



ISMSES

Innovative and Smart Maintenance
in Solar Energy Systems

“Güneş Enerji Sistemlerinde Yenilikçi ve Akıllı
Bakım Onarım.”

2020-1-TR01-KA202-093257



ANKARA - SINCAN
İLÇE MİLLİ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜ



National Technical
University of Athens



north west
regional college



ORYX DATA



IMPEKTRA

ISMSES

**Güneş Enerjisi Sistemlerinde Yenilikçi ve Akıllı Bakım
Onarım**

**Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy
Systems**

2020-1-TR01-KA202-093257

2021-2022

ISMSES

“Güneş Enerjisi Sistemlerinde Yenilikçi ve Akıllı Bakım Onarım”

“Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy Systems”

Proje Ortağı Kurumlar

¹ Sincan İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü (Koordinatör), Türkiye

² ASO 1. Organize Sanayi Bölgesi, Türkiye

³ Hacettepe Üniversitesi, Türkiye,

⁴ İmpetra Bilişim Yazılım San. ve Tic. A. Ş., Türkiye

⁵ National Technical University of Athens, Yunanistan

⁶ North West Regional College, Birleşik Krallık

⁷ Oryx Data Incubator EURL, Fransa

⁸ Özel Ankara Sanayi Odası Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Türkiye

⁹ Yenikent Ahmet Çiçek Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Türkiye

Katkıda Bulunanlar

Rabia Demirbaş¹, Ayfer Yıldırım¹, Serkan Savaş¹, Hüseyin Düşbudak¹, Nilüfer Mısırlı¹, Kamil Sunal², Tuğba Erbektaş², İlker Ay³, Murat Kademli³, Ali Samet Arslan⁴, Sotirios Karellas⁵, Angelos Markopoulos⁵, Christina-St. Hatzilau⁵, Nikolaos Karkalos⁵, Ekaterini Nikolaou⁵, Philip Devlin⁶, Tommy Devine⁶, Mathieu Ozer⁷, Kazım Duraklar⁸, Oğuzhan Alaattin Çınar⁸, Mustafa Koç⁹, Ali Turan⁹, Uğur Uslu⁹, Abdullah Said Doğanay⁹, Orhan Gazi Özceyhan⁹, Muhammed Yasin Destan⁹

Birinci Basım: 2022

© Copyright 2022, *Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy Systems*, 2020-1-TR01-KA202-093257

Erasmus+ (Avrupa Dayanışma) Programı kapsamında Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmektedir. Burada yer alan içerik yazarın görüşlerini yansıtmaktadır ve bu görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz.

Bu modülün hakları Proje Ortağı Kurumlara aittir. Tüm hakları saklıdır. Kaynak gösterilmeden modülden alıntı yapılamaz; Proje koordinatörü kurumun yazılı izni olmadan radyo ve televizyona uyarlanamaz; oyun, film, elektronik kitap, CD ya da manyetik bant haline getirilemez; fotokopi ya da herhangi bir yöntemle çoğaltılamaz, yayınlanamaz ve dağıtılamaz.

PROJE ÖZETİ

Projemizin amacı mesleki ve teknik eğitim kurumlarının elektrik-elektronik ve enerji sistemleri bölümleri için Güneş enerjisi sistemleri bakım onarım modülü geliştirmek, yapay zekâ yöntemleri ile Güneş enerjisi sistemleri (GES) arızalarını tahmin etmek ve önlemektir.

Dünyadaki en önemli enerji kaynağı Güneş'tir. Güneş'in radyasyon enerjisi, Dünya ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen ana enerji kaynağıdır. Dünyadaki madde ve enerji akışı Güneş enerjisi sayesinde mümkündür. En son enerji üretim ve tüketim yöntemleri ile ikamesi mümkün olmayan enerji kaynaklarımız tüketilmekte bunun sonucunda doğaya geri dönülmez zararlar verilmekte ve çevre kirliliği yaratılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, Güneş enerjisi de dahil olmak üzere, önemli imkanları içinde barındırır ve geliştirilmeyi bekleyen yegane enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisi, sahip olduğu potansiyel ve kullanım kolaylığı ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla yaygınlaşma fırsatına sahiptir.

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre Dünya'ya 90 dakikada düşen Güneş ışığı Dünya'nın yıllık enerji ihtiyacını karşılamaya yetmektedir. IEA, 2050 yılında küresel elektrik üretiminin %11'inin Güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmekte ve 2030 yılına kadar yıllık %7,6'lık büyüme oranı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının en hızlı büyüyen enerji kaynakları olacağını bildirmektedir. Dünyada birçok ülke GES yatırımlarını artırmakta ve bu enerjinin sürdürülebilirliği için de nitelikli eleman yetiştirmektedir. Büyüme potansiyeli ile birlikte bu sistemlerin bakım onarım ve teknik eleman ihtiyacı da artmaktadır. Değişen ve gelişen teknolojilerle birlikte yaygınlaşan GES için teknik eleman yetiştirme ihtiyacı da artmıştır. Bu sistemlerin bakım ve onarımları önemli olmakla birlikte öngörücü bakım bu sistemler için hayati önem taşımaktadır. Böylece olası sistem hatalarını önceden tahmin ederek sistem uzun süre sağlıklı kalabilir ve hatalar oluşmadan önlenir. GES'in kesintisiz çalışması ve sürekli enerji üretimi hem işletmeler hem de kullanıcılar için çok önemlidir. Günümüzde gelişen yapay zeka algoritmaları ve makine öğrenmesi uygulamaları sayesinde öngörücü bakım uygulamaları mümkün hale gelmiştir.

Teknolojik yeniliklerin eş zamanlı olarak eğitim ve öğretim ortamlarına aktarılması ülkelerin eğitim düzeylerini ve gelişmişlik düzeylerini doğrudan etkilemektedir. 2000'li yıllardan itibaren yapay zeka alanında önemli gelişmeler yaşanmış ve birçok disiplin ile adından söz ettirmeye başlamıştır. Proje kapsamında, GES'in öngörücü arıza bakımı konusunda nitelikli eğitmenler yetiştirmek, GES ile yapay zeka disiplinini entegre ederek mevcut uygulamalara çözüm üretmek ve projenin amacına ulaşmak için;

- Güneş enerjisi sistemleri ile ilgili araştırma yapılarak potansiyel, arıza, bakım ve onarım hakkında yayın hazırlanacaktır.
- Mesleki ve teknik eğitimde kullanılmak üzere GES tamir bakım modülü hazırlanacaktır.
- Arıza tahmini ve önleyici bakım için yazılım altyapısı hazırlanacaktır.

Projemiz, 2020 Erasmus + Program kılavuzunda yer alan dijital çağdaki çevre ve iklim hedefleri ve yenilikçi uygulamalar öncelikleri ile doğrudan ilişkilidir. GES günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alsa da çevre dostu enerji olarak da bilinmektedir. Geleceğin en önemli enerji kaynaklarından biri olan GES'in mesleki ve teknik eğitiminde yapay zeka araçları kullanılarak öngörücü bakım prosedürlerinin oluşturulması dijital çağda yenilikçi uygulamalara güzel bir örnek olarak sunulmaktadır.

İÇİNDEKİLER

PROJE ÖZETİ	iii
İÇİNDEKİLER	v
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	4
2.1 Güneş Enerjisi	4
2.2 Rüzgâr Enerjisi	5
2.3 Jeotermal Enerjisi.....	5
2.4 Hidro Enerjisi	6
2.5 Biyokütle Enerjisi	6
2.6 Dalga Enerjisi	6
2.7 Hidrojen Enerjisi.....	7
3. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	8
3.1 Güneş Sabiti (Atmosferin Dışı Güneş Işınımı)	10
3.2 Hava Kütle.....	11
3.3 Güneş Radyasyonun Ölçülmesi.....	13
3.4 Güneş/Solar Enerjinin Ölçülmesi.....	13
3.5 Dünya'nın Geometrik Şekli ve Güneş Işınlarnın Dünya Yüzeyinde Yaptığı Açılar.....	16
3.6 Yatay Yüzeye Dünya Dışında Dik Gelen Radyasyon Miktarı.....	22
4. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ	24
4.1 Tarihsel Gelişimi	24
4.2 Güneş Enerjisi ve Geleceği	25
4.3 Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	26
4.4 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.....	28
4.5 Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi	29
4.6 Dünya'da Güneş Enerjisi Politikaları	37
4.7 Türkiye'de Güneş Enerjisi Politikaları.....	37
4.8 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri	38
5. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	43
5.1 Güneş Enerjisi Sistemlerini Oluşturan Elemanlar	45
5.1.1 Güneş Pili	45
5.1.2 Panel.....	46
5.1.3 Bağlantı Elemanları.....	47

5.1.4 Akü.....	48
5.1.5 Şarj Kontrol Ünitesi	49
5.1.6 Montaj Elemanları.....	50
5.2 Bağlantı Şekilleri ve Kurulu Güç Hesabı.....	50
6. HÜCRE ÇEŞİTLERİ.....	53
6.1 Fotovoltaik yöntem	53
6.2 Kristaline paneller	53
6.2.1 Monokristalin	53
6.2.2 Polikristalin	54
6.3 İnce Film	55
6.4 Esnek Panel	55
6.5 Saydam.....	55
6.6 Hibrit	56
7. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PERFORMANSINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	56
7.1 Konum.....	57
7.2 Yönlendirme ve Yüzey Açısı.....	57
7.3 Gölgeleme	58
7.4 Panel Tipi.....	59
7.5 Modüller Arası Sıcaklık	60
7.6 Panel Temizliği.....	60
8. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE VERİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	61
8.1 İklimsel Etkiler.....	61
8.1.1 Panel yüzey sıcaklığını (çalışma sıcaklığını) etkileyen parametreler.....	61
8.1.2 Panel yüzeyine düşen ışınım miktarını etkileyen parametreler.....	62
8.2 Çevresel Etkiler	63
8.3 Güneş Panellerinin Karakteristik ve Yapısal Özellikleri	64
8.3.1 Panel yüzey sıcaklığı	64
8.3.2 Panel üzerine gelen ışınım miktarı.....	66
8.3.3 Yüzey Alanı ve V_{mpp} değeri	67
8.4 Kurulum Kayıpları	68
9. KARŞILAŞILAN ARIZALAR	69
9.1 İzolasyon Hataları	69
9.2 İnverter ve Kompakt Şalter Arızaları.....	70
9.2.1 On-Grid Sistemler.....	71

9.2.2 İnverter Seçimi.....	71
9.3 Güneş Paneli ve Güneş Konnektör Arızaları.....	72
9.4 Orta Gerilim Arızaları.....	74
9.5 Röle Koordinasyonu Kaynaklı Arızalar.....	74
10. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN BAKIM ONARIM VE İŞLETİLMESİ FAALİYETLERİ	75
10.1 Planlı (Önleyici/Periyodik) Bakım Onarım.....	75
10.1.1 Panel Temizliği.....	76
10.1.2 Modül Bağlantı Bütünlüğü	82
10.1.3 Dizi Birleştirici Kutusu	82
10.1.4 Sıcak Noktalar.....	83
10.1.5 İnverter Bakımı.....	84
10.1.6 Trafo Bakımı.....	84
10.1.7 Yapısal Bütünlük.....	85
10.1.8 Sistemin Genel Uyum Kontrolü.....	85
10.1.9 Bitki Örtüsü Kontrolü	85
10.2 Planlanmamış (Arıza) Bakım Onarım.....	85
10.2.1 Yedek Parçalar.....	86
10.2.2 Performans İzleme, Değerlendirme ve Optimizasyon	86
10.3 Arıza Tespiti ve Onarımı.....	87
10.3.1 Topraklama ve Süreklilik Testleri.....	87
10.3.2 Polarite Testleri.....	89
10.3.3 Açık Devre Gerilimi (VOC) ve Kısa Devre Akımı (ISC) Ölçümleri.....	89
10.3.4 Fonksiyon Testleri.....	89
10.3.5 İzolasyon (Hipot) Testleri-IEC 62446.....	90
10.3.6 Fotovoltaik Modüllerinde Oluşan Hot-Spot Etkisi ile Tüm Panoların Drone ve El Termali ile Ölçümü IEC 62446/IEC61215	91
10.3.7 Fotovoltaik Modüller ve Dizileri için I-V Eğrisi Ölçümleri (IEC 60891)	93
10.3.8 Güneş Panellerinin EL (Elektrolüminesans) Görüntüleme Testi-IEC 61215/IEC61646.....	94
10.3.9 Gerçek Değerler Kullanılarak Fotovoltaik SYST Simülasyonu	95
10.3.10 Güvenlik Etiketleri	95
10.4 Örnek Bakım Prosedürü.....	96
10.4.1 Güneş Paneli Temizliği.....	97

