	2.179	0,80%	
TERMİK	200.417	79,5%	179.366	68,52%	184.889	67,63%	
HİDROLİK	40.645	16,1%	67.146	25,6%	67.268	24,6%	
RÜZGÂR	8.520	3,4%	11.652	4,45%	15.492	5,67%	
JEOTERMAL	2.364	0,9%	3.424	1,31%	4.767	1,74%	
GÜNEŞ	17,4	0,01%	194	0,07%	972	0,36%	
<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>251.963</b>	<b>100%</b>	<b>261.783</b>	<b>100%</b>	<b>273.387</b>	<b>100%</b>	

Elektrik üretimle birlikte tüketim ve fazla elektriği ihraç etmek ülkelerin en büyük kazançlarından gelmektedir. Bu bağlamda üretim ile birlikte tüketim verileri de önemlidir. Koç ve ark (2018) Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre 2016 yılı sonunda Dünya çapında enerji kullanımı 13,147 milyar TEP, Türkiye’de ise kullanım miktarı 126,9 milyon TEP olarak hesaplandığını ve bu orana göre Türkiye’nin Dünya tüketimine oranının %1 olduğunu belirtmişlerdir. Bazı gelişmiş ülkelerde 3 yıllık elektrik tüketim oranları Çizelge 1.3’de gösterilmektedir.

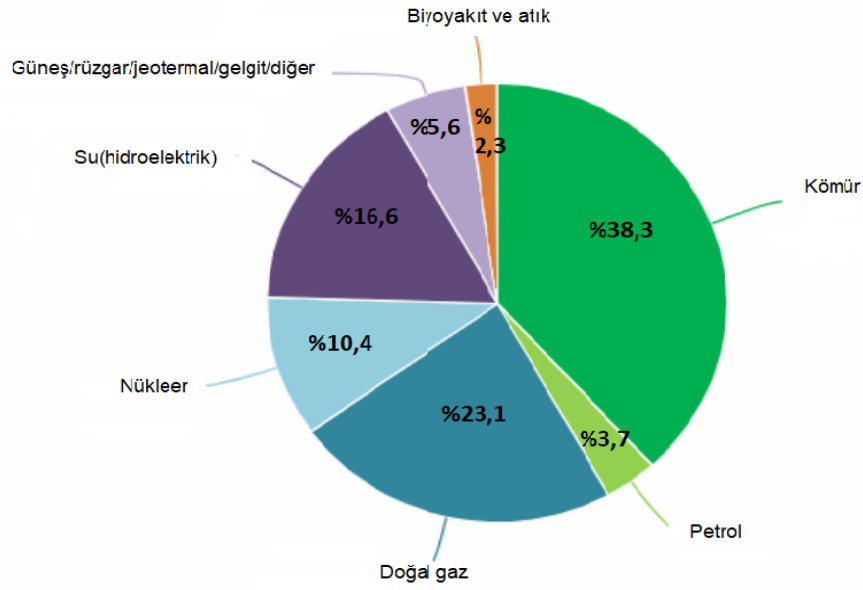
Çizelge 1.3. Ülkeler Birincil Enerji Tüketimi (Milyon TEP) (ETKB,2017)

ÜLKE	2013	2014	2015	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
<i>Çin</i>	2.903,9	2.970,3	3.014,0	22,9%	1
<i>ABD</i>	2.271,7	2.300,5	2.280,6	17,3%	2
<i>Hindistan</i>	626,0	666,2	700,5	5,3%	3
<i>Rusya</i>	688,0	689,8	666,8	5,1%	4
<i>Japonya</i>	465,8	453,9	448,5	3,4%	5
<i>Kanada</i>	335,0	335,5	329,9	2,5%	6
<i>Almanya</i>	325,8	311,9	320,6	2,4%	7
<i>Brezilya</i>	290,0	297,6	292,8	2,2%	8
<i>Güney Kore</i>	270,9	273,1	276,9	2,1%	9
<i>İran</i>	247,6	260,8	267,2	2,0%	10
<i>Suudi Arabistan</i>	237,4	252,4	264,0	2,0%	11
<i>Fransa</i>	247,4	237,5	239,0	1,8%	12
<i>Endonezya</i>	175,0	188,3	195,6	1,5%	13
<i>Birleşik Krallık</i>	201,4	188,9	191,2	1,5%	14
<i>Meksika</i>	188,9	190,0	185,0	1,4%	15
<i>İtalya</i>	155,7	146,8	151,7	1,2%	16
<i>İspanya</i>	134,2	132,1	134,4	1,0%	17
<i>Avustralya</i>	130,7	129,9	131,4	1,0%	18
<b><i>Türkiye</i></b>	<b>120,3</b>	<b>123,9</b>	<b>126,9</b>	<b>1,0%</b>	<b>19</b>
<i>Tayland</i>	120,3	123,4	124,9	0,9%	20
<i>Güney Afrika</i>	124,6	128,0	124,2	0,9%	21
<i>Tayvan</i>	109,9	111,4	110,7	0,8%	22
<i>BAE</i>	97,2	99,0	103,9	0,8%	23
<i>Polonya</i>	96,0	92,4	95,0	0,7%	24
<i>Ukrayna</i>	114,7	101,0	85,1	0,6%	25

Çizelgede görüldüğü gibi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tüketimde başı çekmektedir ve en çok tüketim yapan ülke Çin’dir. ABD ve Hindistan Çin’i

takip etmektedir. Türkiye %1'lik oranla 19. sırada yer almaktadır. 2016 yılı Dünya ortalaması kişi başı yıllık elektrik tüketimi 3052 kWh, Türkiye de ise 2016 verilerine göre yıllık kişi başı tüketim yaklaşık 2761 kWh'dir (Koç ve ark, 2018).

Dünya üzerinde kaynaklara göre enerji üretim miktarı aşağıda şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Kaynaklarına Göre Dünya 2016 Yılı Elektrik Üretimi Oranları (UEA,2018)

Şekil 1.1'e göre gibi güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynakları, biyoyakıt ve atık dönüşüm gibi çevreci sistemlerden elektrik üretim oranı sadece %7,9'dur.

Görüldüğü üzere Dünya üzerinde elektrik üretim ve tüketimleri son derece önem arz etmekle birlikte kaynakların çoğunluğu fosil kaynaklıdır. Enerji ihtiyacı olarak fosil(kömür, petrol, doğal gaz vs.) kaynakların kullanımını bazı sıkıntıları da beraberinde getirmiştir. Fosil kaynakların sınırlı olması ve rezervlerin giderek azalması toplumlar arası enerji savaşlarına sebep olmuştur. Koramaz (2003), petrol,

doğalgaz gibi fosil yakıtlı kaynakların rezervinin yaklaşık 40-60 yıl arasında, kömürün ise 220 yıl sonra tükenecek olduğunu belirtilmiştir. Buna karşılık fosil oluşum hızının tüketim süresine oranı 1/300.000 olarak belirlenmiştir(Yılmaz ve ark, 2003).

Fosil yakıtların sınırlı olmasıyla birlikte kullanımının artması çevresel birtakım zararlara da sebep olmuştur. Küresel ısınma, Ozon tabakasındaki tahribat, hava kirliliği ve doğaya verilen sınırsız zararlar insanları zorunlu olarak farklı enerji kaynakları aranmaya itmiştir. Bu bağlamda çevreye minimum zararlı olan ve sürekli bulunabilen sınırsız kaynak olan yenilenebilir enerji kaynaklarına (güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, hidrojen, dalga vs.) yönelinmiştir (Erden,2014).

Enerjiyi daha ucuza temin etme ve yaşam konforunu artırma çabaları sonucunda son yıllarda en büyük enerji kaynağı olan Güneş'in kullanım alanları artmaya başlamış ve bu alanda çalışmalar gelişmiştir.

Güneş sistemimizin kütle olarak %99,86'sını oluşturan ve enerji olarak tek kaynaktır(Woolfson,2007). Güneş insanların ve toplumların ömrü ile kıyaslandığında sonsuz bir enerji potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretme yolu olarak güneş çanakları, fotovoltaiik panel gibi sistemler üretilerek verimliliğini artırma çalışmaları yapılmaktadır. Bununla birlikte yine dolaylı olarak güneş enerjisi kaynaklı sayılan rüzgar enerjisi kullanım alanı da genişletilerek çalışmalar yapılmaktadır.

Rüzgarlar, güneşin atmosfer kütesine eşit olmayan şekilde yaymış olduğu ısı, yeryüzünün coğrafi yapısı ve dünyanın kendi etrafında dönmesi sonucu oluşurlar(Aydinyüz,2015). Yani hava hareketi sonucu oluşan bu enerji potansiyelinden ilk başlarda tahıl öğütme, yelkenli gemi ile taşımada yararlanılırken son zamanlarda gelişen teknoloji ile birlikte elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır.

Yenilenebilir ve çevreci olan bu enerji kaynaklarının üretim maliyetleri düşürme kullanım alanları ve verimlerini artırma çabaları en büyük çalışmaların başında gelmektedir. Rüzgarın ve güneşin sürekli olmaması yani enerji

kaynaklarının kesikli olması birden çok kaynağın aynı anda kullanılmasını mantıklı ve hatta zorunlu kılmıştır.

Birden çok enerji kaynağının aynı anda kullanıldığı sistemlere Hibrit Enerji Sistemleri denilmektedir (Bayraktar,2013). Güneş ve Rüzgar enerjisinin aynı anda kullanıldığı hibrit enerji sistemleri verimliliği artırmak, üretimdeki maliyetin amorti süresini düşürmek ve sürekli enerji elde etmek açısından son derece önemli ve faydalı sistemlerdir. Güneş enerjisi sistemlerinin geceleri ve kış aylarında elektrik üretememesi yine rüzgar enerji sistemlerinin de aksine yazın veriminin düşük olması iki sistemin uyum içinde birlikte çalışmasına ve sürekli elektrik üretimi için birbirini destekleyen sistemler olmasına yol açmıştır.

Özellikle şehirleşmenin az yoğun olduğu kırsal bölgelerde ve elektrik transferinin güç ve maliyetli olduğu yazlık, bağ evi, köy, şehirden uzak araştırma merkezleri, tarla sulama sistemleri gibi yerlerde bu tür entegre sistemlerin kullanım alanı ve faydalarının çok fazla olacağı aşikardır. Bununla birlikte düşük rüzgar gibi olan bölgeler evsel alanlarda farklı metotlarda tasarlanarak üretilen dikey eksenli rüzgar türbinleri verimliliği artıracaktır.

Bu tezde yapılacak olan çalışmanın amacı düşük rüzgar gücü olan bölgelerde ve evsel kullanımlara uygun şekilde Entegre Rüzgar-Güneş enerji sisteminin performansının araştırılması ve Çukurova Üniversitesi'ne kurulan sistemin analiz edilip elektrik üretim verimliliğinin hesaplanması ve sistemin avantajlarının incelenerek kullanılabilirliğini belirlemektir. Bu çalışmada sistemin verimini maksimum yapabilmek ve düşük rüzgar gücünde de çalışabilecek ve üretim sağlayacak Dikey Eksenli Rüzgar Türbini (DERT) kullanılmıştır.

Hali hazırda var olan çalışmalardan çıkarılacak sonuçlar ve denklemler ışığında yatak eksenli rüzgar türbini ile dike eksenli rüzgar türbini arasındaki fark incelenerek aralarındaki avantaj ve dezavantajlar ve kullanılabilirlik durumu bu tezin en önemli unsurlarından birini oluşturmaktadır. Ayrıca tezde kullanılan DERT tamamen bireysel tasarıma göre üretilebilir enerji verimliliği ve üretim gücü test edilebilir.

Buradaki amaç minimum rüzgar gücüyle maksimum elektrik elde ederek sistemin sürekliliğini sağlayıp karlılık oranını artırmaktır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Enerjinin son derece önem arz ettiği ve fosil yakıtların tükenmeye yüz tuttuğu özellikle 21. yy'de yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmaya başlamıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak birden çok kaynağın aynı anda kullanıldığı entegre sistemler üzerinde çalışılmıştır. Bu bağlamda konunun önemi ve gerekliliğinden dolayı oldukça fazla araştırma ve geliştirme çalışmaları mevcuttur bunlarda bazılarını ise aşağıda yer verilmiştir.

Arıkan ve Çam (2016), rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin kapsamlı şekilde analizini ve fizibilite çalışmasını web tabanında gerçekleştirmek üzerine çalışma yapmışlar ve bu bağlamda web tabanlı yazılım hazırlamışlardır. Elbette enerji önemlidir ancak elde edilen verilerin işlenmesi saklanması okunması ve değerlendirmesi açısından çağımızın en önemli gereçlerinden olan bilgisayarların ve web yazılımların da çalışmaların içerisinde olması son derece önemlidir. Bu çalışmada Amasra'yı seçerek kurulacak sistemin potansiyel uygunluğunu tespit edilmiş amorti süresi hesaplanarak incelemeler yapılmıştır.

Yıldız ve Ferhat(2017), İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü binası ve Urla'da bir konutun ortalama elektrik ihtiyacı ve tüketimi göz önünde bulundurularak ve bu bağlamda bölgedeki rüzgar-güneş güçlerini ölçmüş hem nicel hem de nitel gözlemlere dayalı entegre bir hibrit sistem tasarımı geliştirilmişlerdir. Bu sayede PV-Rüzgar testleri yaparak senaryolar geliştirmiş ve bunu HOMER programıyla mukayese etmişlerdir. Çalışma sonucunda verilerin HOMER programıyla uyumluğunu gözlemlemişlerdir.

Başaran ve ark(2011), Güneş ve Rüzgar enerjilerini kullanan hibrit enerji sistemi tasarımı ve uygulamaları üzerine çalışmışlardır. Aydın'ın Söke ilçesinde Meslek Yüksek Okulu binasına hibrit sistem kurulumu gerçekleştirmiş ve sistemin çalışmalarını analiz etmişlerdir. Ayrıca sistemi METLAP yazılım programı ortamında simüle etmişlerdir. Çalışmalarında 4 adet 140 W gücünde tek kristal panel kullanmışlardır ve sistem çalışmaya başladıktan sonra 1000 W gücünde



rüzgar türbini ilave edilmiş ve sistem incelenmiştir. Çalışma sonucunda sistemin sadece PV ile 12 yıl, rüzgar türbini eklendiğinde ise 8 yıl amorti süresi tespit edilmiştir. Genel sistemin ömrü ise ortalama 20 yıl olarak belirlenmiştir.

Engin ve Çolak(2003), Güneş ve rüzgar hibrit enerji üretim sistemi kurarak sistemin incelemesini yapmışlardır. Sistemi boyutlandırarak sistem bileşenleri incelenmiştir. Sistemin kurulum maliyeti, birim ücreti hesaplaması ve amorti süresi hesaplanmıştır. Sistemde 720 W gücünde PV ve 400 W gücünde rüzgar türbini kullanılmıştır. Kurulan sistemin kış aylarında şebekeyi besleme konusunda yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır. Sistemin doğrudan üretilen gücü şebekeye verdiği yaklaşıklık %80, aküyü besleyerek oradan şebekeye aktarıldığında ise %63,1 verimli olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda üretilen enerjinin maliyetinin 0,89\$/ kWh bulmuşlardır.

Bir başka çalışmada ise Sütçü İmam Üniversitesi kampüsüne kurulan entegre sistemin kurulumu yapılarak incelemesi yapılmıştır. Bu çalışmada 260 W gücünde 2 adet (toplam 520 W) PV ve 500 W gücünde YERT kullanılmıştır. Kurulan sistem günün farklı zamanlarında test edilmiş ve veriler incelenmiştir. Üretilen güç ile bir hanenin günlük elektrik ihtiyacının ne kadarının karşılanabileceğini incelemiştir. Çalışma sonucunda sistemin iyi bir destek güç sistemi olduğu kanısına ulaşılmıştır (Karadöl ve ark,2017).

Bozok (2017), Düzce ilinde sıradan bir konutun ihtiyacı doğrultusunda güneş-rüzgar hibrit enerji sistemi modellemiş ve verileri incelemiştir. Çalışmasında yerel bölgedeki rüzgar gücü gözlemlenmiş ve meteorolojik verilerden yararlanılıp alınan sonuçlara uygun model tasarlanmıştır. Bu bağlamda 1 kW gücünde YERT ve 250 W gücünde monokristal güneş panelinin Düzce şartlarında çalışma potansiyeli ve üretim verimliliği hesaplanmıştır. Sistemin verimli çalışması için tahmin edilen rüzgar gücünün 9-10 m/s hızında olması gerektiği düşünülerek yerel rüzgar gücünün bu değer altında olduğundan YERT'in kanat uzunluğunu artırmanın faydalı olacağını düşünmüştür ve çalışmalarını bu doğrultuda gerçekleştirmiştir.

Jafarzadeh (2017), ise konuyla alakalı olarak çalışmasında İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa kampüsü için entegre rüzgar güneş enerji sistemi santrali analiz etmiştir. Santralin kurulu gücü 900 W olarak belirlenmiş ve tüm yıl için gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda kurulumun yapıldığı bölge için rüzgar gücünün zayıf olduğundan dolayı türbinden yeterli verimin alınmadığı daha farklı bölge veya farklı tasarımlara gereksinim duyulduğu belirlenmiştir.

Dursun (2011), off-grid yani şebekeye bağlı olmayan bir hibrit enerji sistemi tasarlayarak analizini gerçekleştirmiştir. Sistemdeki hibrit enerji kaynakları olarak güneş enerjisi rüzgar ve hidrojen kullanılmıştır. Sistemin analizini MATLAB programı üzerinden modelleyerek yapmıştır. Kurulan sistemde kaynakların gücü bakımından kurulum yerleşkesinin önemine vurgu yapılmış ve çalışma sonucunda enerji kaynaklarının kesikli olduğundan dolayı güç kapasitesinin düşük olduğu sonucuna kanısına varılmıştır. İdeal güç depolaması için hidrojen yakıt pili kullanılarak tavsiye edilmiştir.

