



**T. C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEPE RADYO İSTASYONU İÇİN GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN HİBRİT KULLANIMI VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İsa KARABULUT
(20219233004)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. SERDAR KOÇKANAT**

**SİVAS
TEMMUZ 2024**

İsa KARABULUT'un hazırladığı ve “**TEPE RADYO İSTASYONU İÇİN GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN HİBRİT KULLANIMI VE ANALİZİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Doç. Dr. SERDAR KOÇKANAT**
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Mehmet KONAR**
Erciyes Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Derya Betül ÜNSAL**
ÇELİMLİ
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© İsa KARABULUT, 2024

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir farklılık yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

14.06.2024

İsa KARABULUT

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

İlgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Serdar KOÇKANAT'a çok teşekkür ederim.

Bu tezin verileri ilgili her türlü desteği sağlayan TÜRK TELEKOM A. Ş. Kurumuna ve Sivas Telekom Müdürlüğü Enerji ve Soğutma Sistemleri birimi personellerine katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

TEPE RADYO İSTASYONU İÇİN GÜNEŞ VE RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNİN HİBRİT KULLANIMI VE ANALİZİ

İsa KARABULUT

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. SERDAR KOÇKANAT

2024, 87+xix sayfa

Günümüzde İletişim ve Enerji teknolojileri sürekli gelişmekte olan önemli sektörlerdir. Büyük yerleşim alanları diye tabir ettiğimiz metropol, il, ilçe vb. yerleşim yerlerinde hem iletişim altyapısı hem de enerji altyapısı genel olarak bulunmaktadır. Ancak kırsal alanlar, köyler vb. küçük yerleşim alanları ile karayolları, demiryolları vb. yerleşim olmayan alanlarda enerji altyapısı olmamasından veya enerji altyapısına mesafenin uzak olmasından dolayı iletişim altyapısı sağlanamamaktadır. Sivas ili Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyünde enerji altyapısı bulunmakta ancak iletişim altyapısı (internet, sabit telefon, GSM vb.) bulunmamaktadır. İletişim altyapısının olmamasının en büyük nedeni ise haberleşmede ihtiyaç duyulan fiber veya bakır kablo maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Türk Telekom A. Ş. 'nin bu şekilde sorun yaşanan bölgelerde kullanılmak üzere alternatif altyapı olarak kullandığı Radyo Link (RL) Santralleri vardır. Özetle RL santralleri uzun kablo metrajlarına ihtiyaç duyulmadan radyo frekansları ile karşılıklı iletişim kurarak haberleşmeyi sağlamaktadır. Bunun içinde iki RL istasyonunda da enerjiye ihtiyaç duyulmakta olup sistemler DC akım ile çalışmaktadır. Karayaprak köyünde iletişimin sağlanması için kurulacak RL istasyonu, konumu gereği şebeke enerjisinden uzakta kalmakta olup ciddi anlamda yüksek maliyetler ortaya çıkarmaktadır. Bu tez çalışmamızda, yüksek maliyetli çözümler yerine haberleşme cihazlarının DC akımla çalışma avantajından faydalanarak, Karayaprak köyü RL istasyonunun Güneş Enerji Santrali (GES) ve Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kullanılarak şebekeden bağımsız hibrit bir şekilde çalıştırılması ve ayrıca akülerde enerji depolanarak 7/24 haberleşme sistemlerinde kesinti yaşanmadan ana merkezle haberleşmesi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Radyo Link İstasyonu, Rüzgâr Enerji Santrali (RES), Güneş Enerji Santrali (GES), Hibrit.

ABSTRACT

HYBRID UTILIZATION AND ANALYSIS OF SOLAR AND WIND ENERGY SYSTEMS FOR HILL RADIO STATION

İsa KARABULUT

Master of Science Thesis

Department of Electrical & Electronic Engineering

Supervisor: Doc. Dr. SERDAR KOÇKANAT

2024, 87+xix pages

Today, Communication and Energy technologies are important sectors that are constantly developing. Both communication and energy infrastructure are generally available in metropolitan, provincial, district, etc. Settlements, which we call large settlements. However, in rural areas, villages, etc., communication infrastructure cannot be provided due to the lack of energy infrastructure or the distance to the energy infrastructure in small settlements and non-settlement areas such as highways, railways, etc. Karayaprak village in Hafik district of Sivas province has energy infrastructure but no communication infrastructure (internet, fixed telephone, GSM, etc.). The biggest reason for the lack of communication infrastructure is that the cost of fiber or copper cable needed for communication is very high. Türk Telekom A. Ş. has Radio Link (RL) Power Plants, which are used as alternative infrastructure in areas with such problems. In summary, RL exchanges provide communication by establishing mutual communication via radio frequencies without the need for long cable lengths. Energy is needed for both RL stations and the systems operate with DC current. The RL station to be established in Karayaprak village to ensure communication is far away from the grid energy due to its location and causes serious high costs. In this thesis study, by taking advantage of the DC current operation of communication devices instead of high-cost solutions, the Karayaprak village RL station was operated in a hybrid way, independent of the grid, using Solar Power Plant (SPP) and Wind Power Plant (WPP), and also communicated with the main center 24/7 without any interruption in the communication systems by storing energy in batteries.

Keywords: Radio Link Station, Wind Power Plant (WPP), Solar Power Plant (SPP), Hybrid.

İÇİNDEKİLER

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji	1
1.2. Haberleşme	2
2. GÜNEŞ ENERJİSİ, RÜZGAR ENERJİSİ VE RL HABERLEŞME SİSTEMLERİ	4
2.1. Güneş Enerji Santralleri	4
2.1.1. Güneş Enerji Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi	5
2.1.2. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri	6
2.1.2.1. Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler.....	7
2.1.2.2. İnce Film Güneş Hücreleri	8
2.1.2.3. Nano Teknolojiye Dayalı Güneş Hücreleri.....	9
2.1.3. Fotovoltaik Pilin Çalışma Prensibi	9
2.1.4. Fotovoltaik Panellerin Verimi.....	10
2.1.4.1. Verim	10
2.1.4.2. Doluluk Oranı	10
2.1.4.3. Kuantum Verimi	11
2.1.4.4. Fotovoltaik Panel Verim Oranı	11
2.1.5. Verimliliği Etkileyen Faktörler	12
2.1.5.1. Güneş Işınımı Faktörü	12
2.1.5.2. Sıcaklığın Etkisi.....	12
2.1.5.3. Rüzgârın Hızı ve Yönü	12
2.1.5.4. Fotovoltaik Panel Yüzeyinin Temizliği ve Hava Kirliliği	12
2.1.5.5. Yansıma Kayıpları	13
2.1.6. Güneş Enerjisi Sistem Bileşenleri	13
2.1.6.1. Fotovoltaik Paneller.....	13
2.1.6.2. İnverter	13
2.1.6.3. Akü	14
2.1.6.4. Transformatör	15

2.1.6.5. Şarj Kontrol Cihazı.....	15
2.1.7. Güneş Enerji Santralleri Avantajları	15
2.1.8. Güneş Enerji Santralleri Dezavantajları	16
2.2. Rüzgar Enerji Santralleri	17
2.2.1. Rüzgâr Türbini.....	18
2.2.2. Rüzgâr Türbini Çeşitleri	18
2.2.2.1. Dönme Eksenlerine Göre Rüzgâr Türbinleri.....	19
2.2.2.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri.....	21
2.2.2.3. Rüzgârı Alış Yönlerine Göre Rüzgar Türbinleri.....	22
2.2.2.4. Çıkış Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri	23
2.2.2.5. Dişli Özelliklerine Göre Rüzgar Türbinleri.....	23
2.2.2.6. Kurulum Yerlerine Göre Rüzgar Türbinleri.....	25
2.2.3. Rüzgar Türbini Mekanizması ve Bileşenleri	26
2.2.3.1. Kule	26
2.2.3.2. Nasel (Makine Dairesi).....	27
2.2.3.3. Hub (Göbek).....	27
2.2.3.4. Rotor Kanatları	28
2.2.3.5. Anemometre	28
2.2.3.6. Jeneratör	29
2.2.3.7. Konvertör.....	30
2.2.3.8. Transformatör	30
2.2.3.9. Dişli Kutusu.....	31
2.2.3.10. Sapma (Yaw) Sistemi	32
2.2.3.11. Yunuslama (Pitch) Sistemi.....	32
2.2.3.12. Fren Sistemi.....	33
2.2.4. Rüzgar Enerjisi Santralleri Enerji Üretimi	33
2.2.5. Rüzgar Enerjisi Santralleri Avantajları	34
2.2.6. Rüzgar Enerjisi Santralleri Dezavantajları	34
2.3. Güneş Panelleri ve Rüzgar Türbinlerinde Grid-On ve Grid-Off Sistemler	35
2.3.1. Grid-On (Şebekeye Bağlı) Sistemler.....	35
2.3.2. Grid-Off (Şebekeden Bağımsız) Sistemler.....	35
2.4. Radyolink Haberleşme Sistemleri.....	36
2.4.1. Telekomünikasyon Sistemleri.....	37
2.4.2. İletişim Ortamları	38
2.4.3. Sayısallaşma	39
2.4.4. Haberleşme Ortamının Sağlaması İçin İhtiyaç Duyulan Kriterler	40
2.4.5. İletişim Ortamı Çeşitleri	40

2.4.5.1. Kablolü İletişim Teknolojileri.....	42
2.4.5.1.1. Bakır Kablo.....	42
2.4.5.1.2 Fiber-Optik Kablo.....	42
2.4.5.1.2.1. Multimode Fiber-Optik Kablolar.....	43
2.4.5.1.2.2. Single-Mode Fiber-Optik Kablolar.....	43
2.4.5.2. Kablosuz İletişim Teknolojileri	44
2.4.5.2.1. Radyolink Sistemleri	45
2.4.6. Radyolink Sistemleri	45
2.4.6.1. Optik Görüş Sağlanması.....	47
2.4.6.2. Fresnel Bölgesi	47
2.4.6.3. Radyolink Sistemlerinin Kısımları.....	48
2.4.6.3.1. Anten.....	48
2.4.6.3.2. Dalga Kılavuzu ve Konnektörler	49
2.4.6.3.2.1. Dış Birim (Outdoor Unit)	50
2.4.6.3.2.2. İç Birim (Indoor Unit)	50
2.4.6.4. Radyolink Sistemler ve Fiber-Optik Kablonun Karşılaştırılması.....	51
3. TEPE RADYO İSTASYONU İÇİN GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN HİBRİT KULLANIMI.....	53
3.1. Güneş Enerji Santralleri Sivas İli Analizi.....	54
3.2. Rüzgar Enerji Santralleri Sivas İli Analizi	56
3.3. Sivas Karayaprak Köyü Hakkında	58
3.4. Karayaprak Köyü Tepe RL İstasyonunda Kullanılan Malzemeler	59
3.4.1. Güneş Paneli.....	59
3.4.2. Rüzgar Türbini.....	60
3.4.3. Regülatör	62
3.4.4. Jel Akü.....	63
3.4.5. Kablo	63
3.4.6. Anten	64
3.4.7. İç Ünite.....	65
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	66
4.1. Hibrit Sistemin ve Diğer Sistemlerin Enerji Analizi	66
4.1.1. Şebekeden Bağımsız Rüzgar ve Güneş Enerjisinin Hibrit Kullanımıyla Çalıştırılan Santral.....	66
4.1.2. Sadece Şebeke Elektrik Enerjisi Kullanımıyla Çalıştırılan Santral	70
4.1.3. Şebeke ve Güneş Enerjisinin Kullanımıyla Çalıştırılan Santral	72
4.1.4. Sadece Güneş Enerjisi Kullanımıyla Çalıştırılan Santral	74
4.2. Kurulum Maliyet Analizi.....	75
4.2.1. Şebekeli Sistem Maliyet Analizi	76

4.2.2. Hibrit Sistem Maliyet Analizi.....	79
4.2.3. İlk Kurulum Maliyeti Değerlendirmesi	80
4.2.4. İşletme Maliyet Değerlendirmesi	81
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	87



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Yenilenebilir enerji çeşitleri [1].	1
Şekil 2.1	Karapınar Güneş Enerji Santrali [14].	5
Şekil 2.2	Monokristal ve Polikristal güneş panelleri [17].	7
Şekil 2.3	İnce film güneş paneli [17].	9
Şekil 2.4	Bir güneş paneli verimin yıllara göre değişimi [12,26].	11
Şekil 2.5	Rüzgar türbini çeşitleri [37].	18
Şekil 2.6	Yatay eksenli rüzgâr türbini [39].	19
Şekil 2.7	Düşey eksenli darrieus tip rüzgar türbini [37].	19
Şekil 2.8	Düşey eksenli savonius tip rüzgar türbinleri [37].	20
Şekil 2.9	Eğik eksenli rüzgar türbinleri [37].	20
Şekil 2.10	Kanat sayılarına göre rüzgar türbinleri [37].	21
Şekil 2.11	Rüzgarı arkadan alan ve rüzgarı önden alan rüzgar türbinleri [38].	22
Şekil 2.12	Dişli kutulu rüzgar türbini [40].	24
Şekil 2.13	Dişli kutusuz rüzgar türbini [40].	24
Şekil 2.14	Kara üzeri rüzgar türbini [39].	25
Şekil 2.15	Deniz üzeri rüzgar türbini [39].	26
Şekil 2.16	Rüzgar türbini kulesi [38-39].	27
Şekil 2.17	Rüzgar türbini rotor kanadı [38-39].	28
Şekil 2.18	Rüzgar türbini anemometre çeşitleri [47].	29
Şekil 2.19	Rüzgar türbini jeneratörü [38-39].	29
Şekil 2.20	Rüzgar türbini konvertörü [46].	30
Şekil 2.21	Transformatör[45].	31
Şekil 2.22	Rüzgar türbini dişli kutusu [40].	31
Şekil 2.23	Rüzgar türbini sapma(yaw) sistemi [44].	32
Şekil 2.24	Rüzgar türbini kanat açısı(pitch) sistemi [44].	33
Şekil 2.25	İletişim ortamı [51].	38
Şekil 2.26	İletişim ortamları [51].	41
Şekil 2.27	Fiber optik kablolar [62].	43
Şekil 2.28	SCPC teknolojisi [55].	45
Şekil 2.29	Fresnel bölge [60].	48
Şekil 2.30	Antenin ışıma deseni [51].	48
Şekil 2.31	Dalga kılavuzu ve bağlantısı [51].	49
Şekil 2.32	Örnek bir dış birim ve anten görüntüleri [62].	50
Şekil 2.33	PDH iç birimi [62].	50
Şekil 2.34	SDH trunk iç birimi [62].	51
Şekil 3.1	Karayaprak Tepe Radyo İstasyonu.	54
Şekil 3.2	Sivas ili güneş radyasyonu dağılımı [64].	55
Şekil 3.3	Sivas merkez global radyasyon değerleri (kwh/m ² -gün) [64].	55
Şekil 3.4	Sivas merkez güneşlenme süreleri (saat) [64].	55
Şekil 3.5	Türkiye'deki güneş enerji santrallerinin dağılımı [65].	56
Şekil 3.6	Sivas ili yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı – 100 metre [67].	57
Şekil 3.7	Sivas ili yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğu dağılımı – 100 metre [67].	58
Şekil 3.8	Karayaprak köyü.	59
Şekil 3.9	Karayaprak tepe kullanılan güneş panelleri.	60

Şekil 3.10 Karayaprak tepe kullanılan rüzgar türbini.	61
Şekil 3.11 MAX-1200W rüzgar hızı-çıkış gücü grafiği.....	62
Şekil 3.12 Karayaprak tepe kullanılan regülatör.	62
Şekil 3.13 Karayaprak tepe kullanılan jel aküler.	63
Şekil 3.14 Karayaprak tepe kullanılan DC kablo çeşitleri.	64
Şekil 3.15 Karayaprak tepe kullanılan antenler.	64
Şekil 3.16 Karayaprak tepe kullanılan radyo iç ünite.	65
Şekil 4.1 Santral yük akımı izleme arayüzü.....	66
Şekil 4.2 Hibrit santralin anlık enerji tüketimi.....	67
Şekil 4.3 RL santralini 7 gün boyunca sadece GES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler.	68
Şekil 4.4 RL santralini 7 gün boyunca sadece RES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler.	68
Şekil 4.5 RL santralin aylık ortalama akım değerleri	69
Şekil 4.6 RL santralin aylık ortalama tüketim değerleri.	69
Şekil 4.7 DC çatı.	70
Şekil 4.8 Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin anlık tüketimleri.	71
Şekil 4.9 Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri.....	71
Şekil 4.10 Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 2023 yılı enerji tüketimi. 72	
Şekil 4.11 Şebeke ve güneş enerjisinin hibrit kullanımıyla çalıştırılan santralin anlık tüketimleri.	72
Şekil 4.12 Şebeke ve güneş enerjisinin hibrit kullanımıyla çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri.....	73
Şekil 4.13 Şebeke ve güneş enerjisinin hibrit kullanımıyla çalıştırılan santralin 2023 yılı enerji tüketimi.	73
Şekil 4.14 Sadece güneş enerjisi ile çalıştırılan santralin anlık tüketimleri.....	74
Şekil 4.15 Sadece güneş enerjisi ile çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri. ...	74
Şekil 4.16 Sadece güneş enerjisi ile çalıştırılan santralin günlük tüketim analizi.	75
Şekil 4.17 Karayaprak köyü ve radyolink istasyonu güzergahı uydu görüntüsü [71].	76
Şekil 4.18 Karayaprak tepe radyo istasyonu alçak gerilim projesi (1. Pafta).	76
Şekil 4.19 Karayaprak tepe radyo istasyonu alçak gerilim projesi (2. Pafta).	77
Şekil 4.20 Hibrit sistem projesi.....	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	İnverter tiplerinin piyasa dağılımı ve verimlilikleri.....	14
Çizelge 2.2	Çıkış güçlerine göre rüzgar türbinleri.....	23
Çizelge 2.3	Bakır kablo kullanımları	42
Çizelge 2.4	Radyo – fiber optik kablo karşılaştırması [51].	51
Çizelge 3.1	Sivas ili işletmedeki güneş enerji santralleri [65].	56
Çizelge 3.2	Sivas ili yapım aşamasındaki güneş enerji santralleri [65].	56
Çizelge 3.3	Sivas ili rüzgar hız ve güç yoğunluğu tablosu [67].	58
Çizelge 3.4	CHN150-36M güneş paneli özellikleri.....	60
Çizelge 3.5	MAX-1200W rüzgar türbininin özellikleri.....	61
Çizelge 3.6	25 mm ² NYAF kablo özellikleri.....	64
Çizelge 4.1	Alçak gerilim şebeke kurulum maliyeti [72].	78
Çizelge 4.2	Hibrit sistem kurulum maliyeti.....	79

SİMGELER DİZİNİ

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece, derece
A	Panel alanı, m^2
A_Q	Etki alanı, m^2
c	Işık hızı, m/s
FF	Doluluk oranı, %
I_{kd}	Kısa devre akımı, A
η	Verim, %
η_Q	Kuantum verimi, %
P_{in}	Giriş gücü, W
P_m	Maksimum güç, W
q	Elektron yükü, C
r	Foton akısı, eV
V_{ad}	Açık devre gerilimi, V
ΔE	Cismin enerji farkı, J
Δm	Cismin kütle farkı, kg

KISALTMALAR DİZİNİ

2G	:	2. Generation - 2. Nesil
3G	:	3. Generation - 3. Nesil
4G	:	4. Generation - 4. Nesil
5G	:	5. Generation - 5. Nesil
A	:	Amper
A.Ş.	:	Anonim Şirketi
AC	:	Alternative Current - Alternatif Akım
ADSL	:	Asymmetric Digital Subscriber Line - Asimetrik Sayısal Abone Hattı
Ah	:	Amper Saat
a-Si	:	Amorf Silisyum
bit	:	Bit
C	:	Coulomb
CCITT	:	International Telephone and Telegraph Consultative Committee - Uluslararası Telefon ve Telgraf Danışma Komitesi
CdTe	:	Kadmiyum-Tellür
CFD	:	Computational Fluid Dynamics - Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CIGS	:	Bakır İndiyum Galyum Selenid
CIS	:	Bakır İndiyum Selenid
cm	:	Santimetre
cm²	:	Santimetre Kare
c-Si	:	Monokristal Hücreler
DC	:	Direct Current - Doğru Akım
EDGE	:	Enhanced Data rates for GSM Evolution - GSM Gelişimi İçin Artırılmış Veri Hızları
EESG	:	Electrically Excited Synchronous Generator - Elektriksel Uyarımlı Senkron Jeneratör
FDM	:	Frequency Division Multiplexing - Frekans Bölmeli Çoğullama
Gbit	:	Gigabit
GEO	:	Geosynchronous Orbit - Jeosenkron Yörünge
GES	:	Güneş Enerji Santrali

GHz	:	Gigahertz
GPRS	:	General Packet Radio Service - Genel Paket Radyo Servisi
GPS	:	Global Positioning System - Küresel Konumlandırma Sistemi
GSM	:	Global System For Mobile Communications - Mobil İletişim İçin Küresel Sistem
GW	:	Gigawatt
GWh	:	Gigawatt Saat
H	:	Saat
Hz	:	Hertz
IDN	:	Integrated Digital Network - Birleşik Sayısal Şebeke
IDU	:	Indoor Unit - İç Birim
ISDN	:	Integrated Services Digital Network - Bütünleştirilmiş Sayısal Ağ Hizmetleri
J	:	Joule
K	:	Kelvin
kbit	:	Kilobit
kHz	:	Kilohertz
km	:	Kilometre
kVA	:	Kilo Volt Amper
kW	:	Kilowatt
kWh	:	Kilowatt Saat
L1	:	Layer 1 - Seviye 1
LAN	:	Local Area Network - Yerel Alan Ağı
LEO	:	Low Earth Orbit - Alçak Yörünge
LOS	:	Line Of Sight – Görüş Mesafesi
LTE	:	Long Term Evolution - Uzun Süreli Gelişim
m	:	Metre
m²	:	Metre Kare
Mbit	:	Megabit
Mbps	:	Megabits Per Second - Saniyede megabit
mc-Si	:	Polikristal Hücreler
MEO	:	Medium Earth Orbit - Orta Yörünge
MHz	:	Megahertz

mm²	:	Milimetre Kare
MW	:	Megawatt
MWh	:	Megawatt Saat
ODU	:	Outdoor Unit – Dış Birim
OPV	:	Organic Photovoltaics - Organik Fotovoltaik
PAM	:	Pulse Amplitude Modulation - Darbe Genlik Modülasyonu
PCM	:	Pulse Code Modulation - Darbe Kod Modülasyonu
PDM	:	Pulse Duration Modulation - Darbe Süre Modülasyonu
PFM	:	Pulse Frequency Modulation - Darbe Frekans Modülasyonu
PM	:	Phase Modulation - Faz Modülasyonu
PMSG	:	Permanent Magnet Synchronous Generator - Direkt Sürümlü-Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratör
PPM	:	Pulse Position Modulation - Darbe Konumu Modülasyonu
PV	:	Photovoltaic - Fotovoltaik
RES	:	Rüzgar Enerji Santrali
RF	:	Radio Frequency - Radyo Frekansı
RFID	:	Radio-Frequency Identification - Radyo Frekansı Tanımlama
RL	:	Radio Link – Radyolink
s	:	Saniye
SCADA	:	Supervisory Control and Data Acquisition - Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
SCPC	:	Single Channel Per Carrier - Taşıyıcı Başına Tek Kanal
SFP	:	Small Form-Factor Pluggable - Küçük Takılabilir Form
SiO₂	:	Silisyum Dioksit
TDM	:	Time Division Multiplexing - Zaman Bölmeli Çoğullama
TEDAŞ	:	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
UHF	:	Ultra High Frequency - Aşırı Yüksek Frekans
USB	:	Universal Serial Bus - Evrensel Seri Veriyolu
V	:	Volt
VA	:	Volt Amper
VSWR	:	Voltage Standing Wave Ratio - Voltaj Duran Dalga Oranı
W	:	Watt

- Wh** : Watt Saat
- WI-FI** : Wireless Fidelity – Kablosuz Bağlantı Alanı
- WIMAX:** Worldwide Interoperability For Microwave Access - Dünya Çapında
Birlikte Çalışabilir Mikrodalga Erişim
- XDSL** : X Digital Subscriber Line - X Sayısal Abone Hattı



1. GİRİŞ

1.1. Enerji

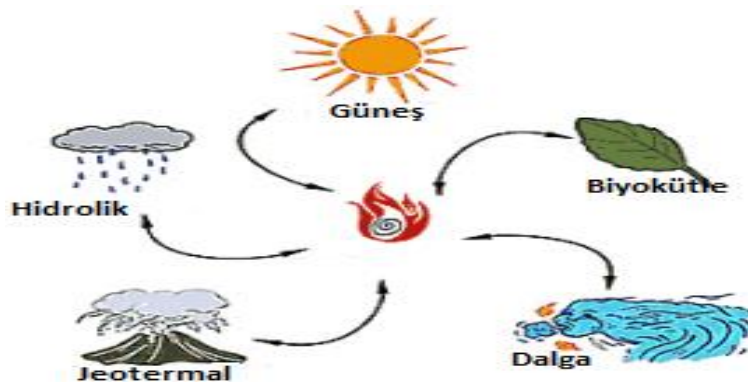
Yeryüzünde yaşamın devamı için en önemli unsur enerjidir. Yaşadığımız konuma bakılmaksızın enerji günlük hayatımızı şekillendirir. Yaşamın başlangıcından bu yana enerji birbirinden farklı kaynaklardan üretilmekte ve farklı alanlarda veya şekillerde kullanılmaktadır [1].

Günlük hayatımızda kullandığımız enerji kaynaklarına örnek vermek gerekirse; evlerin ısıtılması için kullanılan doğalgaz, benzin veya dizel gibi petrol ürünleri, aydınlatma vb. günlük ihtiyaçlar için elektrik örnek verilebilir. Elektriğin üretilmesi için farklı enerji üretim kaynakları kullanılır. Bu enerji kaynakları yenilenebilir enerji ve fosil yakıtlar olarak kabul edilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi çevreye fosil yakıtlar kadar zarar vermemesi sebebi ile her geçen gün artmaktadır. Ayrıca kaynakların doğal olması da önemli avantajları arasında yer alır. İlk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve başlarda istenilen verimlerin elde edilememesi ise en büyük dezavantajlarındandır. Bu dezavantajlar sürekli yapılan çalışmalar ile giderilmeye çalışılmaktadır.

Fosil yakıtların; çevre ve o çevredeki yaşayan canlılar için birçok olumsuz etkisi vardır. Küresel ısınmaya, hava kirliliğine, oksijenin azalmasına, asit yağmurlarına ve iklim değişikliğine sebep olabilirler. Fosil yakıtların yol açtığı bu zararların yanında etrafa saçtığı zehirli gazlar (hava kirliliği) canlıların hayatlarını sürdürebilmesi için ciddi bir tehdittir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretimine odaklanan kaynaklardır. Şekil 1.1’de yenilenebilir enerji çeşitleriyle ilgili görsel bulunmaktadır. Bu kaynaklar, doğal süreçler veya insan müdahalesi olmadan kendiliğinden yenilenebilen ve tükenmeyen enerji sağlar. İşte yaygın olarak kullanılan bazı yenilenebilir enerji kaynakları:



Şekil 1.1 Yenilenebilir enerji çeşitleri [1].

- Güneş Enerjisi: Güneş enerjisi, güneş ışığının ve ısı enerjisinin kullanılmasıyla elde edilir. Güneş panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine çevirir. Bu teknoloji, fotovoltaik hücreler aracılığıyla güneşten gelen ışığı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik üretir [2].
- Rüzgar Enerjisi: Rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleri aracılığıyla rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Rüzgar türbinleri genellikle rüzgarlı alanlara yerleştirilir ve dönen kanatlar, bir jeneratörü çalıştırarak elektrik üretir [3].
- Su Enerjisi (Hidroelektrik Enerji): Hidroelektrik enerji, suyun kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir. Barajlar veya nehir akışlarındaki suyun enerjisi kullanılarak jeneratörler çalıştırılır [2].
- Jeotermal Enerji: Jeotermal enerji, yerin içindeki termal enerjinin kullanılmasıyla elde edilir. Bu, sıcak su veya buharın yüzeye çıkarılması ve bu enerjinin elektrik üretimi için kullanılması anlamına gelir [4].
- Nükleer Enerji: Nükleer enerji, atomların parçalanmasıyla açığa çıkan ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir enerji türüdür. Ağır radyoaktif (Uranyum gibi) atomların bir nötronunun parçalanması ile daha küçük atomlara bölünmesi (filyon-parçalanma- bölünme- bozunma) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomla oluşturulması (füzyon- birleşme- bir araya gelme) sonucu çok büyük bir miktarda enerji açığa çıkar. Buna nükleer enerji denir [5].
- Biokütle Enerjisi: Biokütle enerjisi, organik malzemelerin (biyolojik olarak türeyen malzemeler) enerji üretimi için kullanılmasını içerir. Biyokütle, ahşap, bitki atıkları, hayvan atıkları ve biyolojik süreçlerden elde edilebilir [6].
- Dalga ve Gelgit Enerjisi: Dalga ve gelgit enerjisi, okyanuslardaki dalga hareketleri veya gelgit akıntılarından elde edilen enerjiyi içerir. Bu teknolojiler, denizdeki mekanizmalar aracılığıyla hareket enerjisini elektrik enerjisine çevirir [7].

1.2. Haberleşme

Teknolojinin her geçen gün kat ettiği ilerleme, yepyeni ufuklar açıyor ve beraberinde birçok yeniliği getiriyor. Bu yeniliklerin en dikkat çekenini ise kuşkusuz iletişim teknolojilerinde yaşanan muazzam değişim. Artık iletişim, hayatımızın her köşesine nüfuz etmiş, sıradan bir ihtiyaçtan öte bir alışkanlık haline gelmiş durumda. Araştırma ve geliştirme çalışmaları bilgi ve iletişim teknolojileri alanında hızla ilerlerken, bu ilerlemeyle birlikte dünyamız da yepyeni bir şekilde bürünüyor. Teknolojideki bu sıçramalar, insanların taleplerini de beraberinde artırıyor.

Bu artan taleplere paralel olarak, iletişimin hızlı ve kesintisiz olması artık bir zorunluluk haline geliyor [8-10]. Bu hızı ve talepleri karşılayabilecek yeni teknolojiler geliştirmek, bilgi ve iletişim teknolojileri çağının en önemli araştırma ve geliştirme konularından biri olarak karşımıza çıkıyor. Artık iletişim sadece insanların birbirleriyle sohbet etmesiyle sınırlı değil. Eğitimden sağlığa, pek çok farklı alanda da aktif olarak kullanılıyor. Kullanım alanlarının genişlemesi ve hizmet çeşitliliğinin artmasıyla birlikte, şirketler de yepyeni katma değerli servisler sunmaya başladı. Bu servislerin sorunsuz bir şekilde sunulabilmesi için ise mevcut iletişim bant genişliklerinin artırılması veya daha verimli kullanılması gerekiyor.