10.4.2 Akım (I) – Gerilim (V) Ölçümü	101
10.4.3 Topraklama Ölçümleri	101
10.4.4 İnverterler İçin Ölçüm ve Denetimler.....	102
10.4.5 Termal Kamera ile DC Hotspot Kontrolleri.....	106
10.4.6 Yıldırımdan Korunma Sistemi Ölçümleri.....	108
10.4.7 Konstrüksiyon İçin Ölçüm ve Denetimler	108
10.4.8 AG (Alçak Gerilim) Elektrik Tesisatı Ölçüm ve Denetimleri.....	108
10.4.9 OG (Orta Gerilim) Elektrik Tesisatı Ölçüm ve Denetimleri	109
10.4.10 Trafo Bakımları.....	109
10.4.11 YG Hücre Bakımları.....	112
10.4.12 Kompanzasyon Denetimi	113
10.4.13 Faturalama Denetimi	114
10.4.14 Kamera Sistem Bakımı	115
10.4.15 Saha Kontrolü	115
11. BAKIM ONARIM İÇİN ALINMASI GEREKEN ÖLÇÜMLER VE HESAPLAMALAR.....	119
12. YAPAY ZEKÂ VE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ	123
12.1 Yapay Zekâ.....	123
12.2 Makine Öğrenmesi	124
12.2.1 Makine Öğrenmesinin Sınırlılıkları	127
12.3 Derin Öğrenme.....	128
12.4 Yapay Zekâ Kullanım Alanları.....	131
12.5 Yapay Zekâ ve Güneş Enerjisi Sistemleri Alanında Kullanımı	133
12.6 Güneş Enerji Sistemi için Kurulan Yapay Zekâ Yazılım Altyapısı	136
12.6.1 Kafka.....	137
12.6.2 Elasticsearch	139
12.6.3 Kibana.....	140
12.7 Enerji Sektöründe Yapay Zekâ Uygulamasının Olası Zorlukları	143
13. ENERJİ SEKTÖRÜNDE AKILLI DÖNÜŞÜM.....	145
13.1 Elektrik Enerjisi ve Kaynakların Verimliliği	145
13.2 Elektrik Enerjisi Üretimi ve Dağıtımında Karşılaşılan Zorluklar.....	146
13.3 Akıllı Şebekeler	147
13.4 Akıllı Sayaçlar ve Mbus Teknolojisi	152
13.5 Uzaktan Kablosuz Akıllı Yönetim Lora	153

13.6 Nesnelerin İnterneti IOT Teknolojisi	153
13.7 Enerji Tasarrufu ve Verimlilik	154
13.8 Endüstri 4.0	155
14. GÜNEŞ ENERJİSİNİN PROJE ORTAĞI ÜLKELERDEKİ DURUMU	158
14.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası	158
14.1.1 Çatı ve Cephe Uygulamalı Güneş Potansiyeli	160
14.2 Yunanistan'da Güneş Enerjisi Sistemleri	165
14.3 Birleşik Krallık'ta Güneş Enerjisi Sistemlerinin Potansiyel Kullanımı	166
14.4 Fransa'da Güneş Enerjisi Sistemlerinin Durumu	169
KAYNAKÇA	171

1. GİRİŞ

Enerji günümüzde Dünya'nın önemli temel ihtiyaçlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanımı ve üretimi sürekli artan teknoloji ürünleri yanı sıra artık günlük yaşamın vazgeçilmezi haline gelen elektrikli ve mekanik cihazlar içinde sürekli enerji ihtiyacı kaçınılmazdır. Aydınlatma, bilişim, haberleşme, ulaşım, üretim vb. tüm alanlarda enerjiye ihtiyaç bulunmaktadır. Durmaksızın artan ihtiyacı karşılamak, bir süreklilik problemi doğurmuştur. Dolayısıyla fosil yakıtlar gibi sınırlı kaynaklardan elde edilen enerji çözümlerinin yerine yenilenebilir enerji kaynakları bulma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu kaynaklarında kendi içerisinde kullanılacakları alanlarda etüt çalışmaları, maliyet çalışmaları vb. durumların sürekli değerlendirilmesine bağlı olarak sınırlılıkları ve verimlilikleri değişmektedir.

Son yıllarda sadece enerji ihtiyacı değil enerji kullanımından dolayı meydana gelen çevre sorunları ve bunlar için üretilen çözümler, küresel gündemi oldukça meşgul etmektedir. Bu doğrultuda başlıca problemlerden biri haline gelen ve yaşamı önemli ölçüde etkileyen küresel ısınma probleminin etkileri her geçen gün daha ciddi boyutlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle çevreyi koruyan, doğal metotlarla yenilenebilir olan, süreklilik açısından en düşük maliyetlerle enerji elde etmek araştırma ve geliştirme konusu haline gelmiştir.

Gelişmiş birçok ülkede elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtlar yerine kullanılan nükleer enerjideki temel problem ise, atıkların yok edilememesi gerek atıklarda gerekse üretimde kullanılan nükleer yakıtların bir sızıntı anında çevreye verdiği zararın insanlar üzerinde yarattığı önlenemez tedirginliktir. Bu nedenle birçok ülke nükleer enerji santrallerini kapatma yoluna giderken, artan enerji talebini karşılamak için rüzgâr enerjisi, Güneş enerjisi, hidroenerji, jeotermal enerji, biyolojik yakıt enerjisi, deniz suyunun gel-git gücü ve dalga enerjisi gibi birbirinin alternatifi olabilecek enerji kaynaklarından elektrik üretimi tekniklerini geliştirme yoluna gitmiştir. Bu enerji çeşitlerinin kullanımıyla çevreye zarar veren karbon salınımı azaltılmaktadır. Ancak kullanımları çeşitli koşulları ve teknolojileri gerektirmektedir.

Ayrıca bu kaynaklar her ne kadar temiz enerji olarak nitelense de doğaya farklı şekillerde zarar vermektedirler. Kısaca özetlemek gerekirse; rüzgâr türbinleri kuşlar için bir tehlike oluştururken hareketli mekanik aksamından dolayı ortaya çıkardığı düşük/yüksek frekanslı sesler insanları rahatsız etmese de hayvanları rahatsız ederek bulunduğu ortamdan göç etmesine neden olmaktadır. Akarsuların önüne bent yapılarak suların geniş alanlara biriktirilerek oluşturulan baraj gölleri bitki örtüsünü yok ettiği gibi, iklim değişikliklerine neden olarak çevrenin dengesini de değiştirmektedir. Elektrik

üretmek için deniz içine kurulan türbinler de deniz canlıları için tehlike oluşturduğu gibi deniz kirliliğine de neden olmaktadır. Aynı şekilde jeotermal kaynaklar üzerine kurulan tesisler de yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Güneş enerji sistemlerinde de durum çok farklı değildir. Yüksek oranda güç elde etmek için geniş tarım arazilerine kurulan bu tür sistemler tarım arazilerinin azalmasına neden olduğu gibi Güneş ışınlarını büyük oranda yansıttığı için ileride toprak yüzeyinde ısı değişimlerine neden olabilirler. Ayrıca fotovoltaik (PV) aygıtların yapımı esnasında ortama yüksek oranda sera gazları çıkmaktadır.

Kısacası doğada insanoğlu tarafından yapılan her türlü değişim, enerji üretmek ve bunun transferini sağlamak için kullanılan teknolojik aygıtlar doğaya bir şekilde zarar vermektedir. Bizim üzerimize düşen ise mümkün olduğunca tasarruflu davranarak enerji tüketimini azaltmak ve ihtiyacımız olan enerjiyi de farklı kaynaklardan doğaya en az hasar vererek üretmektir. Böylelikle hem süreklilik sağlanırken hem de doğaya daha az zarar verilecektir.

PV sistemler için düşündüğümüzde, bu tür sistemleri geniş verimli tarlalara kurmaktansa atıl olarak nitelendirdiğimiz çatılar, otoparklar sulama havuzlarının üzeri gibi yerlere kurmak, bu sistemleri daha çevreci hale getirecektir. Bunu sağlamak içinde, şehir planlamalarında bir dizi düzenlemeler getirmek ve önlemler almak yeterli olacaktır. Örneğin binaların birbirlerini gölgelemeyecek şekilde yerleştirilmesine, çatılarda geniş yüzeyler oluşturacak şekilde yeni çatı tasarımlarının geliştirilmesi ve bu yüzeylerin güneşe bakması gibi kısıtlamalar/düzenlemeler getirilmelidir. Sonuçta kullanım olarak özellikle bina çatı, verimsiz boş arazilere uygulanabilirliği ve sürekli artan verimliliği sayesinde Güneş enerji sistemleri öne çıkmaktadır.

Güneş enerji sistemlerinin şu anda üzerinde çalışılan en önemli husus sistemlerin verimliliğine yöneliktir. 1839 yılında Alexandre Edmond Becquerel tarafından PV etkinin keşfedilmesiyle Güneş ışınlarından elektrik akımı üretilebileceği keşfedilmiş oldu. Russell Ohl 1941'de günü teknolojisiyle ilk Güneş paneli hücrelerini üretmeyi başardı ve ilk ticari Güneş paneli 1954'te Bell Laboratories tarafından yapıldı. 2000'li yıllara gelindiğinde üretilmiş panellerin elektrik üretme verimliliği %12-15 aralığında iken günümüzde ortalama verimlilik değeri %20'dir. Ayrıca yüksek teknoloji kullanılan deneysel Güneş paneli uygulamalarında %36'lık verime ulaşıldığı görülmektedir. Ancak tüm bunların yanı sıra verimlilik aynı zamanda zamana bağlı olarak düşüşe geçmektedir. Ortalama 10 yılda bir paneller %2'lik verim kaybına ve ortalama 50 yıllık bir kullanım ömrüne sahip olmaktadır.

Panellerin verimliliğini ve ömrünü arttırmak ise akıllı ve yenilikçi bakım metotları ile mümkün olabilecektir. Bu doğrultuda panellerin bakımlarının daha verimli yapılabilmesi amacıyla yeni algoritmaların ortaya çıkarılabilmesi ve toplanan verilerin analizlerinin yapılması amacıyla yapay zekâdan yararlanılması faydalı olacaktır. Bu kaynak bu doğrultuda bilgi vermek ve yönlendirmek amacıyla oluşturulmuştur.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tanımına odaklandığımızda sürekli kendini yenileyen, yaşam içerisindeki doğal süreçlerden meydana gelen ve bu doğrultuda doğal yaşama zarar vermeyen ifadelerinin öne çıktığını görmekteyiz. Bu özellikleri sağlayan tüm kaynaklar yenilenebilir olarak tanımlanabilir. Paris merkezli IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) kuruluşunun 2021 yılı itibariyle günümüzdeki yenilenebilir enerjiyi değerlendirmesi şu şekildedir.

“Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle Güneş fotovoltaikleri ve rüzgâr enerjisi için politika desteği ve maliyetlerdeki yüksek düşüşler sayesinde son yıllarda hızla büyümüştür. Elektrik sektörü, hidroelektriğin zaten önemli katkısına dayanarak, son yıllarda Güneş fotovoltaikleri ve rüzgârın da güçlü büyümesiyle yenilenebilir enerji kaynakları için en parlak nokta olmaya devam ediyor. Ancak halen elektrik, küresel enerji tüketiminin yalnızca beşte birini oluşturuyor. Ulaşım ve ısıtma sektörlerinde yenilenebilir kaynakların rolü, enerji geçişi için kritikliğini korumaya devam ediyor” [1].

Üretilme yöntemi veya başka bir deyişle kaynağı değerlendirilerek yenilenebilir enerji kaynakları 7 ana başlıkta sıralanmıştır.

2.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, Dünya'da ve özellikle de ülkemizin hemen her yerinde rahatlıkla ulaşılabilen bir kaynaktır. Buna karşılık fosil yakıtlı enerji kaynaklarına ulaşılabilmesi ve çıkarılıp işlenmesi oldukça zordur. Ayrıca bu kaynakların kullanımı da çevreye büyük zararlar vermektedir. Bununla birlikte fosil yakıtların kullanılabilir hale getirilmesi yüksek maliyetler doğurmaktadır. Fakat insanların Güneş enerjisine ulaşmak için çaba göstermesine gerek yoktur [2].

Rüzgâr, deniz dalgası, akarsu gibi oluşumlar Güneş enerjisi kaynaklıdır. Yani Güneş enerjisinden doğrudan faydalanmanın yanı sıra Güneş'in doğada oluşturduğu diğer enerji kaynaklarından da faydalanılmaktadır.

Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde bulunan hidrojen gazını helyuma dönüştüren füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan çok güçlü bir enerjidir. Güneş ışınları vasıtasıyla Dünya'mıza gelen bu enerjiden yararlanmak için Güneş kolektörleri, Güneş santralleri ve Güneş pilleri (fotovoltaik piller) gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler sayesinde Güneş enerjisi ısı enerjisi olarak doğrudan ya da elektrik enerjisine dönüştürülerek dolaylı olarak kullanılabilmektedir [3].

2.2 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, Güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı oranlarda ısıtmasından kaynaklanmaktadır. Denizlerin ve havanın farklı ısınması bir basınç farkı oluşumuna, bu basınç farkı ise havanın hareketine neden olmaktadır. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan havanın bu hareketi rüzgâr olarak bilinmektedir. Rüzgâr enerjisinden mekanik enerji veya elektrik enerjisi üretmek amacıyla yararlanılmaktadır [3].

Teknolojinin ilerlemesiyle büyük rüzgâr türbinleri geliştirilmiş ve yüksek güçlerde elektrik üretimi sağlanmıştır. Rüzgârın kinetik enerjisi yüksek kuleler üzerinde bulunan kanatları döndürmesiyle hareket enerjisine dönüşür. Rüzgâr, türbininin kanatlarında oluşan bu hareket enerjisi, kanatların bağlı bulunduğu jeneratörü döndürür. Böylece elektrik enerjisi elde edilir.