Bir başka çalışmada Ulutaş (2015), Şehir merkezinden uzak kırsal bölgelerde bulunan tesisler ve yerleşimler için güneş rüzgar hibrit enerji sistemi tasarımı yaparak sistem verilerini incelemiştir. Çalışmasında MATLAB/ Simülink programı üzerinden tasarım yapmış ve hem şebekeye bağlı (on-grid) hem de şebekeden bağımsız (off-grid) sistem geliştirmiştir. On-grid sistemde üretim fazlası elektriğin şebekeye satılması düşünülmüştür. Bu bağlamda 10 adet 200 W gücünde PV panel ve 1 adet 3200 W gücünde YERT türbin kullanılmıştır.

Demirtaş (2008), rüzgar ve güneş enerjilerinin kullanıldığı ve bu sistemde üretilecek elektriğin saklanacağı akülerden oluşan şebekeden bağımsız (off-grid) hibrit enerji sistemi tasarlamıştır ve sistemi inceleyerek veri toplamış sonuçları analiz etmiştir. Rüzgar türbini ve güneş panelleri için iki ayrı konvertör kullanmıştır. Demirtaş bu çalışmasında sistemdeki PV panellere GTS (güneş takip sistemi) dizayn etmiştir ve bu çalışma neticesinde ürettiği enerjinin veriminin %45'e kadar arttığını bulgulamıştır.

Çubukçu (2011), Güneş enerjisini ortak payda olarak tutarak ikincil enerji kaynağını değiştirerek 2 farklı hibrit enerji sistemi tasarlamıştır. Güneş-rüzgar ve güneş- hidrojen hibrit sistemleri kurarak on-grid dizaynını gerçekleştirmiştir. Sistemlerin kurulduğu bölge koşullarına uygunluğu araştırılmış ve fizibilite çalışması yapılmıştır. Çalışma sonucunda aldığı veriler neticesinde verimin beklenenin altında olduğu ve sistem ekipmanlarının çoğunlukla ithal ve pahalı olması sebebiyle maliyetlerin yüksek olduğunu belirtmiştir.

Özcan (2009), güneş ve rüzgar enerjilerinden oluşan hibrit bir güç üretim sistemi tasarlayarak incelemelerini yapmıştır. Teorik olarak belirli bir bölge veya alanda bulunan bir şebekeyi mali açıdan en yüksek fayda ile besleyecek sistem tasarımı belirleyerek bu sistemi HOMER web yazılım programında kurgulamıştır. Yaptığı simülasyonlar neticesinde şebekeye elektrik satabilmek ve ekonomik fayda sağlamak için rüzgar gücünün minimum 6,75 m/s olması gerektiği sonucuna varmıştır. Ayrıca PV paneller için günlük güneş ışınımının 4,03 kWh/m<sup>2</sup> günden 5,00 kWh/m<sup>2</sup> güne çıkarılması simülasyonları sonucu artan enerji değeri bile PV panellerin ithal olması ve maliyetinin yüksek olduğundan dolayı optimum sistem kar marjını fazla değiştirememiştir.

Yang (2014), Güneş ve rüzgar enerjilerinden oluşan entegre bir elektrik üretim sistemi tasarlayarak analiz etmiştir. Çalışmasında Amerika Birleşik Devletlerinin Kentucky Lexington kentinde 20 konutluk bir proje bölgenin güç gereksinimleri tespit edilerek farklı zamanlar dilimlerinde yük ihtiyacı, rüzgar hızı, güneş ışınım gücü gibi değerler sisteme kaydedilerek değerlendirilmeler yapılmıştır. Çalışmada güneş-rüzgar ve rüzgar-dizel hibrit sistemlerinin maliyet araştırması yapılmıştır. 4 m/s hızla üretime başlayan 10 kW gücünde rüzgar türbini kullanılmıştır. Buna ek olarak 0 kW ile 350 kW güç arasında değişken PV paneller kurgulanarak üretim maliyeti ve amorti süreleri simüle edilmiştir. Ayrıca sisteme ek olarak dizel jeneratör eklenerek fosil yakıtlı elektrik üretimi maliyeti ve sistem kar marjı ortaya konulmuştur. HOMER programı kullanılarak yapılan

değerlendirmede güneş-rüzgar sisteminin ekonomik ve çevresel olarak faydalı olduğu ve kullanılabilirliğinin yüksek olduğu belirtilmiştir.

Abdulqader (2015), entegre güneş ve rüzgar enerji sistemlerini araştırarak verileri değerlendirmiştir. Çalışmasında küçük ölçekli bir hibrit sistem kurgulmuş rüzgar türbininin aerodinamiği, kanat sayısı ve kanat açıklığı gibi verileri dikkate almıştır. YERT sistemini MATLAB programı üzerinde simüle etmiştir. İngiltere’de Cranfield Üniversitesinde sürekli mıknatıslı senkron jeneratöre dayalı türbin üzerinde çalışma yapılmıştır. Kullanılan türbinin rotor çapı 1,4 m ve gücü olarak 500 W seçilmiştir. Bunun dışında 36 adet 50 W gücünde monokristal PV paneller kullanılmıştır. Çalışma sonucunda nominal rüzgar hızı 1 m/s arttığında üretilen gücün maksimum değerinde %29,3 artış gözlenmiştir (6-11 m/s baz aralığı verilerine göre). PV sıcaklığının artması güneş hücrelerinin voltaj değerinde azalmaya sebep olmuş bu da diyot idealite faktörünü artırmıştır. Çalışmaya göre diyot idealite faktörünün 0,25 artması hücre voltajında %14,6 oranında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir.

Yanıktepe ve ark (2011), Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi içerisinde kurdukları rüzgar türbini ve güneş panelinden oluşan melez enerji sistemini analiz ederek güç üretim verimi gözlenmiştir. Bu bağlamda bazı dersliklerin aydınlatılması için tasarlanan sistemde 1 adet 300 W gücünde YERT ve 3 adet 100 W gücünde PV panel kullanılarak toplam 600 W kurulu güç değeri elde edilmiştir. Sistem başarılı şekilde kurulup elektrik üretimi sağlayarak bataryaları şarj ettiği gözlenmiştir ve sonraki yapılacak farklı kurgusal çalışmalar adına prototip olarak varlığı devam etmektedir.

Bayraktar (2013), ufak ölçekli bir hibrit enerji düzeneği kurmuş ve güç üretim performansını inceleyerek elde ettiği verileri günlük aylık mevsimsel olarak değerlendirmiştir. Çalışmasında kurduğu entegre güç üretim sistemini birincil kaynak ve ikincil kaynak olarak değerlendirdiğinde aldığı verimleri ve şebekeyi besleme oranlarını elde etmiştir. Bu çalışmada 1 kW (11 m/s hızda) gücünde rüzgar türbini ve 10 adet 60 W gücünde PV panel kullanılmıştır. Yaz aylarında güneş

kaynaklı elektrik üretimi daha verimli iken kış ve mevsim dönümlerinde ise rüzgardan elektrik üretiminin daha verimli olduğu gözlenmiştir.

Ayhan (2011), hibrit enerji sistemlerinin bina türü yerleşim birimlerine kurulumu ve sistemin üretim potansiyelini analiz ederek verimlilik çalışması yapmıştır. Çalışmasında 8 haneden oluşan 4 katlı bir binanın çatı ve cephelere göre güneş paneli yerleştirilmelerini simüle etmiş web üzerinden tasarım gerçekleştirmiştir. Ortalama enerji ihtiyacını karşılayacak güce sahip sistem kurulumu dizayn edilerek seçilen bölgedeki meteoroloji ve ölçüm sonuçları göz önünde bulundurularak sistemin üreteceği güç hesaplanmış ve HOMER programı üzerinden senaryolar gerçekleştirilerek inceleme yapılmıştır. Ortalama güneş ışınımı 3,62 kWh/m<sup>2</sup> gün alınmış rüzgar gücü ise 2,51 m/s alınmıştır. Bu veriler sonucuna göre üretilen elektriğin birim maliyeti \$0,457 hesaplanmıştır ve sistem yıllık 30.423 kWh elektrik üreteceği belirtilmiştir ( 11,25 kW gücünde PV, 5 kW gücünde YERT için).

Baran (2012), çalışmasında rüzgar-güneş hibrit enerji sisteminin verimi veya analiz çalışmasının haricinde genel ve birim maliyet analizleri yapmıştır. Sistemin kurulum maliyeti periyodik bakım maliyeti birim maliyeti kullanım ömrü gibi birçok etkeni göz önünde bulundurarak farklı model ve güçlerde sistem modellemesi gerçekleştirmiştir. Genellikle çalışmalarında 100 W gücünde PV panel sabit olarak 1 kW, 6 kW ve 10 kW gibi değişken Rüzgar türbinleri referans almış sistemin tüm gider kalemlerini hesaplayarak birim maliyeti çıkarmıştır. Rüzgar gücünün yüksek olduğu yerler için büyük ölçekli türbin kurulması birim maliyeti düşürerek sistemin amorti süresini kısaltmış ve karlılığı artırdığı hesaplanmıştır.

Napat ve Chaiyant (2008), akademik amaçlı şebekeye bağlı küçük bir güneş rüzgar hibrit sistem üzerinde çalışmışlardır. Kurdukları sistemde 1642 W silikon PV panel ve 1 kW rüzgar türbini kullanmışlardır. 16 Ağustos - 16 Ekim 2008 tarihleri arasında gözlem yapmış ve sonuçları analiz etmişlerdir. Güneş - rüzgar hibrit enerji sisteminden üretilen toplam elektrik enerjisinin 310.434 kWh

(PV sisteminden üretilen 301.86 kWh ve rüzgar enerji sisteminden 8.574) olduğunu hesaplamışlardır. Rüzgar türbini için en yüksek çıkış gücü 7.82 m / s rüzgar hızında yaklaşık 243 W, PV panellerden gelen en yüksek çıkış gücü ise yaklaşık 1580 W olarak gözlenmiştir.

Godson ve ark (2013), elektrik üretmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjilerine dayanan hibrit bir enerji sistemi kurmuşlardır. Sistemin kontrolünü sağlayan bir mikro denetleyici entegre etmişlerdir. Böylece enerji kaynaklarının optimum şekilde kullanımı ve bireysel üretim verimliliği artmıştır. Kurulan hibrit enerji sisteminin sanayi, konut, işyeri, kamuya açık alanlar gibi birçok yerde kullanımının uygunluğu ortaya konulmuştur.

Şipar (2011), rüzgar türbin sistemlerinin aerodinamiklerini analiz eden simülasyonlar gerçekleştirmiş ve türbin sisteminin güç elektroniği ve teknik yapısını inceleyerek modellemiştir. Yaptığı gözlemler neticesinde rüzgar hızının ve estiği yön, cephenin sürekli değişmesi üretilen elektrik gücünde dalgalanmaya sebep olduğunu çıkarmıştır. Bu bağlamda bir mikro denetleyici diyagramı geliştirmiş ve rüzgar hızına göre türbin kanat açılarının değişmesiyle rüzgarı yakalama potansiyelinin artabileceğini düşünmüş ve bunun üzerinde çalışmıştır.

Yang ve ark (2009), rüzgar güneş enerjilerinden oluşan hibrit enerji sisteminde üretilen elektriğin transfer ve depolama aşamasında oluşacak güç kaybını minimuma indirerek verimliliği optimum yapabilmek için batarya tankları üzerinde çalışmış ve sistemin yıllık maliyetini minimuma indirerek karlılığı artırmayı planlamışlardır. Çalışmalarında 5 değişken üzerinde durmuşlardır. Bunlar; PV modülü, PV eğim açısı, rüzgar türbini büyüklüğü, rüzgar türbini montaj yüksekliği ve akü sistemi kapasitesidir. Çalışmada Çin'in güneydoğu bölgesi kıyılarında bir haberleşme santrali sisteminin elektrik ihtiyacını karşılaması için sistem kurulmuş ve gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda iki sistemin birbirine uyumunun son derece yüksek olduğu gözlemlenmiş ancak bataryanın aşırı deşarj durumlarında sistemin yıl boyunca yüksek verimde olduğu anların nadir olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Tina ve ark (2007), şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olabilen rüzgar güneş hibrit enerji sistemi tasarlayarak uzun vadede performansını takip ederek ve sistem verimliliği üzerinde analiz çalışmaları yapmışlardır. Kurulan sistemde güç üretimi performansı yıl içerisinde saatlik günlük aylık gibi periyotlarla incelenmiştir ve böylece elektriğin zaman içerisindeki üretim değişikliği eğrisi (dalgalanması) çıkarılmıştır. Sonuçlar sistem verileri tarafından simülasyon edilerek karşılaştırılmıştır.

Sawle ve ark (2017), çeşitli optimizasyon teknikleri kullanarak rüzgar-güneş-biyokütle hibrit enerji sistemini optimum boyutlandırma çalışması yapmışlardır. Enerji gereksinimlerine en uygun üretim yapabilecek sistem boyutlandırması yapabilen böylece minimum maliyetle maksimum verim elde etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında sistemin ikincil (yedek) güç kaynağı olarak batarya ve dizel jeneratör kullanmışlar ve üretilen güç kaybı değerini maksimum %2 olarak kabul etmişlerdir. Hindistan'ın Barwani bölgesinde sistem kurulumu sağlanmış ve sistemin fizibilite çalışmaları yapılarak ekonomikliği incelenmiş ve optimizasyon programları ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada öncelikle çağın en büyük gereksinimlerinden olan elektrik enerjisini elde etme yollarından entegre rüzgar ve fotovoltaik enerji sistemi üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda çalışmamızın ve sistemimizin en büyük kaynağı ve materyali güneş ve rüzgar enerjileridir. Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisini tam olarak bilmeden bunlardan faydalanmak ve elektrik üretmek imkansızdır.

##### 3.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, Güneş'in varlığının kaynağı olan birtakım kimyasal ve nükleer reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan ısı ve ışığın diğer adıdır. Yani Güneş'te meydana gelen zincirleme reaksiyonlar sonucu oluşan bu enerji yeryüzünün en temel gereksinimi haline gelmiştir.

Güneş, Dünya'dan ortalama 149,597,871 km (ya da 1 AU) uzaklıkta olan Sarı Cüce sınıfında orta-küçük büyüklükte olan ve güneş sistemimizin kütle olarak %99,98'ini oluşturan yaşam kaynağımız olan yıldızımızdır. Güneşin kütlesi yaklaşık olarak  $1,989 \times 10^{27}$  kg. ile Dünya'nın 333.060 katıdır. Ekvator çapı ise 695.508 km dir. Dünya'ya göre hacimsel büyüklüğü düşünülürse Güneş'in içine yaklaşık 1,3 milyon Dünya sığabilir. Samanyolu Galaksisi merkezine 26.000 ışık yılı uzaklıkta ve 220 km/s yörünge hızına sahiptir. Saniyede 220 km gibi müthiş bir hızla yörüngede yol almasına rağmen kendi yörüngesini bir tam tur atması ( 1 kozmik yıl) yaklaşık olarak 240 milyon dünya yılıdır. Güneşin yüzey sıcaklığı yaklaşık 5500 °C dir ve çekirdek sıcaklığı ise yaklaşık olarak 15,6 milyon °C olarak belirtilmiştir (www.science.nasa.gov, 2019).

Güneş'in yoğunluğu dünyamızın yoğunluğunun ¼'ü kadar olmasına rağmen yüzey çekim gücü yaklaşık 28 katıdır. Güneşten çıkan enerjinin sadece 2,2 milyarda 1'i yeryüzüne ulaşmaktadır. Kalan kısım ise uzay boşluğunda yok



olmaktadır. Güneş atom sayıları bakımında %91 hidrojen ve %8,9 Helyumdan %0,1 diğer elementlerden oluşmuştur. Kütleli olarak ise yaklaşık %70,6 hidrojen ve %27,4 helyum ihtiva etmektedir (Basu, 2007).

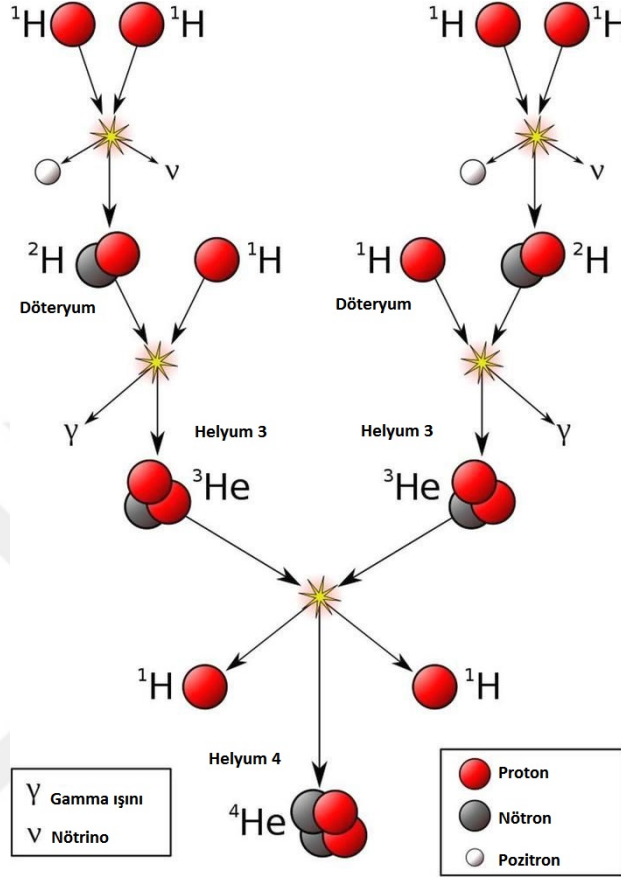
Güneş sürekli bir şekilde içerisindeki Hidrojen atomlarını Helyum atomuna dönüştüren bir reaktör gibi görev yapmaktadır. 4 hidrojen atomunun birleşerek 1 helyum atomu oluşturmaya füzyon reaksiyonu adı verilir. Bir hidrojen atomunun kütleli ağırlığı yaklaşık 1,008 atomik birimdir. 4 H atomunun ağırlığı ise;

$$4 \times 1,008 = 4,032$$

birimdir. Buna karşılık 1 He atomunun ağırlığı ise 4,003 birim ağırlıktır. Bu reaksiyon sonucunda;

$$4,032 - 4,003 = 0,029$$

birim kütle farkı açığa çıkar ve bu Einstein'in kütle enerji formülüne göre ( $E = mc^2$ ) enerjiye dönüşür. Aşağıdaki şekilde bu reaksiyonun şeması verilmiştir.