Haberleşme sistemlerinin tarihi, mobil haberleşmenin keşfiyle başladı. 1897 yılında Guglielmo Marconi tarafından icat edilen bu sistem, savaşta iletişim kurma ihtiyacından doğdu [11]. Daha sonra bu sistem, insanların günlük iletişim kurması için uyarlanarak GSM (Global System For Mobile Communications) teknolojisine dönüştü. GSM'nin ortaya çıkışından sonra, artan taleplere ve veri aktarım ihtiyacına paralel olarak GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) , 2G ve 3G gibi yeni nesil mobil iletişim sistemleri geliştirildi. Bu gelişmelerin hepsi, aynı bant genişliğinde daha fazla bilgi aktarımı ve daha hızlı bağlantı sağlamayı amaçlıyordu. Başlangıçta sadece iletişim için kullanılan mobil haberleşme sistemleri, zamanla ekonomi ve sanayi gibi alanlarda da yaygınlaşmaya başladı. Artık iletişim, kamu hizmeti olmaktan öte, kar amacı güden şirketlerin de ilgi alanına girdi. Bu durum, şirketleri gelirlerini ve hizmet kalitelerini artırmak için yeni teknolojiler geliştirmeye motive etti. Wimax (Worldwide Interoperability For Microwave Access) ve LTE (Long Term Evolution) gibi yeni nesil sistemler de bu çabaların bir sonucudur. Gelecekte ise bu gelişmelerin devam etmesi ve 5G gibi daha da hızlı ve kapsamlı mobil iletişim sistemlerinin geliştirilmesi bekleniyor. Haberleşme teknolojileri, ülkelerin kalkınma seviyesini belirleyen önemli bir kriter haline geldi. Gelişen haberleşme imkanları sayesinde toplumsal yaşamda da önemli değişiklikler yaşanıyor ve toplumlar arasındaki mesafe kavramı ortadan kalkıyor.

Mobil haberleşme sistemlerinin tamamı, radyo dalgaları aracılığıyla bilgi aktarımı prensibi üzerine kuruludur. Bu prensipte, veriler, radyo frekanslarına dönüştürülerek bir verici istasyondan alıcı istasyona gönderilir. Alıcı istasyon ise bu sinyalleri alarak tekrar dijital sinyallere dönüştürür ve kullanıcıya iletir.

Radyo link sistemleri, frekans aralığı, kapasite ve menzil gibi farklı parametrelere göre sınıflandırılır. GSM, GPRS, EDGE, 2G, 3G, Wimax ve LTE gibi tüm mobil iletişim sistemleri de bu parametrelere göre tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ, RÜZGAR ENERJİSİ VE RL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

2.1. Güneş Enerji Santralleri

Güneş, dünyadan 149.600.000 km uzakta olup, dünya çapının yaklaşık 110 katı büyüklüğündedir. Güneşin merkez sıcaklığı yaklaşık olarak 5800 K olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık, güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreci ile oluşan ısıma enerjisi için katalizör görevi görmektedir. Füzyon reaksiyonu, iki atom çekirdeğinin birleşerek başka bir atom çekirdeği oluşturmasıdır; güneşin merkezinde hidrojen gazından helyum meydana gelmektedir ve bu oluşum sırasında belirli bir kütle kaybı meydana gelir. Einstein'ın $\Delta E = \Delta mc^2$ formülüne göre, bu kayıp kütle enerjiye dönüşür.

Dünya atmosferinin dışından gelen güneş radyasyon enerjisinin şiddeti yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir. Ancak, atmosfer tarafından geri yansıma, atmosfer ve bulutlarda tutulma gibi etkiler nedeniyle, yeryüzüne ulaşan miktar 0 ile 1100 W/m² değerleri arasında değişim göstermektedir [12].

Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için fotovoltaik sistemler kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanma çalışmaları özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, teknolojik ve mali açıdan ilerleme kaydetmiş ve çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Güneş enerjisi, özellikle gelişmiş ülkelerde, çevresel sorunlara alternatif bir çözüm olarak kullanılmaktadır.

Fotovoltaik, ışığın elektriğe dönüştürülmesini sağlayan yarı iletken malzemeleri kullanarak bir fenomen olarak tanımlanır. Ticari olarak elektrik üretimi ve fotosensörlerde kullanılan fotovoltaik etki, güneş modülleri aracılığıyla sağlanmaktadır. Fotovoltaik sistemler, araziye monte edilebilecekleri gibi çatılara, duvarlara veya su üzerinde yüzen platformlara da monte edilebilir [13].

Fotovoltaik teknoloji, fosil yakıtlara göre daha az karbon salınımına neden olduğu için iklim değişikliğini hafifletmeye yardımcı olabilir. Fotovoltaik sistemlerin kurulduktan sonra kirlilik yaratmamaları, sera gazı emisyonu oluşturmamaları, ölçeklenebilir olmaları ve dünya çapında bol miktarda bulunan silikon gibi malzemelerin kullanılması, bu teknolojinin avantajları arasında yer almaktadır. Ancak, enerji depolama sistemleri ve yüksek voltajlı doğru akım gibi bazı özel dezavantajlar da göz önüne alındığında, fotovoltaik teknolojinin uygulanabilirliğini değerlendirmek için dikkatli bir yaklaşım gereklidir. Üretim ve kurulum aşamaları, fosil yakıtların neden olduğu emisyonların bir kısmını içerse de fotovoltaik sistemlerin ömrü

boyunca genellikle çevresel etki açısından daha sürdürülebilir bir seçenek sunar. Şekil 2.1 de Konya Karapınar ovasında 1,3 GW'lık kapasite de, dünyanın 6'ncı, Avrupa'nın en büyük güneş enerji santrali konumunda bulunan Karapınar Güneş Enerji Santrali'nin bir kısmının görüntüsü yer almaktadır [14].



Şekil 2.1 Karapınar Güneş Enerji Santrali [14].

2.1.1. Güneş Enerji Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Fotovoltaik (PV) sistemlerin tarihsel gelişimi, 1839 yılında Fransız fizikçi Alexander Edmond Becquerel'in elektrolit içindeki elektrotlar arasındaki gerilimin ışığa bağımlı olduğunu keşfetmesiyle başlamıştır. Bu keşif, fotovoltaik oluşumun temelini atmış ve sonraki yıllarda çeşitli bilim insanlarının çalışmalarına ilham kaynağı olmuştur.

- 1839 - Alexander Edmond Becquerel: Elektrolit içindeki elektrotlar arasındaki gerilimin ışığa bağımlı olduğunu keşfederek fotovoltaik oluşumu bulmuştur.
- 1873 - Willoughby Smith: Selenyum içerisindeki foto iletkenliği keşfetmiş ve ilk fotovoltaik düzenek olarak tarihe geçmiştir.
- 1877 - W.G.Adams ve R.E.Day: Bilimsel çalışmalarında, katı maddelerin de fotovoltaik etki oluşturabileceğini bulmuşlardır.
- 1883 - Charles Fritts: %1 verimli fotovoltaik hücreyi geliştirmiştir.
- 1946 - Russell Ohl: Dünyada ilk modern güneş panelinin patentini almıştır.
- 1954 - Bell Laboratuvarları: %6 verimli silisyum fotovoltaik hücreler yapılmıştır.
- 1958 - Hoffman Elektronik: %9 verimle çalışan fotovoltaik hücreler yapılmış ve Vanguard-I isimli uzay aracında kullanılmıştır.

- 1960 - Hoffman Elektronik: %14 verimle çalışan fotovoltaiik hücreler geliştirmiştir.
- 1970 - Zhores Alferov: GaAs hetero-eklem fotovoltaiik hücrelerini oluşturmuş, petrol kriziyle birlikte fotovoltaiik hücrelere olan ilgi artmıştır.
- 1985 - New South Wales Üniversitesi: %20 verimle çalışabilen fotovoltaiik silisyum hücreleri geliştirmeyi başarmıştır.
- 1993 - Applied Solar Energy: %20 verimli iki-eklemlı fotovoltaiik hücrelerin seri üretimine başlamıştır.
- 2009 - Spectrolab: %39 verimli üç-eklemlı fotovoltaiik hücreler geliştirerek dünya rekorunu elde etmiştir.

Bu gelişmeler, fotovoltaiik teknolojisinin geçmişten günümüze nasıl evrildiğini ve sürekli olarak artan bir performans ve verimlilikle nasıl yeniliklere sahne olduğunu göstermektedir [15].

2.1.2. Fotovoltaiik Hücre Çeşitleri

Fotovoltaiik hücreler, üzerine düşen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken sistemlerdir. Güneş hücreleri, fotovoltaiik piller ve güneş pilleri gibi farklı isimlerle de anılan bu hücreler, modern enerji teknolojisinin önemli unsurlarından biridir. Klasik bir fotovoltaiik hücrenin yaklaşık %98'i silisyumdan oluşur. Ancak, doğada bulunan silisyum genellikle silisyum dioksit (SiO₂) ve kuvars halinde bulunur. Bu nedenle, güneş panellerinde kullanılmadan önce silisyumun saflaştırılması gerekmektedir. Ancak, silisyumun saflaştırma işlemleri oldukça maliyetlidir. Bu durum, güneş pillerinin yüksek maliyetinin temel nedenlerinden biridir.

Fotovoltaiik hücreler, teknolojilerine göre genellikle üç ana başlık altında incelenir. Kristalin silikon (c-Si) teknolojisi, ince film teknolojisi ve organik fotovoltaiik (OPV) teknolojisi bu başlıklardan bazılarıdır. Her bir teknoloji, farklı avantajlar ve dezavantajlar sunar ve uygulama alanlarına göre tercih edilir. Örneğin, kristalin silikon hücreler, yüksek verimlilikleri ve uzun ömürleri nedeniyle tercih edilirken, ince film hücreler, daha az malzeme kullanımı ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle cazip olabilirler. Organik fotovoltaiik hücreler ise esneklik ve düşük maliyet gibi avantajlar sunarlar, ancak henüz ticari olarak yaygın değıllerdir ve verimlilikleri diğeri teknolojilere kıyasla daha düşüktür.

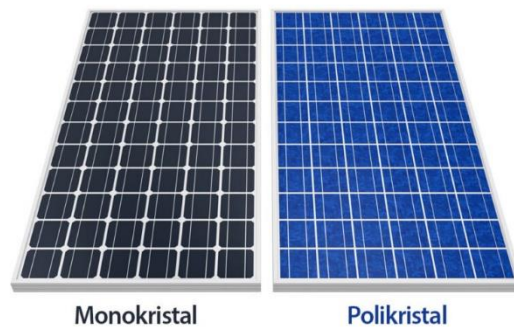
Bu bilgiler, fotovoltaiik hücrelerin çalışma prensipleri ve teknolojik çeşitliliğı hakkında bir anlayış sağılar ve güneş enerjisi alanında yapılan araştırmaları ve gelişmeleri daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir.

- Birinci nesil hücreler; Kristal silisyum hücreleri (c-Si ve poly-Si),
- İkinci nesil hücreler; İnce film güneş hücreleri (a-Si, CdTe, CIS veya CIGS),
- Üçüncü nesil hücreler; Nano teknolojiye dayalı güneş hücreleri (Tandem, Supertandem, Intermediate Band Solar Cells vs.) olarak sınıflandırılabilir [16].

2.1.2.1. Kristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler

Güneş enerjisi, güneş ışığının fotonlarını elektrik enerjisine dönüştüren bir enerji üretim yöntemidir. Bu dönüşüm işlemi, güneş hücreleri adı verilen yarı iletken malzemeler tarafından gerçekleştirilir. Güneş hücrelerinin verimliliği, güneş ışığından elektrik enerjisine dönüştürülebilen enerji oranını ifade eder. Güneş hücrelerinin verimliliği, farklı faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler arasında güneş hücrelerinin tipi, kullanılan malzemelerin kalitesi, üretim süreci ve çevresel koşullar yer alır.

- Monokristal Hücreler (c-Si): En yüksek verimliliğe sahip güneş hücreleri monokristal hücrelerdir. Verimleri %15-20 arasında değişmekte ve laboratuvar ortamında %21,5'e kadar ulaşabilmektedir. Monokristal hücrelerin ömrü yaklaşık 20 yıldır ve bu süre zarfında %7 verim kaybı meydana gelir. Saf silisyumdan üretildikleri için üretim süreci zor ve pahalıdır [18].
- Polikristal Hücreler (poly-Si): Monokristal hücrelere göre daha düşük verimliliğe sahip olan polikristal hücrelerin verimleri %12-16 arasındadır. Laboratuvar ortamında en yüksek verimi %16,2'ye ulaşmıştır. Polikristal hücrelerin ömrü yaklaşık 20 yıldır ve bu süre zarfında %14 verim kaybı meydana gelir. Üretim süreci monokristal hücrelere göre daha kolay ve ucuzdur [16]. Şekil 2.2 de monokristal ve polikristal güneş panelleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Monokristal ve Polikristal güneş panelleri [17].

2.1.2.2. İnce Film Güneş Hücreleri

- Amorf Silisyum (a-Si) : Amorf silisyum hücrelerin verimi %8-10 arasındadır ve zamanla yaklaşık %21 verim kaybı oluşmaktadır. Üretim için gerekli donanımlar pahalı olsa da, üretim süreçleri ucuzdur. Bu da amorf silisyum hücrelerin üretimini firmalar için cazip hale getirir. Düşük verimlerine rağmen, amorf silisyum hücreler hafif, esnek ve binaların cephelerine entegre edilebilir gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle, düşük ışık alan binalarda güneş panelleri, hesap makineleri gibi küçük elektronik cihazlar ve esnek güneş pilleri gibi alanlarda tercih edilirler.
- Kadmiyum-tellür (Cd-Te) : Kadmiyum-tellür hücreler, %9-11 arasındaki verimlilik oranlarıyla güneş enerjisi üretiminde önemli bir rol oynar. Üretim maliyetleri oldukça düşük olması, bu hücreleri cazip bir seçenek haline getirir. Ancak, Cd-Te hücrelerin bazı dezavantajları da vardır. En önemli dezavantajı, toksik madde içermeleridir. Bu nedenle, üretim ve atık bertaraf aşamalarında çevreye zarar verebilirler. Ayrıca, Cd-Te hücreler sadece rijit cam ile kullanılabilir. Bu da onları esnek güneş panelleri gibi bazı uygulamalarda kullanılmasını sınırlar. Buna rağmen, Cd-Te hücreler güneş enerjisi üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Düşük maliyetleri ve yüksek verimlilik oranları, onları güneş enerjisini daha erişilebilir hale getirme potansiyeline sahiptir.
- CIS (Bakır İndiyum Selenid) ve CIGS (Bakır İndiyum Galyum Selenid) : Bu paneller, yüksek verimlilik, hafiflik, esneklik ve düşük üretim maliyeti gibi birçok avantaja sahip yeni nesil bir güneş paneli teknolojisidir. %16-22 gibi yüksek verimlilik oranlarına sahip olabilirler ve binaların cephelerine veya çatılarına entegre edilebilirler. Düşük ışıkta bile elektrik üretebilirler ve bu da onları gün ışığının sınırlı olduğu alanlarda bile kullanılabilir hale getirir. Ancak, CIS/CIGS panellerinin üretimi kadmiyum gibi bazı toksik maddelerin kullanımını içerir ve uzun vadeli dayanıklılıkları hakkında hala bazı endişeler mevcuttur. Zamanla verim kaybı da yaşayabilirler. CIS/CIGS panelleri, binalarda güneş enerjisi, konut güneş enerjisi sistemleri, ticari ve endüstriyel güneş enerjisi sistemleri ve taşınabilir güneş enerjisi sistemleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [19]. Şekil 2.3'de İnce film güneş panelinin örnek resmi bulunmaktadır.



Şekil 2.3 İnce film güneş paneli [17].

2.1.2.3. Nano Teknolojiye Dayalı Güneş Hücreleri

Nano teknolojiye dayalı güneş hücreleri araştırmaları halen devam etmektedir. Ticarileşen bir ürün ortaya konulması halinde enerji üretimi konusunda yüksek verime ulaşarak büyük bir atılım yapılmış olacaktır. Hali hazırda teorik olarak %63,2 ile %86,8 arası verime sahip olan bu teknoloji için $35,4/\text{cm}^2$ verime ulaşılmıştır [16].

2.1.3. Fotovoltaik Pilin Çalışma Prensibi

Güneş pili olarak işlev gören yarı-iletken eklem, iki aşamalı bir fotovoltaik dönüşüm süreciyle çalışır. İlk aşamada, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur. Ardından, oluşan elektron-hol çiftleri, bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Bu ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluşturur [20].

Fotoelektrik olay prensibine dayanarak; güneş enerjisi PN eklemine geldiğinde, fotonlarda bulunan elektron yükü, PN maddeleri arasında 0,15-0,5 Volt civarında bir potansiyel fark yani gerilim oluşturur. Güneş ışığının yapısında bulunan fotonlar, güneş pilinin yüzeyi tarafından absorbe edildiğinde; elektronlar eklem pozitif tarafına, boşluklar ise eklem negatif tarafına doğru hareket eder. Bu hareket sonucunda elektrik akımı oluşur. Güneş hücresine düşen ışınım arttıkça, güneş pilinin ürettiği elektrik akımı da artar.

Güneş hücresinin gövdesi yarı iletken maddeden yapıldığı için diyotla modellenir. Jonksiyonda üretilen enerjinin kutuplara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar seri direnç ile gösterilir. Jonksiyon, P ve N tipi katkı maddelerinin yan yana getirilmesi sonucu oluşan tampon bölgedir ve N ve P tipi bölgeleri ayırır [20].

Tipik olarak bir PV hücresi 25-30 cm² lik kare bir alana sahiptir ve yaklaşık 1 Wlık güç üretebilir. Güç çıkışının artırılması için çok sayıda fotovoltaik hücrenin seri veya paralel bağlanarak oluşturulan yapıya "güneş pili modülü", "güneş modülü", "güneş paneli" veya "fotovoltaik modül" denir. Fotovoltaik sistemlerde gerilimin artırılması için güneş hücreleri seri bağlanırken, modül tarafından sağlanacak akım miktarının artırılması için modüller paralel bağlanır. Bu şekilde, istenilen güç seviyesinde enerji üreten sistemler oluşturulabilir. Güneş pillerinin verimliliği ve montajı, güneş panelinin performansını belirler. Hatalara karşı korunmak için kullanılan bypass diyotları, güneş hücresindeki akımı bypass etmek için anti-paralel olarak bağlanır [21].

2.1.4. Fotovoltaik Panellerin Verimi

2.1.4.1. Verim

Güneş panelinin verimliliği; panel çıkışında ölçülen en yüksek değerdeki güç ile paneldeki en yüksek değerdeki güç arasındaki oran olarak ifade edilebilir. Bu değer η ile gösterilir. Güneş panelinin çıkış tarafından iletilen gücünün maksimum değeri P_m 'dir ve panelin girişi tarafından ölçülen gücün P_{in} olarak ifade edilen maksimum değeri güneş panelinin verimidir. Bu değer;

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad [2.1]$$

2.1'de gösterilen denklem bağıntısı ile ifade edilir [22].

2.1.4.2. Doluluk Oranı

Doluluk oranı; Kısa devre akımının ve açık devre gerilimine bağlı olarak fotovoltaik panel tarafından saplanan maksimum gücü ifade etmek için kullanılır. Güneş pilinin iç seri direncidir [23].

Seri direnç ile ters orantılıdır, bu nedenle direnç arttıkça doldurma faktörü azalır.

$$FF = \frac{P_m}{V_{ad} \times I_{kd}} \quad [2.2]$$

Doluluk oranı 2.2'de ki denklem bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Bağıntısı ile elde edilir [24]. Güneş pilinin doluluk faktörü (FF), kısa devre akımı (I_{kd}), açık devre gerilimi (V_{ad}), pil üzerine gelen ışıyım şiddeti (P_{in}) ve panel alanı (A) bilinirse;

$$\% \eta = \frac{V_{ad} \times I_{kd}}{P_{in} \times A} \quad [2.3]$$

Denklem 2.3 ile verim hesaplanabilir [29].

2.1.4.3. Kuantum Verimi

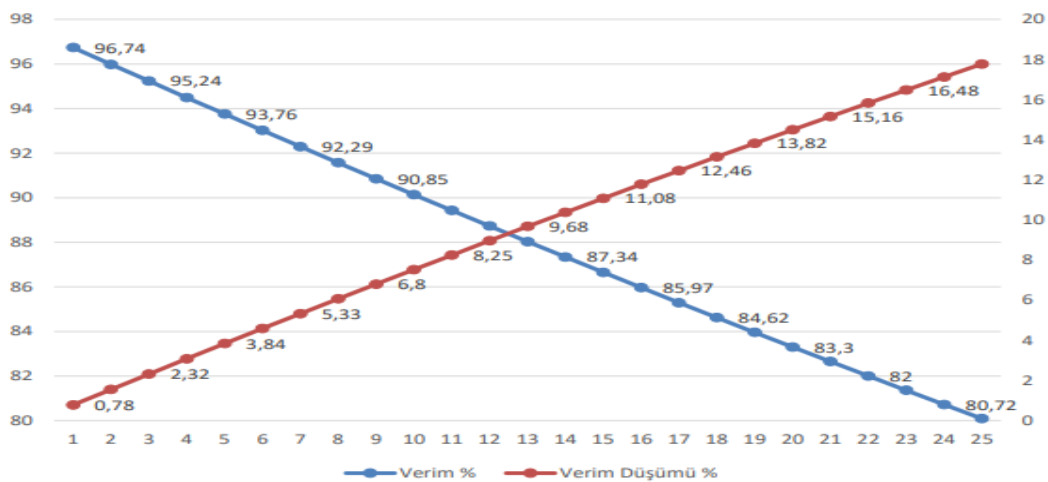
Güneş pillerine gelen fotonların oluşturmuş olduğu elektron-hol çifti sayısı, kuantum verimi adı verilir. Fotovoltaik panellerin kısa devre akımında kuantum verimi, elektrik akımına dönüşen vektörün yüzdesini gösterir [25]. Daha kısa dalga boylarında, kuantum verimliliği güneş bilinin p bağlantısında daha fazladır. Aynı şekilde, daha uzun dalga boylarında ise n bağlantısında daha büyük olduğu söylenebilir. Yük taşıyıcılar yeniden birleşir ve kaybolur, bu da kuantum verimliliğinde düşüşe neden olur. Kuantum verimi hesabı;

$$\eta_0(\lambda) = \frac{I_{kd}(\lambda)}{q \times A_Q \times r \times (\lambda)} \quad [2.4]$$

Denklem 2.4 bağıntısı ile ifade edilir [29]. I_{kd} kısa devre akımını, q elektron yükü, A_Q etkin alanı ve r foton akısını belirtir.

2.1.4.4. Fotovoltaik Panel Verim Oranı

Fotovoltaik panellerin verimi, fotovoltaik sistemlerin çıkış gücünü belirleyen en önemli faktördür, ancak güneş pilinin ömrü fotovoltaik sistemin ömrünü belirler. Güncel teknolojiye bağlı olarak piyasadaki panellerin kullanım ömrü 25 yıl olarak belirlenmektedir. Piyasada 25 yıl yaklaşık %80 panel gücü garanti edilmektedir [12]. Fotovoltaik güneş pillerinin verimi üretimlerinden itibaren yılda yaklaşık %0,7-%0,1 dolaylarında düşmektedir [26]. Bu olayı örneklerle açıklamak gerekirse; Şekil 2.4’de verim kaybı ilk yıllarda %0,78 olan bir panelin 25 yıl sonra ki verim kaybının %16,48 olduğunu gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Bir güneş paneli verimin yıllara göre değişimi [12,26].

2.1.5. Verimliliği Etkileyen Faktörler

2.1.5.1. Güneş Işınımı Faktörü

Fotovoltaik güneş panellerinden monokristal güneş panelleri düşük ışık koşullarında bile yüksek verim ile çalışır. Güneş ışıınımı faktörü, güneş panelleri üzerinde en fazla etkiye sahip parametredir. Ancak akım artmasına rağmen gerilim değeri yaklaşık olarak sabit kalmaktadır [27].

Araştırmalar sonucunda; Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süresinin 2640 saat ve toplam ortalama radyasyon yoğunluğunun 1311 kWh/m² olduğu belirlendi. Bu araştırma ile Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin 380 milyar kWh/yıl olduğu hesaplanmıştır [28].

Bu hesaplamalar ve tespitler doğrultusunda güneş enerjisinin temiz ve sürekli olması nedeniyle ülkemiz için önemli bir enerji kaynağı olduğu söylenebilir.

2.1.5.2. Sıcaklığın Etkisi

Fotovoltaik panellerde kısa devre akımının değeri, güneş panellerinin bulunduğu ortamla veya panellerin sıcaklığının artmasıyla artmaktadır. Bununla beraber açık devre gerilimi azalır. Bu olayların meydana gelmesi fotovoltaik panelin verimini düşürür. Polikristal ve monokristal hücrelerin verimi artan sıcaklıkla azalır. İnce film güneş pili kullanımı, sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde sıcaklıktan daha az etkilenmesi nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. İnce film güneş pillerinden elde edilen güç 1°C sıcaklık artışı ile %0,5 oranında azalmaktadır [29].

2.1.5.3. Rüzgârın Hızı ve Yönü

Fotovoltaik panellerin çıkışından sağlanan güç; Sistemin sıcaklığına bağlı olarak rüzgâr hızına, bulut yapısına ve ortam sıcaklığına göre değişiklik göstermektedir. Fotovoltaik hücrelerin sıcaklığı, rüzgâr hızındaki değişkenlerden önemli oranda etkilenir. Ancak; rüzgâr yönünün panel sıcaklığına etkisi çok küçüktür [12].

2.1.5.4. Fotovoltaik Panel Yüzeyinin Temizliği ve Hava Kirliliği

Güneş panellerinin verimliliği, panel yüzeyinin temizliğine ve hava kirliliğine bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, bu durum panelleri korurken güneş ışıınımı kullanımı da olumsuz etkilemektedir. Paneller ışıınımdan yeterince yararlanamamaktadır. Bu nedenle; Hava kirliliği

güneş panellerinin verimliliğini azaltır. Güneş panellerinin temizliğinin olmaması ve üzerinde biriken kar, toz ve kum gibi etkenlerde verimliliği azaltır.

2.1.5.5. Yansıma Kayıpları

Fotovoltaik panel üzerine gelen güneş ışığının bir kısmı modül tarafından emilirken bir kısmı ise geri yansıtılır. Bu durumda kayıplar yansıma olarak ifade edilir. Yansıma kayıplarını en aza indirmek için uygun kalitedeki malzemeler kullanılmalıdır. Amor silisyum paneller, kristal silisyum panellere kıyasla daha az ışık Emilimi yapar. Aynı zamanda panel ile güneş arasındaki açı ve panelin kırılma indeksinin değişmesi ile emilim oranı ve de verim değişmektedir [29].

2.1.6. Güneş Enerjisi Sistem Bileşenleri

2.1.6.1. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik paneller; Fotovoltaik hücreler aracılığıyla üzerlerine düşen güneş ışığını doğru akıma çeviren yapılardır. Fotovoltaik hücreler tek başına büyük miktarda enerji üretemezler. PV panel dediğimiz yapılar, birden fazla hücrenin paralel veya seri bağlanmasıyla oluşturulur. Oluşan fotovoltaik panellerin tasarım maliyetleri ve verimleri, yapılarındaki fotovoltaik hücre tipine göre değişiklik gösterir. Laboratuvar ortamında yapılan araştırmalar sonucunda en yüksek verim beklentisiyle tasarlanmış panelin verimi %25 olarak tespit edilmiştir [30].

2.1.6.2. İnverter

Fotovoltaik panellerin ürettiği doğru akımı alternatif akıma çeviren elemanlar inverterlerdir. İnverterler fotovoltaik sistemlerin en önemli elemanlarından biridir. İnverterler çalışırken önce maksimum gücü ayarlarlar. Ayrıca santralin üretim gücünü kayıt altına alırlar. Gerekli durumlarda bu veriler kolaylıkla incelenebilir. Aynı zamanda; İnverterler hem DC hem de AC taraf için aşırı yüksek gerilim ve akım korumasını sağlar [31].

İnverterlerin on-grid ve off-grid olmak üzere kullandıkları sisteme göre iki farklı çeşitleri vardır.

İnverterlerin düzgün çalışabilmesi için panel düzenlerinin birbirleri ile koordine edilmesi önem arz etmektedir. Diziyi oluşturan güneş panellerinin gölge miktarı, kirlilik oranları, konumlanma açıları ve sıcaklık koşulları aynı olmalıdır. İnverterler, çalışma şekillerine göre merkezi ve dizi inverterler olarak ikiye ayrılır. Merkezi inverter arızalanırsa sistem tamamen kapatılır. Bu,

sistemin sürdürülebilirliği için büyük bir dezavantajdır. Ancak; bu inverterlerin verimleri oldukça yüksek ve maliyetleri düşüktür. Dizi inverterlere göre daha az bakıma ihtiyaç duyar.

Dizi inverterlerin kullanıldığı sistemlerde, fotovoltaik diziler daha az gruplandırılmalıdır. Fotovoltaik dizilerdeki inverterler cihazlarına bağlanmaktadır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte inverterlerin verimliliği her geçen gün artmaktadır. Piyasadaki çoğu inverterin verimliliği %98 civarındadır. Dizi inverterler çoğunlukla küçük projelerde kullanılır. Dizi inverterler yatırımcılar tarafından konut projelerinde, orta ve küçük ölçekli ticari projelerde tercih edilmektedir. Daha büyük projelerde merkezi inverterler tercih edilmektedir [31]. Çizelge 2.1’de İnverter tiplerinin piyasa dağılımı ve verimlilikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 İnverter tiplerinin piyasa dağılımı ve verimlilikleri

İnverter	Piyasa	Verimlilik
Merkez İnverter	54	98,5
Dizi İnverter	42	98
DC/DC Konvertör	3	98,8
Mikro İnverter	1	90-95

2.1.6.3. Akü

Güneş enerjisi sistemlerinde aküler, bulutlu günlerde ve gece elektriğin üretilmediği zamanlarda, tüketicinin enerji ihtiyacını karşılamak için veya acil bir güç kaynağına ihtiyaç duyulduğunda çözüm olarak kullanılmaktadır [32].

Fotovoltaik santrallerde aküler önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle akü bakımı eksiksiz ve zamanında yapılmalıdır. Aynı zamanda, akülerin tamamen boşalmasına ve sıcak ortamlarda bulunmasını engellemek amacıyla bazı tedbirler alınmalıdır. Fotovoltaik sistemlerde akü grupları seçilirken genellikle kurşun tipi akü grupları seçilmelidir. Bu akü grupları kısa süreli depolama için kullanılmaktadır. Ayrıca; kurşunlu akü gruplarının ekonomik maliyeti ve verimliliği yüksektir. Bu akü grupları, büyük ve küçük şarj akımları şartlarında rahatlıkla çalışabilmektedir. Aküler DC gerilim ile çalışır. Seri veya paralel bağlanarak istenilen güç elde edilebilir.

2.1.6.4. Transformatör

Fotovoltaik enerji santrali için bir diğer önemli unsur, fotovoltaik sistemlerde güç veya frekansı değiştirmeden gerilim ve akımı değiştiren transformatörlerdir. Şebekeden gelen voltajı tüketicilere iletirler veya sistemde üretilen voltajı şebekeye yönlendirirler.

Güneş sistemlerinde kullanılacak transformatörler seçilirken birtakım kriterlere uyulması gerekmektedir; geçmiş tecrübelerle göre kapasite tahsisinin amacının dışında yenilenebilir enerji üretimi için kullanılmasını engelleyen bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu kısıtlamalar, dağıtım şirketinin trafolarına bağlanacak sistemlerin kapasitelerinin belirlenmesinde ortaya çıkar. Güç kalitesinin olumsuz etkilerini trafodan yararlanacak diğer kullanıcıların devamlılığını engellemek için tasarlanmıştır. Üreticilerin sistem kendi dağıtım trafosu ile bağlanmasında herhangi bir kısıtlama yoktur, örneğin; dağıtım şirketinin bağlantı izni vermesi durumunda 1250 kVA kişisel trafo ile 1000 kW'lık bir tesisat sisteme bağlanabilir.