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın yönüne göre kanatlarını ve makine dairesini döndürmesi prensibi ile çalıştığından rüzgârı her zaman daha iyi yakalar ve daha yüksek güç üretebilir. Çok güçlü esen rüzgârlarda kanatların dönmesi, türbine zarar verebileceğinden rüzgâr türbini, gerektiğinde frenleme yapabilmektedir. Her yenilenebilir enerji santrali kurulmadan önce yapılması gerektiği gibi rüzgâr santrallerinin verimli çalışabilmesi için, kurulum yapılmadan önce planlanan bölgede fizibilite çalışmaları yapılır.

Rüzgâr türbinleri, yüksek güç santrali şeklinde elektrik hattına bağlı kurulabildiği gibi, düşük güçlü ve daha basit sistemlere sahip türbinler olarak da kullanılabilir. Düşük güçlü rüzgâr türbinleri, kontrol sistemine ihtiyaç duymazlar. Kuyrukları yardımıyla rüzgârın yönüne doğru konumlanırlar [2].

2.3 Jeotermal Enerjisi

Jeotermal enerji, yerkürenin doğal ısısı olup, yer kabuğunun derinliklerinde birikmiş olan basınç altındaki sıcak akışkan (su buharı, gaz) ve sıcak kuru kayaların içerdiği termal enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu enerji, elektrik enerjisi üretimi ya da ısıtma amacıyla kullanılmaktadır [3].

Türkiye, tektonik ve volkanik özellikleri nedeniyle jeotermal kaynaklar bakımından zengin bir ülke olduğundan jeotermal enerjinin büyük bir kısmı konutların ısıtılmasında ve kaplıca turizminde kullanılmasının yanı sıra jeotermal enerjiden elektrik üretimi yapan santraller de gittikçe artmaktadır [2].

2.4 Hidro Enerjisi

Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de Hidro enerjidir. Bu enerjinin en yaygın kullanım şekli, nehirler üzerine barajlar inşa ederek suyu rezervuarda biriktirmek, biriken suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak türbinde elektrik enerjisi üretmektir. Bu amaçla hidroelektrik santrallerden (HES) yararlanılmaktadır [3].

Su gücünden faydalanılarak üretilen Hidro enerjinin potansiyeli yağış rejimine bağlıdır. Asıl amacı elektrik üreten hidroelektrik enerji santralleri; depolamalı (biriktirmeli-barajlı) olarak inşa edildiklerinde, bu işlevlerinin yanında su taşkınlarını önleme, tarımsal sulama, su ürünleri geliştirme, turizmi geliştirme, ulaşımı kolaylaştırma gibi amacı da gerçekleştirebilmektedir. Hidro enerjisi; canlıların yaşaması için gerekli olan su döngüsünün devam etmesinin yanında sürekli ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır [2].

2.5 Biyokütle Enerjisi

Yaşamış ya da yaşayan organizmaların, belirli bir zaman diliminde sahip oldukları toplam kütle miktarına biyokütle denilmektedir. Biyokütle enerjisi ise bitkisel, hayvansal, kentsel atıklar gibi kullanılamayacak türdeki atıklardan çeşitli yöntemlerle elde edilen enerji türüdür [2].

Biyokütle enerjisi, içerisinde karbonhidrat bileşikleri bulunan bitkisel ve hayvansal kökenli maddelerden elde edilen enerji kaynağıdır. Günümüzde, biyokütle enerji kaynakları kullanılarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz gibi yakıtlar elde edilmektedir. Biyoetanol ve biyodizel, çeşitli bitkiler veya hayvansal yağlar kullanılarak üretilen bir yakıt türüdür. Biyogaz ise organik maddelerin (bitkisel ve hayvansal atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz ortamda fermantasyonu sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır [3].

2.6 Dalga Enerjisi

Deniz dalgalarının uygun yerlere konulan türbinleri döndürmesiyle üretilen yenilenebilir ve temiz enerji kaynağına dalga enerjisi denir.

Gelgit genliğinin yüksek olduğu kıyılarda ırmak ağzına ya da deniz girişine bir baraj yapılır. Bu barajın içine tünel açılır ve sular yükseldiğinde bu tünelden içeriye doğru, sular alçaldığında ise ters yönlü (dışa doğru) akış gerçekleşir. Tünelin içine yerleştirilen

türbinler, suyun akış hızıyla dönerek bağlı buldukları jeneratörü döndürmesiyle elektrik enerjisi üretimi gerçekleşir [2].

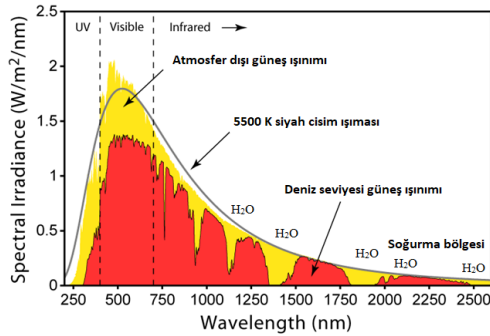
2.7 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, yakıt hücreleri üzerinde çalışan basit, renksiz, kokusuz, tatsız ve bol miktarda bulunan hafif bir gazdır. Hidrojen, rahat ve güvenli bir şekilde taşınabilen ayrıca taşındığında kaybı da az olan bir enerji kaynağıdır. Hidrojen kolaylıkla ısı, elektrik ve mekanik enerjiye dönüşebilir. Geleceğin enerji kaynağı olarak da adlandırılan hidrojen; diğer yakıtlara göre pahalı olmasına rağmen farklı enerji türlerine kolayca dönüştürülür. Kullanım şekli suyun elektroliz yöntemiyle hidrojen ve oksijen olarak ayrıştırılarak hidrojen elde edilmesi şeklinde olup, depolanması ise elde edilen hidrojenin sıvı ya da gaz haline dönüştürülmesiyle mümkündür. Hidrojen iki şekilde kullanılabilir: Birincisi, hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ve kimyasal enerjinin elektrik enerjisine çevrildiği yakıt hücreleri sistemidir. Bu sistemde hidrojenin yanma ürünleri yalnızca su ve su buharıdır. İkincisi ise doğrudan yanmalı motor teknolojisinde hidrojen kullanımı şeklindedir. Yeni geliştirilen bu sistemde hidrojen, doğrudan ya da hidrojen salan herhangi bir kaynak yardımıyla sisteme verilmektedir [2].

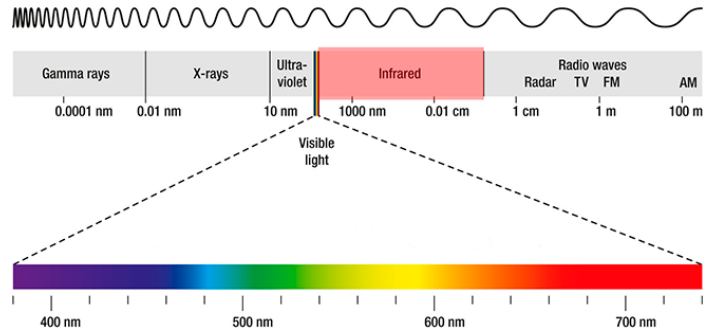
3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünyada yaşamın kaynağı olan Güneş, yaklaşık 1,4 milyon kilometre çapında olup, Dünya'dan yaklaşık 149,6 milyon km uzaklıktadır. Güneş'in enerjisini 4 hidrojen atomunu 1 helyum atomuna dönüştürerek sağlar, bu dönüşüme Füzyon denir. 4 H atomu 4,032 atomik birim kütesine sahipken, 1 He atomu 4,003 atomik birim kütesinde sahiptir. Güneş'te 4 H atomunun 1 He atomuna dönüştüğünde 0,029 atomik birim kütle artar ve bu kütle miktarı, Einstein'ın enerji ifadesi ile ($E = m.c^2$) enerjiye dönüşür. Güneş'te 1 saniyede 564 milyon ton H atomu, 560 milyon ton He atomuna dönüşür. Bunun sonucunda 4 milyon ton kütle karşılığı $3,86 \times 10^{26}$ J enerji açığa çıkar [4,5,6,7,8]. Güneş'in toplam enerji rezervi $1,785 \times 10^{47}$ J olduğundan daha milyonlarca yıl ışımaya devam edecektir.

Petrol, kömür ve atom enerjisi gibi birincil enerji kaynaklarına alternatif olarak düşünülen Güneş enerjisi çok umut vericidir. Güneş'ten gelen ışınlar tek dalga boyunda ve aynı şiddette değildir. Şekil 1'de görüldüğü gibi Dünya atmosferine gelen ışınların dalga boyu yaklaşık 200nm ile 2500nm arasında değişirken, şiddet dağılımı da Rayleigh dağılım fonksiyonuna benzemektedir. Bu dağılıma göre en yüksek şiddete, görünür bölgedeki ışınlar gelirken, zararlı olan mor ötesi ışınlar daha az ve ısınmayı sağlayan kızılötesi ışınlar ise şiddeti az ama daha fazla dalga boyunda gelir. Bu ışınlar Dünya'ya yaklaşık 8 dakikada gelirler. Işınların %45 görünür bölgede, %46'sı kızıl ötesi ve % 9 'u mor üstü bölgededir [5,8].



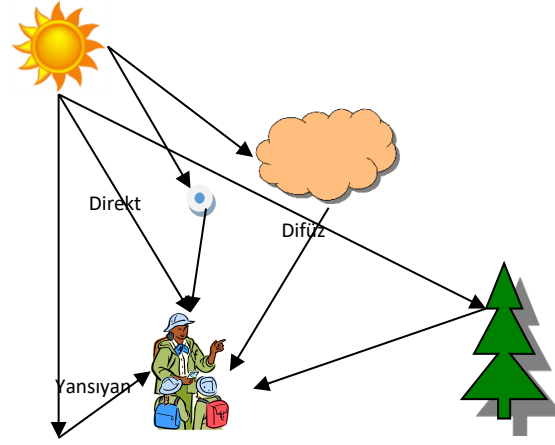
(a)



(b)

Şekil 1. a) Güneş'ten yayılan ışınların dalga boyuna göre şiddet dağılımı, b) Dünya yüzeyine gelen ışınların dalga boyuna göre isimlendirilmesi

Geniş bir dalga H_2O spektrumu olarak yeryüzüne ulaşan Güneş ışınları Dünya atmosferine girdiklerinde atmosferdeki etkileşimlere bağlı olarak; Direkt (Doğrudan/Işın radyasyonu), Difüz (Yayınık/Yaygın/Dağınık/saçılma) ve Yansıyan (Aklık) ışınlardan oluşur (Şekil 2) [5,6,7,8,9].

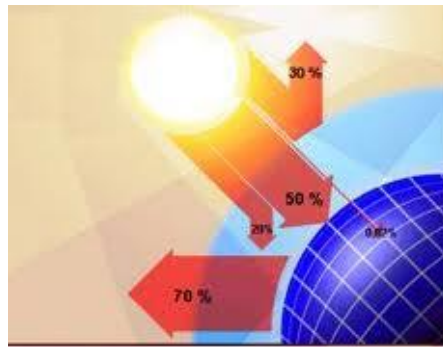


Şekil 2. Dünya yüzeyine gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınlar

Doğrudan ışınım; atmosfere giren Güneş ışınlarının doğrudan hiçbir şeyle temas etmeden yeryüzündeki kişiye ulaşan ışınlarına denir. Difüz ışınım; atmosfere giren Güneş ışınlarının bulutlardan ve atmosfer içindeki iyonlardan saçılması ile Dünya yüzeyindeki kişilere ulaşan kısımdır. Yansıyan ışınım; doğrudan gelen ışınımın Dünya yüzeyinden yansmasıyla kişilere ulaşan ışınlardır. Bu ışınların tümünün toplamına toplam ışınım/radyasyon veya global ışınım/radyasyon denir. Yansıyan ve difüz ışınlar olmasaydı Dünya’da tam karanlık ve aydınlık bölgeler olurdu ve karanlık bölgelerdeki cisimler kesinlikle görünmezlerdi.

Güneş’ten gelen ışınımın tamamı Dünya yüzeyine ulaşmaz, bu ışınların %30 kadarı Dünya atmosferi tarafından doğrudan geriye yansıtılır. Atmosferden geçen ışınım ise havanın bulut yoğunluğuna göre yansıtılır veya soğrulur.

Bulutsuz bir günde yeryüzüne gelen ışınımın %10- %20 si yayınık ve yansıyan ışınımındır. Bulutlu havada ışınların %70-80’i atmosfer dışına yansıtılırken ancak % 20-30’u Dünya’ya gelir. Tamamen açık havada ise ışınların %80 Dünya’ya ulaşır (Şekil 3).



Şekil 3. Güneş’ten gelen ışınların atmosferden geçiş ve yansıma oranları

Genel olarak ortalama bir gün için düşünülduğünde Güneş ışınlarının yaklaşık %50'si atmosferi geçerek Dünya yüzeyine ulaştığı söylenebilir. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam (Rüzgâr hareketleri, Okyanus dalgalanmaları, fotosentez vd.) mümkün olur [8].

3.1 Güneş Sabiti (Atmosferin Dışı Güneş Işınımı)

Güneş'ten Dünya'mıza gelen ışık enerjisi birimi genelde W/m^2 olarak verilir. Buna göre 1 saniyede Güneş'in $1 m^2$ 'sinden yayılan enerji Stefan Boltzman eşitliği kullanılarak [5,6,7, 8,9,10].