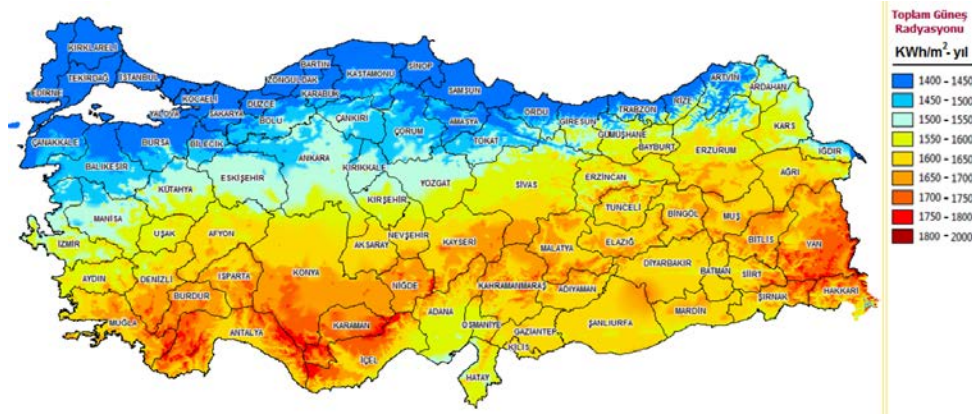
Şekil 3.1. Güneşte meydana gelen füzyon reaksiyonu (Demircan,2017)

Güneşin kütlesi ve yapısındaki reaksiyonlara göre saniyede 564 milyon ton hidrojen yaklaşık 500 milyon ton helyuma dönüşür ve kalan kütle yukarıdaki formüle göre enerjiye dönüşür. Bu dönüşümdeki ortaya çıkan enerji saniyede yaklaşık  $3,86 \times 10^{26}$  J olarak hesaplanmaktadır. Kütlesine göre kıyaslandığında Güneş'in toplam enerji açığa çıkarma kapasitesi  $1,78 \times 10^{47}$  J'dür. Güneşten birim saniyede çıkan bu enerji uzayın her yönüne doğru yayılır ve bunun sadece çok küçük bir kısmı yeryüzüne gelir (Varınca ve Varank, 2005). Güneşten anlık olarak yeryüzüne gelen enerji miktarı yaklaşık  $1,78 \times 10^{14}$  kW'dır. 8 dakikada yeryüzüne

düşen bu enerji Dünya'nın bir yıllık tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek kadar muazzam bir rakamdır( Kalogirou, 2009: Erden, 2014'den).

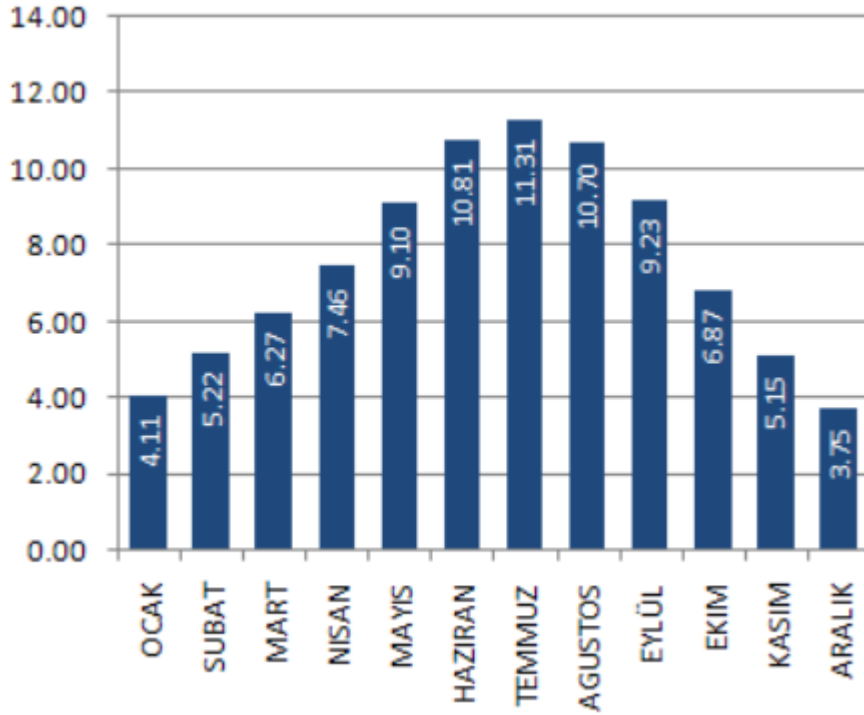
Türkiye bulunduğu matematiksel konumu sayesinde Güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli açısından son derece şanslı ülkelerden biridir. Yeryüzüne saniyede gelen birim enerjinin yukarıdaki verilen değerde 178 milyon MW olduğu görülmektedir. EİE ve ETKB verilerine göre ülkemizin 2018 yılı enerji üretimi 88.551 MW olarak belirtilmiştir. Dünya'ya birim saniyede gelen güneş enerjisi ülkemizde üretilen yıllık enerjinin yaklaşık 2010 katıdır. Bu da güneş enerjisinin ne kadar büyük bir potansiyele sahip olduğunu gözler önüne sermektedir (ETBK,2019).

Varınca ve Gönüllü (2006) bildirdiğine göre EİE (2006) verilerine dayandırılarak Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme zamanı 2640 saat, toplam ışınım gücü (şiddeti) ise 1331 kWh/m<sup>2</sup>yıl ve günlük olarak yaklaşık 3,6 kWh/m<sup>2</sup>dir. 2640 saati güne çevirince ülkemiz yıllık olarak yaklaşık 110 gün gibi güzel derecede bir güneşlenme oranına sahiptir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası da bu verileri doğrulamaktadır.



Şekil 3.2. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlası(GEPA)(YEGM,2019)

Şekilde de görüldüğü üzere ülkemizin orta şeridinden güneye doğru inildiğinde güneşlenme süresi ve potansiyeli artmaktadır. Orta-Güney kuşak arasında güneşlenme radyasyon değeri 1600-200 kWh/m<sup>2</sup>yıl aralığındadır. Bölgelere göre değerlendirildiğinde en büyük potansiyelin Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgesi olduğu görülmektedir. Bu bölgeleri sırasıyla Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Yeryüzü şekilleri ve enlemsel konumları da bu değerleri etkilemektedir. Bununla birlikte ülkemizde aylara göre güneşlenme saati değerleri de aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Türkiye’de aylara göre ortalama günlük güneşlenme süresi (YEGM,2019)

Şekil 3.2’de ve şekil 3.3’de görüldüğü üzere ülkemize düşen enerji oranı ve güneşlenme saati son derece iyidir. Ülkemiz ortalama günlük 7,5 saat güneşlenmeye sahiptir. Ancak bu değerlere rağmen güneş enerjisinin kullanımı ve

elektrik üretim oranı son derece düşüktür. 2018 yılı verilerine göre toplam güneş kolektörü alanı 20.200.000 m<sup>2</sup> ye ulaşmış ve ısı enerjisi üretimi ise 876.720 TEP(Ton Eşdeğer Petrol)'e ulaşmıştır. Bunun yanı sıra ülkemizde 2018 yılı itibari ile 5868 adet güneş santrali, 4981,2 MW lisanssız ve 81,8 MW lisanslı olmak üzere 5063 MW elektrik üretmektedir. Maalesef bu değerlere göre ülkemizdeki toplam elektrik üretimi içerisindeki payı ise ancak %2,5 değerindedir.

Güneş enerjisi ve ülkemizdeki potansiyelini inceledikten sonra biraz da güneş enerjisinin kullanım alanlarını inceleyeceğiz. Güneş enerjisi, güneş havuzları, güneş kolektörleri, güneş çanakları ve parabolik panelleri, güneş kulesi ve güneş pilleri gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir.

#### **3.1.1.1. Güneş Havuzları**

Güneş havuzları temelde güneş enerjisini içerisindeki bileşiklerle hapsederek bu enerjiyi depolayan ve ihtiyaç olduğunda farklı zaman ve bölgelerde kullanımını amaçlayan çözeltili su havuzlarıdır.

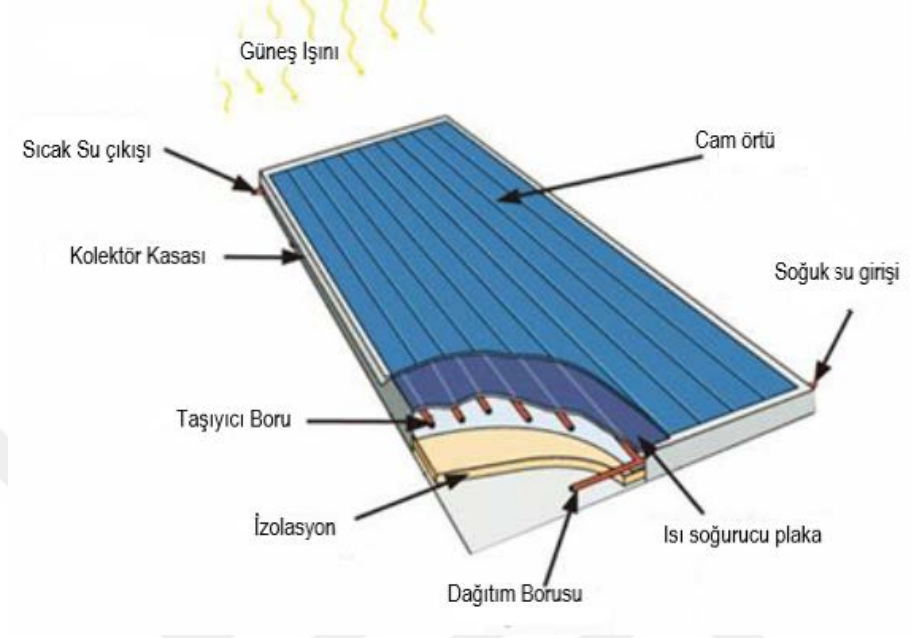
Tuz çözeltili bir güneş havuzları temelde üç bölümden oluşan konveksiyonlu üst kısımda, yalıtımlı orta kısım ve depolama alanı olan alt kısımdan meydana gelmektedir. Havuzun tuzluluk çözelti oranı alt depolama alanı ile üst kısım arasındaki ısı geçişini engeller ve alt kısmın daha da ısınmasına yol açarak sıcaklığı kaynama noktasına kadar yaklaştırabilir. Böylece daha fazla enerji depolanarak uzun süre hapsedilmiş olur (Karakılçık ve ark, 2006: Erten 2014'den).



Şekil 3.4. Güneş havuzu şeması

#### 3.1.1.2. Güneş Kolektörleri

Güneş Kolektörleri ülkemizde de güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı olarak faaliyet gösterilen güneş enerjisinden sıcak su elde etme yöntemidir. Temelde genellikle dikdörtgen bir panel üzerine döşenmiş su boruları ve bu boruları çevreleyen ısı soğurucu levha ve en üstte ısıyı geçirecek saydam bir örtüden oluşan düzenektir. Gelen güneş ışınlarını alarak soğurucu yüzeyden geçirip hapseden ve borulardan akan suyu ısı transferi yoluyla ısıtmasıyla sıcak su elde edilir. Genellikle evsel kullanıma uygun olmakla birlikte ticari alanlarda da kullanımı yaygındır.



Şekil 3.5. Güneş Kolektörü şeması

### 3.1.1.3. Güneş Çanakları ve Parabolik Paneller

Güneş çanakları temelde iç bükey ayna şeklinde olan yansıtıcı yüzeyi bulunan malzemeden yapılan ve iç bükey aynanın odak noktasına konulan su veya sıvıyı ısıtarak sıcak su veya enerji elde etmeyi amaçlayan düzenektir. Güneş çanakları amaçlarına göre çok çeşitli boyutlara göre tasarlanmıştır. Bunlar arasında yemek pişirme amacıyla kullanılan çanaklar da mevcuttur. Pişirme amaçlı küçük güneş çanaklarına güneş ocağı da denmektedir.



Şekil 3.6. Güneş Çanağı uygulaması



Şekil 3.7. Parabolik Güneş Paneli

#### 3.1.1.4. Güneş Kulesi

Güneş kulesi de tıpkı güneş çanakları ve parabolik panel ile aynı mantıkta olan üzerine düşen güneş ışınlarını belirli bir noktada odaklayarak toplayan ve odak noktasındaki sıvı malzemeyi ısıtarak enerji elde etmeyi amaçlayan düzenektir. Yansıtıcı aynalardan gelen güneş ışınları(enerjisi) bir kule üzerine monte edilmiş alıcı(receiver) denen yüksek ısı emme katsayısına sahip eşanjöre gelir ve yoğunlaşır. Kule üzerinde bulunan ve ısı transferine yarayan borularda bulunan su veya yağ gibi akışkanlar ısınarak enerjiyi absorbe eder. Burada sıvı sıcaklığı yaklaşık 800 derecelere kadar çıkabilmektedir. Yansıtıcı ve alıcı yüzeyler Dünya'nın dönmesi sebebiyle sürekli güneşi takip etmeli ve gün boyu ışık alması



sağlanmalıdır dolayısıyla güneş takip sistemleri üzerinde ARGE çalışmaları devam etmektedir. Kurulu en yüksek Güneş Kulesi Güç Sistemi İspanya'nın Sevilla kentinde bulunan 20 MW gücünde PS20 santralidir(YEGM,2019).



Şekil 3.8. İspanya Sevilla PS20 Merkezi alıcılı güneş enerji sistemi

### 3.1.1.5. Güneş Pilleri

Güneş pilleri diğer adıyla güneş hücreleri ya da fotovoltaik hücreler yüzeyine gelen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken malzemedir. Genellikle dikdörtgen veya kare şekillerde olan güneş hücreleri ortalama 100 cm<sup>2</sup> ebatlarında ve 0,1-0,4 mm arası ebatlarda olmaktadır.

Üretildikleri malzemeye göre verimleri yaklaşık olarak %5 ile %30 arasında olan çok sayıdaki güneş hücreleri talep doğrultusunda seri ve paralel bağlanarak fotovoltaik panelleri oluştururlar. Böylece çok sayıda hücrenin kullanılması elde edilecek olan elektrik gücünün artmasını sağlamaktadır. Tek bir panelin boyutu kullanıldığı hücre sayısına göre birkaç W ile MW boyutları arasındadır (YEGM,2019).

Aşağıda silisyum malzemeden oluşan güneş hücresi(pili) ve hücrelerden oluşan fotovoltaik modül görünmektedir. Modüllerin bir araya gelmesiyle de panel oluşmaktadır.



Güneş Pili



Fotovoltaik Model

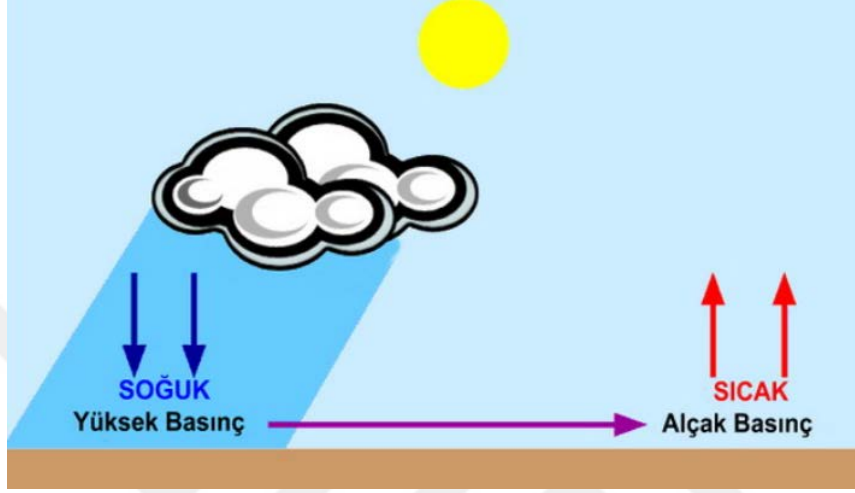
Şekil 3.9. Güneş pili ve fotovoltaik modül görüntüsü (YEGM,2019)

Güneş pilleri ve fotovoltaik panellerle ilgili daha detaylı bilgi ileriki bölümlerde verilecektir.