2.1.6.5. Şarj Kontrol Cihazı

Fotovoltaik panellerin ürettiği enerjiyi düzenlemek ve akülerin şarj etmek için sabit bir DC gerilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için şarj kontrol cihazı kullanılmaktadır. Fotovoltaik panellerden çıkan gerilim sabit değildir. Akülerin doğru şekilde şarj edilmesini sağlamak ve şarj olduklarında ana şebekeden ayrılarak korunmalarını sağlamak için şarj kontrol cihazları kullanılmaktadır [33].

2.1.7. Güneş Enerji Santralleri Avantajları

- Güneş enerjisi, sera gazı emisyonu veya diğer kirleticiler üretmez, bu da onu çevre dostu bir enerji kaynağı yapar.
- Güneş ışığı tükenmez bir kaynak olduğundan, güneş enerjisi uzun vadede sürdürülebilir bir çözüm sunar.
- Güneş panelleri nispeten kolay kurulabilir ve taşınabilir, bu da onları farklı alanlarda kullanıma uygun hale getirir.
- Modüler yapıları sayesinde, ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre sistemin kapasitesi kolayca artırılabilir veya azaltılabilir.
- Güneş enerjisi sistemleri, geleneksel enerji kaynaklarının aksine, çevreye zarar veren atık üretmez.

- Güneş panellerinin ömrü sona erdiğinde geri dönüştürülebilirler.
- Güneş enerjisi sistemi kurulduktan sonra, güneş ışığı dışında herhangi bir yakıta ihtiyaç duymaz. Bu sayede, yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalardan etkilenmez ve işletme maliyetleri düşer.
- Güneş panelleri, hareketli parça içermediklerinden mekanik aşınmaya maruz kalmazlar. Bu sayede, uzun yıllar sorunsuz bir şekilde çalışabilirler.
- Güneş enerjisi sistemleri, modüler bir yapıya sahiptir. Bu sayede, ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre sistemin kapasitesi kolayca artırılabilir veya azaltılabilir. Bu esneklik, güneş enerjisini farklı ölçeklerde kullanıma uygun hale getirir.
- Güneş enerjisi sistemleri, elektrik şebekesine bağlı olmadan çalışabilir. Bu sayede, elektrik şebekesine erişimi olmayan veya şebeke bağlantısının pahalı olduğu bölgelerde de kullanılabilir.
- Güneş enerjisi sistemi, enerjinin üretildiği yerde tüketildiği için, iletim ve taşıma sırasında oluşan enerji kayıpları önlenir.
- Güneş enerjisi sistemleri, uzun vadede önemli bir tasarruf sağlayabilir.
- Devlet teşvikleri ve düşük faizli krediler gibi imkanlar da güneş enerjisine yatırımı cazip hale getirir.
- Güneş enerjisi, ülkelerin enerji ithalatına olan bağımlılığını azaltarak enerji güvenliğini artırır [34].

2.1.8. Güneş Enerji Santralleri Dezavantajları

- Güneş Pillerinin verimleri düşüktür. (%15 civarı) Fotovoltaik pillerin üretim kaynaklı başlangıç ve tüketim maliyeti yüksektir, ancak teknolojik gelişmeler ile enerji giderek yaygınlaşmakta ve maliyette düşmektedir. Kullanımın yaygınlaşması ile maliyetlerin daha da azalacağı beklenmektedir.
- Güneş panellerini kurmak için gereken ilk yatırım nispeten yüksek olabilir. Ancak bu maliyeti elektrik faturalarında uzun vadeli tasarruflarla birlikte değerlendirmek önemlidir.
- Güneş enerjisi üretimi, onu doğası gereği aralıklı hale getirir. Güneş ışığının az olduğu dönemlerde tutarlı bir güç kaynağı sağlamak için enerji depolama sistemleri veya şebeke bağlantıları gereklidir.
- Büyük ölçekli güneş enerjisi çiftlikleri, kurulum için önemli arazi alanları gerektirir. Bu bazen tarımsal veya doğal arazi kullanımı ile çatışmalara yol açabilir.

- Bulutlu günler veya sert hava koşulları gibi hava koşulları, güneş panellerinin verimliliğini etkileyerek güç çıkışlarını azaltabilir.
- Güneş panellerinin üretimi, uygun şekilde yönetilmediği takdirde çevresel etkileri olabilecek zehirli malzemelerin ve karmaşık üretim süreçlerinin kullanımını içerir.
- Kesintili bir kaynak olan güneş enerjisinin depolanma imkanları sınırlıdır.
- Depolama Ünitelerinin bakımı ve ömürleri gibi dezavantajlar sistemin verimini düşürmekte ve enerjinin maliyetini artırmaktadır.
- Bu olumsuzluklar nedeni ile, daha çok güneşten, suyun elektrolizi yoluyla hidrojen gazı üretimi biçiminde yararlanma yoluna gidilmektedir [34].

2.2. Rüzgar Enerji Santralleri

Güneşin havayı ısıtması, atmosferde termal farklılıkların oluşmasına ve bu farklılıkların neden olduğu hava hareketlerine sebep olmaktadır. Bu atmosferik hareketler, rüzgarların oluşmasını sağlar. Rüzgarın temel oluşumunu etkileyen ve dünya atmosferindeki hava kütlelerinin hareketini sağlayan belli başlı kuvvetler; basınç gradyan kuvveti, Coriolis kuvveti, merkezkaç kuvveti ve sürtünme kuvveti olarak tanımlanmaktadır [35].

Basınç Gradyan Kuvveti:

Tanım: Hava kütlelerini yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket ettiren kuvvet.

Etkisi: Alçalan soğuk hava yüksek basınç oluştururken, yükselen ısınan hava alçak basınç oluşturur.

Coriolis Kuvveti:

Tanım: Yerkürenin dönüşünden kaynaklanan, hareket eden hava kütlelerini saptıran kuvvet.

Etkisi: Rüzgârın hareket yönünü kuzey yarıkürede sağa, güney yarıkürede sola yönlendirir.

Merkezkaç Kuvveti:

Tanım: Bir merkez etrafında dönen rüzgarların, kendilerinin dolanım merkezinden uzaklaşmasına sebep olan kuvvet.

Etkisi: Rüzgârın dönme eğilimini ve spiral bir yapı oluşturmasını sağlar.

Sürtünme Kuvveti:

Tanım: Rüzgârın oluşumunda doğrudan rol oynamayan ancak rüzgâr hızını azaltan kuvvet.

Etkisi: Yer yüzeyine yakın katmanlarda etkili olan bu kuvvet, rüzgârın hızını yavaşlatır.

Bu kuvvetler, atmosferdeki hava hareketlerini yönlendirir ve rüzgârın oluşumunu sağlar. Rüzgârın karakteristik özellikleri ve hareket yönü, bu kuvvetlerin kompleks etkileşiminden kaynaklanır. Bu tez, atmosferik kuvvetlerin rüzgâr oluşumundaki rollerini ve etkileşimlerini daha ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, bu fenomenlerin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır [35].

2.2.1. Rüzgâr Türbini

Rüzgar türbini, rüzgarın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistem olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar türbinleri ile rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilmekte ve dönüş hızı dişli kutusu kullanan sistemlerde bu komponent vasıtasıyla artırılarak türbinin gövde bölümünde yer alan jeneratörlere aktararak elektrik enerjisi üretilmektedir [36].

2.2.2. Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devir sayılarına, çıkış güçlerine, kanat sayılarına, rüzgarı alış yönlerine, dişli kutusu kullanıp kullanılmalarına ve kurulum lokasyonlarına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. İlgili özelliklere göre rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması Şekil 2.5’de verilmektedir [37].



Şekil 2.5 Rüzgar türbini çeşitleri [37].

2.2.2.1. Dönme Eksenlerine Göre Rüzgâr Türbinleri

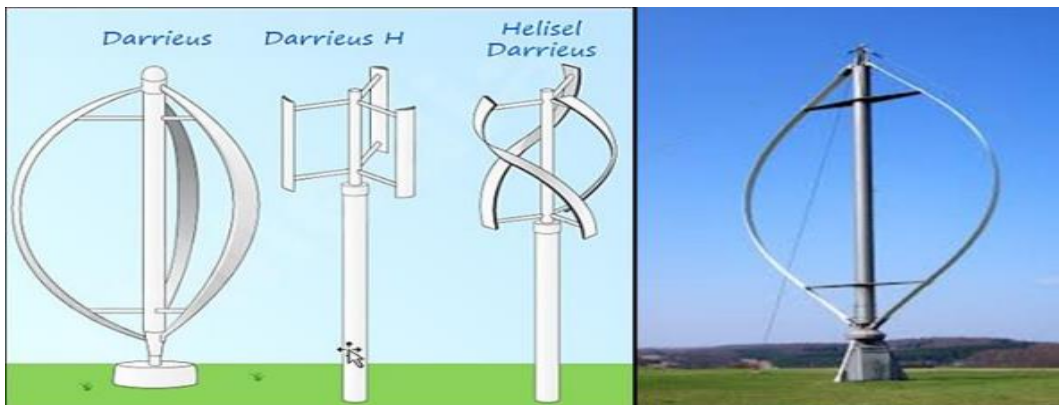
Dönme eksenlerine göre rüzgar türbinleri; yatay eksenli, düşey eksenli ve eğik eksenli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar.

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde dönme eksenlerine rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne dik pozisyonundadır. Bu tip türbinlerin verimi yaklaşık %45 tir. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönebilmektedir. Şekil 2.6’da yatay eksenli rüzgar türbinleri gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Yatay eksenli rüzgâr türbini [39].

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinde türbinin mili düşeyde yer almakta ve rüzgarın geliş yönüne dik pozisyonunda konumlanmaktadır. Düşük verime sahip olduklarından ötürü önceliğin ticari amaç olmadığı deneysel projelerde kullanılmaktadırlar. Yere konumlandırılabilirdikleri için kule komponenti kullanılmamakta olup türbin rüzgar yönüne doğru çevrilebildiği için anemometreye gerek duyulmamaktadır. Darrieus ve Savonius tiplerinde olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Şekil 2.7’de Düşey eksenli darrieus tip rüzgar türbinine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.7 Düşey eksenli darrieus tip rüzgar türbini [37].

Bu tip türbinde türbin mili, uzun eksenli boyunca bir elips oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Tasarımın temelini oluşturan bu eliptik konfigürasyon, türbinin aerodinamik performansını etkileyen bir faktördür. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı, türbinin dönme hareketini tetikleyen önemli bir etkidir. Bu çekme kuvveti farkı, türbinin verimliliği ve stabilitesi üzerinde belirleyici bir rol oynar. Düşey eksenli savonius tip rüzgar türbinleri şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Düşey eksenli savonius tip rüzgar türbinleri [37].

Bu tip türbinlerde ise iki ya da üç adet aerofil kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklinde tasarlanmıştır. Bu yapı, akışkanın içbükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izlemesine ve dönel akışlar oluşturmaya olanak tanır. Ancak, düşük verim seviyeleri nedeniyle, bu tür rüzgar türbinleri ticari amaçla sıklıkla tercih edilmemektedir. Diğer bir taraftan, eğik eksenli rüzgar türbinleri, türbinlerin dönme eksenlerinin düşeyde rüzgar yönünde belirli bir açıyla konumlandığı bir tasarım sunar [41]. Şekil 2.9’da eğik eksenli rüzgar türbinine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.9 Eğik eksenli rüzgar türbinleri [37].

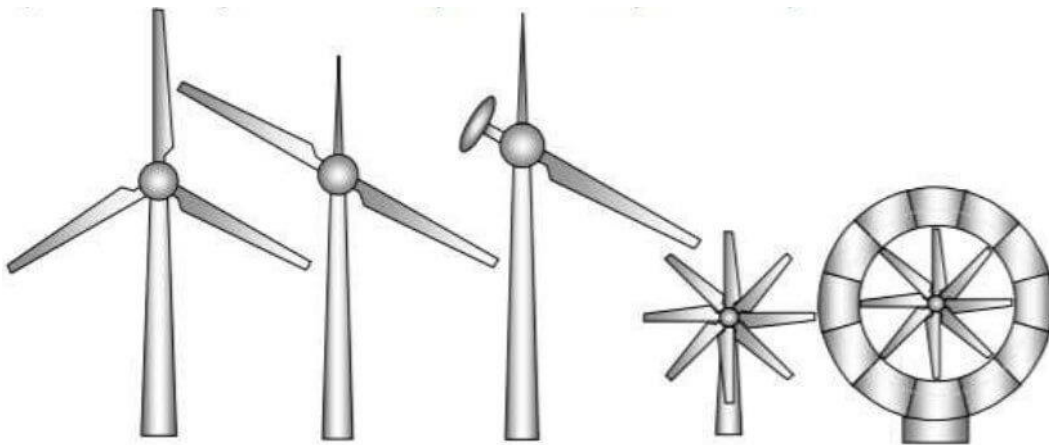
2.2.2.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

Tek kanatlı rüzgar türbinleri, yüksek dönme hızlarına sahip olmaları ve bu sayede makine kütlelerini ve rotorun dönme momentini azaltma amacıyla tasarlanmışlardır. Ancak, ticari olarak en önemli dezavantajlarından biri, kanat uç hızının 120 m/sn civarında olması nedeniyle ortaya çıkan rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir.

Çift kanatlı rüzgar türbinleri, üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılması amacıyla ortaya çıkmıştır, ancak bu türbinlerin yüksek gürültü seviyeleri ve düşük rüzgar hızlarında çalışma yetenekleri, ticari kullanımlarını sınırlamaktadır.

Üç kanatlı rüzgâr türbinleri, dünyanın farklı bölgelerinde dönme momentlerinin daha optimum olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür türbinlerin avantajları, düşük kanat uç hızlarına sahip olmalarıyla birlikte düşük gürültü seviyeleri ve diğer türbülansız dönme yetenekleridir. Ancak, küçük güçlü türbinlerde üç kanatlı rotor kullanılması durumunda güç sorunları ortaya çıkabilmekte ve bu sorunu çözmek adına rotorun dönüş hızını artırmak için dişli oranlarının kullanılması gerekmektedir. Güç üretimi için minimum rüzgar hızına ulaşana kadar türbin jeneratörü boşa çalıştırılmaktadır.

Çok kanatlı rüzgar türbinleri, özellikle su pompalama sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış olup düşük hızlarda çalışmaktadırlar. Bu türbin tipleri, rüzgar türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleri olarak kabul edilmekte olup, su pompalama sistemlerindeki moment gereksinimlerini karşılamak için kullanılmışlardır [41]. Kanat sayılarına göre rüzgar türbinlerinin örnek şekilleri şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Kanat sayılarına göre rüzgar türbinleri [37].

2.2.2.3. Rüzgârı Alış Yönlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgâr türbinleri, rüzgarın alış yönüne göre iki ana kategoride değerlendirilir: rüzgarı önden alan ve rüzgarı arkadan alan türbinler.

Rüzgarı önden alan türbinlerde, yatay eksenli türbinlerin rotor yüzü rüzgara karşı konumlandırılmıştır. Bu tür türbinlerin önemli bir avantajı, kule tarafından meydana getirilen gölgeleme etkisine minimal düzeyde maruz kalmalarıdır. Rüzgâr belirli bir açıyla kuleye gelir ve her geçişte kanatlar kule hizasından geçtiğinde türbinin ürettiği çıkış gücü belirli bir oranda azalır. Bu güç kaybını minimize etmek amacıyla, kanatlar genellikle sert bir yapıya sahip olan karbonfiber ve cam elyaf kombinasyonundan üretilir ve kuleden belirli bir mesafe uzakta konumlandırılır. Ayrıca, rüzgârı önden alan türbinler, rüzgardan maksimum fayda sağlamak ve buna paralel olarak enerji üretimini optimize etmek amacıyla anemometreden alınan rüzgar yönü bilgisine dayalı olarak rotoru yatay ekseninde döndürebilen yaw motorları ile donatılmıştır.

Rüzgarı arkadan alan türbinlerin rotorları, kule arkasında konumlanmaktadır. Bu tür türbinlerin, rüzgârı önden alan türbinlere kıyasla en önemli avantajlarından biri yaw motorlarına duyulan ihtiyaç olmamasıdır. Rotorlar belirli periyotlarla yatay ekseninde dönebildiğinden, türbin jeneratörlerinin kuleden aşağı inen çıkış kabloları zamanla birbirine dolanarak çeşitli sorunlara neden olabilir. Kanatlar, rüzgârı önden alan türbinlere kıyasla daha esnek bir yapıya sahip olduklarından, türbine ağırlık yönünden avantaj sağlar ve türbinin güç dinamiğine olumlu katkıda bulunur [41]. Şekil 2.11’de rüzgarı arkadan alan ve rüzgarı önden alan rüzgar türbinlerinin örnek şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Rüzgarı arkadan alan ve rüzgarı önden alan rüzgar türbinleri [38].

2.2.2.4. Çıkış Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri çıkış güçlerine göre; küçük, orta, büyük ve çok büyük güçlü olmak üzere dört bölümde incelenmektedir. Çizelge 2.2’de çıkış güçlerine göre rüzgar türbinlerinin isimlendirme detayları gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Çıkış güçlerine göre rüzgar türbinleri.

Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri	Çıkış Gücü (kW)
Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri	<30
Orta Güçlü Rüzgar Türbinleri	30-100
Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri	100-1000
Çok Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri	>1000

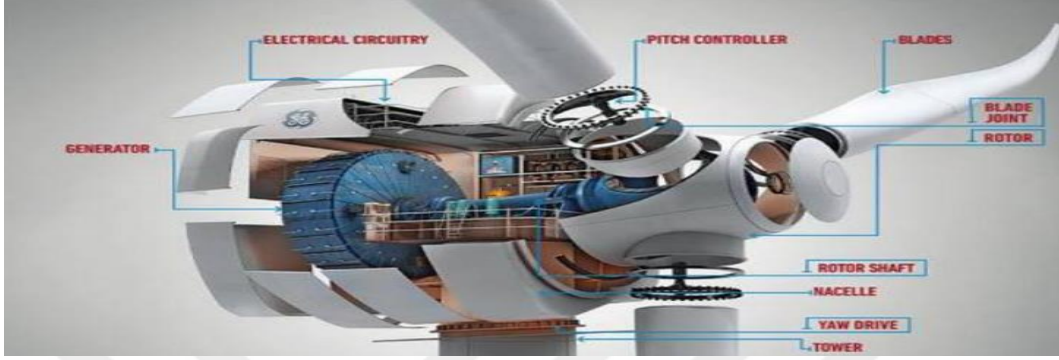
Günümüzde 1000 kW üzerindeki yeni nesil rüzgar türbinlerinin üretimi giderek yaygınlaşmaktadır, bu nedenle bu sınıflandırmanın yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Özellikle ticari kullanım için tasarlanan rüzgar türbinleri, oldukça yüksek güçlü modeller olarak öne çıkmaktadır. Şu ana kadar açıklanan en yüksek güçlü rüzgar türbini, MingYang Smart Energy şirketine ait MySE 16-242 model deniz üzeri rüzgar türbinidir. Bu türbin, 16 MW çıkış gücüne, 242 metre rotor çapına ve 118 metre kanat uzunluğuna sahiptir, aynı zamanda 46.000 m² süpürme alanına sahiptir. Multimegawatt kategorisinde yer alan bu türbin, 20.000’den fazla konutun yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabilecek tahmini 80 GWh enerji üretimi sağlaması beklenmektedir [42].

2.2.2.5. Dişli Özelliklerine Göre Rüzgar Türbinleri

Dişli mekanizmalarına göre rüzgar türbinleri, dişli kutulu ve dişli kutusuz olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir.

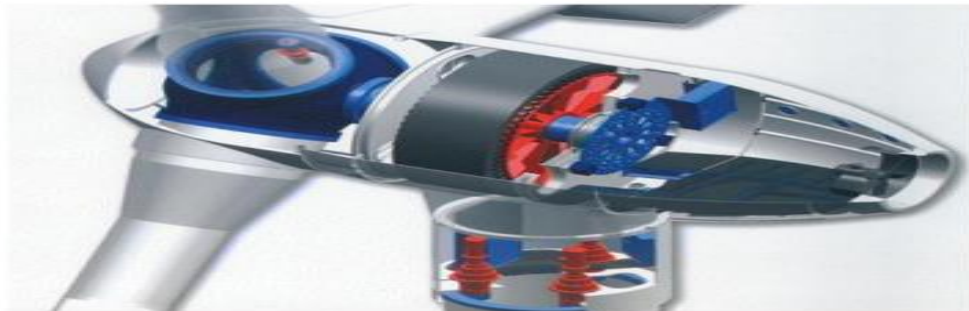
Dişli kutulu rüzgar türbinlerinin jeneratörleri genellikle az kutuplu ve yüksek devirli olarak tasarlanmıştır. Rotorun dönüş sayısını jeneratöre iletmek için ara komponent olarak dişli kutuları kullanılmaktadır. Dişli kutularının çevirme oranları, türbin modellerine bağlı olarak değişebilir ve farklı niceliklere sahip olabilir, örneğin 1/50, 1/70, 1/120 gibi. Dişli kutusu, jeneratör milinin dönüş sayısını etkileyen birincil bir komponent olduğundan, bu bileşenin yıllık bakımı ve operasyon sürecinde sürtünmeyi önleyici yağ içerisinde biriken metal partiküllerin temizlenmesi operasyonel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Dişli kutulu rüzgar türbinlerinde genellikle sabit hızlı-sincap kafesli indüksiyon jeneratörü ve değişken

hızlı-çift beslemeli indüksiyon jeneratörleri kullanılmaktadır. Özellikle ticari amaçlı ve dişli kutusuna sahip çok büyük güçlü rüzgar türbinlerinde, değişken hızlı-çift beslemeli indüksiyon jeneratörü kullanımı sıkça rastlanan bir durum olup, bu tip jeneratörler üzerindeki teknolojik çalışmalar diğer modellere göre daha baskın bir hale gelmiştir. Şekil 2.12'de dişli kutulu bir rüzgar türbininin iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Dişli kutulu rüzgar türbini [40].

Dişli kutusuz rüzgar türbinlerinin jeneratörleri genellikle çok kutuplu ve düşük devirli olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, dişli sistemine ihtiyaç duyulmaz. Dişli kutusu bulunmadığından dolayı, dişli kutulu rüzgar türbinlerine kıyasla yıllık bakım ve operasyon süreci boyunca bileşen ömründeki azalmadan kaynaklanan değişim maliyetleri bulunmamaktadır. Dişli kutularının gerektirdiği bakım ve operasyon maliyetlerinden dolayı, dişli kutusuz rüzgar türbinleri işletme ve bakım açısından genellikle daha düşük maliyetlidir. Ancak, jeneratör teknolojisi nedeniyle satış fiyatları, dişli kutulu rüzgar türbinlerine göre genellikle daha yüksektir. Dişli kutusuz rüzgar türbinlerinde genellikle direkt sürümlü-elektriksel uyarımlı senkron jeneratör (EESG) ve direkt sürümlü-sürekli mıknatıslı senkron jeneratör (PMSG) kullanılmaktadır. Hem deniz üzerinde hem de kara üzerinde kurulabilecekleri göz önüne alındığında, bu tür türbinler çeşitli kurulum lokasyonlarında kullanılabilir [37]. Şekil 2.13'de dişli kutusuz bir rüzgar türbininin iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Dişli kutusuz rüzgar türbini [40].

2.2.2.6. Kurulum Yerlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Kurulum yerlerine göre rüzgar türbinleri, kara üzeri ve deniz üzeri olmak üzere iki ana grupta incelenebilir.

Kara üzeri rüzgar türbinleri, türbinlere ait ankraj sepeti vasıtasıyla kara üzeri temellere monte edilir. Bu tür türbinlerin kurulum bölgelerinin kara olması nedeniyle, yatırım kararı verilmeden önce ilgili bölgedeki toprak yapısı ve sismik faaliyet durumu gibi unsurların dikkate alınması gerekmektedir. Kurulum noktasının jeolojik yapısını incelemek amacıyla, ilgili bölgenin jeoteknik etüt raporu sıklıkla değerlendirmeye alınan bir rehber olarak kabul edilebilir. Bu tür türbinler, yerleşim yerlerine yakın bir bölgeye kurulabildiğinden, çevredeki nüfusun psikolojik açıdan olumsuz etkilenmesini minimize etmek için gürültü değerleri mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.

Öte yandan, bu türbinlerin askeri alanlara yakın bölgelerde kurulması durumunda, ilgili kurumlar tarafından gerekli tetkik analizleri yapılır ve kurulum noktasının olağanüstü askeri durumlarda tehlike arz etmeyecek şekilde planlanmış olması kaydıyla yetkili kurumlardan kurulumu onay alınabilir. Bu bağlamda, türbinlerin kanat uzunluğu ve kule yüksekliği seçimi büyük bir hassasiyetle yapılmalıdır. Bu tür türbinlerde maksimum kanat ucu yüksekliği, teknik analizde değerlendirilmeye alınan ilk unsur olmaktadır. Şekil 2.14'te kara üzeri bir rüzgar türbini santralının görseli gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Kara üzeri rüzgar türbini [39].

Deniz üzeri rüzgar türbinleri genellikle açık denizlerde kurulur ve kara üzeri rüzgar türbinlerine kıyasla daha esnek koşullara sahip olabilir, özellikle rotor çapı ve kule yüksekliği bakımından. Ancak, kara üzeri rüzgar türbinlerinden farklı olarak, deniz üzeri türbinler açık denizlere konumlandırıldıkları için korozyona maruz kalabilir. Bu sebeple, komponentlerin korozyon

nedeniyle yıpranmaması için özel boyalar ve korozyon önleyici kimyasal bileşenler kullanılması gerekmektedir.

Gürültü açısından değerlendirildiğinde, deniz üzeri türbinler genellikle kara üzeri türbinlere göre daha esnek koşullara sahip olabilir, çünkü açık denizlere konumlandırılmışlardır. Bu tür türbinlerde edinimsel anlamda birincil öncelik, aerodinamik verimin mümkün olduğunca yüksek seviyelerde tutulmasıdır. Bu nedenle, deniz üzeri rüzgar türbinlerinin kanat hızları, kara üzeri rüzgar türbinlerine göre genellikle daha yüksektir.

Ekonomik analiz açısından değerlendirildiğinde, türbin maliyetinin en büyük parametreleri türbinin temel inşası ve en yakın kara parçasına çekilen iletim hatlarıdır. Bir diğer önemli kriter ise santralin karaya uzaklığı ve temelin kurulacağı derinliktir [42]. Şekil 2.15'te deniz üzeri bir rüzgar türbini santralinin görseli gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Deniz üzeri rüzgar türbini [39].

2.2.3. Rüzgar Türbini Mekanizması ve Bileşenleri

Rüzgar türbinleri, çeşitlerine göre farklı mekanizmalara sahip olabilmekte ve bu yönde farklı bileşenleri barındırabilmektedir. Sektörde sıklıkla karşılaşılan yatay eksenli ve çok büyük güçlü sınıfında yer alan rüzgar türbinleri bileşenleri yönüyle; kule, nasel (makine dairesi), hub, rotor kanatları, anemometre, jeneratör, konvertör, transformatör, dişli kutusu, sapma (yaw) sistemi, kanat açısı sistemi ve fren sistemi olarak incelenebilmektedir.

2.2.3.1. Kule

Rüzgar türbininin makine dairesi (nasel), göbek (hub) ve rotor kanatlarını taşıyan bölümü, çelik, beton, hibrit (çelik-beton) ve kafes sistem örgü olmak üzere dört farklı grupta üretilmektedir.

Beton tip kuleler, çelik tip kulelere göre maliyet avantajı sağlamakla birlikte, mukavemet açısından çelik tipe kıyasla dezavantajlıdır. Rüzgar türbinlerinin çıkış gücü arttıkça, çelik tip kule kullanımı ihtiyacı da artmaktadır. Kafes sistem örgü tip kuleler, çelik tip kulelere göre daha fazla malzeme kullanımına sahip olabilir; ancak, görünümleri ve kurulum lokasyonlarında fazla yer kaplamaları nedeniyle kullanım alanları oldukça sınırlıdır. Proje uygulanabilirliği açısından değerlendirildiğinde, çelik tip kule en fazla kullanıma sahip model olarak dikkate alınabilmektedir. Çelik tip kule, çıkış gücündeki artışa paralel olarak talep görmekte ve maliyet açısından etkin bir çözüm sunmaktadır [43]. Şekil 2.16'da rüzgar türbini kulesi ve taşınmasıyla ilgili örnek bir görsel gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Rüzgar türbini kulesi [38-39].

2.2.3.2. Nasel (Makine Dairesi)

Rüzgar türbininin bir bölümü, jeneratör, konvertör, soğutma sistemleri ve dişli kutusu gibi ana bileşenleri içermektedir. Yeni teknolojiye sahip rüzgar türbinlerinin çoğunda, transformatör de genellikle nasel bölümü içinde yer almaktadır. Bu yöntem, kuleden aşağıya inen kablo sayısında ciddi bir azalmaya neden olur. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde nasel genellikle kule üzerine konumlandırılırken, kullanımı oldukça az olan düşey eksenli rüzgar türbinlerinde bu bileşen, kule dışında zemine yerleştirilmektedir. Bu durum, farklı rüzgar türbini modelleri arasındaki farklılıkları ve tasarım tercihlerini yansıtmaktadır [46].

2.2.3.3. Hub (Göbek)

Rüzgar türbininin rotor kanatlarının bağlı olduğu makine dairesi ile bütünleşik olan bölümü, "hub" olarak adlandırılmaktadır. Hub sayesinde düşük hız mili, dişli kutusuna sahip rüzgar türbinlerinde makine dairesi içindeki dişli kutusuna bağlanmaktadır. Yeni teknolojiye sahip

rüzgar türbinlerinde, hub genellikle göbek yağmur saptırıcı özelliğe sahip olacak şekilde üretilmektedir. Bu özellik, rüzgar türbininin verimliliğini artırmaya yönelik gelişmiş tasarım özelliklerinden biridir [46].

2.2.3.4. Rotor Kanatları

Rüzgar türbininin, rüzgarın kinetik enerjisini yakalayarak göbek kısmı ile birlikte dönerek bu kinetik enerjiyi nasıl içerisindeki miller vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştüren bölümüne rotor denir. Kanatlar, genellikle karbon fiber-cam elyaf bileşimli kompozit malzemeden üretilir ve pilotların görüş açılarında dikkat çekmesi adına aviasyon kuralları doğrultusunda birtakım uyarıcı şeritlerle donatılabilir. Rüzgar türbini modellerine göre parçalı ve yekpare olarak iki farklı tipte imal edilebilmektedir. Bu tasarım seçenekleri, rüzgar türbinlerinin farklı ihtiyaçlara ve çevresel koşullara uygun olarak üretilmesine olanak tanır [48]. Şekil 2.17’de rüzgar türbini rotor kanadına ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.17 Rüzgar türbini rotor kanadı [38-39].

2.2.3.5. Anemometre

Rüzgar türbininin, rotor kanatları ile yakalamış olduğu rüzgarın hızını ve yönünü ölçen, ölçtüğü bu verileri nasıl içerisindeki işlemcilere aktaran ve bu yolla türbini rüzgardan maksimum verim elde edecek şekilde konumlandıran bölümüne anemometre denir. Anemometrelerden elde edilen rüzgar bilgileri aynı zamanda türbinin SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi üzerinden de erişilebilir durumdadır. Özellikle kış aylarında veya bazı bölgelerde mevsim farketmeksizin, anemometreler soğuk iklim koşullarından korunabilme amacıyla ultrasonik modellerle donatılmaktadır. Ultrasonik model anemometrelerde, anemometrenin aktardığı veriyi taşıyan kablo boruları ısıtıcılar ile desteklenmekte ve bazı modellerde veriyi yedekleyebilme özelliği bulunmaktadır. Ayrıca, arızalandığında operasyonun

kaldığı yerden devam edebilmesi için yedekli ultrasonik anemometreler kullanılabilmektedir. Bu özellikler, rüzgar türbinlerinin veri toplama ve yönetim süreçlerini optimize etmeye yönelik önemli avantajlar sunar [47]. Şekil 2.18'de rüzgar türbini anemometrelerinin bazı örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Rüzgar türbini anemometre çeşitleri [47].