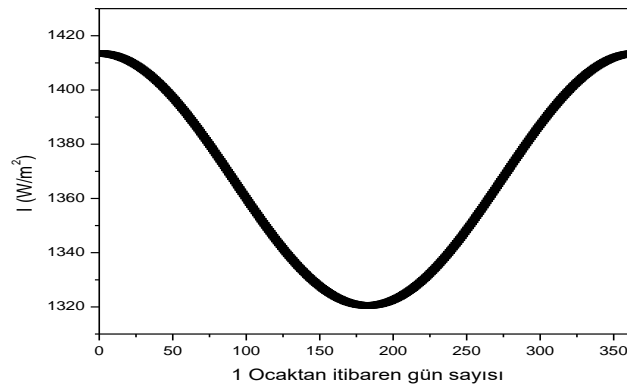
$$\frac{E}{A} = \sigma T^4 = 5,67 \times 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 K^4} \right) \cdot (5777)^4 (K^4) = 6,3 \times 10^7 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (1)$$

olarak hesaplanır.

Dünyamızın hemen dışında (Ekzosferde) $1m^2$ 'lik alana dik olarak gelen enerji miktarı ise farklı gruplarca yapılan hesaplamalarda 1353 ile 1394 W/m^2 arasında değiştiği bulunmuştur. En yaygın şekilde kabul görülen değeri ise 1367 W/m^2 dir. Bu sayıya solar (Güneş) sabiti denir ve I_{sc} sembolü ile verilir. Bu değer atmosfer dışında deneysel olarak bulunmuştur. Aynı zamanda bu değer Dünya Güneş arasındaki uzaklığın değişmesinden dolayı ($1,47 \times 10^{11}$ - $1,52 \times 10^{11}$ m) değişir. I_{sc} sabitinin farklı günlerde aldığı değer

$$I_0 = I_{sc} \left[1 + 0,034 \cos\left(\frac{360 \cdot N}{365,25}\right) \right] \quad (2)$$

ifadesi ile bulunur. Burada N; 1 Ocak'tan itibaren geçen gün sayısıdır (Şubat ayı 28 gün olarak hesaplanmalıdır!). Güneş sabitinin bir yıl içindeki değişimi Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Güneş sabitinin bir yıl içindeki değişimi

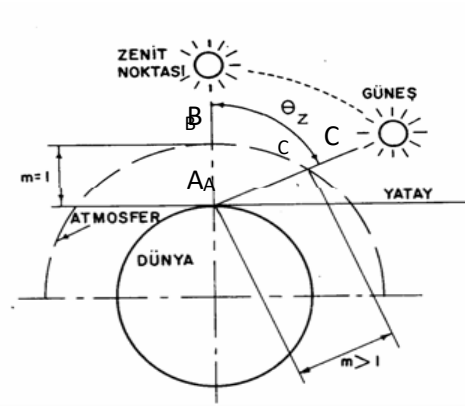
I_0 değeri Ocak ve aralık aylarında en büyük değerine ulaşır.

3.2 Hava Kütle

Hava kütle Dünya yüzeyine ulaşan Güneş ışınım şiddetinin bir ölçüsüdür. Güneş enerjisinden yararlanarak çalışan düzeneklerin hesaplarında ve ölçümlerinde hava kütleinin bilinmesi önemlidir [5,6,8,11]. Hava kütle; Güneş ışınımının atmosferden geçerken izlediği yolun, Güneş ışınlarının yüzeye dik geldiği durumda izleyeceği yola oranına denir ve A.M. (air mass) ile gösterilir. Buna göre hava kütle Şekil 5'deki BAC üçgeninden

$$A. M. = \frac{CA}{BA} \quad (3)$$

olarak verilir.



Şekil 5. Güneş ışınlarının farklı açılarda Dünya yüzeyine gelmesiyle hava kütleinde oluşan değişim

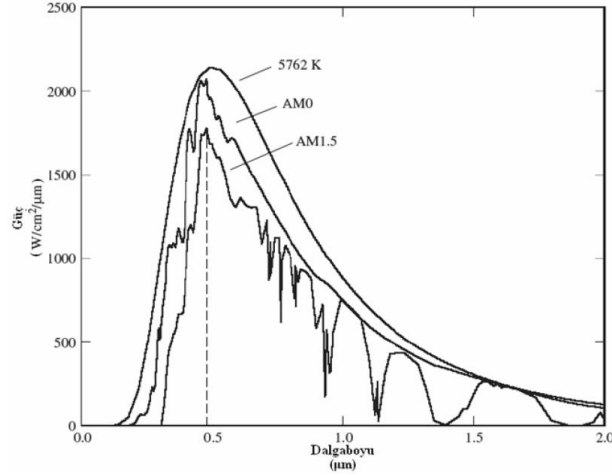
Gelen Güneş ışınlarının Dünya yüzeyin normali ile yaptığı açığa **zenit açısı** denir. BA doğrusu yüzeyin normali ile paralel olduğundan, bu doğrunun AC doğrusuyla yaptığı açı zenit açısı olacaktır. Bu durumda hava kütle zenit açısı cinsinden

$$A. M. = \frac{1}{\cos\theta_z} \quad (4)$$

olarak verilir.

Tüm elektromanyetik ışımalarda olduğu gibi Güneş ışınımı da foton denilen parçacıklardan oluşur. Fotonlar, kaynağın spektral özelliklerine bağlı olarak belli miktarlarda enerji taşırlar. Dünyanın Güneş'e olan uzaklığının büyük olması nedeniyle sadece doğrudan Dünya'ya ulaşan fotonlar Dünya'nın Güneş spektrumunu oluştururlar. Atmosferin tam üstünde ışınım şiddeti ya da diğer adıyla Güneş sabiti yaklaşık 1.353 ile 1.367 kW/m² arasında değişir ve buradaki spektral dağılım Hava Kütle sıfır (air mass zero –A.M.0) olarak geçer.

Dünya yüzeyinde hava kütle numarası her zaman birden büyük ya da bire eşit olmak zorundadır. Güneş gözelerinin performanslarının karşılaştırılmasında, yer yüzeyine düşen Güneş ışınımının dağılımı için standart olarak A.M.1,5 spektrumu kullanılır (Şekil 6). A.M.1,5 spektrumunda toplam güç yoğunluğu $1\text{kW}/\text{m}^2$ olarak hesaplanır.



Şekil 6. Güneş yüzeyindeki ışınımı spektrumu ile AM0 ve AM1.5 spektrumlarının karşılaştırılması

Hava Kütle ölçümleri normal olarak deniz seviyesinde alınır. Uzayda ise hava kütle sıfırdır. Şekil 5'te görüldüğü gibi A noktasının hava kütlesi Güneş B noktasında iken 1 dir. Yüzeyden Z yüksekliğindeki bir yerdeki Hava Kütle ise

$$A.M._z = A.M._0 \frac{P_z}{P_0} \quad (5)$$

olarak verilir. Burada, A.M.0; deniz seviyesindeki hava kütlesi P_z ; z noktasındaki hava basıncı ve P_0 ; deniz seviyesindeki hava basıncıdır. $\theta_z > 80^\circ$ ise A.M. $=\infty$ olur. Bu sorunun ortadan kaldırmak için, 1996 yılında Robinson tarafından bulunan değerler kullanılır [6]. (Tablo 1).

Tablo 1. Yüksek açılarda Hava Kütle değerleri

Açı (derece)	Hava Kütle (A.M.)
80	5,63 kg
85	10,69 kg
86	12,87 kg
87	16,04 kg
88	20,84 kg
89	28,35 kg
90	29,94 kg

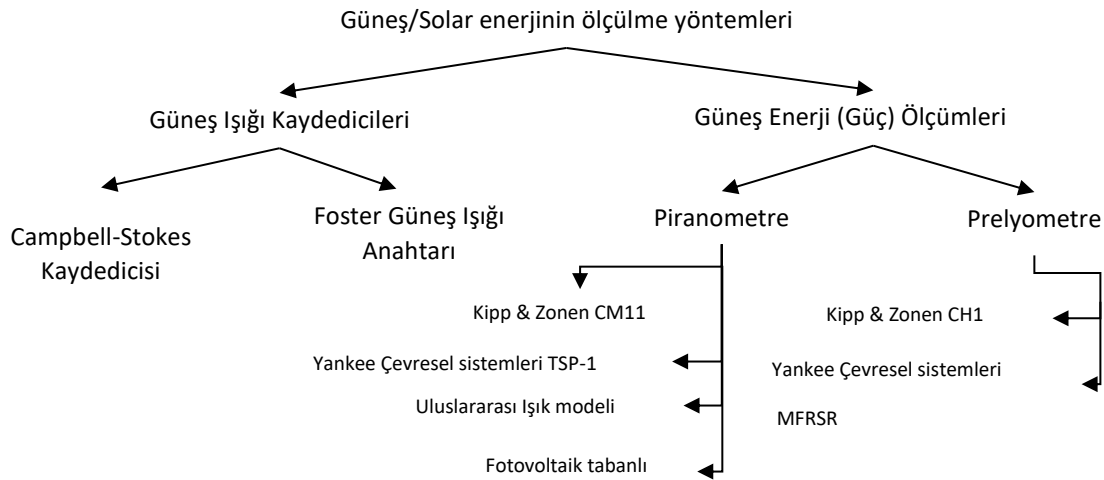
3.3 Güneş Radyasyonun Ölçülmesi

Güneş radyasyonunun ölçülmesi, sistemlerin tasarım, uygulama ve onarım masraflarını minimuma indirmek için önemlidir [5,8,12]. Güneş radyasyonu ölçümlerinde yapılan %20'lik hata. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemlerde %4 ile %20 oranında değişime sebep olur. Bu yüzden bu ölçümler önemli bir parametredir ve bu konuda çalışan 2 bilim dalı oluşmuştur. Bunlar:

- 1) Radyometri; Herhangi bir eğim açısına sahip bir yüzeye düşen doğrudan, yayılma ve toplam Güneş radyasyon miktarını ölçen bilim dalıdır.
- 2) Fotometri; Sadece görünebilir bantta bulunan ışığı ölçen (400nm-700nm) radyometrenin bir alt dalıdır.

Güneş radyasyonunun SI birim sistemindeki birimi W/m^2 dir. Ayrıca aşağıda verildiği gibi başka birim sistemlerine de dönüştürülebilir. $1 \text{ langley/saat} = 1 \text{ kalori}/(\text{cm}^2.\text{saat}) = 11,63 \text{ W/m}^2$

Güneş radyasyonunu ölçen aletleri iki sınıfta toplayabiliriz (Şekil 7);

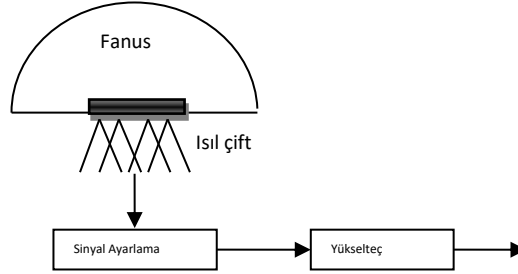


Şekil 7. Güneş enerji ölçüm yöntemlerinin sınıflandırılması

3.4 Güneş/Solar Enerjinin Ölçülmesi

Bu tür sistemler gelen Güneş ışığının birim alanda oluşturduğu gücü ölçerler. Bunu yaparken de gelen ışınların Doğrudan/Işın radyasyonu, Aklık/Yansıyan radyasyon, Dağılma radyasyonu ve Toplam/Global radyasyon olmasına bağlı olarak ayrı ayrı ölçümler alınır. İki farklı sistem vardır. Bunlar; Piranometre (pyranometer) ve Prelyometre (pyrheliometer) dir [5].

Piranometre (pyranometer): Global ve dağılma radyasyonun birim alanda oluşturduğu gücü ölçen alettir. Bir fanus içinde konmuş siyah bir cismin sıcaklığını, altına yerleştirilmiş birden fazla ısı çiftin (termocouple) toplam geriliminin okunması prensibiyle çalışır (Şekil 8).



Şekil 8. Bir piranometrenin şematik gösterimi

Siyah cisim gelen ışık ile ısınır ve bir ısı çift üzerinde birim sıcaklık artışı için yaklaşık $22\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ gerilim oluşturur bu gerilim değeri tabana birden fazla ısı çift konarak artırılabilir. Ölçülen gerilim toplam radyasyon miktarı ile orantılıdır. En çok kullanılan piranometre modeli Kipp&Zonen CM 11 dir (Şekil 9). İçinde 100 ısı çift vardır ve $4-6\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ hassasiyette $305-2800\text{ nm}$ dalga boyu arasındaki ışınların enerjisini ölçer. $0 - 4000\text{ W}/\text{m}^2$ maksimum ölçüm aralığı vardır. En önemli dezavantajı beslemeye ihtiyaç duymasındır.



Şekil 9. Kipp&Zonen CM 11 piranometresi

Bir başka piranometre modeli ise Yankee Çevresel Sistemleri TSP 1 modelidir. Kipp&Zonen modeline benzer ancak bu modelde ısı çift yerine platinyum ince film direnç kullanılır. Bu değişiklikle sistem $3\text{mV}/(\text{W}/\text{m}^2)$ hassasiyetiyle $300 - 3000\text{ nm}$ dalga boyu arasındaki ışınların şiddetini ölçer. Bu sistem de beslemeye ihtiyaç duyar. YESDAS – 2 modeli de TSP1'in bir üst modelidir. Uluslararası Işık IL 1700 modeli ise; Sensörlerle (foto diyot) ışık algılar ve algıladığı ışık miktarınca akım oluşturur. Okunan akım fiziksel hesaplamalarla enerji cinsinden verilir. Bu aletler $10-13\text{ A}$ hassasiyetinde akım okuyabilir. Elektronik alet olduklarından (Şekil 10) beslemeye ihtiyaç duyarlar.