### 3.1.2. Rüzgar Enerjisi

Güneş'ten gelen ışınlar yeryüzünde farklı sıcaklık, basınç ve nem oluşmasına neden olur. Bu farklar ve etkenler yerkürenin eşit olmayan ısınmasına ve soğumasına sebep olur. Yeryüzünün farklı şekilde ısınması ve soğuması ile ortaya çıkan kuvvetler ise hava hareketlerini meydana getirmektedir. Isınan havale kütesinin yükselmesi soğuk hava kütesinin alçalması sonucu hava akışı meydana gelir. Yüksek basınç bölgesinden alçak basınç bölgesine olan bu hava akışına rüzgar denilmektedir. Ayrıca Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi, yeryüzü şekilleri, yerel coğrafi özellikler ve sürtünme kuvvetleri de rüzgar oluşumunu ve hızını etkileyen faktörlerdir. Dünya'ya gelen güneş enerjisinin ortalama %1-2 si rüzgar enerjisine dönüşmektedir(YEGM,2019). Aşağıda şekil 3.10'da alçak basınç

ve yüksek basınç oluşumu ve yüksek basınçtan alçak basıncı hava akış diyagramı ile birlikte rüzgarın oluşum şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Rüzgarın oluşumu ( MGM,2019)

Yeryüzünde oluşan bu rüzgar faaliyetinden ve rüzgarın gücünden faydalanmak adına birçok çalışma tarih boyunca yapılmıştır. Yelkenli gemilerden yel değirmenlerine birçok alanda rüzgar gücü ve enerjisi asırlardır kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisini çeşitli yol ve yöntemlerle kullanan ilk toplulukların günümüzden 2500-2900 yıl önce Çin, Afganistan ve İran'da kullanıldığı belirtilmektedir. Ayrıca ilk rüzgar türbininin Farslılar tarafından tasarlanıp tahıl öğütme ve su pompalamada kullanıldığı da belgeler arasındadır. Rüzgar türbinlerinin rastlandığı ilk belgeler milattan önce 3. yüzyıla aittir(Özcan,2009).

Türkler ve Farslılar yel değirmenlerini ilk olarak milattan sonra 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına rağmen Avrupa ancak haçlı seferleri sayesinde rüzgar enerjisinin bu kullanım alanıyla tanışmışlardır(Aygündüz,2015). İlk olarak Persler tarafından kullanıldığı tahmin edilen ve Afganistan'da bulunan tahıl öğütmeye yarayan dikey eksenli rüzgar gülü aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Dikey eksenli rüzgar gülü ve yel değirmeni

Rüzgar güllerinin Avrupa'ya geçişinden sonra hızla kullanım alanları artmış ve başta tarımsal alanlarda su pompalamada ve hızar gibi kesim alanlarında kullanılmak üzere sanayi devrimine kadar sayıları on binlere ulaşmıştır. Sanayi devrimiyle birlikte rüzgar gücünün yerini makinelerin almasıyla birlikte kullanım alanları daralmaya başlamıştır. Bununla birlikte elektrikli makinelerin icadı elektriğe olan önemi artırmış ve rüzgarın bu amaçla kullanılması üzerine çalışmalar başlamıştır.

Rüzgar türbinleri; prensipte rüzgarın oluşturduğu itme kuvvetiyle birlikte kanatların dönerek kinetik enerji oluşur. Daha sonra kanatları şaftına bağlanan bir jeneratör yardımıyla bu kinetik enerji elektrik enerjisine dönüşür.

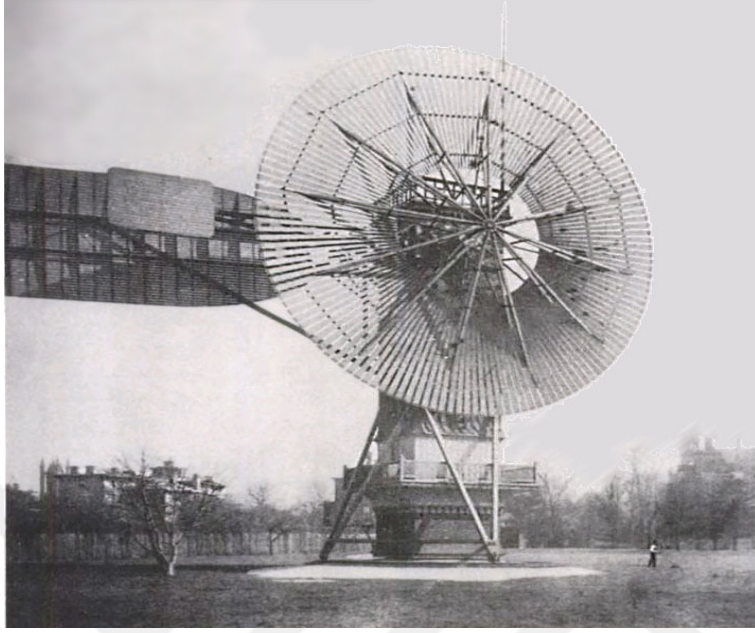
Avrupa'da ilk olarak elektrik üretmek için tasarlanan rüzgar türbini 1891'de Danimarkalı ünlü mühendis Paul La Cour tarafından icat edilmiştir. Daha sonra hükümet desteği alamadığı ve çevresinden gelen tepkiler sonucu çalışmalarını ilerletememiş ancak rüzgar enerjisinden elektrik üretme sevdasından

asla vazgeçmemiştir. Cour çalışmalarını teorik olarak ilerletmiş rüzgar enerjisi hakkında aylık dergi çıkarmış ve 20 öğrenci eğitmiştir. Bu öğrencileri ileriki yıllarda Danimarka ve Hollanda'da üretilen rüzgar türbinlerinin ilk mucitleri olmuştur.



Şekil 3.12. Paul La Cour tarafından icat edilen ilk rüzgar türbini

Amerikalı bilim adamı mucit Charles Francis Brush tarafından 1888 yılında otomatik çalışan ilk rüzgar türbini tasarlanmış ve 12 kW gücünde dinamoya sahip şekilde kurulmuştur (Righter,1996)



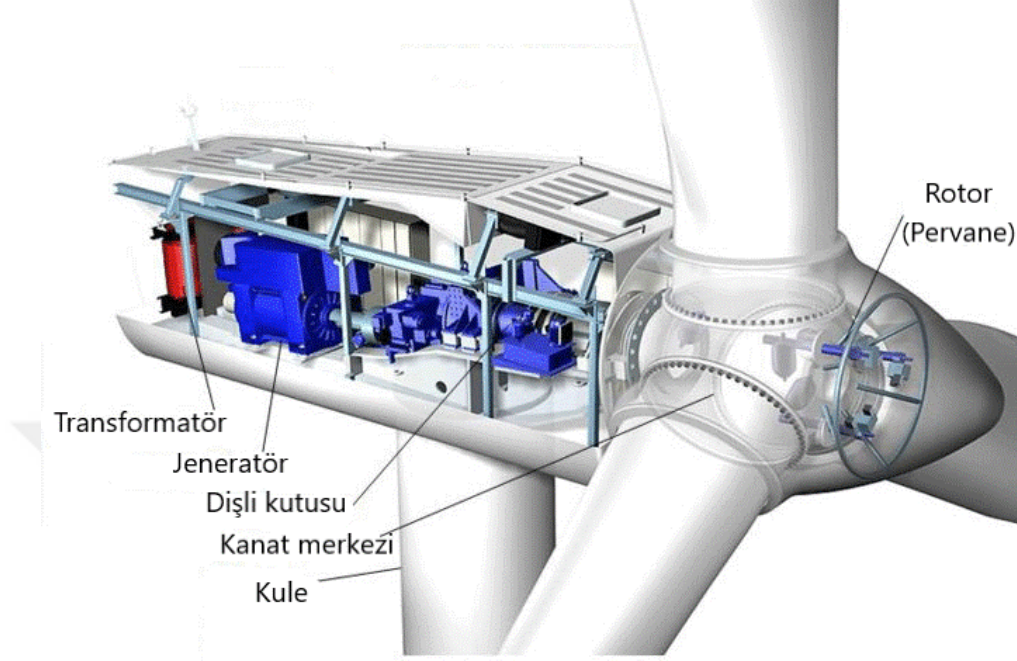
Şekil 3.13. Charles F. Brush tarafından yapılan ilk rüzgar türbini

Danimarka hükümetinin desteğinin artmasıyla birlikte ülkede 1918 itibari ile 120 adet kurulu rüzgar türbini elektrik üretmeye başlamış ve 20-30 kW arası kurulu güç elde edilmiştir. Bilimsel çalışmalarla birlikte daha büyük güçte ve ebatlarda rüzgar türbinleri inşa edilmeye başlanmıştır bunların ilki 1941 yılında Vermontta kurulan 1250 kW gücünde 53 metre kanat çapına sahip 2 kanatlı rüzgar türbinidir (Özcan,2009).



Şekil 3.14. 1941 yılında kurulan 1250 kW güce sahip ilk YERT

İlk üretilen rüzgar türbinlerinin verimi son derece düşük olmasına rağmen sonsuz enerji kaynağı olan rüzgardan sürekli şekilde elde ediliyor olması bu alandaki çalışmaların gelişmesini tetiklemiştir. Günümüzde ise daha modern ve yüksek verimli türbinler tasarlanmıştır. Aşağıda ise modern bir YERT içyapısı görülmektedir.



Şekil 3.15. YERT iç yapısı ve bileşenleri(KBT,2015)

Şekilde görünen YERT iç yapısı elektrik üretiminin en temel gerekli bileşenlerinin görünümüdür.

Rüzgar türbinlerinin ilk kurulum maliyetinin yüksekliği ve belirli rüzgar hızının altında akıma sahip bölgelerde kullanılamaması dezavantajı dışında birçok avantaja sahiptir. Bunlar;

- Fosil yakıt kullanımını azaltarak daha çevreci bir enerji kaynağıdır
- Tükenmez bir enerji kaynağıdır.
- Elektrik üretimi esnasında hammadde ihtiyacı veya transferi harcaması gerektirmez.
- İlk kurulum maliyeti dışında birim maliyeti son derece azdır.
- Kurulum süreci nispeten daha kolay ve pratiktir.

şeklinde sıralanabilir.



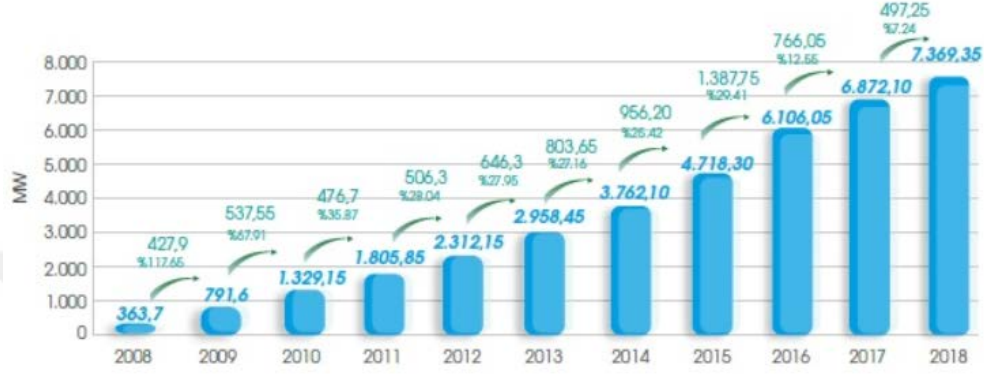
Rüzgar Enerjisinden elektrik üretiminde Dünya üzerindeki kurulu güç 2017 verilerine göre 539 GW boyutundadır. Dünya üzerinde rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde birinci sırayı 188 GW kurulu güç ve 175 GWh üretimle Çin almaktadır. Çin'i Amerika Birleşik Devletleri 89 GW ile takip etmektedir(Koç ve ark,2018). Ülkemiz ise 2018 yılı kurulu gücü ve kapasitesiyle Avrupa'da 7, Dünyada ise 11. sıradadır. Ülkemizde kurulu güçten elde edilen elektrik miktarı ise 19,888 milyar kWh olarak hesaplanmıştır (ETKB,2019). Aşağıdaki çizelge 3.1.de bazı ülkelere ait son güncel rüzgar enerjisi kurulu gücü ve sıralaması yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Ülkelere göre rüzgar enerjisi kurulu gücü ve Dünya sıralaması

S.	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Aralık 2017	187.730
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık 2017	88.927
3	Almanya	Kasım 2018	59.240
4	Hindistan	Aralık 2017	32.879
5	İspanya	Aralık 2017	23.026
6	Birleşik Krallık	Aralık 2017	17.852
7	Fransa	Aralık 2017	13.760
8	Brezilya	Aralık 2017	12.763
9	Kanada	Aralık 2017	12.239
10	İtalya	Aralık 2017	9.700
<b>11</b>	<b>Türkiye</b>	<b>Ocak 2019</b>	<b>7.010</b>
12	İsveç	Aralık 2017	6.721
13	Polonya	Aralık 2017	6.534
14	Danimarka	Aralık 2017	5.320
15	Portekiz	Aralık 2017	5.316

Ülkemizde Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı kapsamında yapılan çalışmalar ve teşvikler kapsamında ülkemizde her geçen gün yenilenebilir enerji kaynaklarına ve rüzgar enerjisine olan ilgi artmaktadır. Bu kapsamda Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB) tarafından 6 ayda bir yayınlanan rapora göre ülkemizde sadece 2018 yılında 497 MW kurulu

güç ile 650 milyon dolarlık yatırım gerçekleşmiştir. TÜREB verilerine göre ülkemizde yıllara göre rüzgar enerjisi kurulu gücü ve üretilen elektrik enerjisinin artış şeması aşağıda verilmiştir.

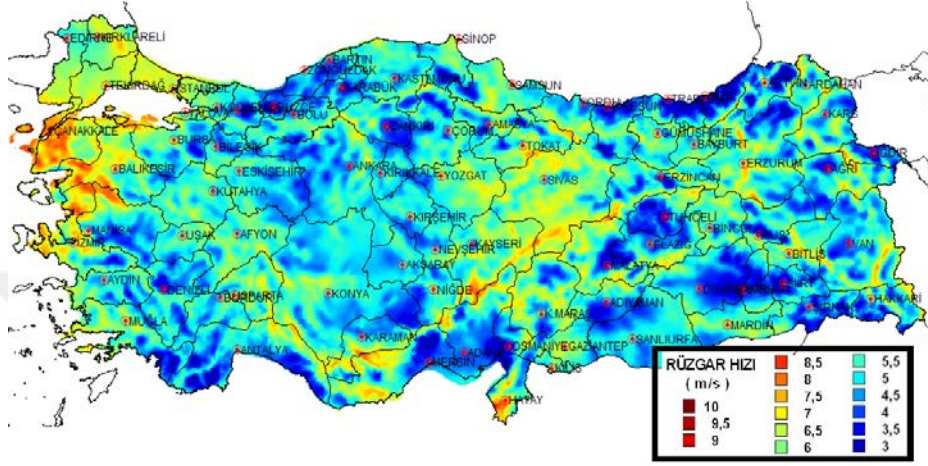


Şekil 3.16. Türkiye’de yıllara göre rüzgar enerjisi kurulu gücü

TÜREB verilerine göre ülkemizde illere göre sıralamaya bakacak olursak 1405 MW ile İzmir birinci sırada yer almaktadır. Balıkesir 1123 MW, Manisa 669 MW, Hatay 364 MW ve Çanakkale 362 MW kurulu güç ile en fazla rüzgâr santralinin bulunduğu şehirlerimizdir. Rüzgâr kurulu gücünün yarısından fazlası bu beş ilde bulunmaktadır. Rüzgar gücü potansiyelimizin yarısından fazlasının bu 5 ilde toplanmasının en büyük sebebi rüzgar gücü ve hızıyla alakalıdır. Bilindiği üzere rüzgar türbinlerinin en iyi performansta çalışması ve yüksek verimlilik için belirli bir rüzgar hızının üzerinde süreklilik olması gerekmektedir. Bir rüzgar türbini cut-in ve cut-out denilen başlama ve durma hızları arasında enerji üretir. Günümüz modern türbinlerin cut-in yani başlama hızları genellikle 2-4 m/s, cut-out yani sistemi güvenlik amaçlı kilitleme hızı ise 25-35 m/s arasındadır. Bu yüzden her bölgede rüzgar enerjisi üretimi ne yazık ki mümkün değildir.

Ülkemiz ortalamasında yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s hıza sahip bölgelerde km<sup>2</sup> başına 5MW gücünde rüzgar santrali kurulabileceği kabul edilmiştir (ETKB,2019).

Aşağıda ülkemizin yerden 50 metre yükseklikte Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası yer almaktadır.



Şekil 3.17. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası 50 m yükseklik (YEGM,2019)

Rüzgar atlasından da görüldüğü üzere ülkemizde ortalama rüzgar hızı 5-7,5 m/s aralığındadır. En yüksek hızların olduğu bölgeler Marmara Bölgesi, Ege Bölgesi, İç Anadolu Bölgesinin doğu kesimleri ile Hatay bölgesidir.

Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan rüzgar türbinleri temelde 2 çeşitten oluşur. Bunlar; Yatay Eksenli Rüzgar Türbini (YERT) ve Dikey Eksenli Rüzgar türbini (DERT)'dir. YERT kanatların bağlı olduğu ve jeneratöre bağlı olan şaftın yer yüzeyine paralel yani yatak ekseninde olması sebebiyle bu isim verilmiştir. DERT ise kanatların bağlandığı şaft yere dikey yani düşey ekseninde hizalanmıştır. Türbinler hakkında daha detaylı bilgi aşağıdaki kısımlarda anlatılacaktır.