2.2.3.6. Jeneratör

Rüzgar türbininin, kanatlarla elde edilen kinetik enerjiyi nasıl içerisindeki miller vasıtasıyla dönüştürdüğü mekanik enerjiyi, eğer mevcutsa dişli kutuları üzerinden aldığı dönüş hızıyla, şayet mevcut değilse millerin sahip olduğu dönüş hızıyla kendi mili üzerinden alan ve bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bileşenidir. Türbin modellerine göre farklı çeşitlerde kullanılmakta olup, dişli kutulu rüzgar türbinlerinde sıklıkla sabit hızlı-sincap kafesli indüksiyon jeneratörü ve değişken hızlı-çift beslemeli indüksiyon jeneratörleri tercih edilirken, dişli kutusuz rüzgar türbini modellerinde direkt sürümlü-elektriksel uyartımlı senkron jeneratör (EESG) ve direkt sürümlü-sürekli mıknatıslı senkron jeneratör (PMSG) modelleri ile karşılaşılmaktadır. Bu çeşitlilik, rüzgar türbinlerinin farklı enerji üretim ihtiyaçlarına ve çevresel koşullara uygun olarak tasarlanmasına olanak tanır [43]. Şekil 2.19'da rüzgar türbini jeneratörünün yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.19 Rüzgar türbini jeneratörü [38-39].

2.2.3.7. Konvertör

Rüzgar türbinlerinde, enerji akışında jeneratör ve transformatör arasında yer alan konvertörlerin temel amacı, sabit hızlı rüzgar türbinlerinde jeneratörün kalkış anındaki akımı azaltarak tork osilasyonlarını önlemektir. Değişken hızlı rüzgar türbinlerinde ise temel amaç, jeneratörün hız-tork eğrisini ve aktif-reaktif gücü kontrol etmektir. Bazı rüzgar türbin modellerinde, konvertörlerdeki parametre konfigürasyonlarının değiştirilmesiyle türbinlerin durağan pozisyonlarda dahi reaktif güç üretimi sağlanabilmektedir. Bu konvertörler, rüzgar türbinlerinin performansını optimize etmek ve çeşitli çalışma koşullarına uyum sağlamak amacıyla tasarlanan önemli kontrol elemanlarıdır [46]. Şekil 2.20'de rüzgar türbini konvertörü yapısı gösterilmiştir.

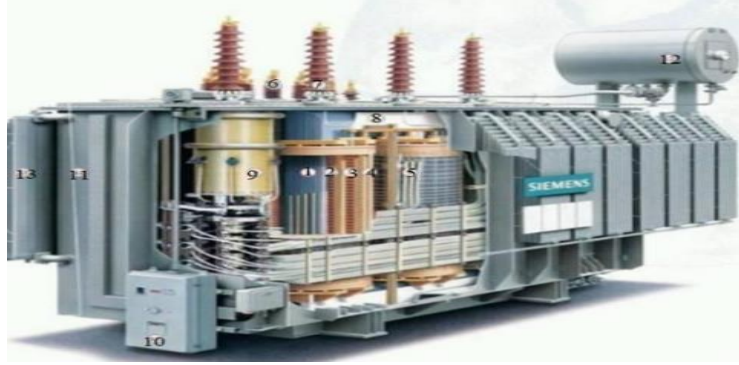


Şekil 2.20 Rüzgar türbini konvertörü [46].

2.2.3.8. Transformatör

Rüzgar türbinlerinin önemli bileşenlerinden biri olan transformatör, jeneratörler ile elde edilen gerilimi yükselterek türbinin bağlandığı elektrik dağıtım sistemine ileten önemli bir elemandır. Türbin modellerine göre çeşitlilik gösteren transformatör tasarımları, çift sargılı ve üç sargılı iç dizayn ile özel bir soğutma sistemine sahip olabilir. Ayrıca, türbin modeline bağlı olarak, transformatörün lokasyonu nasel içi, kule içi veya kule dışında olabilir. Yeni teknolojiye sahip rüzgar türbinlerinde, transformatörün nasel içinde konumlanması, kablo sayısını azaltarak maliyetleri düşürmeyi ve olası arızaların riskini minimuma indirmeyi amaçlamaktadır. Ancak, transformatörün nasel içinde bulunması, yangın riskini artırabileceğinden dolayı, bazı türbin modellerinde kuru tip transformatör kullanılmakta; diğer modellerde ise yağlı tip transformatörler tercih edilmekte ve genellikle sentetik ester bazlı yağ içeren yağlar kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik, rüzgar türbinlerinin güvenilirliğini ve verimliliğini artırmak için

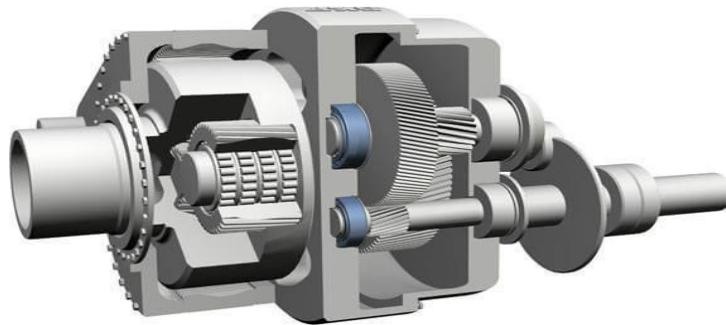
yapılan tasarım ve teknolojik iyileştirmelerin bir yansımasıdır [45]. Şekil 2.21’de transformatöre ait örnek görsel bulunmaktadır.



Şekil 2.21 Transformatör[45].

2.2.3.9. Dişli Kutusu

Rüzgar türbininin kritik bir bileşeni olan dişli kutusu, rotor kanatlarından elde edilen dönüş sayısını artırmak için dişli mekanizmasını kullanır ve bu artırılmış devir sayısını yüksek devirli mile aktarır. Dişli kutusu ayrıca, santral sahasının jeolojisi, orografisi ve rüzgar rejimi nedeniyle kanatların maruz kaldığı aerodinamik yükü nasıl içerisinde üstlenir ve bu durum sonrasında olası arızaların önüne geçmek için belirli periyotlarda bakım-onarım yapılması gerekmektedir. Bakım-onarım sürecinde, dişli kutusu yağının değişimi ve operasyon sonucunda dişli mekanizmalarının sürtünmesiyle yağ içine karışabilecek metal partiküllerin ilgili yardımcı üniteler tarafından denetlenerek temizlenmesi, dişli kutusunun maksimum verimle çalışması için önemlidir. Özellikle bazı rüzgar türbinlerinde (doğrudan tahrikli) dişli kutusu bulunmamakta olup, jeneratör mili türbin rotoru ile aynı hızda dönmektedir. Bu tip doğrudan tahrikli rüzgar türbinlerinin en büyük avantajı, dişli kutusunun getirmiş olduğu bakım-onarım ve bileşen değişimi maliyetlerinden işletmeciyi muaf tutması olmaktadır [43]. Şekil 2.22’de rüzgar türbini dişli kutusunun yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.22 Rüzgar türbini dişli kutusu [40].

2.2.3.10. Sapma (Yaw) Sistemi

Rüzgar türbininin, rotor kanatlarıyla yakalanan rüzgar potansiyelinden maksimum verim elde edebilmek ve maksimum rüzgar hızından kaynaklanabilecek olası türbin arızalarından naseli korumak amacıyla uygun pozisyon alabilen önemli bir bileşenidir. Türbin modellerine göre değişiklik göstermekle birlikte, naselin kuleye bağlandığı bölüm içerisinde farklı adetlerde sapma (yaw) motorları bulunmaktadır. Genellikle sahanın lokasyonuna bağlı olarak türbinin aerodinamik yüklere fazlaca maruz kalabileceği bölgelerde sapma (yaw) motorlarının sayısı, operasyonel işlemi minimum hata ile tamamlayabilmek için artırılmaktadır. Eski teknolojiye sahip türbinlerde sapma (yaw) motorları mekanik frenlemeye sahipken, yeni teknolojiye sahip türbinlerinde bu operasyon elektrik motorları ile sağlanmaktadır [47]. Şekil 2.23’de rüzgar türbini sapma(yaw) sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.23 Rüzgar türbini sapma(yaw) sistemi [44].

2.2.3.11. Yunuslama (Pitch) Sistemi

Rüzgar türbininin, rotor kanatlarının açısını rüzgarın geliş yönüne göre ayarlayabilen ve bu sayede rüzgardan maksimum verim elde edebilen önemli bir bileşenidir. Aynı zamanda, tehlikeli durumlarda kanatları koruma özelliğine sahiptir, bu da türbinin güvenliği için kritik bir rol oynar. Rüzgar türbininin şebekeden kopması veya şebekedeki arıza durumlarında enerji alamaması durumlarında, kanat açısı (pitch) sistemi, bu bileşenin beslendiği bataryalar aracılığıyla işlevselliğini sürdürebilir [47]. Şekil 2.24’de Rüzgar türbini kanat açısı(pitch) sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Rüzgar türbini kanat açısı(pitch) sistemi [44].

2.2.3.12. Fren Sistemi

Rüzgar türbininde, rüzgar hızının istenen seviyelerin üzerine çıktığı durumlarda türbin rotorunu frenleyen ve gerekli olduğunda kilitleyen kritik bir bileşen bulunmaktadır. Bu bileşen, sisteme mekanik arızaların oluşmasını önlemek amacıyla tasarlanmıştır. Elektriksel ve mekaniksel frenleme olmak üzere iki farklı türü bulunmaktadır [43].

2.2.4. Rüzgar Enerjisi Santralleri Enerji Üretimi

Rüzgar enerjisi santrallerinin enerji üretimi, temel olarak santralin kurulu olduğu bölgenin rüzgar potansiyeline bağlıdır. Yüksek rüzgar rejimine sahip bölgeler, jeolojik ve atmosferik yükler açısından uygun bir rüzgar türbini seçimi ile yıllık enerji üretimini minimum kayıplarla gerçekleştirebilirler. İlgili bölgenin orografik yapısı, türbin kurulumu için jeoteknik açıdan yapısal bütünlük sağlamak ve çevredeki olası rüzgar kırımına neden olabilecek engellerden kaçınmak adına önemlidir. Kompleks sahalarda yapısal bütünlüğü sağlamak için rüzgar veri analizi, düz arazilere kıyasla daha zor olabilir ve bu tür sahalarda özel yöntemler, örneğin CFD modelleme gibi, kullanılabilir.

Kurulum yapılacak bölge belirlendikten sonra, seçilen rüzgar türbini ile hedef bölgede yıllık enerji üretimi tahmini yapılabilir. Ancak, planlanan yıllarda rüzgarın ne sıklıkta ve ne şiddette eseceği kesin olarak belirlenemediği için, yapılan tahminler belirsizliklere dayanmaktadır. Bu belirsizlikler göz önüne alındığında, seçilen türbinin bir yıl boyunca üreteceği enerji miktarını belirleyen en önemli unsurlardan biri, türbinin güç eğrisidir [49]. Rüzgar türbininin güç eğrisi, türbinin enerji üretmeye başlayabileceği minimum rüzgar hızından, maksimum eşik rüzgar hızına kadar her bir rüzgar hızı için tanımlanmış olan kW bazında aktif güç değerlerini içerir. Türbinin güç eğrisi verileri, kurulum noktasına referans olabilecek minimum bir yıllık ve en az

iki farklı noktadan alınmış meteorolojik ölçüm direklerinden elde edilen rüzgar verileri ile birleştirilerek, WindPRO, WAsP gibi yardımcı paket yazılımları kullanılarak yıllık tahmini enerji üretim değerleri çıktı olarak elde edilebilmektedir.

2.2.5. Rüzgar Enerjisi Santralleri Avantajları

- Rüzgar santrallerinin üretim hayatı boyunca yakıt maliyeti yoktur ve işletme maliyetleri oldukça düşüktür. Bu da onları uzun vadede ekonomik bir enerji kaynağı haline getirir.
- Rüzgar enerjisi, yerli bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltmaya yardımcı olur.
- Rüzgar türbinleri modülerdir ve herhangi bir büyüklükte imal edilebilirler. Bu sayede tek başına veya gruplar halinde kullanılabilirler.
- Rüzgar enerjisi, kirlilik yaratmayan ve çevreye yok denecek kadar az zarar veren bir kaynaktır. Bu da onu sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline getirir.
- Rüzgar tarlalarının geniş alan istemesi bir sorun olarak görülebilir. Fakat, rüzgar santralinde türbinlerin kapladığı gerçek alan santral toplam alanının %1-1,2'si kadardır. Türbinlerin aralarında tarım ve hayvancılık yapılabildiğinden arazi kaybı olmamaktadır ve çiftçilik faaliyetlerine engel olmamaktadır.
- Rüzgar enerjisinde üretimde kullanılan doğaya hiçbir zararı olmayan rüzgar türbinleri hem fazla alan kaplamamakta hem de kuruldukları alanda yaşayan insanlar için iş alanı oluşturmaktadır.
- Rüzgar çiftlikleri kolayca sökülebilmekte ve bulundukları arazi kolayca eski haline getirilebilmektedir. Bu da rüzgar enerjisini sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline getirir [50].

2.2.6. Rüzgar Enerjisi Santralleri Dezavantajları

- Rüzgar türbinleri, özellikle kırsal alanlarda kurulduğunda, görsel ve estetik kirliliğe neden olabilir. Bu durum, bölgenin doğal güzelliğini bozabilir ve turizmi olumsuz etkileyebilir.
- Rüzgar türbinleri, özellikle rüzgarlı havalarda, önemli miktarda gürültü üretebilir. Bu gürültü, insan sağlığını olumsuz etkileyebilir ve stres, uyku bozuklukları ve konsantrasyon zorluğu gibi problemlere yol açabilir.

- Rüzgar türbinleri, göç eden kuşlar için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Kuşlar, türbin kanatlarına çarpabilir veya türbinlerden çıkan hava akımlarına sürüklenerek yaralanabilir veya ölebilir.
- Rüzgar türbinleri, kuşların göç yollarını engelleyebilir veya değiştirebilir. Bu durum, kuş popülasyonları üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir.
- Rüzgar türbinleri, radyo ve televizyon sinyallerinde parazitlere neden olabilir. Bu durum, belirli bir yarıçap içindeki alıcılarda görüntü ve ses kalitesini düşürebilir.
- Rüzgar santralleri, kırsal alanlara kurulduğundan arkeolojik açıdan önemli alanlara zarar verme riski taşımaktadır. Bu nedenle, santralin yapılacağı arazi üzerinde ayrıntılı arkeolojik araştırma yapılması gereklidir. Bu durum, inşaat başlama süresini uzatabilir veya santralin kurulmasını engelleyebilir [50].

2.3. Güneş Panelleri ve Rüzgar Türbinlerinde Grid-On ve Grid-Off Sistemler

Güneş panelleri ve rüzgar türbinleri, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak öne çıkar. Bu sistemler, elektrik şebekesine bağlı olup olmamalarına göre iki temel kategoriye ayrılır: grid-on (şebekeye bağlı) ve grid-off (şebekeden bağımsız) sistemler.

2.3.1. Grid-On (Şebekeye Bağlı) Sistemler

Grid-on sistemlerde, güneş panelleri veya rüzgar türbinleri tarafından üretilen elektrik, önce evinizdeki veya iş yerinizdeki elektrikli cihazlara güç sağlar. Fazla üretilen elektrik ise elektrik şebekesine satılabilir. Bu sayede, elektrik faturalarınızda tasarruf edebilirsiniz. Güneş panelleri yeterince güneş ışığı alamadığında veya rüzgar yeterince güçlü olmadığında ise şebekeden elektrik satın alabilirsiniz.

2.3.2. Grid-Off (Şebekeden Bağımsız) Sistemler

Grid-off sistemlerde, güneş panelleri veya rüzgar türbinleri tarafından üretilen elektrik, pillerde depolanır. Bu sayede, şebekeden bağımsız bir şekilde elektrik ihtiyacınız karşılanır. Bu sistemler, özellikle elektrik şebekesine erişimin olmadığı veya sık sık kesintiler yaşanan bölgeler için idealdir.

2.4. Radyolink Haberleşme Sistemleri

İletişimin tarihine dumanla iletişim gibi eski yöntemlere kadar uzandığını biliyoruz. Ancak, günümüzde iletişim teknolojisi önemli ölçüde ilerledi ve hız iletişimde büyük bir öncelik haline geldi. Günümüzde, haberleşme sistemlerinde fiber-optik ve bakır kablolar, radyolink, mobil ve uydu sistemleri oldukça kritik hale gelmiştir. Son zamanlarda, kablosuz iletişim teknolojilerine doğru bir eğilim gözlemlenmektedir. Bu eğilimin nedenleri arasında günümüzde mobiliteye verilen büyük önem ve cihazların artık ihtiyaçlarımızı kablosuz olarak karşılamak zorunda olması sayılabilir.

Haberleşme cihazları genellikle birbirine fiber-optik kablolar aracılığıyla bağlanır. Ancak, maliyet ve mobilite sağlama ihtiyacı göz önüne alındığında, kablosuz iletişim teknolojilerinin kullanımında artış yaşanmaktadır. Örneğin, GSM (Global System for Mobile communications) teknolojileri, 2G, 3G ve 4G olarak bilinen uzun süreli evrim (LTE - Long Term Evolution) teknolojileriyle hayatımızda yerini almıştır. Kablolu veya kablosuz teknolojilerin iletişimini sağlamak için birbirine bağlı olması gerekir. Son dönemde kurulum gereksinimleri, bant genişlikleri ve maliyetler göz önüne alındığında radyolink sistemleri desteklenmeye başlanmıştır.

Radyolink sistemleri günümüzde yaygınlaşan ve sürekli gelişen bir teknoloji haline gelmiştir. Özellikle iletişimin bugünlerde vazgeçilmez bir parçası olduğu düşünüldüğünde, kablosuz teknolojiler iletişimde öne çıkmaktadır. Mobil cihazların ağlara bağlanması, mobilite geliştikçe bir zorunluluk haline gelmiştir. İletişim ağlarına cihazlar aracılığıyla bağlanma ihtiyacı ilk olarak kablolu sistemlerle başlamış, daha sonra kablosuz modemler ve günümüzde GSM teknolojileriyle 7/24 iletişim ağlarına bağlı yaşamaya başlanmıştır. Ancak, iletişim ağlarının sağlanması ve ana network sistemlerinin kurulması için hala kablolu teknolojiler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle fiber-optik kablolar, GSM baz istasyonları ve santral sistemleri arasında birçok kurum ve işletmenin kablolu ağlarını sağlamak için kullanılmaktadır veya bu hizmeti kiralamaktadırlar.

Büyük ağlarda iletişim kurmak için radyolink sistemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle kablolu iletişimin mümkün olmadığı bölgelerde radyolink sistemleri, ana iletişim hattı veya fiber optik kabloların yedeği olarak kullanılabilir. Bu sayede fiber optik kablo kiralama ücretlerinden tasarruf sağlanabilir.

Radyolink sistemleri, geçmişte kapasiteleri sınırlı olduğu için telefon iletişimi veya düşük bant genişliği gerektiren uygulamalarda kullanılıyordu. Fakat gelişen teknoloji ile radyolink sistemlerinin kapasiteleri artmış ve kesintisiz yüksek bant genişliğinde iletişim sağlama imkanı sunmaya başlamıştır. Bu durum, radyolink sistemlerinin büyük ağlarda ana hat olarak kullanılmasını da mümkün kılmıştır. Kurumların farklı lokasyonları arasındaki bağlantılarda radyolink sistemlerinin kullanılmasıyla hem kurulum süresi kısalmış hem de kablolu sistemlerdeki yüksek kurulum veya kiralama maliyetlerinden tasarruf sağlanır. Günümüzde en yaygın kullanılan kablolu sistem olan GSM teknolojilerinde de iletişimi sağlayan baz istasyonları arasındaki bağlantılar için radyolink sistemleri ana hat veya fiber optik kabloların yedeği olarak kullanılmaya başlanmıştır.

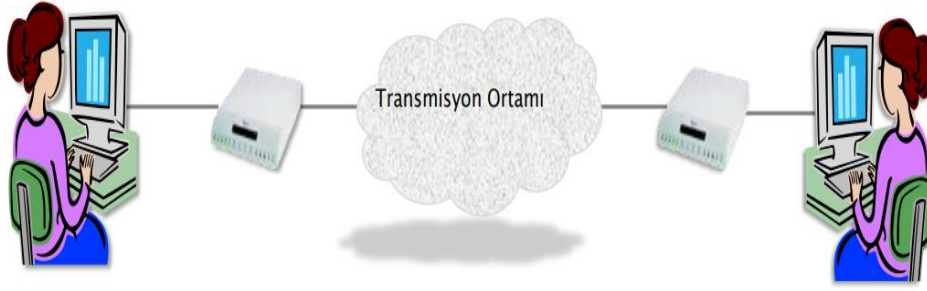
2.4.1. Telekomünikasyon Sistemleri

Telekomünikasyon Sistemleri, iletişim aracılığıyla uzak mesafelerde veri alışverişi gerçekleştirmek amacıyla oluşturulan sistemleri ifade eder.

Telekomünikasyon Sistemleri genellikle üç ana bileşenden oluşur:

1. **Verici:** Verici, bilgi veya veriyi uygun bir iletim ortamında taşınabilir sinyallere dönüştürme görevine sahiptir. Giriş veriyi iletim için uygun bir formata çevirir.
2. **Alıcı:** Alıcı, iletilen sinyalleri yakalama ve çözme işlevini yerine getirir. Bu, iletilen veriyi orijinal haline geri dönüştürerek alıcının anlayabileceği bir formata getirme sürecini içerir.
3. **İletim Ortamı:** İletim ortamı, sinyallerin vericiden alıcıya kadar hareket ettiği fiziksel yolun adıdır. Çeşitli iletim ortamları kullanılabilir, bunlar arasında:
 - **Bakır Tel:** Geleneksel telefon hatları ve kablolar.
 - **Fiber Optik Kablolar:** Işıma dayalı olarak veri ileten cam veya plastik fiber kablolar.
 - **Kablolu Sistem:** Kablolu iletişimde kullanılan radyo dalgaları, mikrodalgalar veya kızılötesi sinyaller [51].

Şekil 2.25'te iki insanın bilgisayar aracılığıyla iletişim kurduğu bir örnek görsel yer almaktadır.



Şekil 2.25 İletişim ortamı [51].

2.4.2. İletişim Ortamları

İletişim için kullanılan iletim ortamları arasında kablolu hatlar (bakır ve fiber-optik), radyolink sistemleri, mobil sistemler ve uydu sistemleri bulunmaktadır. Bu ortamlara ihtiyaç her dönemde olduğu için çoğullama yöntemleri geliştirilmiştir. Alçak frekanslı işaretler, iletişim için yüksek frekanslı işaretlere dönüştürülür. 1934 yılında, taşıyıcı frekansı kullanarak (FDM - Frekans Bölmeli Çoğullama) yöntemi ile 200 adet ses ve 1 adet televizyon kanalı, ortak bir iletken üzerinden iletilmiştir. CCITT'nin (Uluslararası Telefon ve Telgraf Danışma Komitesi) 1934'teki tavsiyesi, 60 kHz'den 108 kHz'e kadar frekans bandını içeren ve 12 kanalı birleştiren bir grup için yayınlanmıştır. Günümüze kadar, temel banttan 60 MHz'e kadar bant genişlikleri için iletişim cihazları geliştirilmiştir ve 12, 60, 120, 300, 900, 2700 ve 3600 ses kanalının modüle edilebilmesini sağlamaktadır [52].

Çoğullama yöntemleri, haberleşme sistemlerini sayısal hale getirme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Günümüz teknolojilerinde, yüksek veri miktarlarını iletebilmek için çoğullama yöntemlerine ihtiyaç vardır. Modülasyon biçimine bağlı olarak:

- PAM (Pulse Amplitude Modulation; Darbe Genlik Modülasyonu)
- PPM (Pulse Position Modulation; Darbe Konumu Modülasyonu)
- PFM (Pulse Frequency Modulation; Darbe Frekans Modülasyonu)
- PDM (Pulse Duration Modulation; Darbe Süre Modülasyonu)
- PCM (Pulse Code Modulation; Darbe Kod Modülasyonu) yöntemleri mevcuttur. Sayısal iletişim sistemlerinde en yaygın kullanılan modülasyon yöntemi PCM'dir [52].

2.4.3. Sayısallaşma

Elektriksel sistemler ile iletişimin ilk adımları, sayısal işaretler ve morse alfabesi kullanılarak atılmış olsa da, telefon sistemlerinde ses sinyalleri analog yapıya sahip olduğu için, sinyallerin iletimi ilk aşamada analog bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu durum, telefon iletişiminin gelişimini sınırlayan bir faktör olmuştur. Ancak transistörün keşfi ile birlikte, sayısal telefon teknolojisine geçişin önü açılmıştır. Transistörün sunduğu avantajlar sayesinde, ses sinyalleri sayısallaştırılarak iletilebilmiş ve bu sayede daha net, daha güvenilir ve daha geniş kapasiteli bir iletişim sistemi mümkün hale gelmiştir. Mikro elektronik ve sayısal tümleşik devrelerdeki ilerlemeler, bu dönüşümün hızlanmasına katkıda bulunmuştur. 1973 yılında tümleşik devrelerin telefon sistemlerinde kullanılmaya başlaması, haberleşme sistemlerinde bir dönüm noktası olmuştur. Bu gelişme, Integrated Digital Network (IDN) ve Integrated Services Digital Network (ISDN) gibi sayısal haberleşme ağlarının temelini oluşturmuştur. [52].

Günümüzde kullandığımız telefon şebekesi, birleşik sayısal şebeke (IDN) adı verilen bir sistemden oluşmaktadır. Bu sistemde, analog ses sinyalleri, dijital sinyallere dönüştürülerek ortamda dijital olarak iletilir ve sonrasında tekrar analog ses sinyallerine dönüştürülerek dinleyiciye ulaşır.

Birleşik sayısal şebekenin sayısal işaretleri (veri, metin iletimi, telefaks vb.) iletiminde de kullanılması ile ISDN (Bütünleştirilmiş Sayısal Ağ Hizmetleri) devreye girmiştir. ISDN, tüm hizmetlerin (telefon, veri, metin iletimi, telefaks vb.) tek bir şebekeden sağlandığı bir yapı sunar. Bu sayede, kullanıcılar farklı ağlara ve cihazlara ihtiyaç duymadan tüm iletişim ihtiyaçlarını tek bir platform üzerinden karşılayabilirler. ISDN şebekesi, telefon işaretlerinin sayısal iletiminde kullanılan 64 kbit/s bit hızının yanı sıra, yazı ve veriyi de 64 kbit/s işaretlerle iletebilir. Bu sayede, birçok veri şebekesine göre daha yüksek bir iletim hızı sağlayabilir ve daha hızlı veri aktarımlarına imkan verir. ISDN, günümüzde internet ve mobil iletişim gibi birçok gelişmiş iletişim hizmetinin temelini oluşturmaktadır. Tek bir şebekeden tüm hizmetleri sunması ve yüksek iletim hızı sağlamasıyla ISDN, iletişim teknolojisinde önemli bir yere sahiptir.

Sayısal iletişimin analog iletişime farkı, gürültü gibi bozucu etkenlerin filtrelenebilmesidir. Çünkü sayısal işaretler sadece belirli değerlerde olur. Bu sayede basit ortamlarda da kullanılabilir. Radyo Link gibi alanlarda da faydalıdır. [52].

2.4.4. Haberleşme Ortamının Sağlaması İçin İhtiyaç Duyulan Kriterler

Haberleşme sistemlerinin verimli ve güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için, haberleşme ortamının bazı temel kriterleri sağlaması gerekir [51]. Bu kriterler şunlardır:

- **Maliyet:** Haberleşme ortamının kurulumu ve işletmesi ekonomik açıdan uygun olmalıdır. Maliyet, kullanılan teknolojinin karmaşıklığı, gerekli ekipmanların fiyatları ve altyapı masrafları gibi unsurlara bağlıdır.
- **Kurulum Gereklileri:** Haberleşme ortamının kurulumu kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmelidir. Kurulum süreci karmaşık ve zaman alıcı olursa, bu durum sistemin maliyetini ve gecikmesini artırabilir.
- **Bant Genişliği:** Haberleşme ortamı, istenen veri miktarını ve hızını taşıyacak kadar bant genişliğine sahip olmalıdır. Bant genişliği yetersizse, bu durum veri kaybına, gecikmelere ve düşük performansa yol açabilir.
- **Bant Kullanımı:** Haberleşme ortamı, mevcut bant genişliğini verimli bir şekilde kullanabilmelidir. Farklı veri türleri için uygun bant genişliği tahsisi ve veri sıkıştırma gibi teknikler kullanılarak bant kullanımı optimize edilebilir.
- **Zayıflama:** Haberleşme ortamında iletilen sinyaller, mesafe ve ortam koşulları nedeniyle zayıflamaya uğrar. Zayıflama, sinyal gücünde azalma anlamına gelir ve bu durum veri kaybına ve hatalara yol açabilir. Zayıflamanın etkilerini azaltmak için tekrarlayıcılar ve amplifikatörler gibi ekipmanlar kullanılabilir.
- **Elektromanyetik Girişime Dayanıklılık:** Haberleşme ortamı, diğer elektronik cihazlar ve doğal kaynaklardan gelen elektromanyetik parazitlere karşı dayanıklı olmalıdır. Bu parazitler, veri kaybına, hatalara ve sistem arızalarına yol açabilir. Elektromanyetik parazitlerin etkilerini azaltmak için parazit filtreleri ve ekranlama teknikleri kullanılabilir.

2.4.5. İletişim Ortamı Çeşitleri

İletişim ortamı çeşitleri şekil 2.26 'da başlıklar halinde verilmiştir [51].



Şekil 2.26 İletişim ortamları [51].

Kablolu İletişim Ortamları: İletim için fiziksel bir kablo kullanır. Bu kablolar, sinyalleri elektriksel veya optik formda iletir. Kablolu iletişim ortamlarının bazı örnekleri şunlardır:

- **Bakır Kablo:** En yaygın kullanılan kablolu iletişim ortamıdır. Telefonlar, internet ve diğer veri ağları için kullanılır.
- **Koaksiyel Kablo:** Bakır kablodan daha fazla bant genişliği sunar ve kablo TV ve uydu TV gibi uygulamalarda kullanılır.
- **Fiber Optik Kablo:** Işık sinyalleri kullanarak iletim sağlar ve en yüksek bant genişliği ve en hızlı iletim hızını sunar.

Kablosuz İletişim Ortamları: İletim için elektromanyetik dalgalar kullanır. Bu dalgalar, boşlukta yayılarak alıcılara ulaşır. Kablosuz iletişim ortamlarının bazı örnekleri şunlardır:

- **Uydu:** Uzayda bulunan istasyonlar aracılığıyla iletim sağlar. Televizyon, radyo ve telefon gibi uygulamalarda kullanılır.
- **GSM:** Hücreli telefonlar için kullanılan en yaygın kablosuz iletişim teknolojisidir.
- **Radyolink:** Noktadan noktaya iletişim için kullanılan bir teknolojidir.
- **Kızılötesi:** Kısa mesafelerde veri aktarımı için kullanılır.
- **Optik:** Işık sinyalleri kullanarak kısa mesafelerde veri aktarımı için kullanılır.