Şekil 10. Yankee çevresel sistemleri TSP 1 piranometresi

IL1400A modeli ise IL 1700 modelin elde taşınır modeldir ve batarya ile çalışır. Yellotsolorimetresi HD9021 modeli ise fotovoltaik pil tabanlı piranometredir. Bu piranometrelerde pil üzerine düşen ışığın oluşturduğu akım ile pilin kısa devre akımı oranlandığında bulunan sonuç Güneş radyasyonu ile doğru orantılıdır.

$$\alpha = \frac{I_{KD}}{I} \quad (6)$$

Bu orantı değerleri Güneş radyasyonu cinsinde ölçeklendirilir. Bu tür piranometrelerin en büyük avantajları ucuz olması sıcaklığa duyarlı olmaması ve harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymamasıdır.

Tüm bu modeller toplam radyasyonu ölçerler. Dağılma radyasyonunu ölçmek için bu aygıtlara gölgelik eklenir (Şekil 11) ve doğrudan radyasyon engellenir. Ancak gölgeliğin konumu Güneş'in hareketi ile birlikte sürekli olarak ayarlanmalıdır. Gölgelik kullanılarak ölçülen dağılan ışın ile gölgelik kullanmadan ölçülen toplam/global radyasyon birbirinden çıkarıldığında doğrudan gelen ışınım radyasyonunu bulmuş oluruz. Bu sistemler eğik düzlemlerin üzerine düşen Güneş radyasyonunun hesaplanmasında kullanılır. Ancak bu aletlerin kalibrasyonu yüzey açısıyla değişir bu yüzden üretici firmalar yüzey açısına göre kalibrasyon tabloları hazırlarlar.



Şekil 11. Yansıma difüz ve doğrudan gelen güneş radyasyonunu ölçüm düzeneği

Prelyometre (pyrheliometer): Bu cihazlar Doğrudan/Işın radyasyonu ölçen alettir. Piranometre ile aynı sisteme sahiptir, ancak; Şekil 12’de görüldüğü gibi sistem uzun bir borunun en altına konmuştur bu yüzden sadece doğrudan gelen ışınları alır. Aynı zamanda Güneş’i takip eden elektronik düzeneği olduğundan ve uzun boru sayesinde dağılan ve yansıyan ışınları bertaraf eder. Dağılan ve yansıyan ışınlar boru içindeki soğurucu yüzey tarafından sensöre gelmeden soğrulacaktır. Bu sistemler, sürekli olarak Güneş ışınlarına paralel kalabilmek için Güneş’i takip etmeleri gerekmektedir.

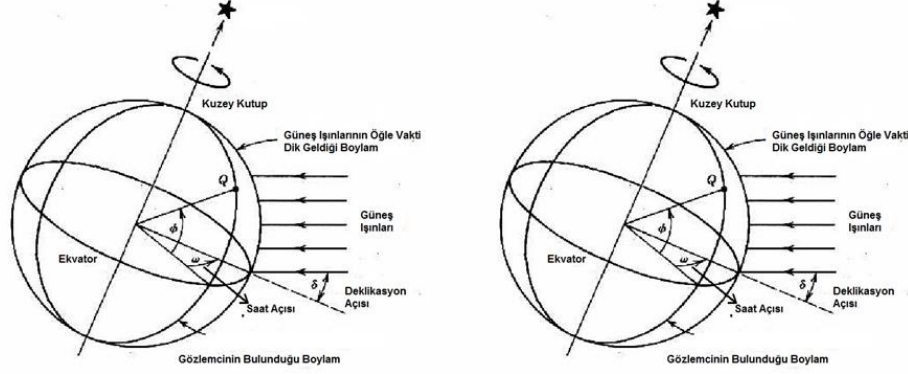


Şekil 12. Prelyometre

3.5 Dünya’nın Geometrik Şekli ve Güneş Işınlarının Dünya Yüzeyinde Yaptığı Açılar

Dünya Güneş etrafındaki bir turunu 1 yıl da (365 gün 5 saat 48 dak. = 365,242 gün) tamamlar ve eliptik eksen ile arasından max. 23,45°’lik açı vardır. Bu açı 1 Ocak’tan itibaren her gün için değişir. Bu nedenle Dünya yüzeyine gelen Güneş ışınları farklı referans noktalarına göre bir dizi açılarla tarif edilir. Bu açıların bilinmesi Güneş’in yeryüzünde belirlenen bir koordinata göre konumu ve ışınım şiddetini hesaplamada önemlidir.

Deklınasyon Açısı (δ); Güneş'ten gelen ışınların öğle vakti ekvator düzlemiyle yaptığı dar açıdır (Şekil 13).



Şekil 13. Dünya yüzeyine gelen Güneş ışınlarının yaptığı deklinasyon ve saat açıları

Bu açı yıl boyunca değişir ve

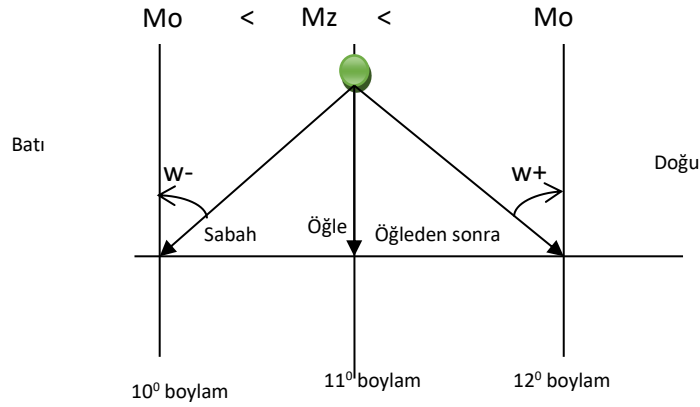
$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (7)$$

ifadesi ile verilir. Burada N; 1 Ocaktan itibaren geçen gün sayısıdır. Örneğin 17 Şubat için $N=31+17=48$ dir. (Şubat ayı 28 gün olarak alınır)

Saat Açısı (w); Güneş ışınlarının, öğle vaktinde bulunduğu boylam ile göz önüne alınan yerin boylamı arasındaki açıdır. Öğle vakti (0), öğleden önce (-), öğleden sonra (+) alınan bir açıdır (Şekil 14).

$$w = 15(t_{Gs} - 12) \quad (8)$$

ifadesi ile verilir. Burada t_{Gs} Güneş saatidir ve aynı anda Dünya'daki farklı konumlar (meridyenler) için değeri farklıdır.



Şekil 14. Güneş'in konumuna göre farklı meridyenlerdeki saat açısının gösterimi

Güneş saati, yerel saatten farklıdır. Güneş saatine göre saat 12, bulunan konumdaki en küçük gölgenin olduğu andır. Oysaki yerel saat belli referans meridyenlerine göre hesaplandığından belli bölgeler içinde (saat dilimleri) gölge uzunluğuna bakılmaksızın her yerde aynıdır. Güneş saatini yerel saatte çevirmek için iki düzeltme yapılması gerekir. Birincisi, gözlemcinin bulunduğu meridyen ile yerel saatin hesaplandığı referans meridyeni arasındaki saat düzeltmesi (her meridyen arası 4 dakikadır). İkincisi, zaman denklemi düzeltmesidir. Bu ise Dünya'nın dönmesindeki zamansal sapmaların gözlemcinin bulunduğu meridyene etkisidir [2,9,10]. Buna göre Güneş saatinin yerel saat ile olan ilişkisi;

$$t_{Gs} = t_{Ys} + \frac{E}{60} \mp \frac{1}{15} (M_z - M_0) \quad (9)$$

olarak verilir. Burada t_{Ys} ; yerel saat (saat), E ; Dünyanın Güneş etrafında hareket ederken ki hızının düzensizliğinden kaynaklanan ve aşağıdaki ifadeyle hesaplanan zaman denklemi düzeltmesi (dakika), M_z ; saat diliminin başladığı meridyen (derece cinsinden), M_0 ; gözlemcinin bulunduğu meridyen (derece cinsinden) dir. Eşitlikteki \pm ise; $M_0 > M_z$ koşulunda (+) $M_0 < M_z$ koşulunda (-) olarak alınır.

$$E = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B)$$

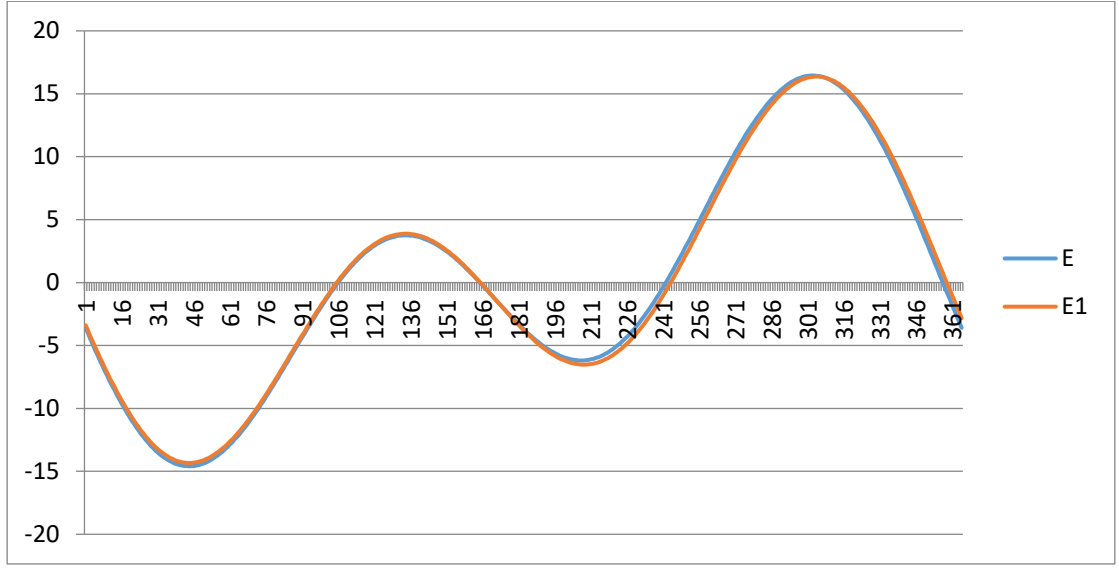
$$B = \frac{360(N-81)}{364} \quad (10)$$

olarak verilir. N ; gün sayısıdır. Farklı kaynaklarda [5, 12, 13]. E değeri için farklı ifadeler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi,

$$E = E1 = 0,258 \cos(x) - 7,416 \sin(x) - 3,648 \cos(2x) - 9,228 \sin(2x)$$

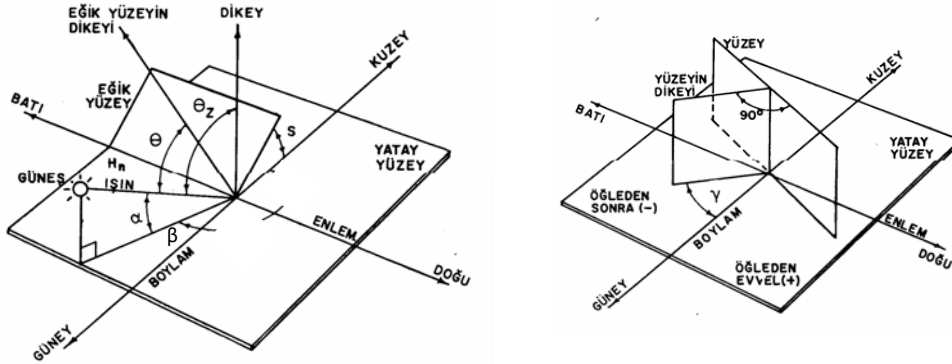
$$x = \frac{360(N-1)}{365,242} \quad (11)$$

olarak verilir. Ancak bu iki eşitlikten E değerleri hesaplanıp gün değerine göre grafiği çizilirse bir fark olmadığı gözükmemektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Farklı kaynaklarca hesaplanmış zaman denklemi düzeltmesi (E) değerlerinin karşılaştırılması

Yükseklik Açısı (α); Güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır. Şekil 16'ya göre $\alpha = 90^\circ - \theta_z$ dir. Buna göre $\sin(\alpha) = \cos(\theta_z)$ olacaktır.



Şekil 16. Güneş ışınlarının Dünya yüzeyinde oluşturduğu açılar

Güneş Azimut Açısı (β); Güneş ışınlarının kuzey güney doğrultusuna göre, saat dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır. Öğleden önce (+) öğleden sonra (-) değerdedir. Bu açı küresel üçgenlerden yararlanılarak;

$$\cos(\beta) = \frac{\sin(\alpha) \sin(\vartheta) - \sin(\delta)}{\cos(\alpha) \cos(\vartheta)} \quad (12)$$

olarak verilir. Gün doğumunda bu açığı bulmak için, yükseklik açısının $\alpha = 0^\circ$ ve $\theta_z=90^\circ$ olduğu unutulmamalıdır.

Yüzey Azimut Açısı (γ); Yatay yüzeye dik yüzey normalinin (dikeyinin), bulunduğu boylama göre sapmasını gösteren açıdır. Güneye bakan yüzeyler için $\gamma = 0^\circ$ olur. Doğuya yönelen yüzeyde (+), batıya yönelen yüzeyde eksi (-) değer alır. Güneş'i takip eden sistemlerde bu açı ile Güneş azimut açısı aynıdır.