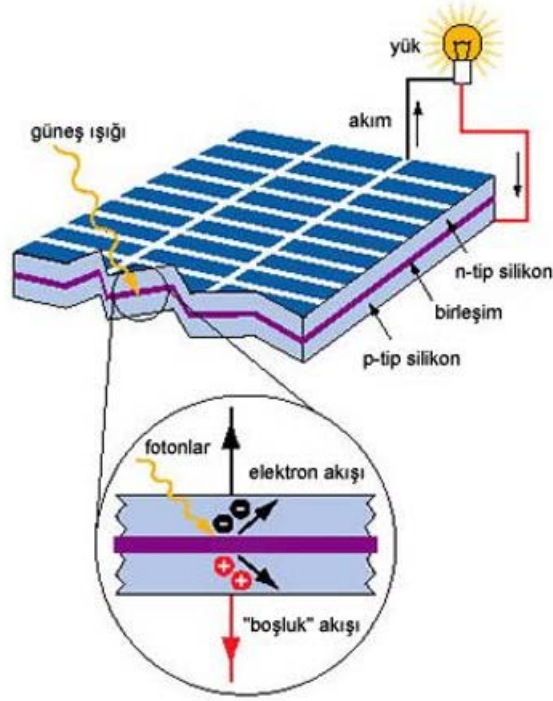
### 3.1.3. Fotovoltaik Panel(PV)

Fotovoltaik Panel, güneş hücrelerinin bir araya getirilerek seri ve paralel bağlanması sonucu oluşan fotovoltaik modüllerden meydana gelmektedir. Güneş pilleri hakkında yukarıdaki bölümlerde bilgi verilmiştir. Şimdi daha detaylı inceleyeceğiz. Güneş pilleri; güneşten gelen fotonlar sayesinde elektrik enerjisi üreten yarıiletken malzemeden meydana gelen dikdörtgen veya kare malzemelere denilmektedir.



Şekil 3.18. Güneş pilinden elektrik üretim şeması

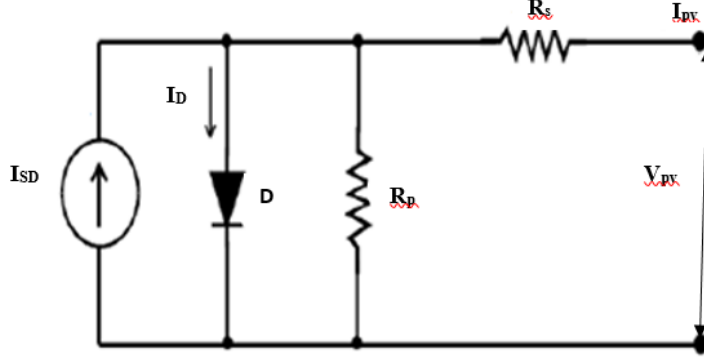
Güneş pilleri yapısal olarak yarıiletken malzemeden oluşmaktadır. Bunun üzerinde ışığı yansıtmadan soğuran yüzey ve en dışta koruyucu katmandan oluşur. P ve N katmalarından oluşan güneş hücresinde fotonlar yüzeye düşerek elektronları koparır ve elektronun hareketi elektriği oluşturur. Aşağıdaki şekilde güneş pilinin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Güneş hücresi iç yapısı

Başta nötr durumda olan n ve p kutuplu yarı iletkenler şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Fotonlar n kutbundan elektronları koparak p kutbuna ilerlemesini sağlar ve yarıiletken levhalar arası elektriksel yük dengesi kurulur. P yarıiletkeni negatif yüklerle yüklenirken n levhası pozitif yüklü hale gelir ve elektrik akımı oluşmuş olur. Yarıiletken üzerinde foton düşmeye devam ettikçe bu akım da devam eder.

İhtiyaç doğrultusunda belirli sayıda hücreler bir araya gelerek seri ve paralel bağlanma ile modülleri modüller de panelleri oluşturur. Bir hücrenin gücü yaklaşık 0,5-1W, modülden oluşan paneller ise 10-300W aralığındadır. Aşağıda bir güneş hücresinin iç devre yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Güneş hücresinin elektriksel iç devre yapısı

Devre üzerindeki,

$I_{PV}$  : PV panelin Akımı

$I_{SD}$  : Kısa devre akımı

$I_D$  : Diyot akımı

$D$  : Diyot

$R_P$  : PV panelin paralel direnci

$R_S$  : PV panelin seri direnci

$V_{PV}$ : PV panelin çıkış gerilimi

olarak verilmiştir. Devrenin matematiksel gösterimi ise aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$I_{PV} = I_{SD} - I_D \left[ e^{\left( \frac{6}{kT_{PV}} (V_{PV} + R_S I_{PV}) \right)} - 1 \right] - \frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{R_P} \quad (3.1)$$

Denklemdaki,

$k$  : Boltzmann sabiti ( $1,380622 \times 10^{-23}$  J/K)

$T_{PV}$  : Sistemin referans sıcaklığı (K)

olarak verilmiştir (Ulutaş,2015).

Güneş pilleri kullanılan yarıiletken malzemeye göre değişiklik göstermektedir. Bunlardan başlıcaları aşağıda listelenmiştir.

- Mono (tek) kristalli silisyum güneş pilleri
- Poli (çok) kristalli silisyum güneş pilleri
- İnce film güneş pilleri
- Amorf silisyum güneş pilleri
- Kadmiyum tellür ince film güneş pilleri
- Bakır indiyum diselenid güneş pilleri
- Optik yoğunlaştırıcı güneş pilleri

şeklinde sıralanmıştır. Piyasada en yaygın olarak kullanılan ve ticari olan güneş pili çeşidi ise monokristal güneş pili, polikristal güneş pili ve amorf silisyum güneş pilleridir. Diğerleri daha çok deneysel ve geliştirilmeye açık şekilde olan sistemlerdir.

Tek kristal ve çok kristal (monokristal ve polikristal) silisyum güneş pilleri, PV yapımında sıkça kullanılmaktadırlar. Ancak tek kristal malzemenin maliyeti daha yüksek olduğu için genellikle çok kristalli güneş hücresi nispeten daha yoğun kullanılmaktadır. Silisyum malzemesinin güneş hücresi yapımında kullanılmasının en temel sebepleri, elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini uzun süre koruyabilmesidir.

Dünya’da oksijenden sonra en çok bulunan elementin silisyum olmasına rağmen tek kristalli silisyum teknolojisi zor ve pahalıdır. Silisyum genel olarak doğada kum ve kuvars olarak bulunmaktadır. Kum içerisindeki silisyum saflık oranı son derece az olduğundan dolayı pek kullanılmamaktadır. Kuvars malzemenin ise silisyum oranı yaklaşık %90'lara gelmektedir. Kimyasal işlemler sonucunda bu saflık oranı %99'a kadar çıkarılabilen silika elde edilir ve silikadan da silisyum meydana getirilir. Daha sonra silisyum saflaştırılarak yarıiletken olan

çok kristalli silisyum elde edilir. Kuvarstan silisyum eldesine kadar olan süreç ve teknoloji son derece pahalıdır. Polikristal silisyum malzeme tekrar eritilir ve miktarı büyütülür. Silisyum çekirdekleri çok düşük hızda eritilmiş silisyum banyosundan çekilir ve böylece tek kristalli(monokristal) tabaka oluşur.

Ticari amaçlarla kullanılan silisyum güneş hücrelerinin büyük kısmı bor elementi katkılı monokristal tabakalardan ( yaklaşık 400 mikron kalınlığında) üretilirler. Monokristal ve polikristal güneş pilleri toplam güneş pilleri piyasasının neredeyse %80'ini oluşturmaktadır ve verimleri ortalama %15-23 arasındadır.

Çukurova Üniversitesi Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER) bölgesine kurulan sistemimiz PV panel de monokristal güneş pilinden oluşmaktadır. 2 adet 195W gücünde toplam 390W LINUO POWER marka monokristal panel kullanılmıştır. Kullandığımız panelin elektriksel özellikleri çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Linuo Power monokristal güneş paneli elektriksel özellikleri

Pmax (W)	Uoc (V)	Isc (A)	Umpp (V)	Impp (A)	FF	Module efficiency	Max system voltage	Max series fuse
195	45.23	5.66	36.87	5.29	76.19%	15.27%	1000V	10A
200	45.66	5.69	37.67	5.31	76.99%	15.67%		
205	46.09	5.72	38.32	5.35	77.76%	16.06%		
210	46.52	5.75	39.11	5.37	78.52%	16.45%		

Yukarıdaki tabloda da görüleceği gibi kullandığımız panelin;

- Gücü (Pmax) : 195 W
- Açık devre gerilimi ( Uoc) : 45,23 V
- Kısa devre akımı (Isc) : 5,66 A
- Maksimum gerilimi (Umpp): 36,87 V
- Maksimum akımı ( Impp) : 5,29 A
- Fill - factor (FF) : %76,19



- PV panel verimliliği : %15,27

olarak verilmiştir. Burada fill-factor hücrelerin dolum oranı yoğunluğu olarak belirtilmektedir. Fill-factor yüzdesi aşağıdaki denklemden elde edilir.

$$FF = \frac{P_{max}}{U_{oc} \times I_{sc}} \times 100 \quad (3.2)$$

$$P_{max} = U_{mpp} \times I_{mpp} \quad (3.3)$$

Kullandığımız panelin mekanik özellikleri ise (her bir panel için);

- Panel ebatları : 1580×808×35 mm
- Panel ağırlığı : 15,5 kg
- Hücre sayısı : 72 adet
- Cam inceliği : 3,2 mm
- Çalışma aralığı sıcaklığı : -40 ile +80 °C
- Hücre nominal sıcaklığı : 48 °C değerlerinde verilmiştir.

#### 3.1.4. Dikey Eksenli Rüzgar Türbini (DERT)

Hibrit enerji sistemimiz için kullanacağımız ikinci malzeme ise rüzgar türbinidir. Rüzgar türbini yukarıdaki başlıklar altında kısaca açıklanmış olsa da şuan daha fazla bilgi verilecektir. Rüzgar türbinleri temel prensipte rüzgar gücü sayesinde türbin kanatlarının dönerek mekanik enerjinin şaft milini döndürerek rüzgar jeneratörüne aktarılması ve milin manyetik bobin içerisinde dönerken elektromanyetik alan içerisindeki mıknatıslar sayesinde elektrik enerjisi oluşturmasına dayanır. Rüzgarın gücü, rüzgarı alışı açısı, kanat yapısı, türbin büyüklüğü gibi birçok etken rüzgar enerjisinden elektrik üretimini etkileyen faktörlerdir. Bir türbinin rotor yani pervane çapı ne kadar büyük olursa maksimum

güç üretim potansiyeli de o kadar artar. Aşağıda bunu gösteren çizelge yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Rotor büyüklüğü- Maksimum güç ilişkisi

Rotor Büyüklüğü ve Maksimum Güç Çıktısı	
Rotor Çapı (m)	Güç Çıktısı (kW)
10	25
17	100
27	225
33	300
40	500
44	600
48	750
54	1000
64	1500
72	2000
80	2500

Kaynaklar: Danimarka Rüzgar Endüstrisi Birliği, Amerika Rüzgar Enerjisi Birliği

Kuark Bilim Topluluğu (KBT)'nin Danimarka Rüzgar Enstitüsü Birliği ve ABD Rüzgar Enerjisi Birliği verilerine dayandırılarak hazırladığı tabloda rüzgar hızının ortalama 15 m/s olduğunda maksimum verimin olduğu ve buna karşın rüzgar hızının 20 m/s ve yukarısı olduğunda sistemin güvenlik önlemi olarak kendini kilitletiği belirtilmiştir. Rotor büyüklüğü ve maksimum güç ilişkisini ispatlayıcı denklem ise aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * A \quad (3.4)$$

P : Türbinin üreteceği güç (Watt)

$\rho$  : Hava yoğunluğu uluslararası standart atmosfer koşullarında 1,225 kg/m<sup>3</sup>

V : Rüzgar türbinin olduğu yerdeki rüzgar hızı

A : Türbin kanatlarının süpürdüğü alandır ve kanat yarıçapının karesi ve pi sayısının çarpımı ile hesaplanır.

$$A = \pi r^2 \quad (3.5)$$

Yukarıdaki formülde de gösterildiği gibi sabit değerler ve rüzgar hızı girildiğinde rüzgar enerjisi gücü rotor büyüklüğü yani kanat yarıçapının karesi ile doğrudan orantılıdır. Ancak rüzgar türbini kanadının oluşturduğu enerjinin tamamı ile elektrik oluşturulamaz. Sistemin iç kayıpları ve dirençleri vardır. Oluşan mekanik enerjinin maksimum %59,26'sı elektrik enerjisine dönüşür. Bu orana Betz Limiti denmektedir. Betz limiti türbin verimliliğinin yüzdelerle ifadesi olarak bilinir ve  $C_p$  olarak kısaltılır. Betz değeri (0,5926) ile birlikte rüzgar enerjisinden oluşan güç,

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * C_p * A \quad (3.6)$$

olarak hesaplanabilir.

Kurduğumuz sistemde tasarlanan rüzgar türbininde 350 W gücünde 24 V 2700 RPM DC güç üreten kalıcı mıknatıs jeneratör(elektrik motoru) kullanılmıştır. Kullandığımız elektrik motorunun görüntüsü aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.21. Rüzgar türbininde kullanılan elektrik motoru

350 W gücündeki elektrik jeneratörünün teknik özellikleri ise aşağıda verilmektedir.

Model	: SCM4-10135C
Malzeme	: Dökme demir
Renk	: Siyah-Gri
Boyut	: 10x10x9 cm
Kutup sayısı	: 4
Anma gücü	: 350W
Voltaj	: 24V
Yüksüz akım	: 16.4A
Anma hızı	: 2700 RPM

Dert için kullanılan 350W gücündeki DC elektrik motorunun monte edildiği ve dönmeyi sağlayan kanat modeli aşağıdaki şekil 3.21 ve 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Dikey eksenli rüzgar türbini kanadının karşıdan görünümü



Şekil 3.23. Dikey eksenli rüzgar türbini kanadının üstten görünümü

Yukarıdaki şekillerde de görüldüğü gibi DERT olarak Savonius rüzgar türbini modeli kullanılmıştır. Savonius rüzgar türbini modelini ilk olarak Finlandiya vatandaşı olan mühendis Sigurt Johannes Savonius tarafından keşfedilmiştir. Birbirine merkezde birleştirilen birbirine ters simetrik olan yarım kesit iki silindirik kanadın bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Aynı yöne bakan silindir kanatların birisi içbükey diğeri dışbükey yapıya sahiptir. Böylece rüzgarın geldiği yöndeki içbükey kanatta pozitif, dışbükey kanatta ise negatif moment

oluşur. İçbükey yüzeyde daha fazla rüzgar biriktiğinden dolayı pozitif moment daha fazla olur ve o tarafa doğru dönme oluşur. Bu dönme sonucunda da mekanik enerji meydana gelir ve merkezdeki kanat birleştirme mili(profil) mekanik enerjiyi elektrik motoruna iletir.

Savonius rüzgar türbini kullanılma sebebi ise diğer DERT modellerinin aksine herhangi bir dönme başlangıç gücüne (motor) gerek kalmadan kendi kendine harekete başlaması ve düşük rüzgar güçlerinde iyi bir karakteristiğe sahip olmasıdır. Ayrıca pratik ve yapısının kolay olması ucuz maliyete neden olmaktadır bu yüzden de tercih sebebi olmuştur. Görüntüsünün şık olması ve rüzgar yönünden bağımsız olması da artı özellikleri arasındadır. Ancak ne yazık ki bununla birlikte bazı dezavantajı da mevcuttur. Savonius rüzgar türbinlerinin kanat aerodinamiklerinin düşük olması performansını ve ürettiği gücü düşürür bu yüzden daha çok küçük güç gerektiren alanlarda ve sulama pompalarında kullanılmaktadır. Fakat son zamanlarda bu kanat modelleri üzerinde aerodinamiğini geliştirme ve verimi artırma çalışmaları mevcuttur.

Kullanılan bu kanatın üretiminde tamamen geri dönüşüm atık malzemesi olan galvanizli sac ve demir hurda profil kullanılmıştır. Bu profil ve galvanizli kavis verilmiş sac yardımıyla kanadın iskeleti oluşturulmuş ve 3 mm kalınlığında polikarbon (polikarbonat) levha kullanılmıştır.

İlk olarak General Electrics ve BAYER ortaklığı ile üretilen polikarbonatın uluslararası kısaltması PC olarak adlandırılmaktadır. Cama yakın ışık geçirgenliğine sahip levhalar, ısıya, kimyasal maddelere, darbe ve çizilmeye karşı dayanıklı, gıdaya uygun, şeffaf plastik ürünlerdir. Halk arasında lexan, polikarbon ya da şeffaf olarak adlandırılan polikarbonat levhalar, son yıllarda yoğun bir şekilde inşaat, gıda ve iletişim sektöründe de kullanılan ve aranılan önemli bir malzeme olmuştur.

### 3.1.5. İnverter (İnvertör)

Rüzgar türbini ve güneş panelinde üretilen DC elektriğin AC'ye çevirimini akımı ve voltajı düzenleyen ve sisteme zararsız şekilde aktarımına sağlayan cihaza inverter denir. İnverterler kullanım amacı, kapasite ve kalitesine göre çok çeşitli şekilde üretilmişlerdir.