Hava veya Boşluğu Kullanan Kablosuz Teknolojiler: Yukarıda listelenen kablosuz iletişim ortamlarının birçoğu, hava veya boşluğu kullanarak sinyalleri iletir. Bu teknolojilerin bazı önemli örnekleri şunlardır:

- **GSM:** Hücreli telefonlar için kullanılan en yaygın kablosuz iletişim teknolojisidir.
- **WI-FI:** Kablosuz internet erişimi için kullanılan bir teknolojidir.
- **RFID:** Nesne takip ve kimliklendirme için kullanılan bir teknolojidir.

- WIMAX: Geniş alanlı kablosuz internet erişimi için kullanılan bir teknolojidir.
- Uydu: Uzaydan televizyon, radyo ve telefon gibi hizmetler sunmak için kullanılır.
- Radyolink: Noktadan noktaya iletişim için kullanılan bir teknolojidir.

2.4.5.1. Kablolu İletişim Teknolojileri

2.4.5.1.1. Bakır Kablo

Düşük hızlı haberleşmede öne çıkan bakır kablo teknolojisi, koaksiyel, 2 tel ve 4 tel gibi bükümlü kablo çeşitleri ile XDSL (X Sayısal Abone Hattı) hizmetlerine imkan sunar. Çizelge 2.3'te bu teknolojilere dair detaylı bilgiler yer almaktadır.

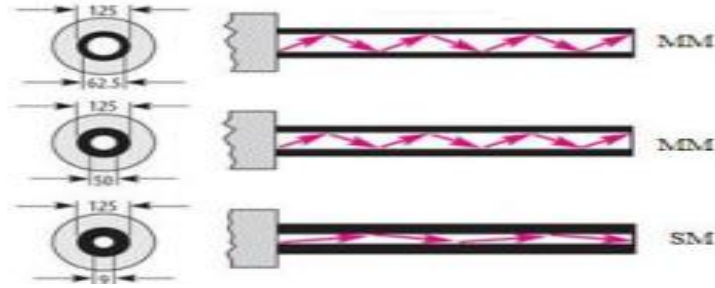
Çizelge 2.3 Bakır kablo kullanımları

Teknoloji	En Yüksek İş Kapasitesi İndirme/Yükleme	Teknik Özellikler	Uygulama Alanları
ADSL	8 Mbps / 768 Mbps	Sadece yüksek frekansın kullanıma açılması	Hızlı internet erişimi
ADSL(G.lite)	1,5 Mbps / 512 Mbps	Sadece yüksek frekansın kullanıma açılması	Hızlı internet erişimi
SDSL	2 Mbps / 2 Mbps	Tamamen kullanıma açılması	Kiralık hatlar 2 Mbps
HDSL2	2 Mbps / 2 Mbps	Tamamen kullanıma açılması	Kiralık hatlar 2 Mbps
VDSL	12 Mbps / 52 Mbps	Tamamen kullanıma açılma, maksimum hız	Yüksek kapasiteli kiralık hatlar, geniş-bant hizmetleri

2.4.5.1.2 Fiber-Optik Kablo

Optik fiber ya da fiber-optik, içerisinde ışığı yönlendirilebildiği cam veya plastik fiberlerden oluşan kablo türüdür. Diğer iletişim envanterlerine kıyasla, fiber optikler haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılır çünkü uzun mesafelerde daha hızlı veri iletişimine ve yüksek bant genişliği sağlama kapasitesine sahiptirler. Fiber kabloların tercih edilmesinin nedeni, elektromanyetik etkileşimden etkilenmemeleri ve daha az kayıp yaşatmalarıdır. Işık, iç yansımalar sayesinde fiber optik merkezinde tutularak, fiberler dalga kılavuzu gibi hareket eder. Çok modlu fiberler, çoklu yayınma hatlarını veya çapraz modları desteklerken, tek modlu fiberler sadece tek bir modu destekler ve genellikle 200 metre üzerinde iletişim hatlarını da kullanılır. Optik fiber kablo çeşitleri Şekil 2.27'de gösterilmiştir ve şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Fiber Sınıfına Göre: Singlemode - Multimode
- Kablo Sınıfına Göre: Sıkı - Gevşek



Şekil 2.27 Fiber optik kablolar [62].

2.4.5.1.2.1. Multimode Fiber-Optik Kablolar

Multimode fiber optik kablolar, fiber optik kablolar arasında birden fazla dalga boyunda ilerleyen birden fazla ışık moduna veya doğrultusuna izin veren bir türdür. Bu durum, daha düşük bant genişliği ve daha kısa iletişim mesafeleri sunar. Multimode fiber optik kablolar, 850-1.300 nm dalga boyları arasında çalışır. LAN (Yerel Alan Ağı) şebekelerinde en çok kullanılan fiber sınıfıdır. Multimode fiber optik kablolar, kırılma indisinin merkeze doğru arttığı bir yapıya sahiptir. Bu yapı, ışığın çekirdekte yönlendirilmesini ve çoklu yollardan ilerlemesini sağlar. Multimode optic fiber kablolar, fiber çekirdek çaplarının da farklı tiplere ayrılır. En yaygın kullanılan tipler 62,5/125 ve 50/125 mikrondur.

- 62,5/125: 100BaseFX için maksimum iletişim mesafesi 2 kilometre, 1000BaseSX için maksimum iletişim uzunluğu 220 metre ve 1000BaseLX için maksimum iletişim uzunluğu 550 metredir.
- 50/125: 100BaseFX için maksimum iletişim mesafesi 2.000 metre, 1000BaseSX için maksimum iletişim mesafesi 550 metre ve 1000BaseLX için maksimum iletişim mesafesi 550 metredir.

2.4.5.1.2.2. Single-Mode Fiber-Optik Kablolar

Singlemode fiber optik kablolar, fiber optik kablolar arasında tek bir dalga boyunda ilerleyen tek bir ışık moduna veya doğrultusuna izin veren bir türdür. Bu durum, daha az yayılma kaybı ve daha yüksek bilgi taşıma kapasitesi sağlar. Singlemode fiber optik kablolar, 1.310 nm ve 1.550 nm dalga boylarıyla çalışır.

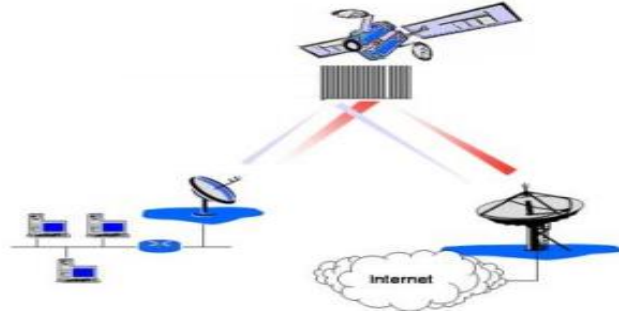
Singlemode fiber optik kabloların çekirdek çapı multimode kablolara kıyasla oldukça küçüktür. Bu da lazer ışığının kullanılmasını zorunlu kılar. En yaygın çekirdek çapları 9/125 mikrondur. Singlemode fiber optik kablolar, multimode kablolara kıyasla daha uzun iletişim mesafeleri sunar. 9/125 çekirdek çaplı kablolar için 10BaseFL'de 90 km, 100BaseFX'de 72 km ve 1000BaseLX'de 5000 metre maksimum iletişim mesafeleri mümkündür.

2.4.5.2. Kablosuz İletişim Teknolojileri

Kablosuz geniş alan ağı GSM: Cep telefonları arasında ses ve veri iletişimini sağlayan sistemleri, baz istasyonları aracılığıyla uzun mesafelere ileten teknolojilerdir. WiMAX: IEEE 802.16e standardı tarafından tanımlanan kablosuz geniş bant erişim teknolojisidir. Teorik olarak, görüş hattı gerektirmeksizin 50 km'ye kadar kapsama alanı sağlamayı ve maksimum 75 Mbps'lik (yakın mesafelerde) iletim hızını sağlamayı amaçlar. Farklı ülkelerde frekans bantları değişiklik gösterse de genellikle 2 GHz ile 11 GHz arasındaki belirli frekans bantlarıyla WiMAX, mekandan bağımsız internet erişimi sunmayı hedefler. Ayrıca, kablolanmanın maliyet ve coğrafi zorluklar nedeniyle uygun olmayan bölgelerde alternatif bir çözüm olarak düşünülebilir. Türkiye'de henüz etkin bir şekilde kullanılmamaktadır.

- Uydu erişim sistemleri Uydu sistemleri, yörüngelerine göre sınıflandırılır:
- LEO (Low Earth Orbit - Alçak Yörünge): Bu uydular, 500 km ile 2000 km arasında bir mesafede yer alır ve global dolaşım sağlar.
- MEO (Medium Earth Orbit - Orta Yörünge): Bu uydular, yaklaşık 10,000 km yüksekliğinde yörüngededir.
- GEO (Geosynchronous Orbit - Jeosenkron Yörünge): Bu uydular, yaklaşık 35,800 km mesafede yörüngededir. Geniş kapsama alanlarına sahiptir ve yüksek miktarda veri ile çalışabilirler [53,54].
- SCPC noktadan noktaya uydu sistemi Yüksek hızlı bağlantı imkanı sunan SCPC (Single Channel Per Carrier - Taşıyıcı Başına Tek Kanal) teknolojisi, yurt içi ve yurt dışındaki noktadan noktaya bağlantılar, video konferans uygulamaları ve kritik noktaların yedeklenmesi için kullanılır. SCPC iletişim için her bir bağlantı için uyduda belirli bir frekans aralığının ayrılması anlamına gelir. Bu şekilde hızlı, güvenli ve ölçeklenebilir her türlü bağlantı ihtiyacı karşılanabilir. Sistemin kurulumu, frekansların belirlenmesi ve bu frekanslara uygun olarak modemlerin yapılandırılmasıyla başlar. Ayarlamalar

tamamlandıktan sonra SCPC modemleri ve ekipmanları test edilir ve ihtiyaç duyulan konumlara kurulumlar. SCPC sisteminde bir lokasyonda ihtiyaç duyulan sayıda bağlantı kurulabilir ve bu bağlantılar birbirinden bağımsız olarak çalışabilir [55]. Şekil 2.28’de SCPC teknolojisine ait örnek verilmiştir.



Şekil 2.28 SCPC teknolojisi [55].

2.4.5.2.1. Radyolink Sistemleri

İki nokta arasında elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla oluşturulan bir iletişim mekanizmasıdır. Bu mekanizma yalnızca iki nokta arasındaki iletişim için tasarlanmıştır. Yani radyo ve televizyon vericileri gibi geniş bir alanı kapsamıyor; Bunun yerine dar bir koridor içerisinde kontrollü iletim gerçekleştirir ve dar koridor dışında takip edilemez. Bu tür cihazlar genellikle çağrı merkezleri veya radyo ve televizyon stüdyoları arasında ve radyo ve televizyon yayıncıları arasında kullanılmaktadır. Ayrıca ağ sistemlerinde (Ethernet veya optik kablo yerine) L1 seviyesinde (Katman 1) iletişim elemanı olarak kullanılabilir. Yüksek bant genişliği ve kablolu hat kiralamanın avantajları için tavsiye edilir. Radyolink sistemleri için ayrıntılı bilgiler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.4.6. Radyolink Sistemleri

Birbirinden bağımsız iki nokta arasında elektromanyetik dalgalar aracılığıyla iletişimi sağlayan mekanizmalara radyo bağlantıları denir. Radiolink ile iletişim yalnızca iki nokta arasında kurulabilmektedir. Radyolink cihazları radyo veya TV vericisi olarak çalışmaz ve geniş kapsama alanı sağlamaz. Bu iletim yalnızca dar bir koridorda gerçekleşir ve o koridorun dışında gözlemlenemez. Radyo bağlantısı ekipmanının uygulamaları genellikle telefon santralleri veya televizyon stüdyoları ve vericileri arasındadır.

Radyolink tarafından oluşturulan iletişim kanalları genellikle uzak mesafe aramaları için kullanılır. Burada, bir santral görevi gören nokta, "çoğullama" adı verilen bir işlemle radyo

bağlantısı iletişimini sağlamak için kanalları temel taşıyıcılar halinde birleştirir. Çoğullama işleminde 10 - 60 - 180 - 960 - 1800 veya daha fazla kanal bir alıcı veya verici görevi görecektir şekilde birleştirilebilir [56,57].

Televizyon endüstrisinde, görüntü ve sesin stüdyolardan vericilere iletilmesi için radyo link sistemleri kullanılır ve genellikle biri görüntü, 4'ü ses için olmak üzere 5 ana bant bulunur. Burada kullanılan ses frekanslarından biri televizyon vericilerine, diğer üçü ise radyo vericilerine yönlendirilmektedir. Radyolink sistemlerinde kullanılan frekansların kalitesi, ilettikleri veri miktarına göre değişmektedir. Radyo link sistemlerinde kullanılan veri iletim frekansı genellikle 10 GHz veya daha yüksektir. Bu frekansları almak için parabolik antenler kullanılır. Ancak bazı radyo bağlantı istasyonları UHF bandını tercih etmekte ve iletimi yakalamak için YAGI antenlerini kullanmaktadır [56,57].

Televizyon ve radyo binlerce kullanıcıya veri iletmeye rağmen radyolink sistemlerinin tek alıcısı ve tek vericisi olması nedeniyle radyolink sistemleri televizyon veya radyo yayınlarına göre daha düşük sinyal gücüne sahiptir. Çoğu durumda radyo bağlantısının frekansı, birkaç watt'lık bir güç kaynağından bile veri yakalamak için yeterlidir [56].

Birbirine yakın iki nokta arasında radyo bağlantısı iletildiğinde genellikle bir alıcı istasyon ve bir verici istasyon yeterlidir. Ancak uzak mesafelere gelindiğinde radyo link istasyonları arasında başka ara istasyonlar (tekrarlayıcılar) eklenir. Bu tür sistemlere zincirleme radyo link istasyonları adı verilmektedir ve her istasyon bir önceki istasyondan aldığı verileri iletişim frekansını değiştirerek bir sonraki istasyona iletmektedir. Bu frekans kaymaları çok düşük ara frekanslarda da meydana gelebilir [56,57,58].

Radiolink istasyonlarında iletilen verilerin kalitesinin bozulmaması ve engellerden kaçınılması için engebeli arazi önerilir. Örneğin iki istasyon arasında yüksek bir tepeye izin verilmiyor. Ayrıca bu aşamada dünyanın jeoid yapısı da dikkate alınır.

Radiolink istasyonlarında veri iletim mesafesini hesaplamak için formüller bulunmaktadır. Verilerin iletilmesinde atmosfer koşulları ve yer yükseklikleri oldukça etkilidir. Olumsuz koşullar nedeniyle iletim kesintiye uğradığında bu olaya sönme adı verilir. İstasyonlar arasındaki solmayı en aza indirin;

- İki farklı frekans değeri kullanmak,
- Aynı veri sinyalini hem dikey hem de yatay polarizasyonda iletmek,
- Aynı sinyali iletmek için farklı yükseklikte iki anten kullanmak

Tüm bu önlemlere rağmen hiçbir radyo bağlantı istasyonunun sönümlleme frekansı %0'a düşürülemez. Radiolink sisteminin kurulumu için öncelikle iki istasyon arasında optik görüş hattının kurulması gerekmektedir.

2.4.6.1. Optik Görüş Sağlanması

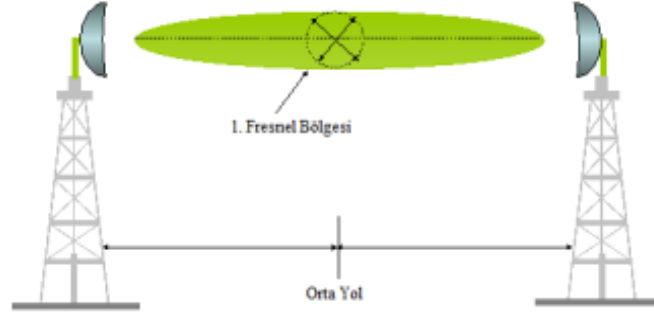
Görüş hattı, alıcı ve verici, iletimi antenlerin birbirini doğrudan görebildiği ve elektromanyetik dalgaların engellerden etkilenmeden iletildiği bir iletişim yöntemidir. 30 MHz'den yüksek frekanslarda, yer ve gök dalgası yayılımının mümkün olmaması ve iyonosferden yansımanın istenmeyen sapmalara ve gecikmelere yol açması nedeniyle, uydu iletişiminlerinde yer istasyonu ve uydu arasında görüş hattı iletimi tercih edilir [59].

Ancak, görüş hattı üzerinde çeşitli bozucu etkenler sinyalleri etkileyebilir ve analog sinyallerde sinyal kalitesinin bozulmasına, dijital sinyallerde ise hatalı bitlerin oluşmasına neden olabilir. Görüş hattı iletiminde genel olarak rastlanan bozucu etkenler şunlardır:

- Zayıflama Bozulması ve Zayıflama: Sinyallerin iletim mesafesi boyunca kademeli olarak zayıflaması ve dalga formlarının bozulmasıdır.
- Serbest Uzay Kaybı: Sinyallerin serbest uzayda yayılırken mesafeyle karesel orantılı olarak zayıflamasıdır.
- Gürültü: Termal gürültü, atmosferik gürültü ve insan yapımı gürültü gibi çeşitli kaynaklardan gelen istenmeyen sinyallerdir.
- Atmosferik Soğurma: Atmosferdeki su buharı ve oksijen gibi moleküllerin elektromanyetik dalgaları soğurmasıdır.
- Çok Yolluluk: Sinyallerin birden fazla yoldan iletilmesi ve bu yollardan gelen sinyallerin birbirleriyle etkileşime girmesi sonucu oluşan bozulmadır.

2.4.6.2. Fresnel Bölgesi

Fresnel Bölgesi, iki anten arasındaki bölgede radyo dalgalarının yayılımını etkileyen ve engellerden arınmış olması gereken hayati bir alandır. Bu bölge, temiz ve engelsiz bir görüş hattı sağlayarak radyo sinyallerinin verimli bir şekilde iletilmesini sağlar. Fresnel Bölgesi'nin boyutu, kullanılan frekansa ve antenler arasındaki mesafeye bağlı olarak değişir. Şekil 2.29'da görüldüğü gibi, Fresnel Bölgesi, birden fazla bölgeye ayrılmıştır ve her bölgenin kendine özgü hesaplama yöntemi ve önemi vardır [60].



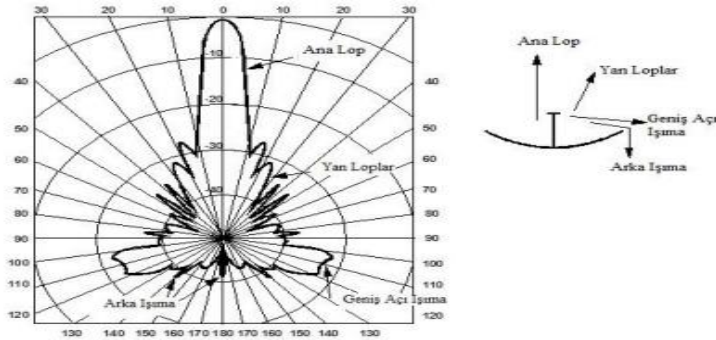
Şekil 2.29 Fresnel bölge [60].

2.4.6.3. Radyolink Sistemlerinin Kısımları

Bir radyolink sistemi genel olarak, anten, dalga kılavuzu ve konnektörler, dış birim (outdoor unit), iç birim (indoor unit) kısımlarından oluşur [51].

2.4.6.3.1. Anten

- Çok Yönlü Anten: Bu tür antenlerde radyo sinyali tüm yönlere eşit şekilde iletilir. Hücresel sistemler gibi net kapsama alanı istendiğinde tercih edilebilir.
- Yönlü Anten: Kullanım yerleri genellikle UHF iletişimi içindir.
- Yüksek Kazançlı Yönlü Anten: Mikrodalga RL sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Mikrodalga sinyaller aşırı dar bir ışıma aralığının içinde iletilir. Parabolik anten, RL sistemlerinde en çok talep gören anten türüdür. Şekil 2.30'da antenin ışıma deseni gösterilmektedir.



Şekil 2.30 Antenin ışıma deseni [51].

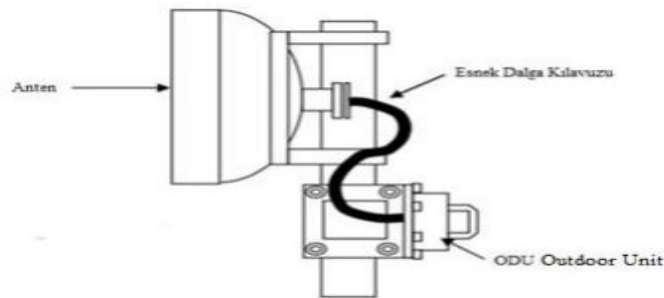
Antenin konumuna bakıldığında, en büyük lopun (kulakçığın) antenin yönünde olduğunu görmekteyiz. Anten parametreleri genel sistem performansı için kritik öneme sahiptir. Yayılım açısından ele alındığında, en önemli anten parametreleri [61];

- Kazanç,
- VSWR (Voltage Standing Wave Ratio - Voltaj Duran Dalga Oranı),
- Yan ve ters loplar,
- Çapraz polarizasyonun ayırt edilmesi,
- Işın genişliği,
- Mekanik kararlılık,
- Gerçek izotropik yayılan güç'tür.

2.4.6.3.2. Dalga Kılavuzu ve Konnektörler

Dalga kılavuzları ve konnektörler, anten ve radyo alıcısı/vericisi arasında kritik bir bağlantı görevi görür. Bu bileşenler, elektromanyetik dalgaların antenlerden radyo sistemine ve tekrar antenlere iletilmesini sağlar. Kablo uzunluğu ve türü, kullanılan frekansa ve üreticiye bağlı olarak değişebilmektedir.

Dalga kılavuzu bağlantılarının kurulumu sırasında dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, aşırı bükülmeden kaçınmaktır. Aşırı bükülme, kabloda hasara ve istenmeyen yansımaların oluşmasına neden olabilir. Bu durum, sinyallerin zayıflamasına ve sistem performansının bozulmasına yol açabilir. Şekil 2.31, örnek bir dalga kılavuzu bağlantısını göstermektedir. Görselde, kablounun dikkatli bir şekilde bükülmeden bağlandığı ve sağlam bir şekilde sabitlendiği görülmektedir.



Şekil 2.31 Dalga kılavuzu ve bağlantısı [51].

2.4.6.3.2.1. Dış Birim (Outdoor Unit)

Dış birim, tıpkı bir radyo link sisteminin kalbi gibi, antenin hemen yanında veya bitişik konumda yer alır. Gelen veriyi işaretin içine modüle ederek radyo sinyallerini üreten bu ünite, bilgi akışının temelini oluşturur. Dış birim, dijital sinyalleri analog sinyallere dönüştürerek modülasyon adı verilen bir işlem gerçekleştirir. Bu sayede, bilgi içeren radyo dalgaları oluşur ve farklı frekanslarda ve güç seviyelerinde yayılır. Şekil 2.32’de örnek bir dış birim ve anten görüntüleri bulunmaktadır.



Şekil 2.32 Örnek bir dış birim ve anten görüntüleri [62].

2.4.6.3.2.2. İç Birim (Indoor Unit)

İç birim, sanki bir radyo link sisteminin beyni gibi, sistemin bulunduğu yerin iç kısmında konumlanır. Gelen sinyalleri çoğaltarak oluşturulan veri çerçevesini dış birime ileten bu ünite, bilgi akışının koordinasyonunu sağlar. Dış birimden gelen radyo sinyallerini alan iç birim, öncelikle bunları demodüle eder. Yani, sinyallerdeki bilgiyi ayıklar ve dijital sinyallere dönüştürür. Daha sonra bu dijital sinyalleri işleyerek ve gerekli çerçeveye oturatarak dış birime iletir. İç birim, radyo link sisteminin işlevselliği için kritik öneme sahiptir. Sinyallerin doğru şekilde demodüle edilmesi ve iletilmesi, bilgi akışının hatasız ve güvenli olmasını sağlar. Şekil 2.33’de PDH iç birimi ve Şekil 2.34’de SDH trunk iç birimi gösterilmiştir.



Şekil 2.33 PDH iç birimi [62].



Şekil 2.34 SDH trunk iç birimi [62].

İç birimde genellikle emniyet sigortası, güç besleme portu, vantilatör ünitesi, dış birim bağlantı noktaları, USB bağlantı noktası, Hızlı Ethernet ve Gigabit Ethernet bağlantı noktaları, SFP (Küçük Takılabilir Form- Small Form-Factor Pluggable) modül bağlantı noktaları, E1 bağlantı noktaları bulunmaktadır.

2.4.6.4. Radyolink Sistemler ve Fiber-Optik Kablonun Karşılaştırılması

Günümüz iletişim altyapısı, büyük ölçüde bakır kablolar ve fiber optik kablolar gibi iletim hatları üzerine kuruludur. Ancak son yıllarda, radyolink sistemleri bu geleneksel yöntemlere alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, kablo döşemenin zor veya masraflı olduğu durumlarda veya yedek bir bağlantı sağlamak için kullanılabilir.

Çizelge 2.4, radyolink ve fiber optik kablolar arasındaki temel farkları karşılaştırmaktadır. Görüldüğü gibi, her iki teknolojinin de kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Seçim yaparken, maliyet ilk akla gelen unsur olsa da, ihtiyaç duyulan kapasite, mesafe, arazi tipi, ağ geometrisi ve kullanılan frekans bandı gibi diğer faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 2.4 Radyo – fiber optik kablo karşılaştırması [51].

RL		Fiber Optik Kablo
14 x 155 Mbps	Kapasite	32 x 64 x 155 Mbps
Sıfırdan kurulumda daha hızlı	Kurulum Süreci	Sıfırdan kurulumu daha yavaş
Sönümlleme, Girişim	Güvenirlilik	Kablo kopar (Terör, Deprem)
Kaliteli	Kalite	Üstün
Kapasiteyle sınır	İlave İmkânı	Üstün

Karşılaştırma çizelgesinde gözlemleneceği üzere, her iki sistemin de avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Özellikle fiber optik kabloların yüksek kapasiteleri ve güvenilirliği, radyolink sistemlerinin ise maliyet avantajı ve hızlı kurulum süreci gibi özellikleri vurgulanabilir. Ancak, fiber optik kablonun yedeklenmesi amacıyla radyolink sistemlerinin kullanılması, iletişim sistemlerindeki kesintileri en aza indirmeye potansiyeli sunar.

Çizelgeyi incelediğimizde, radyolink sistemlerinin bu amacı gerçekleştirmede bize yardımcı olabileceği görülmektedir. Yedekleme amaçlı olarak karşılaştırma parametreleri şunlardır:

- **İhtiyaç duyulan kapasite:** Fiber optik kablo, daha yüksek kapasiteler sunar ancak radyolink sistemi, fiber optik kablodaki kesintilerin giderilmesine yardımcı olabilir.
- **Uzaklık:** Radyolink sistemleri, frekans ve anten boyutuna bağlı olarak değişen uzaklıklarda iletişimi sağlayabilir. Özellikle maliyetli veya uygun bir ortam bulunmayan uzun mesafelerde radyolink sistemleri avantajlıdır.
- **Arazi:** Radyolink sistemleri, düz arazilerde fiber optik kabloların zor kurulabileceği durumlarda avantajlıdır. Ayrıca, terör veya doğal afetlerin sık yaşandığı bölgelerde fiber optik kabloların kesinti yaşaması durumunda radyolink sistemleri yedekleme için kullanılabilir.
- **Ağ geometrisi:** İki sistem de ağ geometrisine bağlı olarak kullanılabilir. Seçilen geometriye göre maliyet ve bağlantı durumları değişebilir, bu nedenle tercih edilen ağ yapısına göre sistem seçimi yapılabilir.
- **Frekans bandının kullanımı:** Radyolink sistemlerinin frekans bandı kullanımı dezavantajlı olabilir, ancak frekans tahsisi yapıldığında bu sorun aşılabılır.

3. TEPE RADYO İSTASYONU İÇİN GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN HİBRİT KULLANIMI

Kırsal alanlarda, enerji altyapısı eksikliği veya yetersizliği, iletişim altyapısının kurulmasını ve işlevini önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Bu durum, birçok köy ve küçük yerleşim yerinde olduğu gibi, Sivas'ın Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyünde de yaşanmaktadır. Karayaprak köyünde enerji altyapısı mevcut olmasına rağmen, internet, sabit telefon ve GSM gibi iletişim hizmetlerine erişim imkanı bulunmamaktadır. Bunun temel sebebi, fiber veya bakır kablo döşemenin yüksek maliyetidir. Bu maliyet, uzun mesafeler ve engebeli araziler gibi faktörler göz önüne alındığında daha da artmaktadır. Türk Telekom A.Ş. bu tür sorunlar için Radyo Link (RL) Santrallerini alternatif bir altyapı çözümü olarak kullanmaktadır. RL santralleri, uzun kablo metrajlarına ihtiyaç duymadan radyo frekansları aracılığıyla haberleşme imkanı sunar. Bu sistemin iki istasyonda da enerjiye ihtiyaç duyması ve DC akımla çalışması, enerji altyapısı eksikliği olan bölgelerde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Karayaprak köyünde, şebeke enerjisine erişimin zorluğu, RL istasyonunun kurulum ve işletme maliyetlerini artırmaktadır. Bu sorunun çözümü için, yüksek maliyetli çözümler yerine, RL istasyonunun Güneş Enerji Santrali (GES) ve Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kullanılarak hibrit bir şekilde çalıştırılması hedeflenmiştir. Bu sayede, şebekeden bağımsız ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı oluşturulmuştur. Ayrıca, akü depolama sistemi sayesinde enerji kesintilerine karşı da önlem alınmıştır.

Hibrit enerji çözümü, Karayaprak köyünde ve benzer köylerde iletişim altyapısı kurma ve işletme sorununa yenilikçi ve sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çözüm, uzun vadede önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlayarak, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, akü depolama sistemi sayesinde kesintisiz iletişim imkanı sunulur ve enerji güvenliği sağlanır.

Karayaprak köyü sakinleri, bu çözüm sayesinde internet ve sabit telefon gibi iletişim hizmetlerine erişebilmektedir. Bu durum, köy sakinlerinin yaşam kalitesini ve kalkınma imkanlarını önemli ölçüde artırmaktadır. Kırsal alanlarda iletişim altyapısı kurma ve işletme sorununa hibrit enerji çözümü, önemli bir katkı sağlayabilir. Bu çözüm, diğer köylere de örnek teşkil ederek, dijital uçurumu kapatmaya ve kırsal kalkınmaya katkıda bulunabilir. Şekil 3.1' de Karayaprak Tepe Radyo İstasyonu görülmektedir.



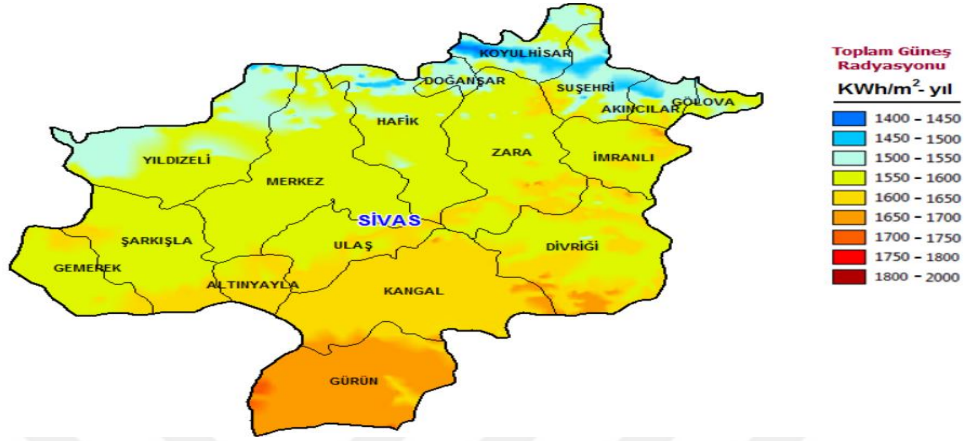
Şekil 3.1 Karayaprak Tepe Radyo İstasyonu.