Zenit Açısı (θ_z); Güneş ışınları ile yatay yüzeyin dikeyi arasındaki açıdır. Şekil 16'ye göre $\theta_z = 90^\circ - \alpha$ olur.

Enlem Açısı (ϕ); Dünya üzerindeki bir noktayı Dünya merkezine birleştiren yarıçapın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır).

Yüzey Açısı (S); Eğik yüzey ile yatay arasındaki açıdır. Ekvatora yönelen yüzey için artı (+) değer alır (Şekil 16).

Geliş Açısı (θ); Eğik yüzeyin normali ile gelen Güneş ışını arasındaki açıdır (Şekil 16).

Güneye Bakan Eğik Yüzey Geliş Açısı (θ_t); Güneye bakan eğik yüzeyin normali (dikeyi) ile gelen Güneş ışını arasındaki açıdır.

Eğik bir yüzey için geliş açısı (θ) Şekil 16'da görüldüğü gibi birçok açığa bağlıdır. Geliş açısının diğer açılarla ilişkisi;

$$\cos\theta = \sin\phi \cdot \sin\delta \cdot \cos S + \sin\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\gamma \cdot \cos w \cdot \sin S + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos w \cdot \cos S - \cos\phi \cdot \sin\delta \cdot \cos\gamma \cdot \sin S + \cos\delta \cdot \sin\gamma \cdot \sin w \cdot \sin S \quad (13)$$

İfadesi ile verilir. Eğik yüzeyimiz yatay yüzeye (Dünya yüzeyi) dik ise ($S=90^\circ$) eşitlik 13 daha basitçe;

$$\cos\theta = \sin\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\gamma \cdot \cos w - \cos\phi \cdot \sin\delta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \sin\gamma \cdot \sin w \cdot \sin S \quad (14)$$

olarak verilir. Eğik yüzeyimiz hem yatay yüzeye (Dünya yüzeyi) dik ($S=90^\circ$) hem de tam güneye bakıyorsa ($\gamma=0^\circ$) eşitlik 13 daha basitçe;

$$\cos\theta = \cos\theta_t = \sin\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos w - \cos\phi \cdot \sin\delta \quad (15)$$

olarak verilir. Eğik yüzeyimiz yatay yüzeye paralel ($S=0^\circ$) ise $\theta=\theta_z$ olur ve

$$\cos\theta = \cos\theta_z = \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos w \quad (16)$$

olarak verilir. Eğik yüzeyimiz yatay yüzeye $0^\circ < S < 90^\circ$ arasında bir açı yapıyor ve tam güneye bakıyor ise ($\gamma=0^\circ$) eşitlik 13 daha basitçe;

$$\cos\theta = \cos\theta_t = \sin\delta \cdot \sin(\phi - S) + \cos\delta \cdot \cos\omega \cdot \cos(\phi - S) \quad (17)$$

olarak verilir.

Not: Bulduğumuz tüm bu açılar atmosferin olmadığı düşünülerek hesaplanmıştır. Çünkü atmosfer hesaba katılırsa, uzaydan gelen ışınlar atmosfere girerken kırılma değerlerini de hesaba katmak gerekir. Bu ise oldukça karmaşık bir iştir. Bu yüzden atmosfer yokmuş gibi davranılır.

Herhangi bir yerin bir gün içinde Güneş'i görme süresine güneşlenme zamanı denir. güneşlenme zamanı birimi derece (°) veya saat olarak verilir. Ülkemizin meteoroloji istasyonlarında güneşlenme zamanı "heliyograf" adı verilen cihazla ölçülmektedir. Bu cihazla yapılan ölçümler havadaki nemin sonuçları etkilemesi nedeniyle hassas değildir. Günümüzde artık çoğu meteoroloji istasyonlarında güneşlenme zamanı ölçümleri güneş pilleri ile çalışan "solarmetre" adı verilen cihazlarla yapılmaktadır. güneşlenme zamanı, gündoğumu açısı hesaplanarak ta bulunabilir.

Gün doğumu açısını hesaplarırken yüzeyimizi yatay olarak düşünmeli ($S=0^0$) ve Güneş yükseklik açısının da $\alpha=0^0$ olması gerekir. Eğik yüzeyimiz yatay konumda olduğundan yüzey azimut açısı $\gamma = 0$ olarak alabiliriz. Bu durumda zenit açısı $\theta_z=\theta=90^0$ dir. Bu varsayımları eşitlik 14'te yerine koyarsak ve gün doğumu için saat açısının negatif olduğu ($w=-w_{GD}$) göz önüne alındığında gün doğumu saat açısı;

$$w_{GD} = -\cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (18)$$

olarak bulunur. Gün batımı açısı ise aynı koşullar altında zenit açısı $\theta_z=\theta=90^0$ olduğunda gerçekleşir. Gün batımı için saat açısının pozitif olduğu göz önüne alındığında, gün batımı_saat açısı;

$$w_{GB} = \cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (19)$$

olur. Gün doğumu ve gün batımı saat açıları biliniyorsa günlük güneşlenme açısı;

$$w_G = |w_{GD}| + |w_{GB}| = 2 \cdot \cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta) \quad (20)$$

olarak açı cinsinden bulunur. 15^0 , 1 saat'e karşılık geldiğine göre günlük güneşlenme süresi Güneş saati cinsinden;

$$t_{Gsü} = \frac{w_G}{15} = 2 \frac{\cos^{-1}(-\tan\phi \cdot \tan\delta)}{15} \quad (21)$$

olarak bulunur (saat). Bu sürenin tam ortası öğle saati olduğundan gün doğumunu Güneş saati;

$$t_{GD} = 12 - \frac{t_{Gsi}}{2} \quad (22)$$

ve gün batımı Güneş saati;

$$t_{GB} = 12 + \frac{t_{Gsi}}{2} \quad (23)$$

olarak verilir.

3.6 Yatay Yüzeğe Dünya Dışında Dik Gelen Radyasyon Miktarı

Dünya dışında dik bir yüzeğe gelen Güneş ışınları eşitlik 2 ile verilmektedir. Bu ifadeyi hatırlarsak $I_0 = I_{sc} \left[1 + 0,034 \cos\left(\frac{360 \cdot N}{365,25}\right) \right]$ idi. Şekil 17'deki gibi Dünya yüzeyimizdeki bir yüzeğe dik gelen ışınlar ise atmosferdeki kayıpları ihmal edersek;

$$I = I_0 \cos\theta_z \quad (24)$$

olarak verilir. Bu değer bir saniyede yüzeğe gelen ışın miktarıdır. güneşlenme süresince yatay yüzeğe dik olarak gelen ışın miktarı (atmosferdeki kayıpları ihmal edersek) ise;

$$H_0 = \int I \cdot dt \quad (25)$$

ifadesi ile verilir. Burada $t = \frac{180w}{15\pi}$ olarak verilir değişken değiştirilip $w_{GD} = w_{GB}$ dan w_{GD} kadar integral alınırsa;

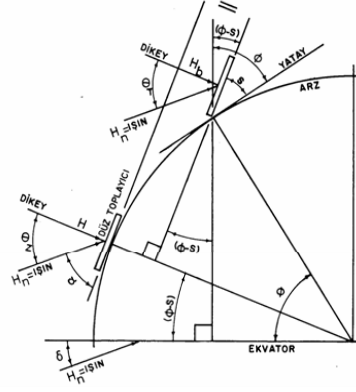
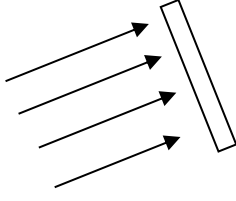
$$H_0 = 3600 \cdot I_{sc} \cdot \left[1 + 0,034 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot N}{365,25}\right) \right] \cdot \frac{24}{\pi} \cdot (\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin w_{GB} + \frac{\pi \cdot w_{GB}}{180} \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta) \quad (26)$$

olur. Burada $I_{sc}=1367 \text{ W/m}^2$, N; gün sayısı ve diğer değişkenler açı cinsinden olmak üzere H_0 'ın birimi J/m^2 olarak verilir. İki saat arasında ($w_1 < w_2$) yatay yüzeğe dik olarak gelen ışın miktarı (atmosferdeki kayıpları ihmal edersek) ise;

$$H_0 = 3600 \cdot I_{sc} \cdot \left[1 + 0,034 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot N}{365,25}\right) \right] \cdot \frac{24}{\pi} \cdot \left[\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin(w_2 - w_1) + \frac{(w_2 - w_1) \cdot \pi}{180} \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta \right] \quad (27)$$

olarak verilir.

Atmosfer dışında dik bir yüzeye gelen ışınlar



Atmosfer ihmal edilerek Dünya yüzeyindeki eğik yüzeylere gelen ışınlar

Şekil 17. Dünya yüzeyinde eğik yüzeylere gelen toplam ışınların hesabı

Güneş enerjisi uygulamalarında en önemli girdilerin başında ışınım şiddetinin ölçme yöntemleri gelir. Işınım meteoroloji istasyonlarında genellikle Aktinograflarla ile ölçülür. (Aktinograf: Meteoroloji istasyonlarında yatay ve güneğe bakan yüzeylerde ışınım şiddetini ölçmekte kullanılan cihazdır.) Ancak bu cihazla yapılan ölçümlerde %50'ye ulaşan hatalar saptanmıştır. Bu yüzden Güneş enerjisi uygulamalarında solarmetre kullanılmaktadır.

Dünya yüzeyindeki ışınım şiddetinin teorik olarak hesaplanabilmesi Güneş enerji sistemlerinden elde edilecek verimi analiz etmek ve yatırım giderlerini karşılayıp karşılamayacağı konusunda bilgi sahibi olmak için önemlidir. Ancak Dünya yüzeyine gelen ışınların çok sayıda meteorolojik ve astronomik parametreye bağlı olmasından dolayı henüz evrensel bir eşitlik çıkarılamamıştır. Bunun yerine fizibilite çalışmalarını yapabilmek için en az 10 yıl boyunca ölçülmüş verilerin istatistiksel sonuçlarından yararlanılmaktadır.

4. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

4.1 Tarihsel Gelişimi

1839'da Paris Doğal Tarih Müzesinde uygulamalı fizik profesörü Alexander Edmond Becquerel platin tabakalar üzerinde yaptığı bilimsel çalışmalar sırasında ilk fotovoltaiik etkiyi saptamıştır [19]. Daha sonra Becquerel'n yaptığı çalışmaların ışığında 1873'te Willoughby Smith yaptığı çalışmada Selenyum maddesinin fotoiletken bir yapıda olduğunu bulmuştur. Bu olay 1876'da William Grylls Adams ve Richard Evans Day'in ilk katı hal fotovoltaiik cihazı Selenyumdan üretmesinde etkili olmuştur. 1883'te Charles Fritts selenyum kullanarak ilk kullanışlı Güneş pilini yapmıştır. Ancak bu pilin verimi yüzde 1 dolaylarındadır.

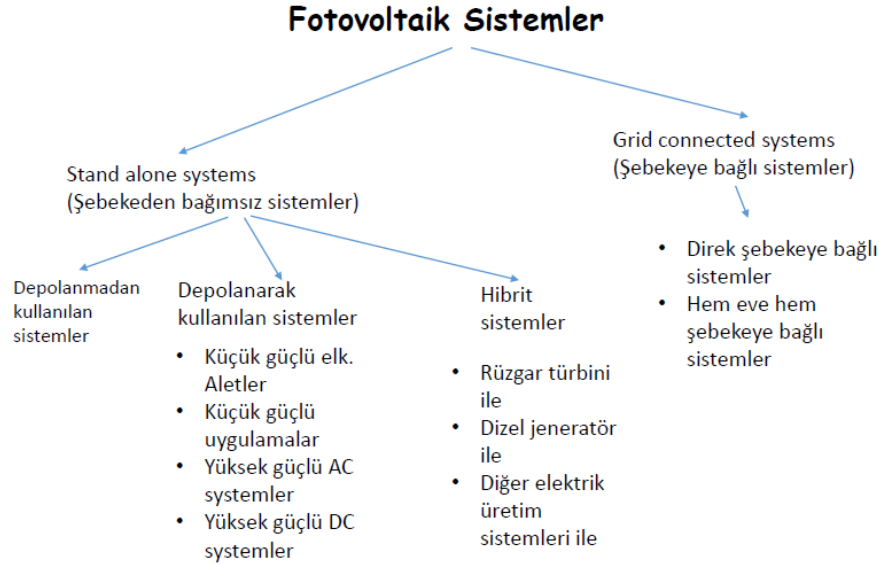
Güneş hücrelerinin ticari bir ürün olarak kullanılması, 1931 yılında Bergmann'ın Selenyum Güneş hücresi üzerine yaptığı çalışmalar ile başlamıştır [11,19]. 1940'lı yıllarda P-N eklemine üretilmesi ile Güneş hücrelerine olan ilgi hızla artmıştır. Aynı zamanda P-N eklem transistörler ve entegre devreler üretilerek elektronik aygıtlar yeni bir boyut kazanmıştır. Güneş gözelerinin teknolojik aygıtlarda kullanılmaya başlanmasıyla, 1950'li yıllarda yüksek kaliteli silikon tabakalarının üretilmesi sağlanmıştır. Bu tabakalardan üretilen silikon Güneş hücrelerinin verimi yükselerek basit teknolojik cihazları beslemeye yetecek çıkış gücüne ulaşmıştır.