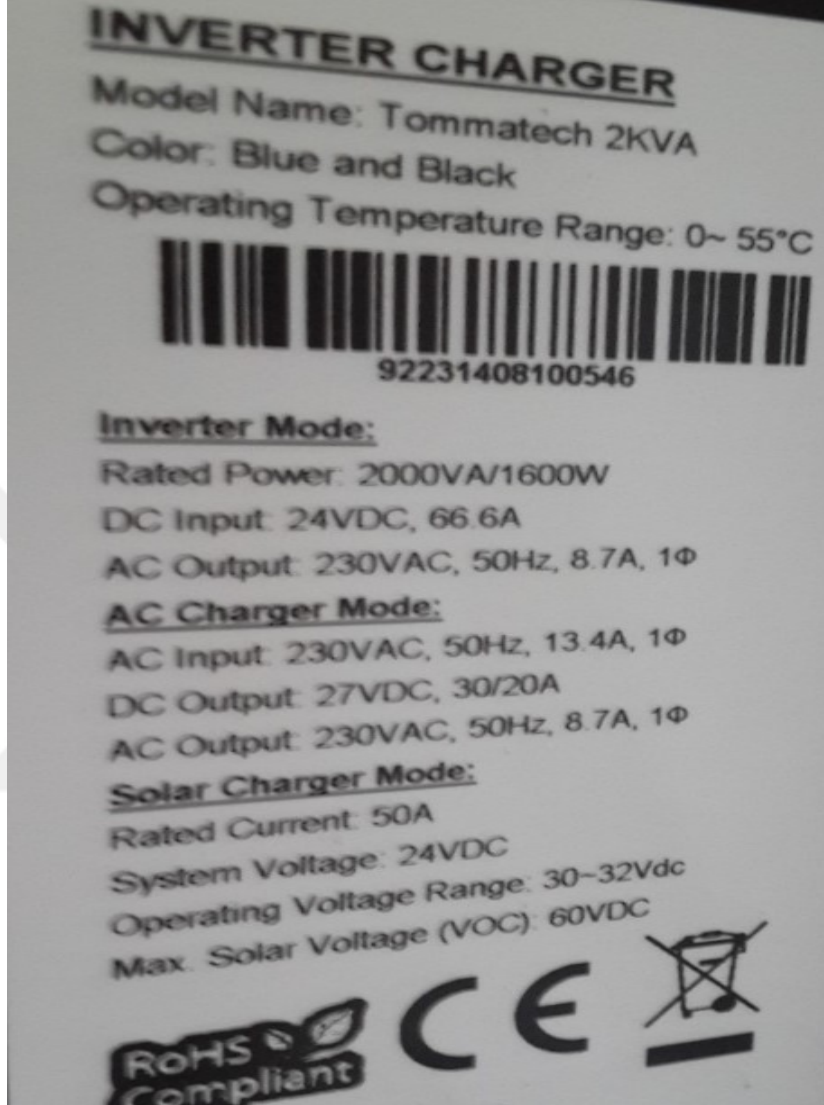
Kurulu sistemimizde ise 2KVA gücünde TOMMATECH marka tam sinüs inverter kullanılmıştır.



Şekil 3.24. Tommatech marka inverter

Kullandığımız inverterin teknik özellikleri ise aşağıda verilmiştir.





Şekil 3.25. Tommatech inverter teknik özellikleri

Kullanılan Tommatech marka inverter akıllı inverter özelliğine sahip olduğundan dolayı ayrıca bir şarj regülatörü (denetleyici) kullanmamıza gerek kalmamıştır. Uygulama alanına göre seçilebilir şarj akımı özelliğine sahiptir. Ayrıca giriş voltajı da ev aletlerine ve bilgisayarlara göre yani kullanılan cihazlara göre ayarlanabilmektedir. İverter. Hibrit Enerji Sisteminin en önemli

bileşenlerinden birisidir. Bu yüzden inverterin kapasitesi ve teknik özellikleri üretilen elektrik gücüne ve kullanılacak alana göre iyi belirlenmelidir.

### 3.1.6. Akümülatör(Batarya)

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan ve ihtiyaç olması halinde bunu yeniden elektrik enerjisine çevirerek aktaran cihaza akümülatör ya da daha kısa haliyle akü denir. Aküler enerjinin depolanması aşamasında son derece önemli ekipmanlardır. Sistemlerde üretilen elektriğin ihtiyaç olmadığı zamanda biriktirilmesi ve ihtiyaç anında kullanılması gereksinimi akülere ve kapasitelerine ihtiyacı artırmıştır. Bunun dışında aküler prototip elektrikli araçlarda, hibrit arabalarda, benzinli motorların ilk marş motorunun çalışmasında, elektrik şebekesine uzak yerlerde el aletlerinin kullanımı gibi birçok alanlarda kullanılmaktadır.

Temel olarak 12 V'luk akü, birbirine seri olarak bağlanmış altı adet 2 voltluk hücreden meydana gelmiştir. Her eleman grubu içerisinde, birbirlerine paralel bağlanmış pozitif ve negatif yüklü plaklar vardır. Pozitif plaklar aktif madde olarak kurşun dioksit içerir. Negatif plaklar aktif madde olarak saf kurşun içerir. Plakların arasına, kısa devreyi önlemek için plakları izole eden separatörler/ayırıcılar yerleştirilir. Ayırıcılar, plaklar arasındaki kimyasal tepkimeyi engellemeyecek şekilde çok küçük gözenekleri bulunan maddelerden yapılır. Akünün içine sülfürik asitle saf su karışımı olan elektrolit konulur. Elemanlar arası seri olarak kurşun köprülerle bağlanmıştır. Ancak teknoloji ilerledikçe aküler de güven ve kapasite olarak gelişme göstermiştir. Daha ileri teknolojiye sahip ve yüksek performanslı akülerden birisi de jel akülerdir. Jel aküler içerisinde jel-jöle kıvamında elektrolit kullanılan akülerdir. Ağır çevresel koşullara, sıcaklığa ve titreşime dayanıklı ve bakım gerektirmemektedir. Bu yüzden denizcilik sektöründe ve rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde özellikle tercih edilirler. Jel akü hemen şarj edilmese bile, derin deşarjdan tamamen geri döndürülebilir.

Günlük çevrimsel kullanım için idealdir. Uzun deşarjlarda mükemmel performans gösterirler.

Kullandığımız sistemde 2 adet 12V gerilime sahip 150 Ah kapasiteli Yiğit marka VRLA jel akü kullanılmıştır. Kullanılan 2 adet akünün toplam kapasitesi 300 Ah'dir. Bu örneğin 1 Amper gücünde bir cihazın 300 saat kullanımına karşılık gelecek bir enerjiyi depoladığı anlamına gelmektedir. Akünün gücü ise;

$$P = I \times V \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanabilir. Sistemimizdeki akülerin kapasitesi (300Ah) ile gerilim(12V) çarpıldığında ortalama güç kapasitesi 3600 Wh olarak hesaplanmıştır. Aşağıda ise kullandığımız akülerin görüntüsü ve teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 3.26. Yiğit marka 12V 150 Ah jel akü

Çizelge 3.4. Jel akü teknik özellikleri

Kod	YGE12-150
Dizayn Numarası	26502061E
Nominal Kapasite (Ah)	150
Kutu Tipi / Hücre Sayısı	B / 6
Voltaj (V)	12
Elektrolit Tipi	Jel
Ağırlık (kg) (+ - %5)	48,0
Boyutlar (mm) U / G / Y (H1-H2)	509/224/195-218 [+5/-1mm]
Terminal Tipi	Yuvarlak (DIN 72311-4) + M8 Opsiyonel
Float Voltajı	13,6 - 13,8VDC @25°C
Cycle Voltajı	14,25 - 14,6 VDC @25°C
Önerilen Şarj Etme Akım Limiti (Ah)	15
Deşarj Kesme Voltajı 100% Deşarj Derinliği D.O.D.	1,75 VDC @ (A) <=0,2 C
Kapasite C20 (Ah)	150,0
Kapasite C10 (Ah)	138,8
Kapasite C5 (Ah)	127,0
Kapasite C3 (Ah)	117,4
Kendi Kendine Deşarj	Ayda %2'den az @25°C
Depolama Süresi	6 ay @25°C. Kullanımdan önce şarj edilmesi tavsiye edilir.
Çevrim Ömrü DOD %80	650
Çevrim Ömrü DOD %50	1200
Çevrim Ömrü DOD%20	3200
İç Direnç [miliohm]	6 @25°C
Kısa Devre Akımı (Amper)	2908

### 3.1.7. Anemometre

Havanın ya da başka gazların akım hızlarını ölçmeye yarayan cihazlara anemometre denir. Anemometreler özellikle uçaklar, hava tahminleri ve hava raporları için ilgi sağlamak üzere rüzgârın hızını ölçmek amacıyla kullanılır. Genelde bir rüzgâr fırıldığıyla birlikte kullanılan anemometre, hem rüzgârın hızını ölçer hem de yönünü saptar. Fırdöndülü, pervaneli anemometre olmak üzere birkaç türü vardır. Her türün fiyat ya da gördüğü iş gibi kendine özgü üstünlüğü yanında uyarlanma alanına elverişli özelliği de bulunur. Genel kullarımdaki fırdöndülü anemometrenin sıradan bir tekerlek poyrasına, oturtulmuş radyal kollara takılı üç konik külâhı vardır. Külâhların dönmesinden oluşan enerji rüzgârın hızını göstermek üzere mekanik bir sayaca aktarılabilir.

Kurduğumuz sistemde rüzgar hızını ölçmek için Uni-t Ut 363 Bluetooth özellikli mini anemometre kullanılmıştır. Anlık olarak havanın ısısını ve rüzgar hızını ölçebilen cihaz aynı zamanda veri tutma ve bluetooth özelliği ile akıllı

telefona veri aktarımı özelliğine sahiptir. Aşağıdaki çizelgede kullandığımız anemometrenin teknik bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 3.5. Anemometre teknik özellikleri

Özellikler	menzil	çözüm	doğruluk
Rüzgar hızı	0 ° 45m / sn	0.1m/s	(±% 5 + 0.5)
Sıcaklık	-10 ~ 50 ° C 14 ~ 122 ° F	0,1 ° C 0,2 ° F	± 2 ° C ± 4 ° F
Beaufort ölçeği	seviye	0 ~ 12	1
Özellikler			
Örnekleme oranı			2/s
Aşırı yük göstergesi	>45m/s		OL
MAX / AVG			Evet
Veri tutma			Evet
LCD arka ışık			Evet
Otomatik kapanma			5 dakika
Düşük pil göstergesi			3.0 ~ 3.5V
USB arabirimi			Evet
Tripod mount			Evet
Tam pil süresi>	Bluetooth fonksiyonlu 12 saat		
Çalışma ortamı	0 ~ 40 ° C (≤80% RH) 40 ~ 50 ° C (≤45% RH)		
Depolama ortamı	-20 ~ 60 ° C (≤% 75 RH)		
Genel özellikleri			
Batarya	1.5V (AAA) x3 (dahil değildir)		
Ürün Numara	163mmx55mmx28mm		
Ürün ağırlığı	118g		

### 3.1.8. Multimetre

Herhangi bir sistem veya devre tasarlarken kullanılacak komponentlerin sağlamlığını, ya da arızalı bir sistemde bozulmuş olan komponentin bulunması işlemini tespiti yarayan, voltaj, frekans ve akım ölçümü, direnç, diyot, kondansatör ölçümü, kısa devre kontrolü gibi ölçümleri yapabilen elektronik cihazlara multimetre denir. Multimetreler voltaj ölçüm kademesi, alternatif akım ve doğru akım voltajlarını ölçmeye yarar. Ufak bir kalem pilden 220 V elektrik prizine hatta 1000 V gibi voltajlara kadar ölçümler tek bir cihazdan yapılabilmektedir. Bu da multimetrelerin kullanım alanını genişlemektedir.

Kurduğumuz sistemde rüzgar türbininden üretilen elektriğin akım ve voltajını görmek ve kontrol edebilmek için UNI-T UT70A 1000V Dijital Multimetre kullanılmıştır. Kullandığımız multimetrenin teknik özellikleri,

- DC Gerilim: 200mV / 2V / 20V / 200V / 1000V (% 0.5 + 1)
- AC Gerilim: 200mV / 2V / 20V / 200V / 750V (% 0.8 + 3)
- DC Akım: 20mA / 2mA / 200mA / 10A (% 0,8 + 1)
- AC Akım: 20mA / 2mA / 200mA / 10A (% 1 + 3)
- Direnç: 200W / 2 kW / 20 kW / 200kW / 2MW / 20 MW / 2000MW(0.8 + % 1)
- Kapasitans: 20nF / 200nF / 2mF / 100mF (% 2.5 + 5)
- Frekans: 2kHz -10MHz (Otomatik Değişken) (% 0.1 + 3)
- Endüktans: 2mH / 20mH / 200mH / 20H (2 + % 10)
- Sıcaklık (° C): -40 ° C ila 1000 ° C (1 + % 3)
- Sıcaklık (° F): -40 ° C ~ 1832 ° F (1 + % 4)
- Mantık TTL (Yüksek > 2.0V, Düşük < 0.8)
- Güç 9V Pil (6F22)
- LCD Boyutu: 62 x 53mm
- Ürün Rengi: Gri - Kırmızı
- Ürün Net Ağırlığı: 620g (tutucu dahil)
- Ürün Boyutu: 195 x 90 x 40mm

olarak verilmektedir. Kullandığımız multimetrenin görüntüsü şekil 3.27 da gösterilmiştir.



Şekil 3.27. UNI-T UT70A Dijital Multimetre görüntüsü

### 3.2. Metod

Kurmuş olduğumuz sistemde entegre rüzgar güneş enerjisi hibrit sisteminde diğer sistemlerin aksine dikey eksenli rüzgar türbini kullanılmıştır. Dikey eksenli rüzgar türbininin kullanılma sebebi dikey eksenli rüzgar türbinlerinin yatay eksenli türbinlere göre daha düşük rüzgar gücünde çalışması ve evsel kullanıma uygun olmasıdır. Yılın nerdeyse tüm aylarında az da olsa rüzgar olduğundan dolayı üretime doğrudan katkı sağlaması amaçlanmıştır.

2 adet fotovoltaiik güneş panelimiz üst yüzeyi yerden 2 metre yüksekte olmak üzere Güney cephe yönüne döndürülmüş ve Adana ili coğrafi konumuna göre güneş enerjisini maksimum alabilecek şekilde açıldırılmıştır. Paneller birbirine ve yere 10 cm kalınlığında demir profil ve demir boru ile kaynatılmış sabitlenmiştir. Kuvvetli rüzgar ve iklim şartlarına dayanması zarar görmemesi amaçlanmıştır.

Güneş panellerinin hemen üst noktasının 35 cm yukarısına gelecek şekilde yerdeki Güneş panelleri sabit demirine 235 cm yüksekliğinde profil kaynatılmış ve panellerin tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Böylece rüzgar türbinimizin yeri ayarlanmıştır. Türbinimiz Güneş panellerinin arka üst tarafında yerleştirilmiş ve böylece güneş ışınlarını hiçbir zaman engellemeyecek, panele gölge düşürmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Güneş panellerinden çıkacak elektrik akımını taşımak için solar kablolar ve onlara bağlı inverter kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu sisteme akü grubu bağlanmış ve sistem hazır hale gelmiştir. Kurulan sistem off-grid sistem olduğundan kendi elektrik açma kesme aküyü besleme bileşenleri manuel sigorta(düğme) yöntemi ile yapılmaktadır.

Almış olduğumuz 350W gücündeki DC elektrik motorunun uç kısmına ise torna atölyesinde kanat profiline uygun olacak şekilde metal aparat üretilmiştir. Üretilen bu aparat oksijen kaynağı ile motorumuza sabitlenmiştir. Aşağıda motora üretilen parçanın üretim görüntüsü ve motorun son halleri gösterilmektedir.





Şekil 3.28. Torna makinasında üretilen aparat ve monte edilmiş motor

Motora monte edilen kanada uygun aparat üretildikten sonra motorun kaydattığımız profile montajı gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde montaj görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.29. Motorun panel üzerindeki profile sabitleme montajı

Tüm bu işlemlerden sonra kurduğumuz sistem kanat dışında tamamen hazır hale gelmiştir. Savonius tarzı dikey eksenli rüzgar türbinimizin kanadı 2 kanatlı olarak en yüksek verimi alabilmemizi sağlayacak şekilde planlanarak tasarlanmış ve metal işleme üretim atölyesinde tamamen geri dönüşüme gönderilecek olan uygun atık metal malzemelerden üretilmiştir. Hem üretim maliyetini düşürmek hem de geri dönüşüm ürünlerinden faydalanmak amacıyla kullanılan malzemeler farkındalık yaratmak adına son derece pozitif bir adım olarak düşünülmüştür. İkiye katlanmış sac profil kanat levhamızı kıskaçlayacak şekilde bükülmüş ve pres makinasında istediğimiz eğim verilerek konveks (iç bükey) şekil verilmiştir.

Şekil 3.30. Galvanizli sacın bükülmesi işlemi

Bir yay gibi eğilen bu galvanizli sac malzemeden 55 cm olarak 4 adet kullanılmıştır. Ve eğim ile bu sacın iki ucu arasındaki dik mesafe 45 cm yapılmıştır. Ve sonrasında bu sac paneller orta direği oluşturan 30×30 mm kenar kesitinde 2,5 mm kalınlığında 110 cm boyunda kare demir profile kaynatılmıştır ve 1,5 cm eninde yassı demir çubukla iç bükeylik açısını koruyacak şekilde desteklenmiştir. Aşağıda kanadın üretimi gösterilmektedir.

Şekil 3.31. Kanat iskeletinin üretimi



Şekil 3.32. Kanat iskeleti üretimi kaynak aşaması

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi kanadımız kullanılmış atık durumda hurda metallere uygun boyutta tasarlanmış ve kanat açıklığı bir uçtan bir uca 90 cm alttan yukarıya 100 cm olacak şekilde geliştirilmiştir. İskeletimizin içerisine 2 adet 55×100 cm boyutunda 3 mm kalınlığında daha önce hiç bu amaçla kullanılmamış olan ince hafif esnek ve dayanıklı özelliğe sahip olan polikarbon levha kullanılmış ve bükülerek galvanizli sac panellerin arasına sıkıştırılmıştır. Orta profil ve alt üst sac profillere perçinlenerek sabitlenmiştir. Böylece kuvvetli

rüzgarlarda bile kanat zarar görmeyecek şekli ve malzemeler kötü etkilenmeyecektir.