3.1. Güneş Enerji Santralleri Sivas İli Analizi

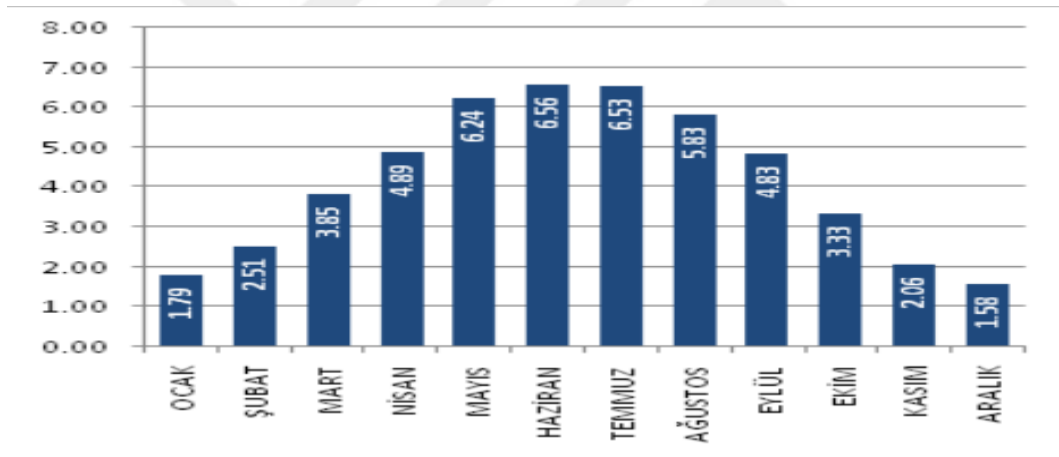
Sivas ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan bir ilimizdir. İl geniş bir araziye sahip olup, güneş enerjisi potansiyeli açısından büyük bir avantaja sahiptir. Güneş enerjisi santralleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir ve Sivas, bu tesisler için oldukça elverişli bir bölgedir. Sivas'ın iklimi, güneş enerjisi üretimi için ideal koşulları sağlar. İl genelinde yıl boyunca güneşlenme süresi yaklaşık 2.700 saat civarındadır ve güneş ışınları yoğunluğu yıllık ortalama olarak 1.500 kWh/m² civarındadır. Bu da güneş enerjisi santrallerinin yüksek verimlilikle çalışmasını sağlar. Ayrıca ilde güneş enerjisi santrallerinin toplam kurulu güç kapasitesi şu anda yaklaşık 100 MW civarındadır. Bu güç kapasitesi ise yaklaşık 100.000 hanenin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir. Sivas'ın coğrafi konumu da güneş enerjisi potansiyelini artırır. İl, güneş ışınlarına doğrudan maruz kalan bir bölgede yer alır ve genellikle bulutlu günlerin sayısı oldukça azdır. Bu durum, güneş enerjisi santrallerinin sürekli olarak enerji üretmesine olanak tanır. Ayrıca Sivas, güneş enerjisi santrali kurulumu için geniş alanlara sahiptir. Tarım arazileri, çayır ve meralar gibi kullanılmayan araziler bulunur ve bu alanlar, güneş enerjisi santralleri için ideal bir zemin oluşturur.

Sonuç olarak, Sivas ilinin güneş enerji santrali potansiyeli oldukça yüksektir. İklimi, coğrafi konumu ve geniş arazi alanları, güneş enerjisi santrallerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bu da ilin enerji ihtiyacını karşılamak ve çevre dostu bir enerji kaynağı kullanmak için büyük bir fırsat sunmaktadır. Sivas, güneş enerjisi alanında büyük bir potansiyele sahip olan illerden biridir [63-66]. Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te Sivas ili güneş radyasyonu

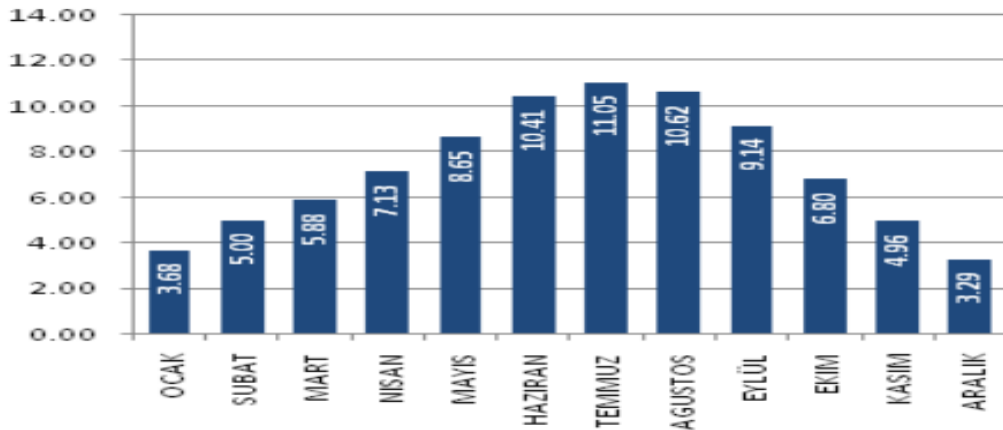
dağılımı, il merkezinin global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın GEPA (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası) sitesinden alınmıştır. Ayrıca, tezde çizelge 3.1'de yer alan Sivas ili işletmedeki güneş enerji santralleri ve çizelge 3.2'de yer alan Sivas ili yapım aşamasındaki güneş enerji santralleri bilgileri de GEPA'dan derlenmiştir.



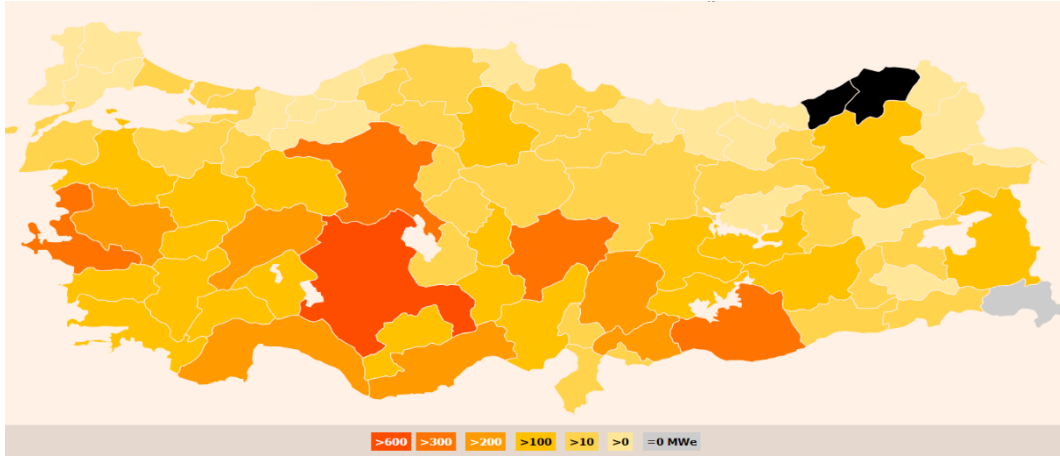
Şekil 3.2 Sivas ili güneş radyasyonu dağılımı [64].



Şekil 3.3 Sivas merkez global radyasyon değerleri (kwh/m²-gün) [64].



Şekil 3.4 Sivas merkez güneşlenme süreleri (saat) [64].



Şekil 3.5 Türkiye'deki güneş enerji santrallerinin dağılımı [65].

Çizelge 3.1 Sivas ili işletmedeki güneş enerji santralleri [65].

İşletmedeki Güneş Enerji Santralleri			
Santral Adı	İlçe	Firma	Güç
Hamal Güneş Enerji Santrali	Kangal	YBT Enerji	9,00 MW
Sivas İl Özel İdaresi ESK Güneş Enerji Santrali	Ulaş	Sivas İl Özel İdaresi	1,00 MW
Marka Grup Güneş Enerji Santrali		Marka Grup	0,50 MW
Aydın Plastik Güneş Santrali		Aydın Plastik	0,36 MW
Altınyayla Güneş Enerjisi Santrali	Altınyayla	Sivas İl Özel İdaresi	0,20 MW
Sivas'daki diğer lisanssız GES'ler		Çeşitli Firmalar	77,00 MW

Çizelge 3.2 Sivas ili yapım aşamasındaki güneş enerji santralleri [65].

Yapım Aşamasındaki Güneş Enerji Santralleri			
Santral Adı	İlçe	Firma	Güç
Mey Solar ve YMK GES			2,00 MW
Zara Ak GES	Zara		1,00 MW
TEK-HES Hidrolik Mak. Güneş Enerjisi Santrali	Kangal	TEK-HES	1,00 MW

3.2. Rüzgar Enerji Santralleri Sivas İli Analizi

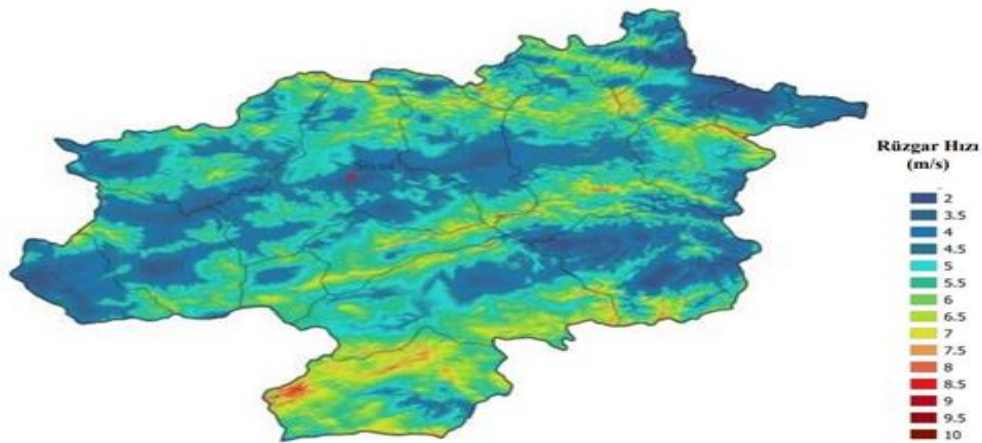
Sivas ilinin rüzgar enerji potansiyeli oldukça yüksektir. İl, geniş açık alanlara sahip olup, rüzgar enerjisi santralleri için ideal bir zemindir.

Rüzgar enerjisi santralleri, rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Sivas'ın iklimi, rüzgar enerjisi üretimi için uygun koşulları sağlar. İl genelinde rüzgar hızı yıllık ortalama olarak 6-8 m/s civarındadır. Bu hız, rüzgar enerjisi santrallerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Ayrıca, ilin coğrafi konumu da rüzgar potansiyelini artırır. Rüzgar enerjisi

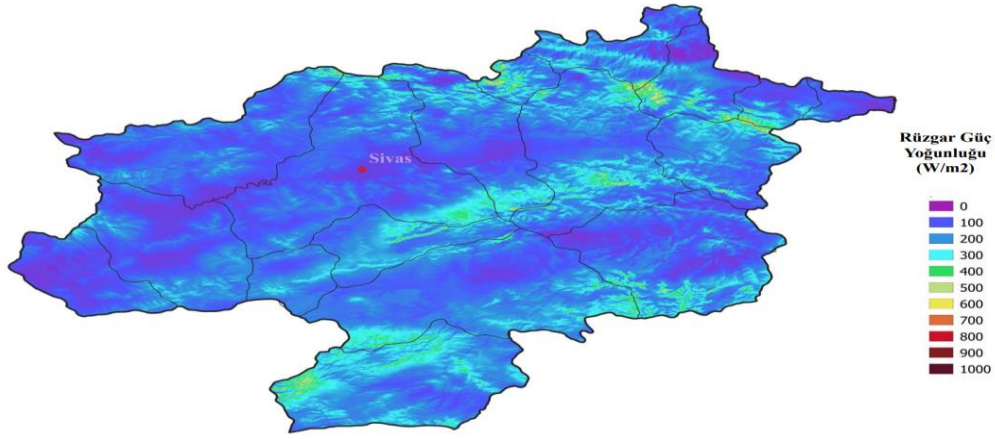
santralleri, yüksek rakımlarda ve açık alanlarda daha verimli bir şekilde çalışır. Sivas ilinin rüzgar enerjisi potansiyeli, kurulu güç kapasitesi açısından da dikkate değerdir. Şu anda ilde toplamda yaklaşık 300 MW'lık rüzgar enerjisi santrali kurulu güce sahiptir. Bu güç kapasitesi, yaklaşık 150.000 hanenin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir.

Rüzgar enerjisi santrallerinin kurulumu, Sivas'ın enerji ihtiyacını karşılamak ve çevre dostu bir enerji kaynağı kullanmak anlamına gelir. Rüzgar enerjisi, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğundan, fosil yakıtlara bağlı olan diğer enerji üretim yöntemlerine göre çevreye daha az zarar verir. Ayrıca, rüzgar enerjisi santralleri sürekli olarak enerji üretir ve enerji talebindeki dalgalanmalara karşı esnek bir çözüm sunar. Sivas ilinde rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksek olması, ilin ekonomik kalkınmasına da olumlu katkı sağlar. Rüzgar enerjisi santrallerinin kurulumu, istihdam yaratır ve yerel ekonomiye katkıda bulunur. Ayrıca, enerji üretiminde dışa bağımlılığı azaltır ve enerji fiyatlarının istikrarlı olmasını sağlar.

Sonuç olarak, Sivas ilinin rüzgar enerji santrali potansiyeli oldukça yüksektir. İklimi, coğrafi konumu ve kurulu güç kapasitesi, rüzgar enerjisi santrallerinin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Bu da ilin enerji ihtiyacını karşılamak, çevre dostu bir enerji kaynağı kullanmak ve ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmak için büyük bir fırsat sunmaktadır. Sivas, rüzgar enerjisi alanında büyük bir potansiyele sahip olan illerden biridir [66,68]. Şekil 3.6 ve 3.7'de Sivas ili yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı ve Sivas ili yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğu dağılımı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın REPA (Rüzgar Enerji Potansiyeli Atlası) sitesinden alınmıştır. Ayrıca, tezde çizelge 3.3'de Sivas ili rüzgar hız ve güç yoğunluğu tablosu bilgileri de REPA'dan derlenmiştir.



Şekil 3.6 Sivas ili yıllık ortalama rüzgar hızı dağılımı – 100 metre [67].



Şekil 3.7 Sivas ili yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğu dağılımı – 100 metre [67].

Çizelge 3.3 Sivas ili rüzgar hız ve güç yoğunluğu tablosu [67].

Minimum rüzgar hızı (m/s)	1,96
Maksimum rüzgar hızı (m/s)	9,41
Ortalama rüzgar hızı (m/s)	5,05
Variyans	0,90
Standart Sapma	0,95
Minimum güç yoğunluğu (W/m²)	11.01
Maksimum güç yoğunluğu (W/m²)	797.96
Ortalama güç yoğunluğu (W/m²)	168.64
Variyans	5.716.872
Standart Sapma	75.61

3.3. Sivas Karayaprak Köyü Hakkında

Sivas'ın Hafik ilçesine bağlı Karayaprak köyü, Kızılırmak havzasında, 1654 metre rakıma sahip bir köydür. Sivas il merkezine 63 km, Hafik ilçe merkezine ise 35 km uzaklıktadır. 2020 yılı nüfus sayımına göre 152 kişilik bir nüfusa sahip olan köy, geleneksel tarım ve hayvancılık ekonomisi ile geçimini sürdürmektedir. Karayaprak köyü güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından da oldukça zengindir. Köyün yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.700 saat, ortalama rüzgar hızı ise 7 m/s'dir. Bu değerler köyün güneş ve rüzgar enerjisi yatırımları için oldukça uygun olduğunu gösteriyor. Köyde güneş ve rüzgar enerjisi yatırımları için uygun alanlar mevcuttur [65-71]. Köye ait görsel şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Karayaprak köyü.

3.4. Karayaprak Köyü Tepe RL İstasyonunda Kullanılan Malzemeler

3.4.1. Güneş Paneli

Çalışmamızda, 28 adet CRC marka CHN150-36M modelinde güneş paneli kullanılarak haberleşme sistemlerine güç verme sistemi tasarlanmıştır. Bu panellerin bir kısmı şekil 3.9’da gösterilmiştir ve panellere ait veriler çizelge 3.4’de verilmiştir. Panel kurulumu, enerji üretim hesaplamaları ve sistemin çalışma prensibi detaylı olarak ele alınmış olup aşağıdaki gibidir.

Güneş panelleri, 7 paralel bağlantı halinde, dörder grup seri olacak şekilde kurulmuştur. Bu kurulumun sebebi, her bir panelin ortalama 20 V gerilim üretmesi ve seri bağlantının bu gerilimi 80 V’ye yükseltmesidir. 7 paralel bağlantı ise her bir panelin ortalama 7.5 A akım üretmesi ve bu sayede toplam 52.5 A akım elde edilmesi içindir.

Elde edilen elektrik enerjisi, regülatör yardımıyla istenilen gerilim aralığına düşürülerek baraya aktarılır. Baraya bağlanan radyo cihazları maksimum 2.5 A akım ve tam deşarj olan 300 Ah kapasiteli jel aküler ise 1:10 şarj mantığı ile yaklaşık 30 A akım çekmektedir. Bu bilgiler ışığında, toplam sürekli akım ihtiyacı 32.5 A olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan güneş paneli grubu, 150 W güce sahip 28 panelden oluştuğundan, toplamda 4200 W (4.2 kW) güç üretmektedir. Bu değer, 32.5 A’lık sürekli akım ihtiyacını karşılamak için fazlasıyla yeterlidir.



Şekil 3.9 Karayaprak tepe kullanılan güneş panelleri.

Çizelge 3.4 CHN150-36M güneş paneli özellikleri.

Özellik	Değer
Ürün Adı	CHN150-36M
Ürün Tipi	Monokristal Güneş Paneli
Güç (Wp)	150
Verimlilik (%)	19,5
Hücre Tipi	Monokristal Silikon
Açık devre voltajı (Voc)	37,7 V
Kısa devre akımı (Isc)	5,14 A
Ortalama Voltaj (Vmp)	20,1 V
Ortalama Akım (Imp)	7,5 A
Maksimum güç voltajı (Vmp)	30,9 V
Maksimum güç akımı (Imp)	4,85 A
Hücre Sayısı	60
Çerçeve Malzemesi	Alüminyum
Cam Kalınlığı	3,2 mm
Panel Boyutu	1120 x 770 x 35 mm
Ağırlık	12,8 kg
Maksimum Kullanım Sıcaklığı	85 °C
Minimum Kullanım Sıcaklığı	-40 °C
Rüzgar Yüğü	2.400 Pa
Kar Yüğü	5.400 Pa

3.4.2. Rüzgar Türbini

Bu tez ve projemiz kapsamında, 1200 Watt gücünde MAX marka rüzgar türbini kullanılmıştır. Karayaprak köyünde kullanılan rüzgar türbini şekil 3.10'da gösterilmiştir ve rüzgar türbinine

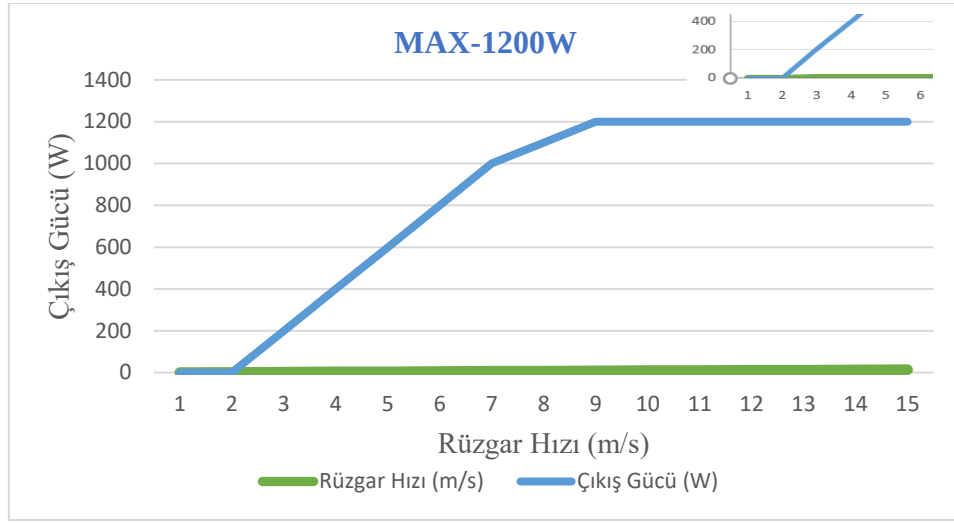
ait veriler çizelge 3.5’de verilmiştir. Bu türbin, santralin enerji ihtiyacını karşılamak için ideal bir çözüm sunmaktadır. Türbin, 48-110 Volt aralığında DC enerji üreterek, sistem için tasarlanan regülatöre doğrudan bağlantı imkanı sağlar. Bu sayede ilave redresöre ihtiyaç duyulmadan, enerji üretim ve dağıtım işlemi daha verimli ve ekonomik hale gelmektedir. MAX-1200 rüzgar türbini, rüzgar hızına bağlı olarak 12 kW'a kadar maksimum çıkış gücü sağlayabilir. Bu da 250 Ampere kadar akım üretilebileceği anlamına gelir. Bu değerler, santralimizin tüketeceği enerjiden çok daha fazla olduğundan, rüzgar türbini seçimimiz son derece yeterli ve geleceğe dönük bir yatırım olmuştur.



Şekil 3.10 Karayaprak tepe kullanılan rüzgar türbini.

Çizelge 3.5 MAX-1200W rüzgar türbininin özellikleri.

Özellik	Değer
Ürün Adı	MAX-1200W
Başlangıç Hızı (m/s)	2
Nominal Hız (m/s)	12
Giriş Hızı (m/s)	45.414
Nominal Gerilim (DC)	48V-110V
Nominal Çıkış (W)	1.200
Rotor Çapı (m)	2
Kanat Sayısı	3
Nominal Dönüş Hızı	650
Ağır Rüzgar Koruması	Dökme yük ve elektro-mağnetik frenleme ile
Sertifika	CE, ISO9001, RoHS



Şekil 3.11 MAX-1200W rüzgar hızı-çıkış gücü grafiği.

3.4.3. Regülatör

Bu çalışmada regülatör kullanılarak güneş ve rüzgar enerjisinin haberleşme sistemlerine güç verilmesi sağlanmıştır. Sistemin temelini oluşturan regülatörün en önemli özelliği hem güneş panellerinden hem de rüzgar türbininden gelen elektrik enerjisini tek başına istenilen DC gerilim aralığına dönüştürebilmesidir. Telekomünikasyon cihazları genellikle 42-60 V aralığında çalışması göz önünde bulundurularak regülatörün çıkış gerilimi 53,5 V olarak ayarlanmıştır. Bu sayede olası gerilim düşmelerine karşı da bir önlem alınmıştır. Regülatör bara monte edildikten sonra radyo cihazlarının enerjisi bara üzerinden alınmış ve aküler de baraya bağlanmıştır. Akülerin bağlanmasının iki amacı vardır. Birinci amaç, akülerin sürekli şarj halinde tutulmasını sağlamaktır. İkinci amaç ise, rüzgar ve güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda akülerin devreye girerek enerji kaybını önlemesidir. Karayaprak tepe radyo istasyonunda kullanılan regülatör şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Karayaprak tepe kullanılan regülatör.

3.4.4. Jel Akü

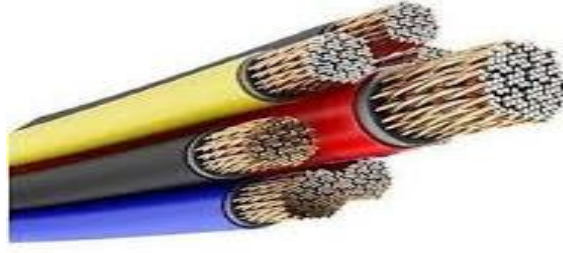
Bu çalışmada, 48 adet 300 Ah gücünde jel akü kullanılarak haberleşme sistemlerine güç verme sistemi tasarlanmıştır. Akü sisteminin kurulumu, enerji depolama kapasitesi ve sistemin çalışma süresi detaylı olarak ele alınacaktır. Akülerin her birinin ortalama çıkış gerilimi 2.2 V ve kapasitesi 300 Ah olduğundan, 24 adet akü seri bağlanarak 52.8 V ortalama çıkış gerilimi elde edilmiştir. 2 paralel grup halinde kullanılan akü sistemi, toplamda 600 Ah ortalama çıkış akımı sunmaktadır. Her bir 24 lü akü grubunun beslediği sistemlerin ortalama 2.5 A akım çektiği ve 240 saat kesintisiz çalışabilmesi planlanmıştır. Ancak verimliği 0.8 olabileceğini düşündüğümüzden yaklaşık kesintisiz çalışma süremiz 190 saattir. Jel aküler şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Karayaprak tepe kullanılan jel aküler.

3.4.5. Kablo

Güneş panelleri ve rüzgar türbinleri ile üretilen enerji, akülerin bara bağlantısı ve radyo sistemlerinin enerjilendirilmesi için 25 mm² kesitli NYAF kablo kullanılmaktadır. NYAF kablolar, bakırdan üretilen, 0,5-500 milimetrekare arası kesitlere sahip, ince, çok telli ve B grubu iletkenlerden oluşan, yalıtkan olarak ise termoplastik kullanılan kablo türleridir. Bu kablolar, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin güvenli ve verimli bir şekilde iletilmesi için idealdir. Bakır iletkenleri sayesinde yüksek iletkenliğe sahip olan NYAF kablolar, enerji kayıplarını minimize eder ve uzun ömürlü kullanım sağlar. Termoplastik yalıtkan ise kabloları nem, kimyasal maddeler ve aşınmaya karşı korur.



Şekil 3.14 Karayaprak tepe kullanılan DC kablo çeşitleri.

Çizelge 3.6 25 mm² NYAF kablo özellikleri.

Anma Kesiti (mm ²)	Kablo Dış Çapı (mm)	Akım Taşıma Kapasitesi	
		Boru İçinde (A)	Boru Dışında (A)
25	10	83	129

3.4.6. Anten

Dış ünite, radyolink cihazının en önemli bileşenlerinden biridir. Bu ünite, kablosuz iletişimin temelini oluşturur ve sinyallerin diğer cihazlara gönderilmesini ve alınmasını sağlar. Karayaprak tepe kullanılan antenler şekil 3.15’de gösterilmiştir.

Dış Ünitenin Temel İşlevleri:

- Sinyal Gönderme: Dış ünite, iç üniteden gelen işlenmiş veriyi RF sinyallerine dönüştürür ve bu sinyalleri uzaya yayar. Bu sinyaller, veriyi diğer cihazlara taşır.
- Sinyal Alma: Dış ünite, uzaydaki RF sinyallerini alır ve bunları iç üniteye iletir. İç ünite, bu sinyalleri işleyerek veriyi alır.
- Yönlendirme: Anten, sinyalleri belirli bir yöne odaklayabilir. Bu, sinyallerin menzilini ve gücünü artırır ve parazit ve girişimden etkilenmelerini azaltır.



Şekil 3.15 Karayaprak tepe kullanılan antenler.

3.4.7. İç Ünite

Radyolink cihazlarının iç ünitesi, kablosuz bağlantının beyni gibidir. Dış üniteden gelen RF sinyallerini alır, işler ve diğer cihazlara aktarır. Bu işlemler, karmaşık elektronik devreler ve yazılımlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Karayaprak tepede kullanılan radyo iç ünite şekil 3.16’da gösterilmiştir.

İç ünitenin temel işlevleri şunlardır:

- Sinyal Alımı: Dışarıdaki antenden gelen RF sinyallerini alır. Bu sinyaller, kablosuz ortamda dalgalanarak gelen ve veri içeren elektromanyetik dalgalaradır.
- Sinyal İşleme: Alınan sinyalleri filtreler, yükseltir ve demodüle eder. Filtreler, istenmeyen sinyalleri ve paraziti engeller. Yükselticiler, sinyallerin zayıflamasını önlemek için sinyal gücünü artırır. Demodülatörler ise RF sinyallerinden veriyi ayırır.
- Veri Aktarımı: İşlenmiş sinyalleri, Ethernet kablosu veya kablosuz bağlantı üzerinden diğer cihazlara aktarır. Bu cihazlar bilgisayarlar, yönlendiriciler veya modemler olabilir.
- Güç Kaynağı: Antene ve diğer elektronik bileşenlere güç sağlar. Bu, genellikle elektrik şebekesinden gelen AC gücün DC güce dönüştürülmesiyle sağlanır.

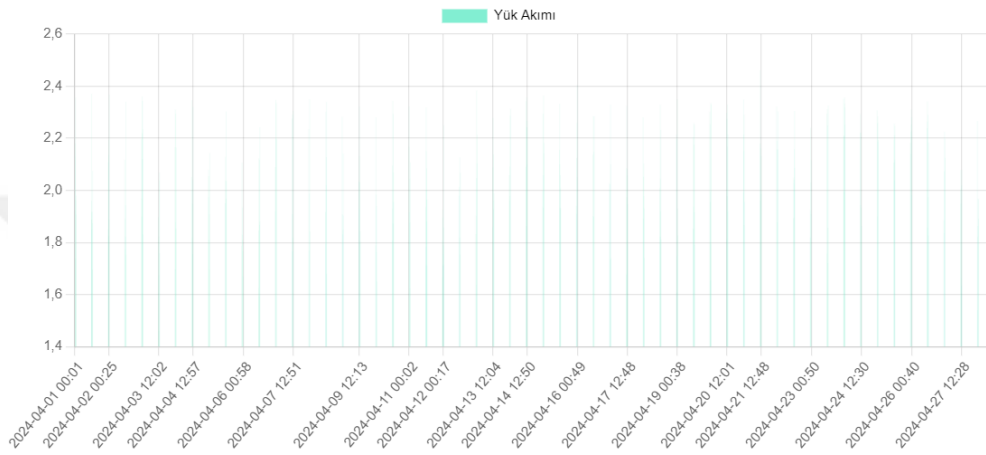


Şekil 3.16 Karayaprak tepe kullanılan radyo iç ünite.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Hibrit Sistemin ve Diğer Sistemlerin Enerji Analizi

Bu bölümde, halihazırda faaliyet gösteren diğer santral türlerinin analizleri, projemiz ve tezimiz olan şebekeden bağımsız Güneş Enerjisi Santrali (GES) ve Rüzgar Enerjisi Santrali (RES) ile çalışan santralimizle karşılaştırılmıştır. Amaç projemizin ve tezimizin sunduğu avantajları ve dezavantajları, mevcut santral türlerine kıyasla net bir şekilde ortaya koymaktır.



Şekil 4.1 Santral yük akımı izleme arayüzü

Şekil 4.1’de belirli tarihler aralığında herhangi bir santralin yük akımının izlenebilmesi için kullandığımız web sitesinin arayüzü gösterilmektedir. Görselde yer alan değerlerin net okunamaması nedeniyle kıyaslama amacıyla örnek gösterilen santrallerin verileri excel formatına aktarılmış ve excel üzerinden grafikler oluşturulmuştur.