1954 yılında Amerika Bell laboratuvarında çalışan Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson isimli üç arkadaş laboratuvardaki telefon sisteminin güç beslemesini Güneş enerjisi ile sağlamak istemiş ancak Selenyum Güneş hücrelerinin veriminin %0,5 olmasından ilk denemelerde başarısız olmuşlardır. Kimyacı olan Fuller yaptığı çalışmalarda silikonu kontrollü bir şekilde katkılanmış ve bu yeni ürünün daha iyi iletken olduğunu görmüştür. Aynı zamanda katkılanmış Silikon ile yapılan P-N eklem Güneş hücrelerinin veriminin de arttığı görülmüş ve zaman içinde yapılan araştırmalar ile %6 verimli silikon P-N eklem Güneş hücreleri elde edilmiştir. Bu olay Güneş hücresi tarihinde devrimsel bir sonuçtur ve Bell laboratuvarında çalışan bu üç arkadaşın çalışmaları fotovoltaiik teknolojisinde ve sanayisinde bir dönüm noktası olmuştur [11,20].

1950'li yıllardan bu yana giderek büyüyen ve gelişen Güneş pili teknolojisi bugün kullandığımız fosil kaynaklı yakıtlara bir alternatif oluşturmaktadır. 1960'lı yıllarda uzay araştırmalarında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte büyük sıçrama yapan Güneş pili teknolojisinde, bu yıllarda Ar-Ge çalışmaları büyük hız kazanmıştır. 1973 yılındaki petrol kriziyle birlikte Güneş pilleri tüm Dünya'da alternatif enerji kaynağı olarak cazibe kazanmaya başlamıştır. Kriz döneminde kısa süreli yapılan mali teşviklerle birlikte Güneş pilleri, güç üretim sistemleri arasında yerini almıştır. Güneş pilleri ilk olarak,

hesap makineleri ve kol saatleri gibi küçük uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. 1980'li yıllarda silikon Güneş pillerinin verimliliğini artırmak için araştırmalar çeşitli teşviklerle desteklenmiş ve 1985 yılında %20 verimlilik sağlanmıştır. Bu verim oranı Güneş pilinin gelişimi için dönüm noktası olmuştur. Sonraki 10 yıl içinde Güneş pili üretim pazarı %15-%20 oranında büyük ve istikrarlı bir gelişme göstermiş ve 1997 yılından bu yana %38 büyümeye kaydedilmiştir [11,21].

Günümüzde Güneş hücreleri kullanılarak yapılan fotovoltaik modüllerin (Güneş pilleri) temelde, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki farklı uygulaması vardır (Şekil 18). Bu uygulamalar; küçük güçlü elektrik cihazlarının çalıştırılmasında, elektrik enerjisinin ulaştırılmadığı yerlerdeki ölçüm istasyonları ve uyarı sistemlerinde, uzay çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 18. Fotovoltaik sistemlerin kullanım alanları

4.2 Güneş Enerjisi ve Geleceği

Güneş enerjisi son on yılda enerji analisti tahminlerini geride bırakarak tüm teknolojik gelişmelerle birlikte yükselişe geçti. 2019 yılından itibaren Dünya çapında 638 GW'lık Güneş enerjisi santrali kuruldu. Kömür, petrol ve doğalgaz da dahil olmak üzere diğer tüm enerji kaynaklarının kurulu kapasitesini geride bıraktı.

Güneş enerjisine hızlı geçiş, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan etkileyici kamu ve özel yatırımlarından kaynaklanmaktadır. Kurumlar ve bireyler geleceğin yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğunu anlamışlardır. Yapılan yatırımlar, 2010 yılından bu yana Güneş enerjisi sistemlerinin maliyetlerini %80'in üzerinde düşürmüştür.

Bu hızlı yükselişe rağmen, Güneş enerjisinin geliştirilmeye açık pek çok yönü bulunmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Dünya Enerji Görünümündeki Güneş ve diğer yenilenebilir enerji projeksiyonlarını artırsa da yenilenebilir enerji büyümesi fosil yakıtları değiştirmek yerine, tamamlayıcı olarak görünmektedir. Mevcut ulusal ve uluslararası politikalar uyarınca, IEA Güneş PV üretiminde büyük artışlar öngörmektedir. Ancak, "belirtilen politika" tahminleri aynı zamanda fosil yakıtlar (özellikle doğal gaz) için büyümenin devam ettiğini göstermektedir [22].

Güneş enerjisinin, 2050 yılına kadar Dünya'daki elektrik ihtiyacının yaklaşık dörtte birini oluşturması öngörülmektedir. Tüm enerji kaynaklarının %11'inin Güneş enerjisi ile üretilmesi, ev ve iş yerlerinde kullanılması hedeflenirken, %11'inin yoğun nüfuslu şehir ve bölgelerde elektrik ihtiyacı merkezi Güneş enerjisi santralleri tarafından üretilmesi beklenmektedir [23].

4.3 Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Güneş enerjisi, Güneş ışınlarından elde edilen güçlü bir enerji kaynağıdır. Güneş ışınları, Güneş panelleri aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülür.

Güneş'ten bir saat boyunca elde edilen enerjinin bir yıl boyunca küresel enerji ihtiyacını karşılayabilmekteyken Dünya'ya gelen bu enerjinin yalnızca yüzde 0,001'i kullanılabilir. [24]

Yenilenebilir enerji kaynaklarından bahsederken Güneş enerjisinin popüler bir konu haline gelmesinin bir nedeni daha bulunmaktadır. Yatırımın pahalı ya da çok verimli olmadığı dönemlerden, yatırımın ucuzladığı ve verimliliğinin arttığı dönemlere geçilmiştir.

Gittikçe artan taleplerin yatırım maliyetlerini düşürmesinin yanı sıra çeşitli teknolojik yenilikler sayesinde panel teknolojisi önemli ölçüde iyileşirken Güneş enerjisi depolama sistemleri sayesinde de Güneş enerjisi çok daha verimli ve temiz enerji kaynağı haline gelmiştir.

Güneş enerjisinin avantajları arasında yenilenebilir enerji kaynağı olması başta gelir. Dünyanın her yerinde, her gün kullanılabilmesi Güneş'i diğer enerji kaynaklarından farklı kılmaktadır. Bazı bilim insanlarına göre Güneş ışığından en az 5 milyar yıl daha yararlanılabileceği gerçeği savunulmaktadır. Bununla birlikte enerji ihtiyaçlarımızın bir kısmını Güneş panelleri aracılığı ile üretilen enerji ile karşılayacağımız için enerji faturalarının tutarları da değişecektir. Kullanılan enerjinin yanı sıra kullanımdan fazla

üretilen enerji de çeşitli kurumlara satılarak bir gelir getirisi olarak da yaşantımıza fayda sağlamaktadır.

Günlük yaşantımızda pek çok kullanım alanı sunan Güneş enerjisi elektrik veya ısı üretimiyle birlikte elektrik dağıtım şebekesine erişimi olmayan alanlarda elektrik üretmek, temiz suya erişimi kısıtlı olan bölgelerde su arıtma sistemlerini çalıştırmak ve uzayda uyduları çalıştırmak için de kullanılmaktadır.

Çok fazla bakım maliyeti gerektirmeyen Güneş enerji sistemleri nispeten temiz tutulması bakım maliyetlerini de düşürmektedir. Bu sebeple diğer enerji kaynaklarından öne çıkmaktadır. Güneş paneli üreticileri ürünlerine ortalama 20-25 yıl arasında garanti süresi vermektedir. Ayrıca hareketli parça olmadığından aşınma ve yıpranma az olmaktadır. Sistem içerisinde kullanılan inverter ve kablolar gibi diğer elemanlar da sık sık değişime tabii olmadığından yıllar bazında oranlandığında maliyet oldukça düşmektedir.

Güneş enerjisinin dezavantajları arasında ilk sırada kurulum maliyetleri gelir. Güneş panelleri, inverter, akü, kablolar ve kurulum için yapılan tüm harcamalar toplamı, yıllar içerisinde yaşanacak teknolojik gelişmelere karşılık yapılacak geliştirme faaliyetleri kurulum aşamasında yüksek maliyetler doğurabilir. Bununla birlikte enerji üretim miktarının hava durumuna bağımlı olması Güneş enerji sistemlerinin dezavantajlarına eklenti yapmaktadır.

Güneş panelleri, Güneş enerjisini etkin bir şekilde toplamak için Güneş ışığına ihtiyaç duyduğundan birkaç bulutlu ve yağmurlu günün enerji sistemi üzerinde gözle görülür bir olumsuz etkisi olabilmesinin yanı sıra gece boyunca Güneş enerjisinin toplanamayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Güneş enerjisi sistemlerinde enerji üretimi kolay olmasına karşılık verimli depolanması oldukça pahalıdır. Üretilen enerji hemen kullanılmalı ya da enerji kesintisi durumları ile gece boyunca kullanılması gereken ortamlarda gün boyu üretilen enerji büyük kapasiteli akülerde depolanmalıdır. Kapasitesi büyük ve ileri teknolojik akülerin Güneş enerji sistemlerine dahil edilmesi kurulum ve bakım maliyetlerinde önemli artışa sebep olabilmektedir.

Üretilmesi istenen enerji miktarı panel gücü ve panel sayısı ile doğru orantılıdır. Bu orantının sağlanabilmesi ise geniş alanlara yapılacak kurulumlarla mümkündür. Eğer kapalı bir otopark oluşturmak gibi bir plan yapılmıyorsa çok büyük arazilerde kurulum yapmaktan başka bir seçenek kalmamaktadır. Güneş enerji sistemlerinin dezavantajlarına son olarak çevresel kirlilik eklenebilir. Güneş panellerinin üretimi

sorasında canlı yaşamını riske atmayacak kadar da olsa çevreyi dolaylı olarak etkileyecek bazı toksik maddeler ve tehlikeli maddeler kullanılmaktadır.

4.4 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneş enerjisi sistemleri gelişen teknoloji ile hayatımızın pek çok alanında bulunan ve yakın gelecekte de neredeyse tüm yüzeylere kaplanabilecek Güneş enerjisi panelleriyle hayatımızın her alanında yer alacaklardır.

Özellikle sanayi bölgelerinde bulunan işletmelerin arazileri ve fabrikaların çatılarının üzerine yapılan Güneş enerji sistemleri artık çok sık rastlanan santrallerdir. Aynı şekilde elektrik enerjisinin hatlar ile taşınmadığı yerlere kurulan Güneş enerji sistemleri ile enerji üretimi oldukça yaygınlaşmıştır. Tarımsal sulama sistemlerinin enerjisi pek çok alanda Güneş enerji sistemleri ile sağlanmaktadır. Fayda – maliyet analizi yapıldığında evlerin sıcak su üretiminde yine Güneş enerji sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneşlenme süresinin uzun, iklimin ılıman olduğu bölgelerde Güneş panelleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilip, seralarda yetiştirilen meyve ve sebzeleri ısıtmakta yine güneş enerji sistemleri kullanılır. Pek çok trafik işareti ve lambalarının gece çalıştırılabilmesi için Güneş panelleri ile sistemde bulunan aküleri gün boyu şarj edilir ve hava karardıktan sonra trafiği rahatlatmakta, kaza riskini en aza indirmekte yardımcı eleman olarak kullanılır.

Güneş enerjisi ile çalışan ilk makine 1878'de Fransa'da bir sergide gösteri amaçlı denenen bir baskı makinesidir [18]. Güneş ışınları bir su kazanına odaklanarak su buharı elde edilmiş, su buharı da buhar türbinini çalıştırmakta, buhar türbinini yardımıyla da matbaa makinesi çalıştırılmıştır. Güneş makinesi adı verilen bu ısı makineleri özellikle tarımda ve su pompalama işlemlerinde kullanılmıştır.

Günümüzde, Güneş ısı uygulamalarında kullanılan düzeneklerden bazıları;

- Güneş toplayıcıları (düzlemsel, parabolik ve silindirik)
- Güneş pişiricileri
- Güneş fırınları
- Güneş santralleri
- Güneş ile su damıtma sistemleri
- Güneş ile kurutma sistemleri
- Güneş evleri ve seraları

- Güneş havuzları
- Isı depolama sistemleri olmaktadır.

Bu sistem ve cihazlar yardımıyla Güneş ısı uygulamaları yapılmaktadır. Bu uygulamaların başlıcaları:

- Su ısıtma (ev ve sanayi amaçlı)
- Hacim ısıtma (ev, iş merkezi gibi benzeri yapıların ısıtılması)
- Soğutma
- Isıl-kimyasal işlemler
- Kurutma (tarım ürünleri, balık gibi)
- Arıtma (Deniz suyunda içme suyu elde etme gibi)
- Elektrik enerjisi elde etme
- Yemek pişirme
- Su pompalama
- Yüzme havuzu ısıtma
- Hidrojen gazı elde etme
- Güneş seraları

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan teknolojilerden biride, Güneş hücreleridir. Güneş hücreleri (fotovoltaik piller, Güneş gözesi, Güneş pili), yüzeylerine gelen Güneş ışığını fotovoltaik etki sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektronik aygıtlardır. Genel olarak üzerine ışık düşürüldüğü zaman iki elektrot arasında potansiyel farkın ortaya çıkması olarak tanımlanabilir. Pratik olarak Güneş hücreleri yarıiletken malzemelerden üretilen bir P-N ekleminden oluşur.