Polikarbon malzeme kullanılmasının en büyük sebebi yukarıda da belirttiğimiz gibi çok hafif ve dayanıklı olması, alev almaması, esnek olduğu için kolay şekillendirilebilir olmasıdır.

Üretimi tamamen tamamlanan rüzgar türbinimiz üzerine elektrik motorunu monte ettiğimiz güneş paneli sistemimize entegre edilerek hibrit enerji sistemimiz meydana getirilmiştir. Aşağıda kurulan bu sistemin görüntüsü yer almaktadır.

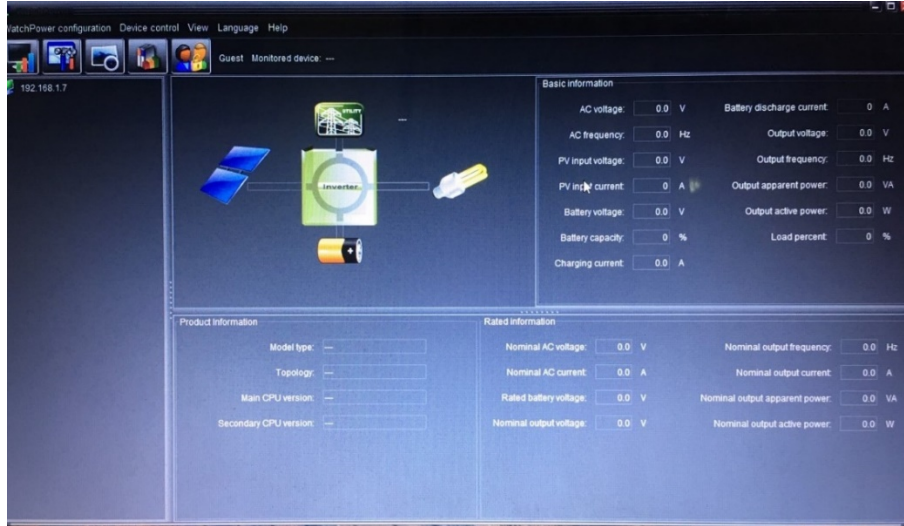


Şekil 3.33. Kurulumu tamamlanan hibrit enerji sistemi görüntüsü

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

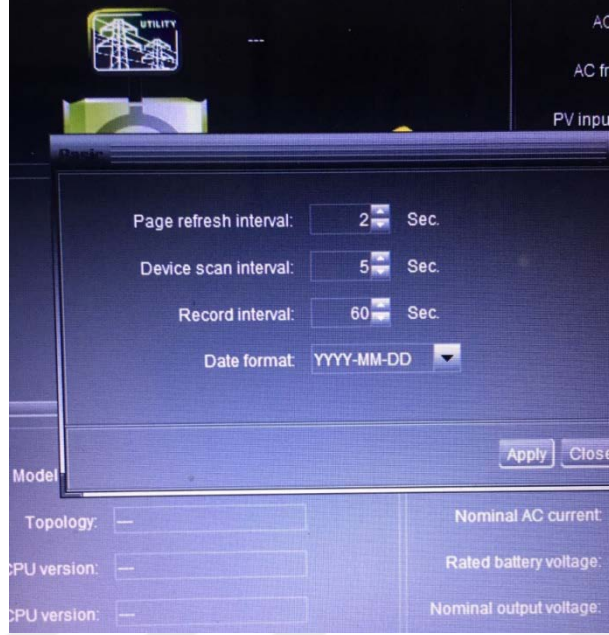
Entegre rüzgar ve fotovoltaik enerji sistemi kurularak belirli periyotlarda inceleme ve veri analizleri yapılmıştır. Güneş panellerinden gelen elektrik anlık kaydedilmiş, rüzgar türbininden elde edilen elektrik ise anlık olarak ölçülmüştür.

İki adet 195W gücünde fotovoltaik panelden invertere gelen elektrik akımı değerleri inverterde düzenlenerek regüle edilmekte ve AC akıma dönüştürülmektedir. İnverter üzerinden okunan değerler ise WatchPower 1.07 programı indirilerek bilgisayar üzerinde kaydedilmiştir. Farklı zaman dilimlerinde yapılan değer okumalarda birbirine yakın zamanlarda yakın elektrik güçleri üretilmiş güneş ışınlarının dik açığa yakın geldiği öğleden önce ile ikinci arasındaki süreçte maksimum verim alınmıştır. Bilindiği gibi PV sistemlerinde güneş olmadığı zamanlarda yani akşamdan sabaha kadar olan süreçte bir üretim ve voltaj bulunmamaktadır. WatchPower uygulaması üzerinde bu saatlerde bir değer okunmamıştır. WatchPower programının arayüzü aşağıdaki şekildedir.



Şekil 4.1. WatchPower programı ara yüz görüntüsü

Bununla birlikte programın veri kaydetme aralığı ve kayıt sayfası aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. WatchPower uygulamasından veri kaydetme aralığı belirleme ekranı

Şekil 4.3. WatchPower üzerinden kaydedilen verilerin görüntülenme sayfası

Yukarıdaki program yardımıyla kablo ile invertere bağlanan bilgisayarda kaydedilen voltaj ve akımından güç hesaplaması yapılarak kapasite hesaplanmıştır. Bunun dışında anlık olarak Ağustos 2019'da öğlen saat 12'de inverterden ölçülen anlık okuma değeri ise aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.4. 1 Ağustos 2019 saat 12:00'da anlık olarak inverterde okunan voltaj değeri

Aşağıda bazı ayların belirli zamanlarında ölçülen anlık ve günlük güç üretimini gösteren çizelgeler verilmiştir.



Çizelge 4.1. 11 Aralık 2018 saat başı ve anlık toplam güç üretimi

Tarih	Saat	AC Gerilim (V)	PV Gerilimi (V)	PV Akımı (A)	Toplam Güç (W)
11.12.2018	00:00-08:24	224~235	0	0	0
11.12.2018	09:00	232	44,2	1	44
11.12.2018	10:00	235	42,6	1	43
11.12.2018	11:00	234	42,6	2	85
11.12.2018	12:00	232	43,4	2	87
11.12.2018	13:00	235	50,6	2	101
11.12.2018	14:00	233	60,4	6	362
11.12.2018	15:00	221	52,2	4	209
11.12.2018	16:00	222	51,2	2	102
11.12.2018	17:00	218	48	1	48
11.12.2018	18:00-24:00	220-224	0	0	0
Günlük		228			1,1 kW

Çizelge 4.2. 31 Ağustos 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi

Tarih	Saat	AC Gerilim (V)	PV Gerilimi (V)	PV Akımı (A)	Toplam Güç (W)
31.08.2019	00:00-05:52	243~247	0	0	0
31.08.2019	06:00	248	50,4	0	0
31.08.2019	07:00	244	66,6	2	133
31.08.2019	08:00	248	51,8	3	155
31.08.2019	09:00	245	61,6	3	185
31.08.2019	10:00	245	67	4	268
31.08.2019	11:00	238	67,4	5	337
31.08.2019	12:00	241	67,6	6	406
31.08.2019	13:00	243	68,4	6	410
31.08.2019	14:00	244	69,2	5	346
31.08.2019	15:00	246	69,4	5	347
31.08.2019	16:00	245	68,2	4	272
31.08.2019	17:00	249	57,4	3	172
31.08.2019	18:00	241	52,2	2	104
31.08.2019	19:00	242	51,8	1	52
31.08.2019	20:00-24:00	240~244	0	0	0
Günlük	00:00-24:00	244			3,18 kW

Ağustos ayında alınan verilere göre sistemin güneşlenme süresi daha uzun olduğundan ve mevsim şartlarından dolayı daha fazla üretim olduğu ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.3. 15 Eylül 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi

Tarih	Saat	AC Gerilim (V)	PV Gerilimi (V)	PV Akımı (A)	Toplam Güç (W)
15.09.2019	00:00-05:41	241~246	0	0	0
15.09.2019	06:00	243	49,5	0	0
15.09.2019	07:00	245	49	1	49
15.09.2019	08:00	239	51,2	2	102
15.09.2019	09:00	239	71,2	5	356
15.09.2019	10:00	241	52,2	8	417
15.09.2019	11:00	247	53,6	8	429
15.09.2019	12:00	248	54,2	9	487
15.09.2019	13:00	249	55,2	9	497
15.09.2019	14:00	249	62,8	7	440
15.09.2019	15:00	247	66,4	5	332
15.09.2019	16:00	237	63,8	4	255
15.09.2019	17:00	244	52,8	3	158
15.09.2019	18:00	247	52,2	2	104
15.09.2019	19:00	247	52	1	52
15.09.2019	20:00-24:00	240~244	0	0	0
Günlük	00:00-24:00	244			3,68 kW

15 Eylül tarihinde hava sıcaklarının mevsim normallerinin üzerinde olması ve panel yüzeyinde yapılan ufak bir temizlik veriminde artışa üretimin artmasına yol açmıştır.

Çizelge 4.4. 30 Eylül 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi

Tarih	Saat	AC Gerilim (V)	PV Gerilimi (V)	PV Akımı (A)	Toplam Güç (W)
30.09.2019	00:00-06:16	242~247	0	0	0
30.09.2019	07:00	243	49,8	1	50
30.09.2019	08:00	244	50,4	2	101
30.09.2019	09:00	240	54,2	2	108
30.09.2019	10:00	239	53,6	6	322
30.09.2019	11:00	245	60,4	6	362
30.09.2019	12:00	239	55	8	440
30.09.2019	13:00	239	62,6	6	376
30.09.2019	14:00	240	68,6	5	343
30.09.2019	15:00	241	69,8	4	279
30.09.2019	16:00	240	67,2	3	201
30.09.2019	17:00	241	75,8	2	152
30.09.2019	18:00	247	53,8	1	54
30.09.2019	19:00	249	0	0	0
30.09.2019	20:00-24:00	240~249	0	0	0
Günlük	00:00-24:00	243			2,79 kW

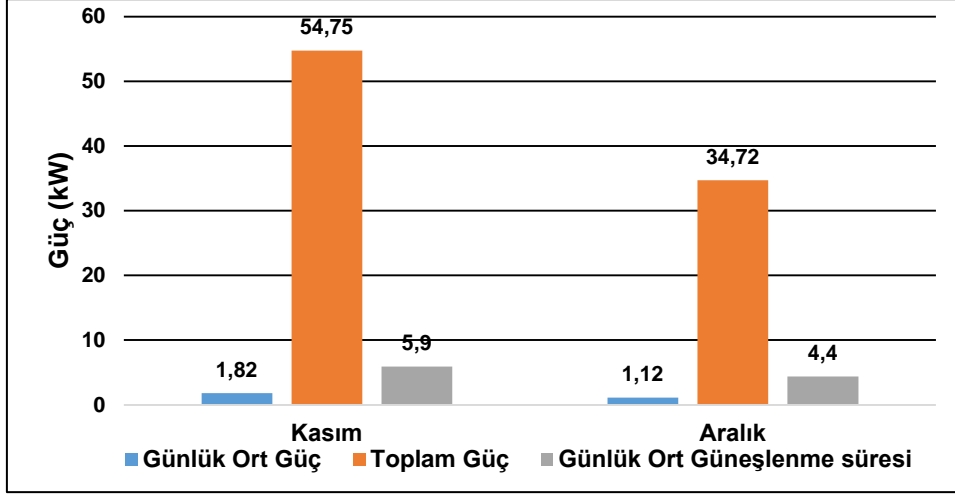
Çizelge 4.5. 20 Ekim 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi

Tarih	Saat	AC Gerilim (V)	PV Gerilimi (V)	PV Akımı (A)	Toplam Güç (W)
20.10.2019	00:00-06:45	243~247	0	0	0
20.10.2019	07:00	244	48	0	0
20.10.2019	08:00	244	49,2	2	98
20.10.2019	09:00	242	52,2	5	260
20.10.2019	10:00	244	53,2	6	319
20.10.2019	11:00	241	53	8	424
20.10.2019	12:00	248	52,4	9	471
20.10.2019	13:00	248	60	7	420
20.10.2019	14:00	247	52,2	7	365
20.10.2019	15:00	251	51,8	4	207
20.10.2019	16:00	248	51,4	3	154
20.10.2019	17:00	246	51	2	102
20.10.2019	18:00	246	51	0	0
20.10.2019	19:00	243	0	0	0
20.10.2019	20:00-24:00	240~244	0	0	0
Günlük	00:00-24:00	246			2,82 kW

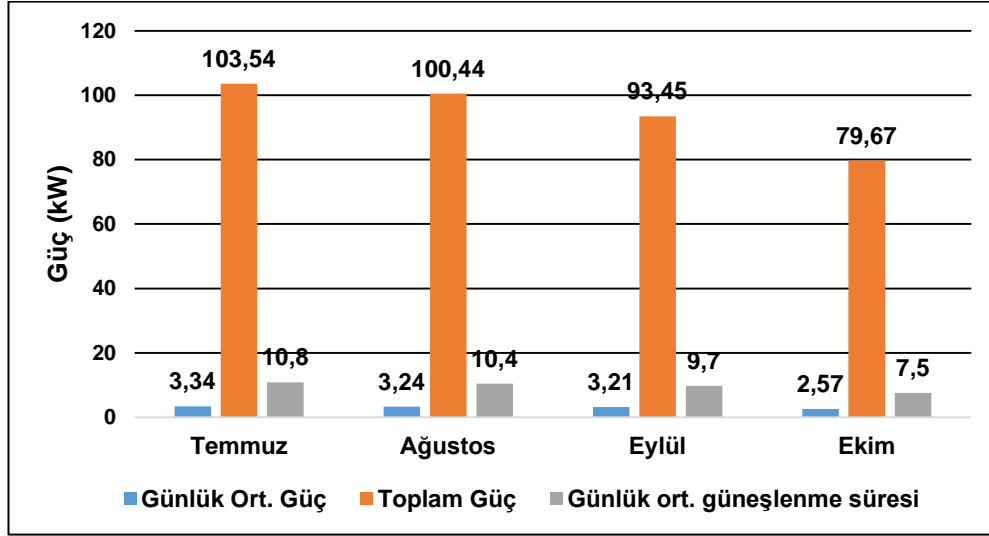
Çizelge 4.6. 1 Kasım 2019 saat başı ve anlık toplam güç üretimi

Tarih	Saat	AC Gerilim (V)	PV Gerilimi (V)	PV Akımı (A)	Toplam Güç (W)
1.11.2019	00:00-06:47	238~242	0	0	0
1.11.2019	07:00	240	50	0	0
1.11.2019	08:00	239	50	1	50
1.11.2019	09:00	241	50,2	2	100
1.11.2019	10:00	247	51,2	2	102
1.11.2019	11:00	250	54,6	3	164
1.11.2019	12:00	247	53,2	8	424
1.11.2019	13:00	246	65,2	5	326
1.11.2019	14:00	243	62,8	5	314
1.11.2019	15:00	248	58,8	4	235
1.11.2019	16:00	246	53	3	159
1.11.2019	17:00	243	51,8	1	52
1.11.2019	18:00	241	51,4	0	0
1.11.2019	19:00-24:00	240~244	0	0	0
Günlük	00:00-24:00	245			1,93 kW

Yukarıdaki çizelgelerde ölçülen değerlere göre sistemimiz açık ve güneşli havalarda yaz mevsiminde maksimum kapasite üretim sağlayabilmiştir. Güneşin en tepede ve tepe noktasına yakın olduğu öğle vakitlerinde ölçüm değerlerinde maksimum noktalar gözlenmiştir. Kasım ve Aralık 2018 yılı verileri sistem ilk düzenlendiği zaman alınmıştır. Daha sonra sistemde Temmuz ayına kadar veri alınmamıştır. Bu tarihlerde sistemimiz tarafından üretilen günlük ortalama ve aylık toplam güç ve ortalama aylık güneşlenme saati aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



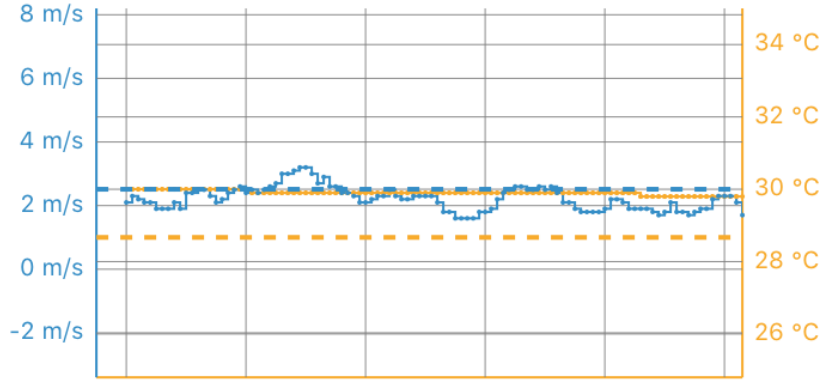
Şekil 4.5. Kasım- Aralık 2018 tarihleri aylık ortalama güç



Şekil 4.6. Temmuz- Ekim 2019 tarihleri aylık ortalama güç

Grafik şekillerinde görüldüğü üzere güneşlenme saatinin fazla olduğu aylarda üretilen güç daha fazladır. Güneşin yoğun olduğu ve sıcaklıkların yüksek olduğu yaz aylarında güneş panellerinden üretilen güç maksimum olmuştur.