4.1.1. Şebekeden Bağımsız Rüzgar ve Güneş Enerjisinin Hibrit Kullanımıyla Çalıştırılan Santral

Bu çalışmada, şebekeden bağımsız rüzgar ve güneş enerjisi ile çalışan bir hibrit enerji santrali kurulmuş ve sistemin performansı ve tüketim profili uzaktan izleme sistemi ile analiz edilmiştir.

Hibrit enerji santrali, güneş enerjisi santrali (GES) ve rüzgar enerjisi santrali (RES) olmak üzere iki farklı enerji kaynağını içermektedir. GES ve RES'ten gelen elektrik akımı, regülatörden geçirilerek 53,5 V'a sabitlenmiştir. Bu sayede, her iki enerji kaynağının da regülatöre 53,5 V'dan yüksek bir gerilim göndermesi durumunda çıkış geriliminin 53,5 V olarak korunması sağlanmıştır. Radyolink cihazlarının çalışma aralığı 42-60 volt olduğundan, RES veya GES'in direkt çıkış gerilimlerinin okunamaması sorunu ile karşılaşmıştır. Bu durum, olası fazla

gerilim gelmesinde cihazların zarar görmesine yol açabileceğinden, regülatör kullanımı gerekli hale gelmiştir.

Uzaktan izleme sistemi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada 2 hafta boyunca hibrit sistem, ikinci aşamada 1 hafta boyunca sadece GES ve son aşamada ise 1 hafta boyunca sadece RES devreye alınarak her bir enerji kaynağının ayrı ayrı tüketim profili incelenmiştir. Sistemin 2 hafta boyunca hibrit izlenme sebebi olası izole ve kayıp riskini en aza indirmektir. Bu çalışmanın amacı hem GES hem RES hem de hibrit çalıştırılarak sistemin optimize edilmesi ve genel performansının değerlendirilmesidir.

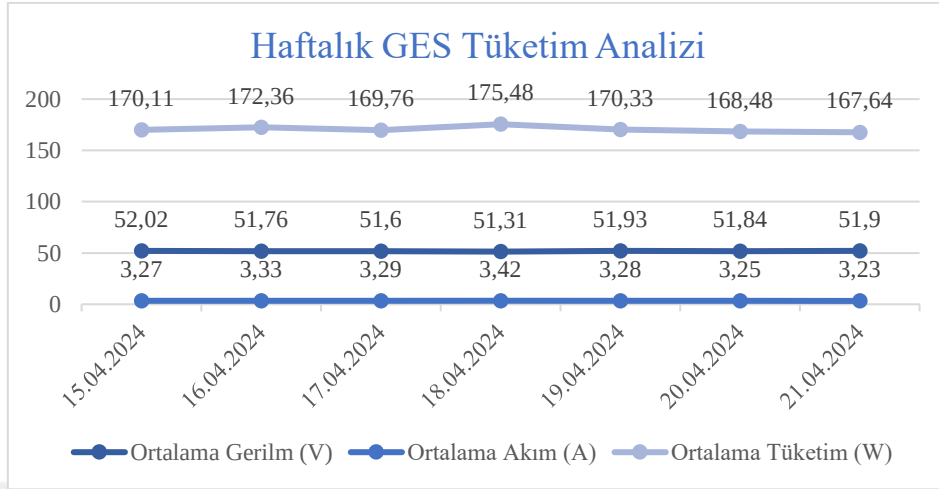
Elde edilen bulgular, hibrit enerji santrallerinin şebekeden bağımsız enerji sistemleri için önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir. Uzaktan izleme sistemi kullanılarak hibrit enerji santrallerinin performansı ve tüketim profili detaylı bir şekilde analiz edilebilir ve bu sayede sistem daha verimli ve optimize bir şekilde işletilebilir.



Şekil 4.2 Hibrit santralin anlık enerji tüketimi.

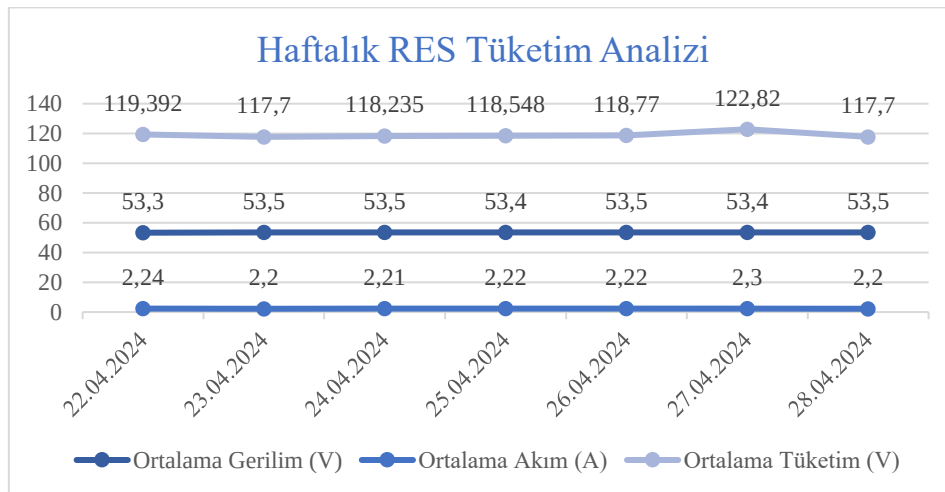
Şekil 4.2, uzaktan erişim yoluyla hibrit sisteme bağlanarak anlık tüketim değerlerini sunmaktadır. Bu görsel, proje ve tez kapsamında ele alınan hibrit sistemin işleyişi ve performansı hakkında derinlemesine bilgi edinmemizi sağlayacak önemli detaylar barındırmaktadır. Şekilde ilk dikkat çeken unsur, anlık sistemlerin 2,2 A'lık akım çekiş değeridir. Bu değer, sistemin yük altındayken ne kadar güç tükettiğini gösterir ve sistem tasarımı ile optimizasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Akım çekiş değerinin analiz edilmesi, sistemin verimliliğini değerlendirmek ve olası darboğazları tespit etmek için kullanılabilir. Görselde dikkat çeken bir diğer nokta ise, akülerin tam şarjlı durumda olması ve sistemin enerji ihtiyacının doğrudan regülatörden karşılanmasıdır. Bu durum, akülerin şu anda sisteme aktif olarak güç sağlamadığını ve regülatörün tüm enerji ihtiyacını karşılayabildiğini gösterir. Regülatör çıkışının DC olması ise doğrultucuya olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve

sistemin karmaşıklığını azaltarak tasarımı basitleştirir. Şekilde de doğrultucunun bulunmadığı görülmektedir.



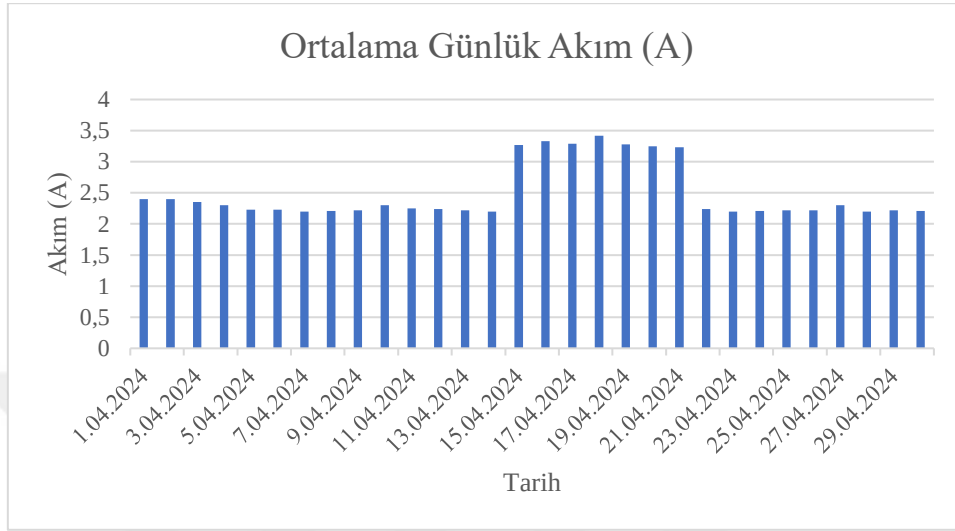
Şekil 4.3 RL santralini 7 gün boyunca sadece GES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler.

Santralin sadece GES ile çalıştırılması durumunda, Şekil 4.3'de görüldüğü üzere ortalama gerilim değerlerinin düşük ve ortalama akım değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Düşük ortalama gerilim değerinin temel sebebi, gündüz güneş enerjisi ile beslenen santralin gece güneş ışığının olmaması nedeniyle akü ile beslenmesidir. Akü geriliminin regülatör çıkış geriliminin altında olması, ortalama gerilim değerlerini olumsuz etkilemektedir. Yüksek ortalama akım değerinin ise sebebi, gece deşarj olan akülerin sabah güneş enerjisi ile tekrar şarj edilmesi sırasında oluşan fazladan akım akışıdır.

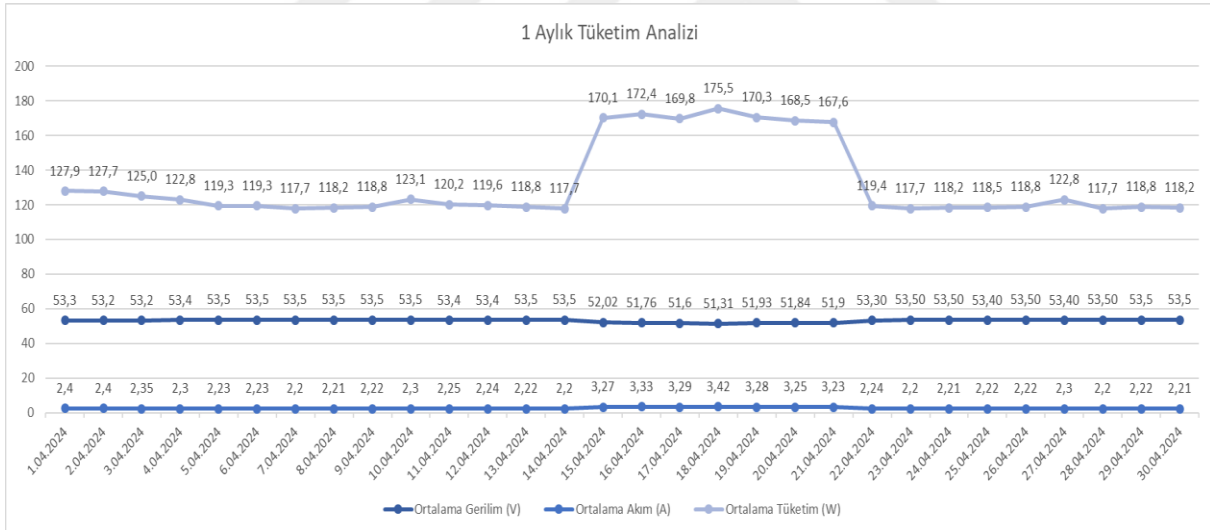


Şekil 4.4 RL santralini 7 gün boyunca sadece RES ile beslediğimizde elde edilen ortalama tüketimler.

Santralin sadece RES ile çalıştırılması durumunda ortalama tüketim değerleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Görüldüğü üzere santral, sürekli rüzgar alan bir bölgede yer aldığından dolayı kesintisiz şebeke elektriği ile çalıştırılıyormuş gibi bir tüketim profili sergilemektedir. Bu durum, santralin kesintisiz ve verimli bir şekilde çalıştığını göstermektedir.



Şekil 4.5 RL santralin aylık ortalama akım değerleri



Şekil 4.6 RL santralin aylık ortalama tüketim değerleri.

Aylık bazda ortalama tüketim değerleri Şekil 4.6'te sunulmuştur. Grafikte görüldüğü üzere, santralin tüketim profili GES ve RES'in hibrit olarak kullanıldığı ve ayrı ayrı çalıştırıldığı durumlara göre farklılık göstermektedir.

- Hibrit Kullanım (01.04.2024-14.04.2024): Bu dönemde GES ve RES birlikte çalıştırıldığından, ortalama tüketim değeri 121,1 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bu durum, hibrit sistemin her iki enerji kaynağının da potansiyelini etkin bir şekilde kullanarak tüketimde denge sağladığını göstermektedir.

- Sadece GES Kullanımı (15.04.2024-21.04.2024): Bu dönemde GES'in tek başına çalıştırılması, ortalama tüketim değerini 170,6 kWh/gün'e yükseltmiştir. Bu artış, güneş enerjisi üretiminin mevsimsel dalgalanmalara ve gün ışığı saatlerine bağlı olduğunu göstermektedir.
- Sadece RES Kullanımı (22.04.2023-28.04.2024): Bu dönemde RES'in tek başına çalıştırılması sonucunda ortalama tüketim değeri 119 kWh/gün olarak belirlenmiştir. Bu durum, rüzgar enerjisinin de mevsimsel dalgalanmalara ve rüzgar hızına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini göstermektedir.

Grafik ilk bakışta GES'e ihtiyaç yokmuş gibi görünse de bazı önemli noktalar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Olası Arızalar: Herhangi bir arıza durumunda GES, RES'in kesintisiz çalışmasını sağlayarak sistemin yedeklenmesine yardımcı olacaktır.
- Yaz Aylarında Rüzgar Hızının Düşüklüğü: Yaz aylarında rüzgar hızının düşmesi, RES'in ürettiği enerjinin azalmasına neden olabilir. Bu durumda GES, tüketimdeki eksikliği giderebilecek ve sistemin istikrarını sağlayabilecektir.

Sonuç olarak hibrit sistem, GES ve RES'in avantajlarını bir araya getirelerek daha güvenilir, esnek ve verimli bir enerji kaynağı sunulmaktadır.

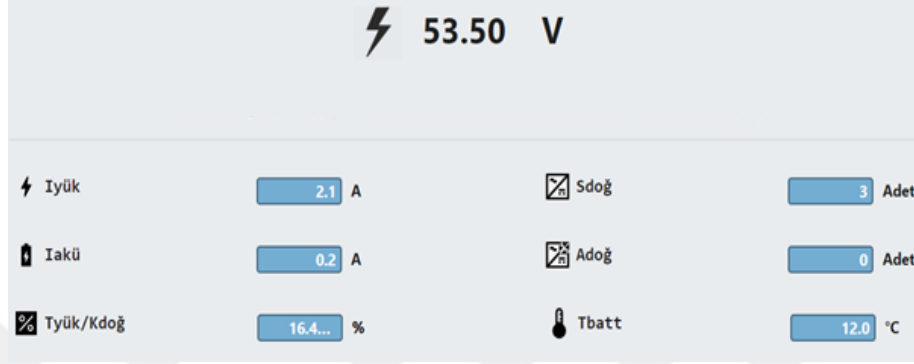
4.1.2. Sadece Şebeke Elektrik Enerjisi Kullanımıyla Çalıştırılan Santral

Santral sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Bu santralde kullanılan cihazların akım değerleri, projemizde tasarladığımız hibrit rüzgar ve güneş enerjisi santralindeki cihazların akım değerlerine yakın seviyededir. Şebeke elektrik enerjisi ile çalışan santralin hibrit santralden en önemli farkı, "DC Çatı" olarak adlandırılan cihazların varlığıdır.



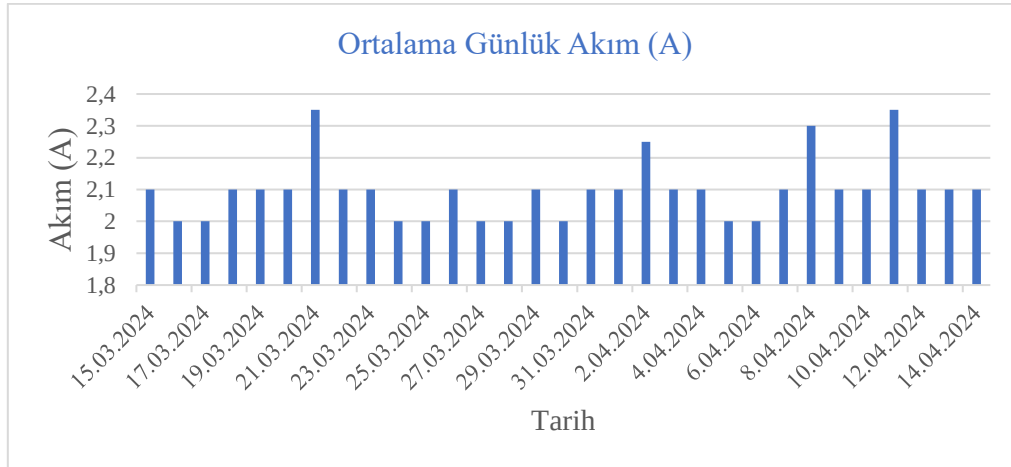
Şekil 4.7 DC çatı.

DC çatı, şebekeden alınan AC gerilimini DC'ye dönüştürerek santraldeki cihazlara DC enerjiyi sağlayan redröserlere denir. DC çatı cihazının bir diğer önemli avantajı ise paralel olarak akü ve güneş panellerinin de bağlanabilmesidir. Bu sayede santral, şebeke elektriğinin olmadığı durumlar da güneş enerjisi ve depolanmış enerjiden de faydalanabilir. Bu da santralin esnekliğini ve sürdürülebilirliğini artırır.



Şekil 4.8 Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin anlık tüketimleri.

Şekil 4.8'de sistemin anlık tüketim değerleri gösterilmektedir. Analizden elde edilen bilgilere göre, DC çatı üzerinde bulunan 3 doğrultucu %16,4 kapasiteyle çalışmakta, sistemlerin anlık tüketimi 2,1 A'dır.

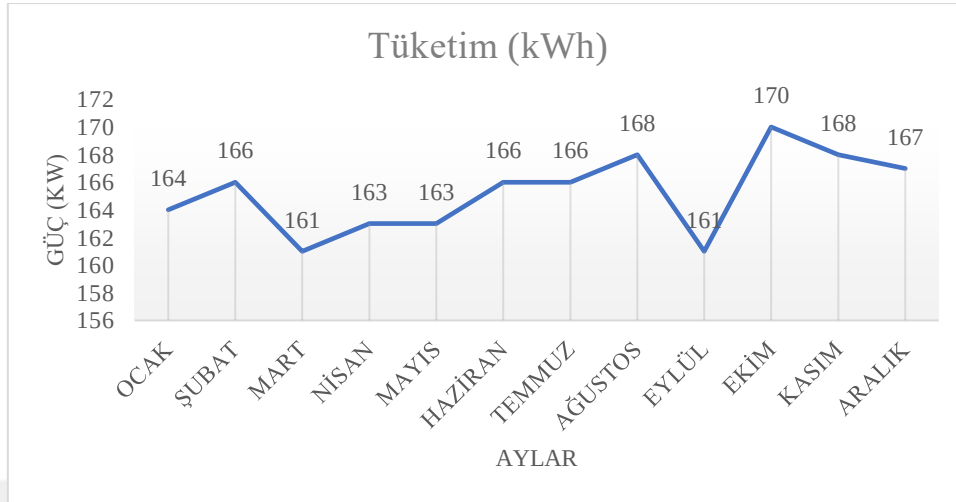


Şekil 4.9 Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri.

Sistemin 1 aylık ortalama akım değerleri Şekil 4.9'de gösterilmektedir. Çalıştığım dönem boyunca izlenimler ve bilgilerim kapsamında akım değerlerindeki artışın olası iki sebebi şunlardır:

- Elektrik kesintileri: Kesintiler sırasında akülerin sistemi beslemesi ve şebeke elektriği geldikten sonra şarj olması için daha fazla akım çekmesi.

- Sıcaklık artışı: Artan sıcaklıklar redresör üzerindeki fanların daha fazla çalışmasına neden olarak akım değerlerinde artışa yol açabilir.

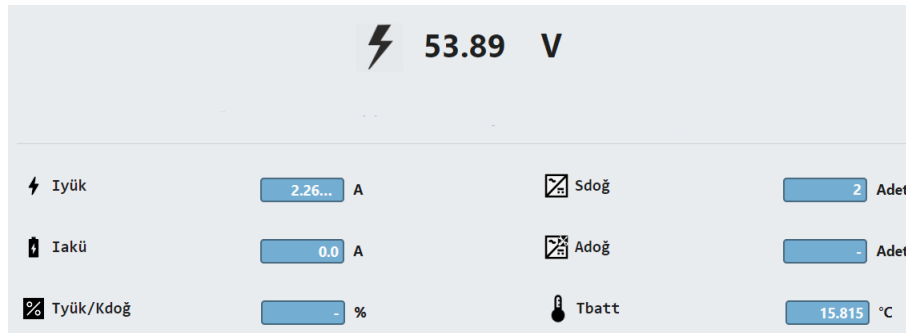


Şekil 4.10 Sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalıştırılan santralin 2023 yılı enerji tüketimi.

2023 yılına ait santral enerji tüketim verileri şekil 4.10'de sunulmaktadır. Santralin toplam yıllık enerji tüketimi yaklaşık 2000 kW olarak belirlenmiş olup, yaz aylarında artan tüketimin sebebi redresörleri soğutmak için çalışan fanların elektrik tüketimidir.

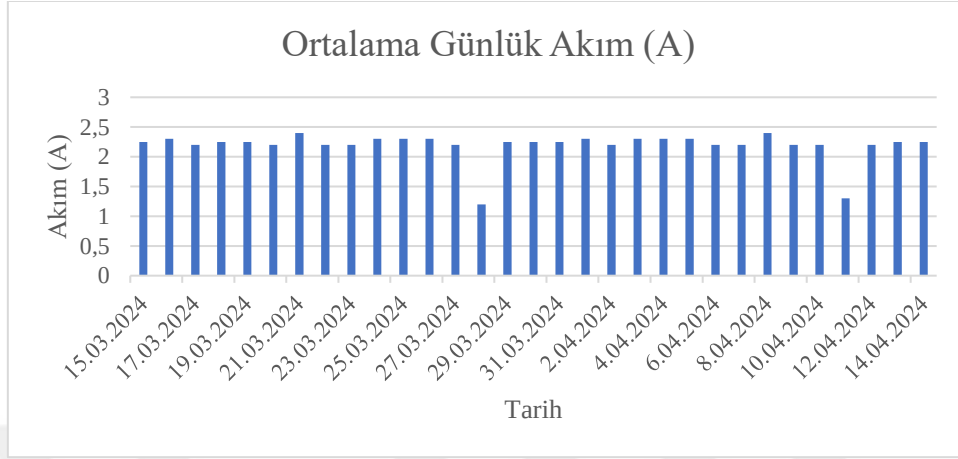
4.1.3. Şebeke ve Güneş Enerjisinin Kullanımıyla Çalıştırılan Santral

İncelediğimiz bu santral ise şebeke ve güneş enerjisini hibrit bir şekilde kullanarak çalışmaktadır. Bu santralin temel özelliği, sadece şebeke enerjisi ile çalışan santrallerden farklı olarak hem tüketimi azaltmak hem de şebekenin olmadığı durumlarda güneş enerjisinden faydalanarak kesintisiz ve verimli bir şekilde çalışabilmesi adına güneş panellerinin kullanılmasıdır. Örnek aldığımız bu santralde bulunan cihazların tükettiği akım değerleri, projemiz olan hibrit santraldeki değerlere oldukça yakındır.



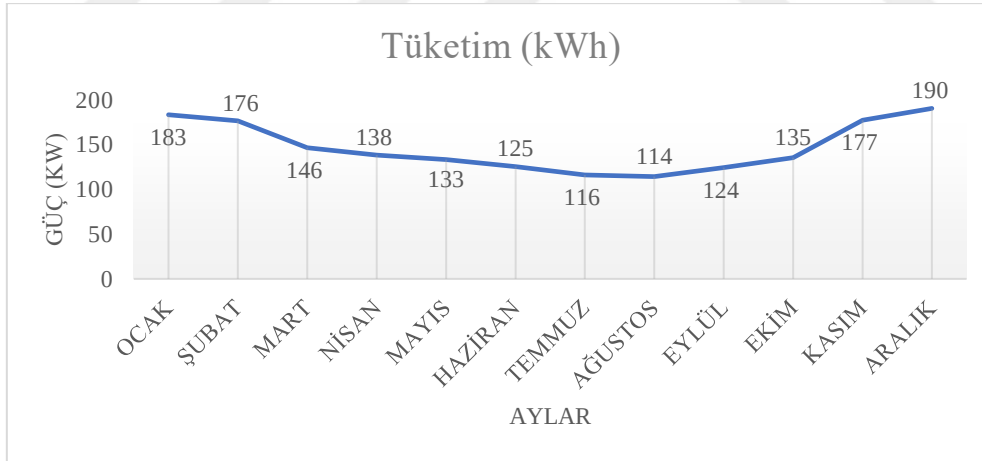
Şekil 4.11 Şebeke ve güneş enerjisinin hibrit kullanımıyla çalıştırılan santralin anlık tüketimleri.

Şekil 4.11'de sistemin anlık tüketim değerleri sunulmaktadır. Sistemde iki doğrultucu olduğu güneş enerjisinin yeterli olması nedeniyle sistemdeki iki doğrultucunun pasif halde beklediği, anlık tüketim 2,26 A olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.12 Şebeke ve güneş enerjisinin hibrit kullanımıyla çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri.

Sistem, olası elektrik kesintilerinden etkilenmeden, güneş enerjisi ile çalışmaya devam ettiğinden, şekil 4.12'de gözlemlenen akım değerleri normal ve stabil seviyelerde kalmaktadır. Bu akım değerleri hava şartlarına ve enerji kesintilerine göre değişiklik gösterecektir.

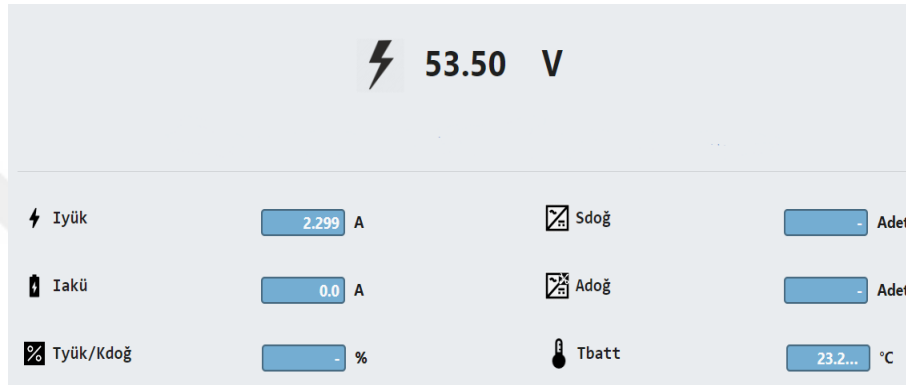


Şekil 4.13 Şebeke ve güneş enerjisinin hibrit kullanımıyla çalıştırılan santralin 2023 yılı enerji tüketimi.

2023 yılı santral enerji tüketim verileri şekil 4.13'da incelendiğinde, santralin toplam yıllık enerji tüketiminin yaklaşık 1750 kW olduğu görülmektedir. Mart ayından itibaren ise santralin enerji tüketiminde önemli bir düşüş gözlemlenmektedir. Bu düşüşün temel sebebi, güneş panellerinin devreye girmesi ve güneş ışığının olduğu zamanlarda şebeke enerjisine olan ihtiyacın azalmasıdır.

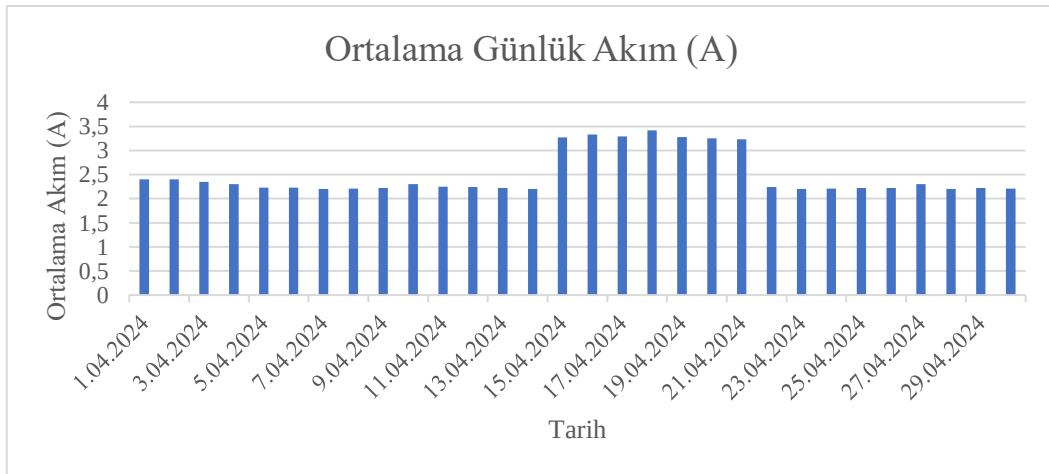
4.1.4. Sadece Güneş Enerjisi Kullanımıyla Çalıştırılan Santral

Projemizdeki hibrit santralle benzerlikler gösteren bu güneş enerjili santral, temel çalışma prensibi olarak sadece güneş enerjisini kullanmaktadır. Rüzgar enerji santrali ile destek olunması için ölçümler yapılmış ancak ölçüm verileri çok düşük çıktığından rüzgar türbinin verimli çalışamayacağı gözlemlenmiştir. Santralde kullanılan RL sistemleri projemizdeki RL sistemleriyle birebir aynı olup, normal şartlar altında ihtiyaç duyulan akım değerleri projemizdeki akım değerleriyle aynı değerdedir.



Şekil 4.14 Sadece güneş enerjisi ile çalıştırılan santralin anlık tüketimleri.

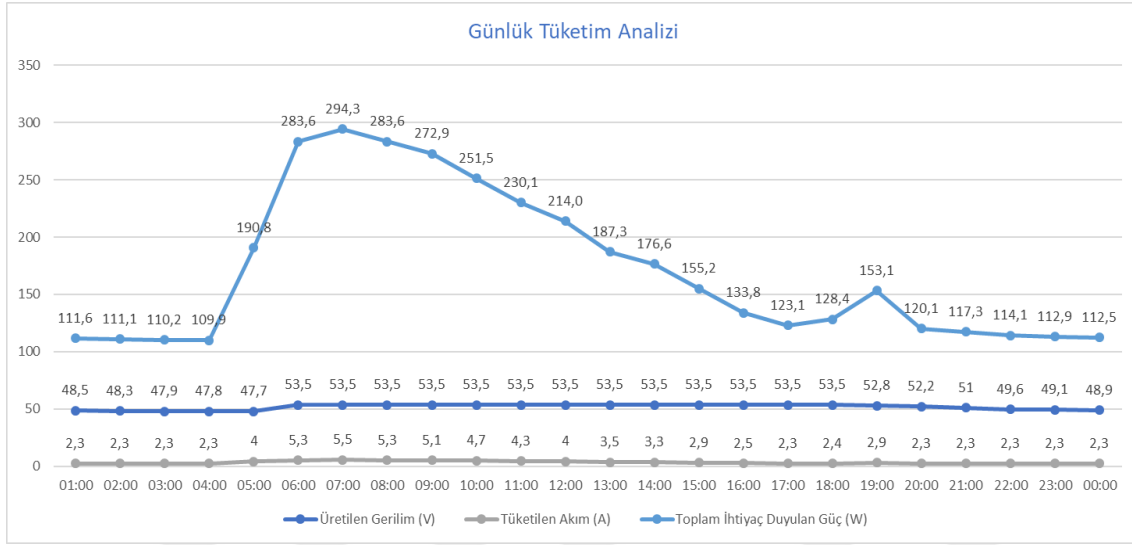
Şekil 4.14'te görüldüğü gibi, sistemin şebekeden bağımsız olduğu, üzerinde doğrultucunun bulunmamasından anlaşılmaktadır. Buna rağmen sistem güneş enerjisiyle sağlıklı şekilde çalışmaktadır. Sistemlerin anlık tüketiminin 2,3 A'dır.



Şekil 4.15 Sadece güneş enerjisi ile çalıştırılan santralin 1 aylık ortalama akım değerleri.

Şekil 4.15'de de görüldüğü üzere, bu santralin akım değerlerinin şebeke ve GES ile çalışan hibrit santrale kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi ise gündüz güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin geceleri güneş ışığının yetersizliğinden dolayı akülerden

besleniyor olması dolayısıyla akülerin deşarj durumuna geçmesinden kaynaklı olup sabah güneş enerjisinden yararlanarak akülerin tekrar şarj olabilmesi için daha fazla akım çekmesinden kaynaklıdır. Bu durum, santralin en büyük dezavantajlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Kış aylarında ise güneş ışığının azalması ve kar yağışı nedeniyle panellerin üzerinin karla kaplanmasından dolayı enerji üretimi önemli ölçüde düşer. Bu düşüş, akülerin tam deşarj olmasına hatta santralin enerjisiz kalma durumuna kadar ilerleyebilir. Bu olumsuz durumdan dolayı RL sistemleri etkilenerek internet ve telefon altyapısı kullanılamayacaktır.



Şekil 4.16 Sadece güneş enerjisi ile çalıştırılan santralin günlük tüketim analizi.

Şekil 4.16 Güneş enerjili santralin günlük tüketim analiz grafiği incelendiğinde dikkat çekici bazı bulgulara rastlanmıştır. Grafiğe göre, aküler gündüz saatlerinde güneş enerjisiyle şarj olurken, ihtiyaç duyulan güce ek olarak fazla akım çekmektedir. Bu durum, akülerin şarj işlemi sırasında tüketilen çıkış geriliminin sabit kalmasına rağmen, toplam ihtiyaç duyulan gücün artmasına yol açmaktadır.

4.2. Kurulum Maliyet Analizi

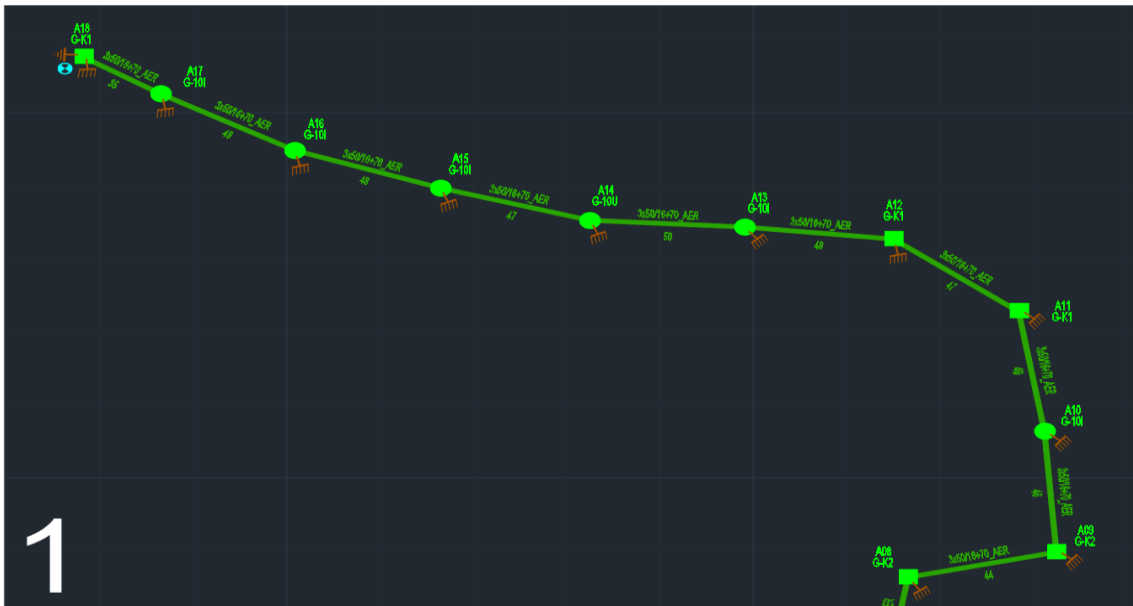
Bu bölümde tezimiz ve projemiz olan şebekeden bağımsız Güneş Enerjisi Santrali (GES) ve Rüzgar Enerjisi Santrali (RES) için şebeke elektriğini tercih etmeme nedenlerimizi, kurulum maliyetleri arasındaki farkı ve yatırımın geri dönüş süresini inceledik.

4.2.1. Şebekeli Sistem Maliyet Analizi

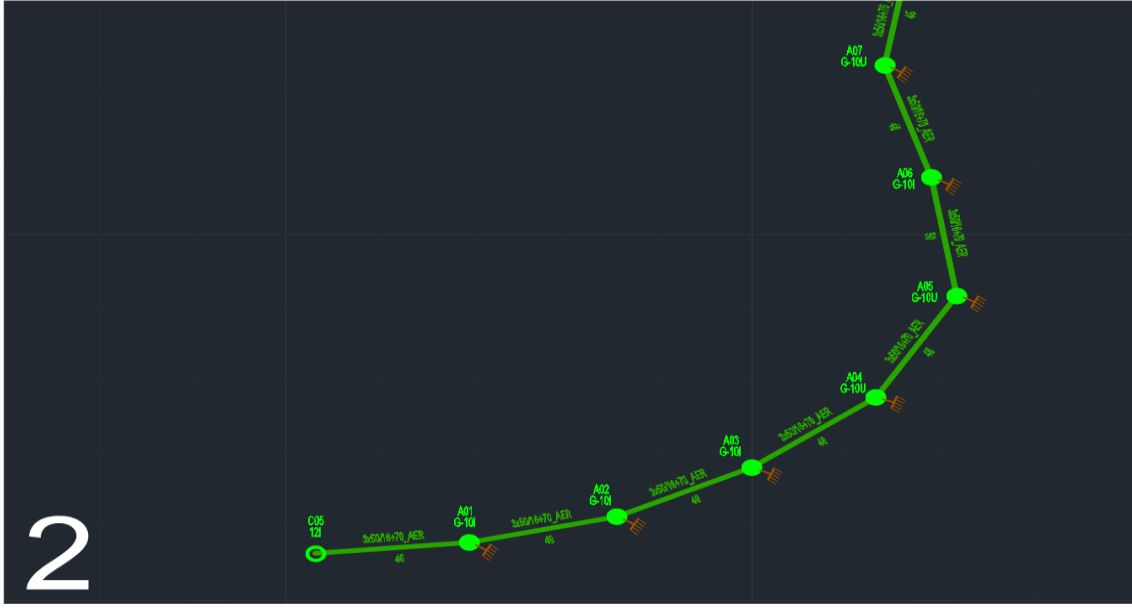


Şekil 4.17 Karayaprak köyü ve radyolink istasyonu güzergahı uydu görüntüsü [71].

Karayaprak köyüne kurulacak radyolink santrali, diğer radyolink santrali ile haberleşmeyi sağlayabilmesi için köyün dışına doğru tepelik ve yüksek bir lokasyona konumlandırılmıştır. Bu konumlandırma, santralin daha geniş bir kapsama alanına sahip olmasını ve daha stabil bir bağlantı sağlamasını sağlayacaktır. Santralin konumu ve köy Şekil 4.17'da uydu görüntüsü ile gösterilmiştir.



Şekil 4.18 Karayaprak tepe radyo istasyonu alçak gerilim projesi (1. Pafta).



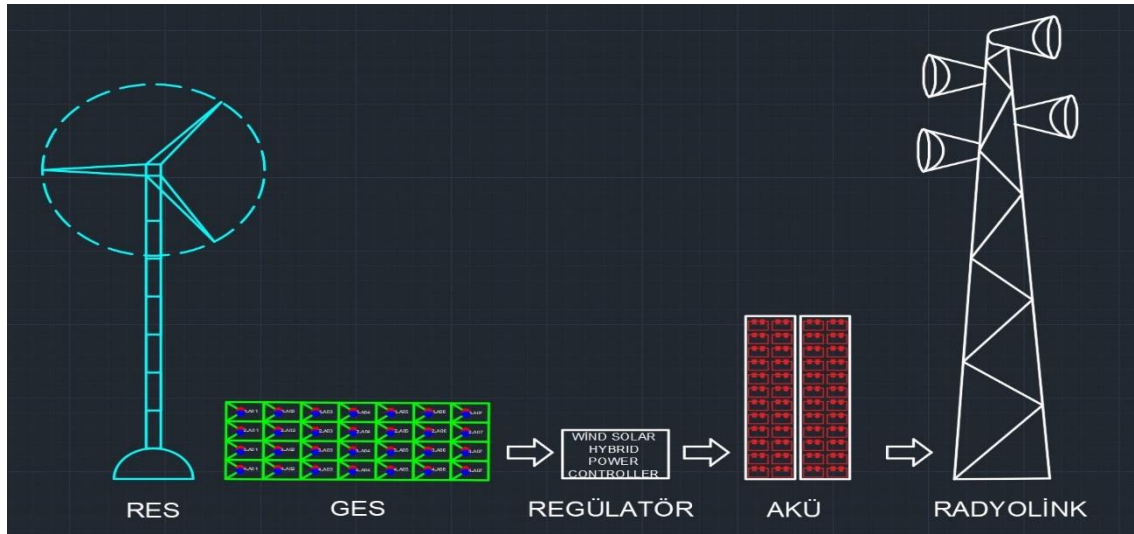
Şekil 4.19 Karayaparak tepe radyo istasyonu alçak gerilim projesi (2. Pafta).

Radyolink santrali, köy içinde bulunan elektrik şebekesinden yaklaşık 850 metre uzaklıktadır. Mevcut şebekenin son direği baz alınarak proje çizimi yapılmış ve bu çizim 2 pafta halinde Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Projenin maliyet hesabı ise TEDAŞ'ın 2024 yılı 3. Bölge için yayınladığı işçilik ve malzeme maliyetleri baz alınarak hesaplanmıştır [72]. Sivas ili bu bölge sınırları içerisinde yer almaktadır. Maliyetin detayları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Hesaplama yapılırken, santralin kurulumunda kullanılacak tüm malzemelerin güncel fiyatları ve işçilik ücretleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, projenin tamamlanması için gerekli olan makine ve ekipmanların kiralama bedelleri de hesaba katılmıştır.

Çizelge 4.1 Alçak gerilim şebeke kurulum maliyeti [72].

Malzeme	Miktar	Birim	Malzeme Fiyatı (TL)	3. Bölge Montaj Fiyatı (TL)	Toplam Maliyeti (TL)
3x50/16+70_AER Askı Telli Demet Biçimli Alüminyum İletken	837	Metre	126,11	67,80	162.303
G-10I Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk	9	Adet	11.426,03	34.338,70	411.883
G-10U Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk	4	Adet	13.284,81	39.924,90	212.839
G-K1 Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk	3	Adet	17.822,42	53.561,80	214.153
G-K2 Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Direk	2	Adet	27.553,68	82.807,20	220.722
50'lik NYY Kablo ve Gömülmesi İşletme Toprakalama Kablosu	30	Metre	237,96	111,30	10.478
2 mt Uzunluğunda Galvanizli 65 x 65 x 7 'lik Köşebent ve 5 Mt. Galvanizli Örgülü Çelik Tel ve Gömülmesi Koruma Topraklaması	18	Adet	993,83	1.825,10	50.741
2 mt Uzunluğunda Galvanizli 65 x 65 x 7 ' lik Toprak Elektrot ve Gömülmesi Topraklama Kazığı	1	Adet	688,33	772,71	1.461
70 W Sodyum Buharlı (Ampul Dahil) Armatür ve Ampul	1	Adet	963,39	1.427,90	2.391
6,5U-60 Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Travers ve Konsollar	13	Adet	218,68	657,04	11.384
6.5U-80 Parça Kaynaklı Galvanizli Demir Travers ve Konsollar	5	Adet	328,02	985,56	6.568
Tehlike Levhası (Alüminyum) Ölüm Tehlike Levhası	18	Adet	24,89	62,50	1.573
TK-MI 85 Makara İzalatör	18	Adet	92,98	-	1.674
TK-ÖD 85 Özengi Demiri	18	Adet	36,04	-	649
TK-HS 300 Halkalı Saplama	18	Adet	139,06	-	2.503
TOPLAM MALİYET					1.311.320

4.2.2. Hibrit Sistem Maliyet Analizi



Şekil 4.20 Hibrit sistem projesi.

Yaptığımız projenin bir örneği Şekil 4.20'de AutoCAD çizimi olarak gösterilmiştir. Bu çizimde, projenin genel hatları ve kullanılan malzemelerin detayları net bir şekilde görülebilmektedir. Projenin maliyet hesaplaması ise 2024 yılı güncel eskalasyonlar baz alınarak ve titiz bir araştırma sonucunda farklı firmalardan teklifler alınarak yapılmıştır. Hesaplama detayları çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Bu çizelgede, her bir kalemin maliyeti ve kullanılan miktar bilgisi ayrıntılı bir şekilde yer almaktadır. Maliyet hesaplarken, kullanılan tüm malzemelerin güncel fiyatları ve işçilik ücretleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, projenin tamamlanması için gerekli olan makine ve ekipmanların kiralama bedelleri de hesaba katılmıştır.

Çizelge 4.2 Hibrit sistem kurulum maliyeti.

Malzeme	Miktar	Birim	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
CHN 150-36M Güneş Paneli	4200	Watt	19,12	80.304
MAX-1200 W Rüzgar Türbini	1200	Watt	30,28	36.340
STECA Regülatör	1	Adet	4.750,00	4.750
25 mm ² NYAF DC Kablo	80	Metre	130,00	10.400
Sarf Malzeme (Pabuç ve Klemens Dahil)	1	Adet	3.900,00	3.900
Galvaniz ve Alüminyum Montaj Sistemi	1	Adet	35.000,00	35.000
Toplam İşçilik	1	Adet	10.500,00	10.500
Toplam Maliyet				181.194

4.2.3. İlk Kurulum Maliyeti Değerlendirmesi

Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu'nun kurulumu, bölgenin iletişim altyapısını geliştirmek ve kesintisiz hizmet sunmak için kritik önem taşımaktadır. Bu bölümde, istasyonun şebeke bağlantısı için geleneksel şebeke ve hibrit enerji sistemleri kullanılarak yapılan yatırım ve süre optimizasyonunu inceledik.

Geleneksel şebeke bağlantısı için TEDAŞ'ın 2024 yılı 3. Bölge için belirlediği birim fiyatlar kullanılmış ve çizelge 4.1'de toplam yatırım maliyeti 1.311.320 TL olarak hesaplanmıştır. Ancak, İl'deki elektrik dağıtım şirketi ile yapılan görüşmede, yatırımın planlama ve kurulum aşamalarının 1 yıldan fazla süreceği ve bu süre boyunca istasyona hizmet veremeyeceği bilgisi alınmıştır. Bu durum karşısında, projemiz kapsamında radyolink istasyonu için güneş enerji santrali (GES) ve rüzgar enerji santrali (RES) hibrit kullanımı planlanmıştır. Hibrit enerji sisteminin toplam maliyeti 2024 güncel eskalasyonuna göre çizelge 4.2'de gösterildiği gibi 181.194 TL olarak hesaplanmıştır. Kurulumu geleneksel şebeke bağlantısına kıyasla çok daha hızlı tamamlanmıştır.

Hibrit enerji sistemi kullanımı ile geleneksel şebeke bağlantısına kıyasla önemli maliyet ve süre tasarrufu sağlanmıştır. Maliyet %624 oranında düşerken, kurulum süresi 1 yıldan 1 aya inmiştir. Hibrit sistemin bir diğer avantajı da yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak projenin sürdürülebilirliğini ve çevresel etkisini azaltmasıdır. Ayrıca, bu sistem ileride yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmelere de uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu çalışma, hibrit enerji sistemlerinin uzak bölgelerde kurulacak telekomünikasyon altyapıları için uygun bir çözüm olabileceğini göstermektedir. Hibrit sistemler, geleneksel şebeke bağlantısına kıyasla daha düşük maliyet, daha kısa kurulum süresi ve daha yüksek sürdürülebilirlik sunmaktadır.

Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu, geleneksel enerji kaynaklarına bağlı kalmadan güneş enerjisi sistemi (GES) ve rüzgar enerjisi sistemi (RES) hibrit kullanımıyla izole olmadan çalışmaktadır. Türk Telekom A.Ş.'de çalıştığım pozisyon itibarıyla sorumluluğum altında olan bu istasyonda, periyodik bakımların düzenli ve zamanında yapılmasıyla istasyonun kesintisiz işleyişi sağlanmış ve herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır. Başarılı hibrit enerji sistemi uygulamasıyla Karayaprak Tepe Radyolink İstasyonu, izole bölgelere telekomünikasyon altyapısı kurma ve işletme konusunda referans alınacak bir örnek teşkil etmektedir.

4.2.4. İşletme Maliyet Değerlendirmesi

Çalışmamızın en önemli avantajlarından biri, farklı şekillerde çalıştırılan santrallerle kolaylıkla karşılaştırılabilmesidir. Bu sayede, radyolink santralının sadece şebeke üzerinden çalışan santrallere kıyasla ne kadar avantajlı olduğu net bir şekilde ortaya konmaktadır.

Daha önce bahsettiğimiz gibi, sadece şebeke üzerinden çalışan bir santralin yıllık enerji tüketimi baz alınarak radyolink santralının ne kadar sürede kendini amorti edeceği hesaplanmıştır. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, 2023 yılında sadece şebeke elektrik enerjisi ile çalışan bir santralin yıllık enerji tüketimi yaklaşık 2000 kWh'dir. Radyolink santralinde ise enerji tüketimi sabit olduğundan, bu tüketim 2024 yılı için de aynı kalacaktır.

Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu'nun 2024 yılı ticarethane haneleri için ortalama birim elektrik fiyatı 3,70 TL/kWh olarak kabul edilmektedir [73]. Bu bilgilere göre, ilgili santralin toplam yıllık enerji tüketim maliyeti 7.400 TL'dir ($2000 \text{ kWh} * 3,70 \text{ TL/kWh}$). Santralimizin ilk kurulum maliyeti ise çizelge 4.2'de gösterildiği gibi 181.194 TL'dir. Santral kurulum maliyetini senelik enerji tüketim maliyetine oranladığımızda, radyolink santralının ortalama kendini amorti etme süresi 24,50 yıldır ($181.194 \text{ TL} / 7.400 \text{ TL/yıl}$).

Bu hesaplama sadece 2024 yılı için geçerli olup, elektrik birim fiyatları her sene değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, radyolink santralının amorti süresi de yıllara göre değişkenlik gösterebilir.

Sahada yürüttüğümüz proje ve tezimiz sonucunda, geleneksel şebeke enerjisine bağımlı kalmadan telekomünikasyon istasyonlarının kurulması ve işletilmesi mümkün hale getirilmiştir. Bu sayede, telekomünikasyon altyapılarını daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde inşa etmenin önünü açmış bulunuyoruz. Uzak mesafeli iletişim altyapıları için fiber veya bakır kablo çekim işçiliklerinin ve maliyetlerinin yüksek olması da göz önünde bulundurularak, Radyo Link santrallerinin kurulumu da önemli bir çözüm olarak değerlendirilecektir. Karayaprak köyüne kurduğumuz radyo istasyonunun hibrit bir şekilde güneş enerji santralleri ve rüzgar enerji santralleri ile çalıştırılması, şebeke enerjisinin ulaşmasının zor olduğu, iletişim altyapısı için kablo metrajlarının fazla olduğu ve diğer iletişim altyapılarının bulunmadığı bölgelerde karşılaşılan sorunlara kalıcı çözümler üretme noktasında büyük bir örnek teşkil edecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Akkoyunlu, A.** (2006). Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Çevreye Etkileri. *Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Bahçeşehir Üniversitesi, 131-145, İstanbul.
- [2] **Koç, E., & Kaya, K.** (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- [3] **İlkılıç, Z.** (2016). Türkiye’de rüzgar enerjisi ve rüzgar enerji sistemlerinin gelişimi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6(2/2), 1-13.
- [4] **Erkul, H.** (2012). Jeotermal enerjinin ekonomik katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere jeotermal örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 115-133.
- [5] **Alemdaroğlu, N.** (2007). Enerji sektörünün geleceği alternatif enerji kaynakları ve Türkiye’nin önündeki fırsatlar. *İstanbul Ticaret Odası Yayın*, 29, 118.
- [6] **Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D., & Güngör, E.** (2017). Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 148-160.
- [7] **Kapluhan, E.** (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: dalga enerjisinin dünyada’ki ve türkiye’deki kullanım durumu. *International Journal of Eurasia Social Sciences/Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(17).
- [8] **Alsuraishy, H., Lin, W. J., Huang, I., & Huang, T. W.** (2019). Design of Ka-band Transceiver for Satellite Communication. In *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)* (pp. 307-310). IEEE.
- [9] **Arıcan, G. O., Akcam, N., & Yazgan, E.** (2021). Ku-band GaAs mHEMT MMIC and RF front-end module for space applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 63(2), 417-425.
- [10] **Kouhalvandi, L., Ceylan, O., Parker, S., & Yağcı, H. B.** (2017). Design and realization of a novel planar array antenna and low power LNA for Ku-band small satellite communications. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25(2), 1394-1403.
- [11] **Bondyopadhyay, P. K.** (1998). Sir JC Bose's diode detector received Marconi's first transatlantic wireless signal of December 1901 (The “Italian Navy Coherer” Scandal Revisited). *IETE Technical Review*, 15(5), 377-406.
- [12] **Ulusoy, C. K.** (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki gelişmeler; güneş enerji sistemleri ve finansman modelleri. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 6(13), 65-84.
- [13] **Uçar, S.** (2018). Çatı ve cephelerde fotovoltaik panel uygulamaları üzerine bir çalışma: Burdur örneği. *İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)* 127s, İstanbul.
- [14] **Ulus, Ş.** (2021). Güneş Enerjisi Santrallerinin Türkiye Ekonomisindeki Yeri ve Önemi: Karapınar YEKA-1 Güneş Enerjisi Santrali Üzerine Bir Saha Araştırması. (Karapınar)

- [15] **DEK-TMK** (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, Yayın No: 0011/2009, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (World Energy Council Turkish National Committee)*, EKC Form Ofset, Ankara.
- [16] **Çelik, A., & Koç, F.** (2020). Polikristal Tür bir Fotovoltaik Panelin IV Karakteristiğinin Analitik Modellenmesi ve Deneysel Validasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(4), 2491-2515.
- [17] **Başoğlu, M. E., Kazdaloğlu, A., Bilgin, M. Z., Erfidan, T., & Çakır, B.** Farklı Güneş Paneli Teknolojilerinin Kocaeli ili için Performans Değerlendirmesi
Performance Evaluation of Different Solar Panel Technologies for Kocaeli Province.
- [18] **Akkaya, R., & Kulaksız, A. A.** (2004). A microcontroller-based stand-alone photovoltaic power system for residential appliances. *Applied Energy*, 78(4), 419-431.
- [19] **Canan, F.** (2003). Mimaride fotovoltaik panel uygulamaları. Yeni ve Yenilenebilir *Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 43-52.
- [20] **Köse, S.** (1986). Yarıiletken güneş pilleri ve verimlilikleri. *Anadolu University Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 92s, Eskişehir.
- [21] **Başay, V., Akyüz, C., & Yılmaz, G.** (2019). Uludağ çevresinde ormanlık ve orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralının verimliliğini belirleyen etkenler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 181-192.
- [22] **Demirci, F.** (1996). Fotovoltaik güneş pillerinin çalışmasını etkileyen dış faktörlerin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 100s, Sakarya.
- [23] **Çabuk, S.** (1992). İnce film SnO₂/Cu₂O güneş pilleri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 55s, Adana.
- [24] **Tercan, M. B.** (2000). Güneş Pili Karakterizasyon Yöntemleri. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 129s, Ankara.
- [25] **Horoz, S.** (2018). Cr Katkılı ZnS Kuantum Noktalarının Karakterizasyonu ve Fotovoltaik Özelliklerinin İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8(2), 89-97.
- [26] **Yılmaz, Ş., Uçan, K., Keten, M., & Narin, N.** (2016). Meyve bahçelerinin sulanmasında güneş enerjisinden yararlanma olanakları. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 169-178.
- [27] **Bosman, L. B., Leon-Salas, W. D., Hutzler, W., & Soto, E. A.** (2020). PV system predictive maintenance: Challenges, current approaches, and opportunities. *Energies*, 13(6), 1398.
- [28] **Kaynar, N. K.** (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 48-54.
- [29] **Sülü, M.** (2019). Fotovoltaik güç santrallerinde enerji kaybı ve verimlilik entegrasyonu. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 78s, Kilis.
- [30] **Kıyanççek, E.** (2013). Fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması için pvs2 paket programının gerçekleştirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 66s, Konya.

- [31] **Tekkale, G.** (2018). Türkiye'nin çeşitli illerinde yapılacak arazi tipi lisanssız güneş enerjisi santrali yatırımlarının teknik ve finansal analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 137s, İstanbul.
- [32] **Keskin, E.** (2012). Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarım ve Maliyet Analizi. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 101s, Ankara.
- [33] **Doğanay, M. M.** (2021). Mardin bölgesi güneş (fotovoltaik) enerjisi potansiyel analizi. *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 86-117.
- [34] **Önder, S., & Ocak, R. Ö.** (2018). Sürdürülebilir enerji kaynaklarının avantajları. *Uluslararası Yeşil Başkentler Kongresi*, 901-907.
- [35] **Eldem, M.** (2017). Güneş Enerjisi. *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 5, 7-10.
- [36] **Can, S.** (2020). Rüzgar türbinleri kullanılarak üretilen elektrik enerjisi miktarının zaman serileri ile analizi ve uygulaması. 104s, Hatay.
- [37] **Elibüyük, U., & Üçgül, İ.** (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum*, 2(3).
- [38] **Çolak, İ., & Demirtaş, M.** (2008). Rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin Türkiye'deki gelişimi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 1(2), 55-62.
- [39] **Mutlu, M. E., & Akdoğan, B.** Rüzgar enerji santrallerinde rotor kanatları için malzeme tasarımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya – Metalürji Fakültesi* (Lisans Tezi), 119s, İstanbul.
- [40] **Url-1** <<https://www.muhendisbeyinler.net/ruzgar-turbini-nedir-nasil-calisir>> alındığı tarih: 28.03.2024
- [41] **Nurbay, N., & Çınar, A.** (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21.
- [42] **Yağmur, A. O.** (2011). Rüzgar türbini pervane göbeği tasarımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 94s, İstanbul.
- [43] **Yavuz, İ., & Özbay, H.** (2020). Rüzgar Türbinlerinde Kurulum ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 58-68.
- [44] **Url-2** <<https://www.ruzgarenerjisi.com.tr/5-2-ruzgar-turbini-bilesenleri>>
- [45] **Turan, A.** (2024). Transformatör arızalarının sınıflandırılması ve akıllı yöntemler kullanarak arızaların belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 138s, Elazığ.
- [46] **Fıccı, F., Dursun, B., & Gökçöl, C.** (2007). Rüzgâr Enerji Sistemlerinden Kaynaklanan Gürül Tünün İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 54-62.
- [47] **Karadağ, H. İ.** (2009). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Rüzgar Enerjisinin Önemi ve Rüzgar Türbini Tasarımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 130s, İstanbul.
- [48] **Fidan, Ş.** (2010). Değişken hızlı-değişken kanat açılı rüzgar türbinlerinin tork ve kanat açısı kontrolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 108s, Afyonkarahisar.
- [49] **Terzioğlu, H., Arslan, M., & Demirok, H. D.** (2019). Rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi. *Research Articles in Engineering, Publisher: Gece Akademi*, 219-241.
- [50] **Hayli, S.** (2001). Rüzgâr enerjisinin önemi Dünya'da ve Türkiye'deki durumu. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 1-26.

- [51] **Usta, İ.** (2015) Radyolink Sunumu, Türk Telekom A.Ş. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.elektroarge.com%2Felektronik-ders-not%2Fradyolink-sunumu-turk-telekom-t395.html>). Erişim Tarihi: 21.03.2024.
- [52] **Kırcalı, S., Gedik, N.** (2015) Sayısal Transmisyon. Fırat Üniversitesi. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hasanbalik.com%2Fprojeler%2Fbitirme%2F3.pdf>) Erişim Tarihi: 22.03.2024.
- [53] **Milli Eğitim Bakanlığı** (2013). Uydu Haberleşmesi Modülü. (http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.megep.meb.gov.tr%2Fmte_program_modul%2Fmoduller_pdf%2FUydu%2520Haberle%C5%9Fmesi.pdf), Erişim Tarihi: 24.03.2024.
- [54] **Url-3**
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.haberlesme.8m.com%2Fteknik_bilgiler%2Fuydu_hab.htm>, alındığı tarih: 28.03.2024
- [55] **Url-4** <<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fscpc-single-channel-per-carrier.atrexx.com>>, alındığı tarih: 02.04.2024.
- [56] **Url-5**
<<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftr.wikipedia.org%2Fwiki%2FRadyolink>>, alındığı tarih: 05.04.2024.
- [57] **Url-6**
<<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tekniktrend.com%2Fradyo-link-nasil-calisir%2F>>, alındığı tarih: 07.04.2024.
- [58] **Arnold, C. G., Isaac, V. E., Mathwich, H. R., Privett, R. F., & Thompson, L. E.** (1959). A new high-capacity microwave relay system. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics*, 78(5), 712-722.
- [59] **Öner, D.** (2015). Görüş Hattı İletimi. Maltepe Üniversitesi. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fakademik.maltepe.edu.tr%2F%2F7edemironer%2FELK%2520412%2520Telsiz%2520ve%2520Mobil%2520A%2520F0lar%2FDers%2520Notlar%25FD%2FBolum%25203-G%2520F6r%25FC%25FE%2520Hatt%25FD%2520iletimi%2520%2827.03.2015%29.pdf>), Erişim Tarihi: 07.04.2024.
- [60] **Url-7**
<<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2Fnnandkishorsuman%2Fpoint-to-point-microwave>>, alındığı tarih: 08.04.2024
- [61] **Polat, B., Bacanak, S.** (2024) Elektromanyetik Dalgalar ve Antenler Sunumu. (<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mersin.edu.tr%2Fapbsuploads%2F1000470%2FFizikveTeknoloji%2F06-AntenlerVeEMD.pdf>), Erişim Tarihi: 10.04.2024.
- [62] **Bayer, S.** (2015). İletişim sistemlerinin radyolink sistemleri ile yedeklenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 141s, Ankara.
- [63] **Sarı, V., & Özyiğit, F. Y.** (2020). Sivas ilinin farklı ilçelerinde şebeke bağlantılı güneş enerji santrallerinin tasarımı ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 425-437.
- [64] **Url-8** <<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/58.aspx>>, alındığı tarih: 09.04.2024.

- [65] **Url-9** <<https://www.enerjiatlas.com/gunes-enerjisi-haritasi/sivas>>, alınan tarih: 09.04.2024.
- [66] **Url-10** <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIVAS>>, alınan tarih: 09.04.2024.
- [67] **Url-11** <<https://repa.enerji.gov.tr/REPA/iller/SIVAS-REPA.pdf>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [68] **Url-12** <<https://www.enerjiatlas.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/sivas>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [69] **Url-13** <<https://www.tuik.gov.tr/Kurumsal/Iletisim>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [70] **Url-14** <<https://www.tzob.org.tr>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [71] **Url-15**
<<https://www.google.com/maps/place/Karayaprak,+58762+Karayaprak%2FHafik%2FSivas>>, alınan tarih: 10.04.2024.
- [72] **Url-16** <<https://birimfiyat.tedas.gov.tr/>>, alınan tarih: 12.04.2024.
- [73] **Url-17** <<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>>, alınan tarih: 12.04.2024.