Rüzgar türbinimiz ise çok az bir voltaj değeri gösterse de ortalama 2-2,5 m/s rüzgar hızında dönmeye başlayarak elektrik üretmiştir. Sistemin başlama hızı ortalama grafiği anemometre yardımı ile kaydedilerek aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



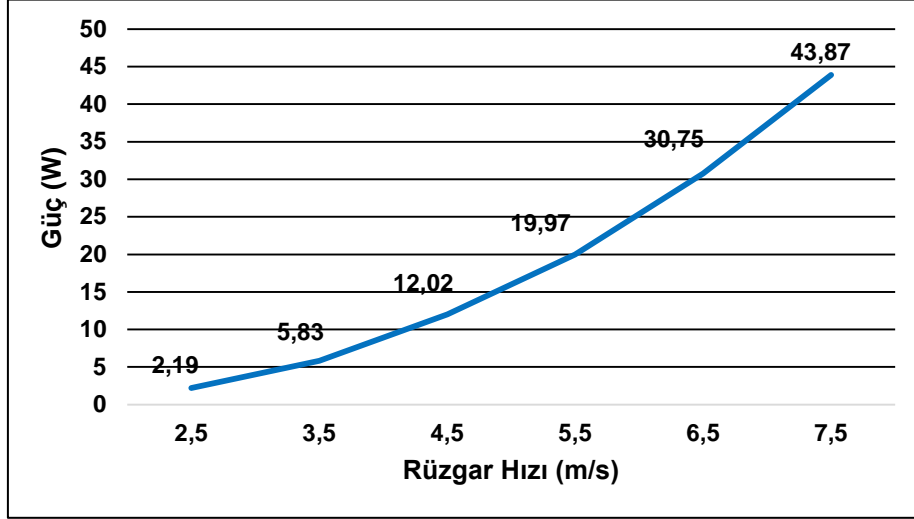
Şekil 4.7. Rüzgar türbininin dönmeye başladığı rüzgar hızı grafiği

Bunun yanı sıra aynı zamanda Adana, Çukurova Üniversitesi meteoroloji verilerine göre ortalama rüzgar hızı ise yıllık bazda 4-4,5 m/s aralığındadır. Rüzgar türbinimize yapay rüzgar hızıyla bu değerler verilmiş ve oluşan rüzgar hızı grafiği aşağıda verilmiştir.

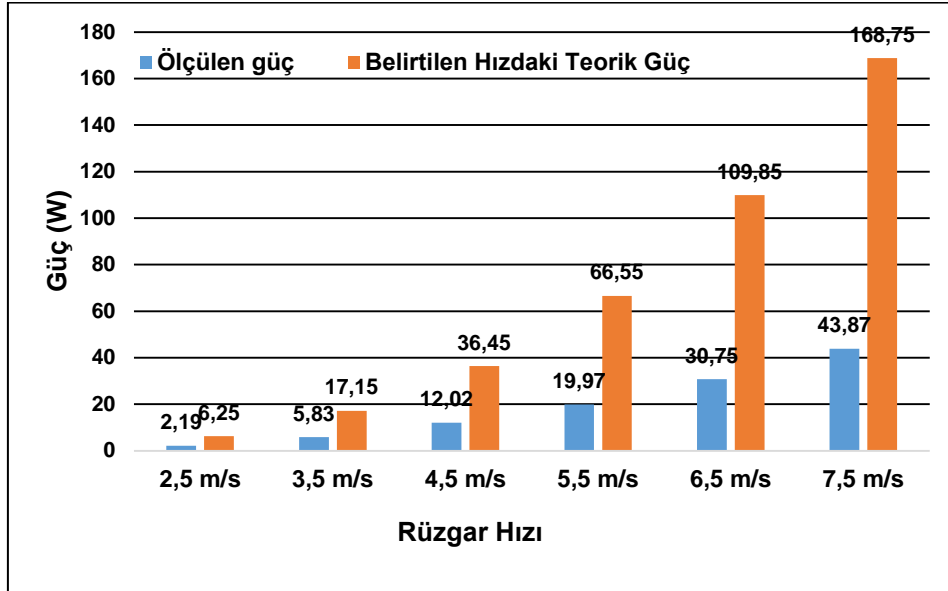


Şekil 4.8. Çukurova Üniversitesi ortalama yıllık rüzgar hızı baz alınarak türbine verilen rüzgar grafiği

Rüzgar hızı arttıkça elde ettiğimiz elektrik üretim değerinin de arttığı gözlenmiştir. Bazı rüzgar hızlarında türbinde üretilen elektrik ve bu rüzgar hızında olması gereken teorik güç değeri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.9. Çeşitli rüzgar hızlarında üretilen elektrik değerleri

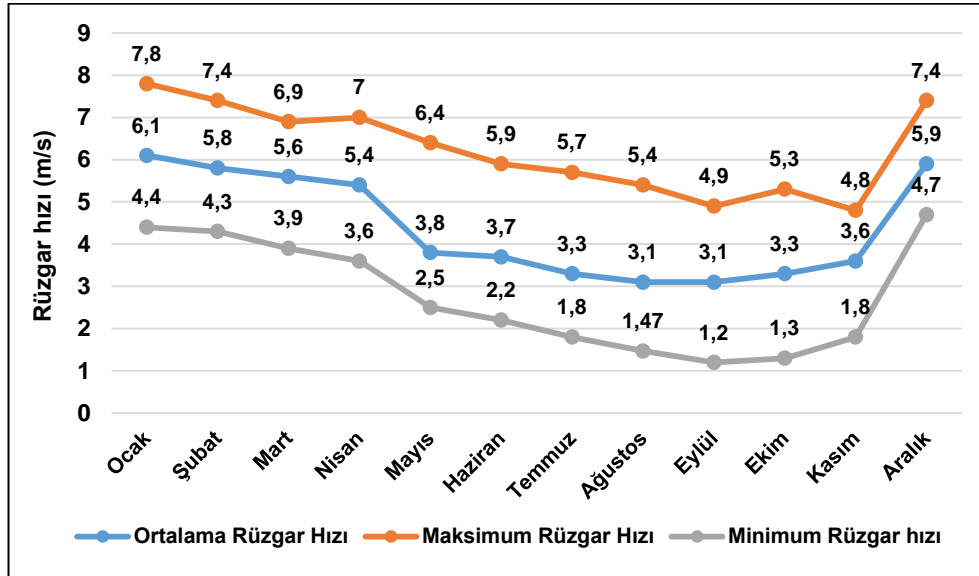


Şekil 4.10. Çeşitli rüzgar hızlarında üretilen güç- teorik güç hesabı



Eşitlik 3.4. te verilen rüzgar türbini güç hesaplama formülüne göre elde edilen değerler ile ölçtüğümüz değerler arasındaki fark türbinimizin verimliliğini ortaya koymaktadır. Bu formüle göre düşük hızlarda türbin verimliliği yaklaşık %35 iken daha yüksek rüzgar hızında %26'ya kadar inmiştir. Verdiğimiz yapay rüzgar hızı ve gönderdiğimiz rüzgarın dağılması, türbin sisteminde bazı balans eksiklikleri bu verimlilik düşüşünün ana nedenleri arasında gösterilebilir.

Adana bölgesi yıl içerisinde aylara göre rüzgar hızları ise aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.11. Adana ili aylara göre rüzgar hızı dağılımı

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi şehir içi ve Adana gibi az rüzgar alan bölgede bile ölçülen rüzgar değerleri ortalaması kurduğumuz sistemde rüzgar üretmeye başlaması için yeterlidir. Yaz aylarında düşen rüzgar hızında minimum değerde de olsa rüzgar üretimi sağlanabilmiştir. Rüzgarın daha yüksek değerlerde olduğu kış aylarında ise rüzgar türbininden üretilen elektrik değeri yüksektir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Entegre rüzgar ve fotovoltaik enerji sistemlerinin performansının araştırılması adlı çalışmamızda değişik hızlarda rüzgar gücünden faydalanarak rüzgar türbininden ne kadar elektrik elde edeceğimizi, verimimizin nasıl olacağını, sistemin kurulabilirliğini ve faydalarını inceledik. Daha önce yapılan deneysel ve teorik çalışmalar göz önünde bulundurularak farklı bir yöntem uygulanmıştır. Uygulamalarda çok az gördüğümüz dikey eksenli rüzgar türbini kullanılarak meydana getirilen hibrit sistemin verimi arzu ettiğimiz kadar yüksek olmasa da düşük rüzgar hızları ve evsel şehir içi kullanımlara uygunluğu son derece yüksektir.

Çalışmamızdan en büyük çıkarımlarımızdan birisi Dünya’da ve ülkemizde gittikçe yaygınlaşan fotovoltaik enerji sistemlerine entegre edilebilecek rüzgar türbinlerinin kullanılabilirliği da, en az elektrik üretim potansiyeli kadar değerli ve önemlidir. Aksi halde aynı güç ve yakın verimlilikte olmalarına rağmen bir yatay eksenli rüzgar türbini kurabilmek için yüksek direk ve direği sabitleme halatları gereklidir. Bununla birlikte yüksek desibelde ses çıkardığı için gürültü kirliliğine yol açmakta ve evlerin, otobüs duraklarının çatılarında veya aydınlatma lamba direklerinin üzerinde kullanım alanlarına çok uygun değildir.

Çalışmamızda tasarladığımız rüzgar türbini kanat sistemi ise hem son derece şık ve göze hitap eden görüntüsü ile hem de daha düşük kurulum maliyeti ve bakım maliyeti olması açısından az bir verim kaybı olsa da kullanıma elverişli olduğu kanaatindeyiz. Kurmuş olduğumuz sistemin görüntüsü ve işlevi çevredeki kamuoyundan da son derece pozitif geri dönüş almış, farkındalık yaratmıştır. Düşük rüzgar hızında dikey eksenli rüzgar türbini ve fotovoltaik hibrit enerji sistemlerinin verimliliği ve kullanılabilirliği düşüncesine destek verici ve teşvik edici sonuçlar elde edilmiştir.

Bu sistemin yeni ve örnek bir sistem olmasından dolayı bazı zorluklar ve verimsizlikler olsa da önemli miktarlarda elektrik üretimi sağlanabildiği gözlenmiştir.

Bu sistemlerde, Betz kanununa göre bir rüzgar türbini verimi teorik hesaplamalara göre en fazla %59 oranda verim elde edilebilmektedir. Elektrik transfer kaybı, üretimdeki sürtünmelerden dolayı oluşan kayıplar ve motor verimliliğine göre birçok etken üretim kapasitesini düşürmektedir. Genellikle gözlenen rüzgar türbinleri Betz kanununun altında ortalama %40-45 aralığında verimlilik göstermektedir. Dikey eksenli rüzgar türbinlerinde ise bu değer %35-40 arasındadır. Bizim ürettiğimiz sistem düşük rüzgar hızlarında bu değeri yakalasa da çeşitli sebeplerden dolayı rüzgar hızı arttıkça verim katsayısını %26 seviyelerine kadar gerilemiştir.

Dikey eksenli rüzgar türbinleri, yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre çok daha çeşit ve farklı dizaynlarda olabilirler. Bu sebeple düşük rüzgar gücünde ve ufak çaplı üretim için hibrit enerji sistemi oluşturulurken maliyet ve verimliliğin yanı sıra şık görüntü ve tasarımların da çeşitlendirilebileceği düşüncesindeyiz. Ayrıca Savonius tipi dikey eksenli rüzgar türbini oluştururken kanatların alt kısmı ile üst kısmı tamamen dik değil de burgulu şeklinde tasarlanması ve içbükeylik açısının genişletilip daraltılması yapılarak farklı çalışmalar yapılabilir. Aynı şartlarda ve motor gücü sabit olmak kaydıyla kanatlarda yapılacak dizayn değişikliğiyle sistemin farklı üretim verimliliği karşılaştırılabilir ve en doğru şekil elde edilebilir.

Bundan sonraki çalışmalarda daha ufak rüzgar hızıyla dönmeye ve elektrik üretmeye başlayan, rüzgarı maksimum kullanan kanatlar tasarlanarak hazır sisteme entegre edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abdulqader, Z. A., 2015. Investigation of Wind/PV Hybrid Power Generation System , Master degree thesis, Ministry of Higher Education And Scientific Research University of Technology, Republic of Iraq, 2-6.
- Aydinyüz, G., 2015. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Yapısal Analizi, Bitirme projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 3-7, 17-21.
- Ayhan, D., 2011. Bina Montajlı Güneş-Rüzgâr Hibrit Elektrik Güç Sistemlerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Başaran, K., Çetin, N.S., Çelik, H., 2011. Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 114-119.
- Demirtaş, M., 2008. Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santral tasarımı ve uygulaması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 211.
- Dursun, E., 2013. Şebekeden Bağımsız Rüzgar, Güneş ve Hidrojen Kaynaklı Hibrit Enerji Sisteminin Analizi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Engin, M., Çolak, M., 2005. Güneş-Rüzgar Hibrit Enerji Üretim Sisteminin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Mühendislik Bilimleri, Denizli, 11,2,225-230.
- Erden, M., 2014. Hidrojen Enerjisi Üretmek için Güneş Kolektörleri ile Entegre Bir Güneş Havuzunun Performansının İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, Adana,1-3,13,19.
- Erdoğan, S., Gürbüz, S., 2014. Türkiye’de enerji tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: yapısal kırılmalı zaman serisi analizi , Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Konya, 32, 79-8.

- Godson, J. ve ark., 2013. "Solar PV-Wind Hybrid Power Generation System",  
International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and  
Instrumentation Engineering, Tirunelveli, India, vol 2, issue 11.
- Jafarzadeh, N., 2017. Analysis Of Hybrid Wind-Solar Power Plant for ITU  
Ayazaga Campus , Master thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, 7-  
10,21.
- Koç E., Güven A. N., 2011. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Modellenmesi ve  
Arıza Sonrası Sisteme Katkı Yeteneklerinin incelenmesi, EMO Bilimsel  
Dergi, Ankara, Cilt 1, Sayı 1, Syf 51-55.
- Koç, E., Şenel, M. C., 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel  
Değerlendirme, Mühendis ve Makina, Samsun, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
- Koramaz, E., 2003. Güneş enerjisi, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu,  
Mersin, 2-4.
- Külekçioğlu, F. M., 2019. Şebekeden Bağımsız Bir Güneş-Rüzgar Hibrit Sistemin  
Modellenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s.17.
- Napat W. and Chaiyant B.,2008. The Small PV–Wind Hybrid Grid Connected  
System for Academic Purposes, Renewable Energy Research Laboratory,  
Department of Electrical Engineering., Rajamangala University of  
Technology Suvarnabhumi Nonthaburi, Thailand.
- Özcan, H., 2009. Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi, Yüksek  
Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,  
13-20.
- Şipar, E., 2011. Rüzgâr Enerjisi Türbin Sistemleri İçin Gerçek Zamanlı Dinamik  
Analiz Simülatörü Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik  
Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s 21-26.
- Ulutaş, H., 2015. Kırsal Tesisler İçin Hibrit(Rüzgar-Güneş) Sistem Tasarımı ve  
Analizi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, s.14-16.
- Yang, H., Lu, L., Wei, Z., 2008. A novel optimization sizing model for hybrid  
solar-wind power generation system, Solar Energy, 82(4), 76–84,354-367.

Yang, Y. 2014. An Analysis Of Hybrid Energy System: A Case Study, Msc Thesis, Faculty of the College of Science and Technology Morehead State University , Kentucky,USA, 19,29,36.

Yurdakul, F., 2008. Kişi Başına Enerji Tüketimi ile Büyüme Oranı Arasındaki İlişki: Türkiye Örneği,Ekonomik Yaklaşım Derneği, 29(107): 49-76.  
<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Güneş Enerjisi, 2019.

<http://isites.info/PastConferences/ISITES2017/ISITES2017/papers/A10-ISITES2017ID286.pdf>, Mart, 2019.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261908000603>  
Mart, 2019.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X05001519>  
Mart, 2019.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217324244>  
Nisan, 2019.

[https://solarsystem.nasa.gov/resources/386/sun-emits-a-solstice-flare-and-cme/?category=solar-system\\_sun](https://solarsystem.nasa.gov/resources/386/sun-emits-a-solstice-flare-and-cme/?category=solar-system_sun), Nisan, 2019.

<https://www.windpoweralternators.co.uk/> , Nisan, 2019.

<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar.aspx> , Nisan, 2019.

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> , Nisan, 2019.

[http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru\\_01.html](http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html) , [Nisan, 2019.](#)

<https://www.mgm.gov.tr/> , [Nisan, 2019.](#)

<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> , [Nisan, 2018.](#)

<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> , [Nisan, 2018.](#)

<http://www.tureb.com.tr/bilgi-bankasi/turkiye-res-durumu> , [Mayıs, 2019.](#)

<https://www.kuark.org/category/enerjiuzay/gunes-enerjisi-enerjiuzay/> [Mayıs, 2019.](#)

<https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri> , [Mayıs, 2019.](#)



## ÖZGEÇMİŞ

2 Aralık 1990 yılında Gaziantep'in Şhitkamil ilçesinde doğdu. İlk ve ortaöğretimini 8 Şubat İlköğretim Okulunda tamamladıktan sonra Gaziantep İsmet Paşa Lisesinden 2007'de mezun oldu. Ardından Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü kazanarak 2014 yılında mezun oldu. Üniversite yıllarında ve sonrasında bir süre yurtdışında bulunarak kendisini geliştirmeyi gayret etmiştir ve ardından Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2010 yılından itibaren Türkiye Basketbol Federasyonu'nda aktif olarak hakemlik yapmakta ve Adana'da ikamet etmektedir.