4.5 Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi

IEA'nın verilerine ve hedeflerine bakıldığında 2050 yılında CO₂ salınımını sıfıra indirmek ve enerji talebin büyük bir kısmını yenilenebilir enerjiden karşılayabilmek için zorlu bir süreç beklenmektedir. Ancak şimdiki zaman ile 2030 yılları arasında yenilenebilir enerjiler, elektrikli araçlar ve enerji verimli bina güçlendirmeleri gibi mevcut tüm temiz enerji teknolojilerinin büyük çapta hayatımıza geçirilmesi gerekmektedir. Devam eden süreçte 2035 yılına kadar yeni içten yanmalı motorlu binek otomobil satışlarının durdurulması ve 2040 yılına kadar tüm azaltılmamış kömür ve

petrol santrallerinin aşamalı olarak durdurulması gibi adımlar gerekmektedir. 2050'de küresel enerji sektörünün, büyük ölçüde yenilenebilir kaynaklara dayalı olması beklenirken ve Güneş enerjisi en büyük arz kaynağı olacaktır. Bu daha temiz ve daha sağlıklı bir geleceğe ulaşabilmek için tek seçenek haline gelecektir.

Yenilenebilir enerji sektörünün gelişebilmesi için yatırımcılara devlet desteği sağlanmalıdır. Ülkelerde gerçekleştirilen teşvik politikaları, yatırım riski taşımaktadır. Hareketli politika ve süreksizliğe sahip yatırımcılar bakımından yetersiz teşvik sorunları ortaya çıkabilecektir. Bu sebeple de yatırımcıların yenilenebilir enerji alanında yatırım yapma isteksizliği doğabilecektir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji projeleri durdurulup rafa kaldırılabilir. Bu nedenle sektörel durgunluk oluşabilir ki Hollanda'da bu durum yaşanmıştır [24].

Yenilenebilir Enerji Yatırımcıları Derneği GÜYAD'ın yayınladığı 2021 yılı Mart ayı sonundaki birincil kaynak verilere göre elektrik enerjisi üretimi 2020 ve 2021 Mart sonu verileri kıyaslandığında yüzdeler sıralamanın değişmediği görülmektedir. Fakat üretim yüzdelerine baktığımızda hidro ve İthal kömür kaynaklı üretimlerin yüzdelerinin azaldığı; linyit, doğal gaz ve yenilenebilir kaynaklardan üretim yüzdelerinin arttığı sonucuna varılabilmektedir.

Tablo 2. GÜYAD Birincil Kaynaklara Göre Elektrik Enerjisi Üretimi 2020 ve 2021 Mart Verileri

Kaynaklar	2020 Yılı Mart Ayı Sonu Üretimler (Gwh)	2021 Yılı Mart Ayı Sonu Üretimler (Gwh)
Sıvı Yakıtlar	0,19%	0,10%
Taşkömürü	0,77%	1,29%
Linyit	11,94%	12,54%
İthal Kömür	21,48%	19,37%
Doğal Gaz	19,33%	29,03%
Hidro	29,06%	18,26%
Jeotermal	3,22%	3,33%
Rüzgâr	8,95%	9,64%
Güneş	2,67%	3,61%
Atık ve Çöp	1,66%	2,07%
Diğer	0,73%	0,03%

2021 yılı Mart ayı sonu itibariyle ülkemizin birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi üretimi kurulu gücü verileri incelendiğinde ilk üç sırada hidro, doğal gaz ve yenilenebilir yer almaktadır. 2021 yılı Mart ayı sonu toplam elektrik enerjisi üretimi:

79.341 GWh olmuştur. 2021 yılı Mart ayı sonu toplam elektrik enerjisi kurulu güç: 96.768 MW olmuştur.

Tablo 3.Mart Ayı Sonu İtibariyle Ülkemizin Birincil Kaynaklara Göre Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kurulu Güç Gelişimi

Kaynaklar	2020 Yılı Mart Ayı Sonu Üretimler (Gwh)	2021 Yılı Mart Ayı Sonu Üretimler (Gwh)	Artış (%)	2020 Yılı Mart Ayı Sonu Kurulu Güç (Gwh)	2021 Yılı Mart Ayı Sonu Kurulu Güç (Gwh)	Artış (%)
Sıvı Yakıtlar	78	80	1,92%	314	314	0,00%
Taşkömürü	591	1.030	74,20%	811	811	0,00%
Linyit	9.157	9.952	8,68%	10.101	10.120	0,19%
İthal Kömür	16.477	15.370	-6,72%	8.967	8.987	0,22%
Asfaltit	631	590	-6,50%	405	405	0,00%
Doğal Gaz	14.829	23.031	55,31%	25.667	25.693	0,10%
Hidro	22.291	14.491	-34,99%	28.543	31.200	9,31%
Jeotermal	2.471	2.645	7,04%	1.515	1.624	7,19%
Rüzgâr	6.863	7.649	11,45%	7.762	9.192	18,42%
Güneş	2.046	2.864	39,98%	6.105	6.906	13,12%
Atık ve Çöp	1.276	1.640	28,53%	1.181	1.516	28,37%
TOPLAM	76.710	79.342	3,43%	91.371	96.768	5,91%

Kurulu güç verileri yüzdeler olarak incelendiğinde ve 2020 verileri ile kıyaslandığında verilerdeki değişimin çok az olduğu görülmektedir. Ayrıca kurulu güçlerin 2021 Mart sonu kaynak bazında ilk beş sıralaması şu şekilde karşımıza çıkmaktadır: Hidro (31,24), doğal gaz (26,55), yenilenebilir (jeotermal, rüzgâr, Güneş ve atık ve çöp) (19,88), linyit (10,45) ve ithal kömür (9,29) değerlerindedir. Güneş enerjisinin 2021 Yılı Mart ayı sonu itibariyle üretilen toplam elektrik enerjisi içindeki payı %3,61 olmuştur. Güneş enerjisinin 2021 Yılı Mart ayı sonu itibariyle kurulu gücü toplam elektrik enerjisi içindeki payı %7,14 olmuştur.

Tablo 4. Güneş Enerjisi Üretim ve Kurulu Güç Oranları

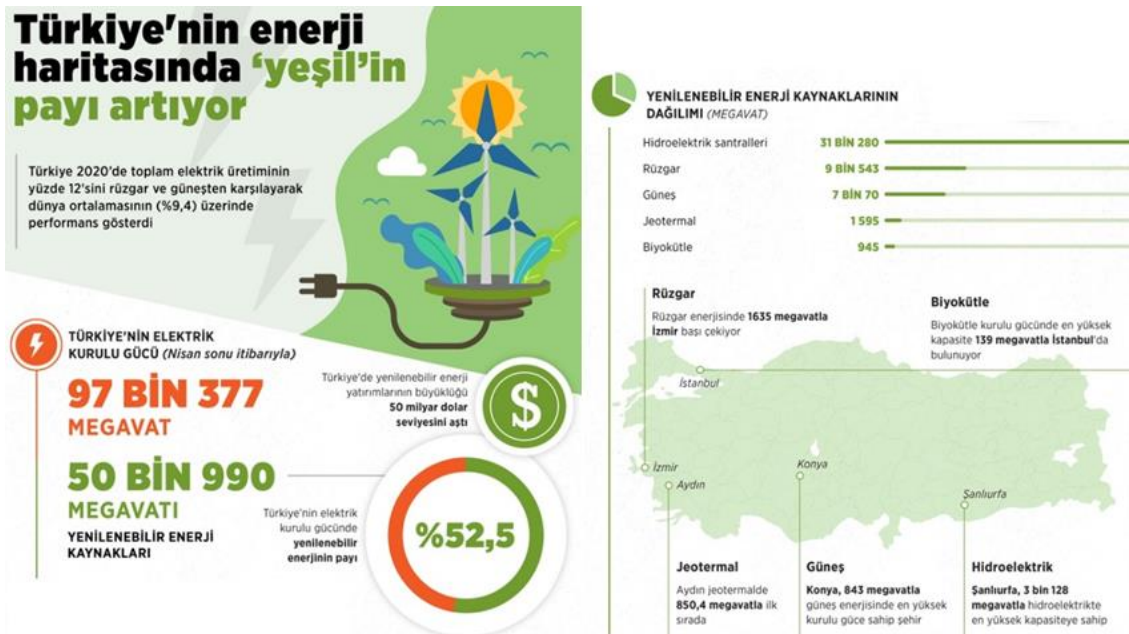
2021	ÜRETİM (Gwh)	KURULU GÜÇ (MW)
Güneş	2,864,2	6.906
Toplam	79,341,3	96.768
%	3,61	7,14

Güneş enerjisinin 2020 yılı itibariyle üretilen toplam elektrik enerjisi içindeki payına aylara göre bakıldığında; Güneş enerjisinin üretilen toplam elektrik enerjisi içindeki payını 2020 ve 2021 yılı Mart aylarına göre kıyaslandığında %3,6'dan %4,04'e yükseldiği görülmektedir.

Tablo 5. Ülkemizde Üretilen Güneş Enerjisi ve Payı [25]

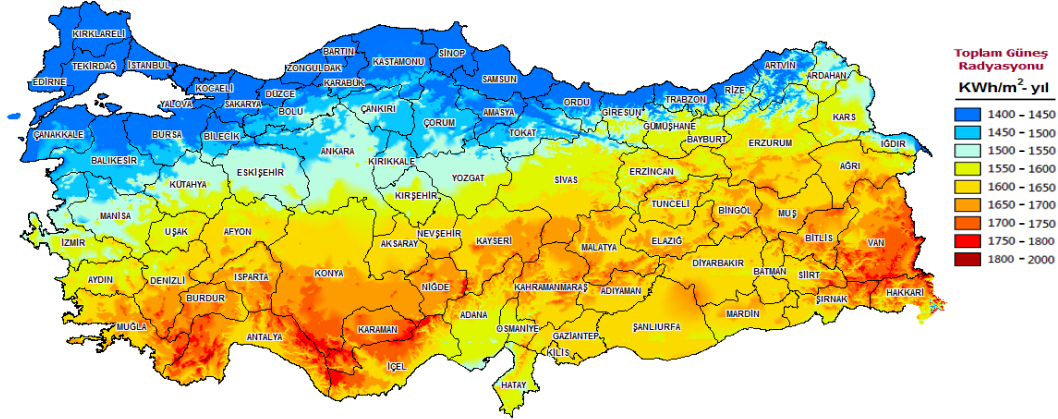
ÜLKEMİZDE ÜRETİLEN GÜNEŞ ENERJİSİ VE TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYLARI													
2020 YILI	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIZ	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM ÜRETİM (GWh)
GÜNEŞ	548,0	609,0	888,7	1.070,8	1.217,8	1.230,6	1.332,5	1.313,0	1.160,0	1.010,0	774,1	565,0	11.718,7
TOPLAM	27.077,1	24.929,0	24.703,4	20.341,4	20.892,4	23.624,8	28.776,9	28.932,3	27.643,1	25.446,3	25.702,9	27.361,8	305.431,4
%	2,02	2,44	3,60	5,26	5,83	5,21	4,63	4,54	4,20	3,97	3,01	2,03	3,84
* 2020 yılı değerleri geçici olup lisanssız üretimler dahildir.													
2021 YILI	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIZ	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM ÜRETİM (GWh)
GÜNEŞ	744,3	994,1	1.125,8										2.864,2
TOPLAM	27.018,5	24.443,7	27.879,1										79.341,4
%	2,75	4,07	4,04										3,61
* 2021 yılı değerleri geçici olup lisanssız üretimler dahildir.													

Anadolu Ajansı'nın 21 Haziran 2021 tarihli haberine göre Türkiye'nin Güneş enerjisinde kurulu gücü 6450 MW'lık kısmı lisanssız, 620 MW'lık kısmı ise lisanslı olmak üzere toplam 7070 MW seviyesinde bulunmaktadır. Bu kapasitenin 843 MW'lık kısmına sahip Konya, Güneş enerjisinde en yüksek kurulu güce sahip şehir olarak ilk sırada yer almıştır. Türkiye'de dağıtık elektrik gücünün en belirgin örneği olarak değerlendirilen Güneş enerjisinde Ankara 383,8 MW, Şanlıurfa 370 MW, Kayseri 333 MW, İzmir 291 MW, Afyonkarahisar 244,6 MW, Kahramanmaraş 232 MW, Manisa 217 MW, Mersin 201 MW ve Denizli 194 MW kurulu güç bulunmaktadır [26]. Türkiye'nin Güneş enerjisinde kurulu gücü şekil 19'da sunulmuştur.



Şekil 19. Türkiye'nin Güneş enerjisinde kurulu gücü [26]

Türkiye 36 / 42° enlemlerinde yer almakta ve “Güneş Kuşağı” olarak adlandırılan -40° / 40° enlemlerinin arasında bulunmaktadır. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu Güneş enerjisi potansiyeli ile birçok ülkeye göre daha şanslı durumdadır (Şekil 20).



Şekil 20. Türkiye'nin Güneş haritası

Güneş'ten Dünya'ya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede Dünya'ya gelen Güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1,7 katıdır. Türkiye üzerinde bir yılda düşen Güneş enerjisi yaklaşık $3,517 \times 10^{15}$ MJ kadardır (1,527 kWh/m². yıl) [4,14,15].

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMI) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük ortalama 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kW/m²-yıl (günlük ortalama 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [16].

Günümüzde ülkemizde enerji faaliyetlerini düzenleyen kurum T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Enerji İşleri Genel Müdürlüğüdür. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2018-2019 yılları arasında hazırladığı yeni GEPA verilerine göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen Güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir [15].

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün yaptığı ölçümlerde ülkemiz üzerine düşen Güneş ışınlarının aylık değerleri ve güneşlenme süreleri Tablo 'da bölgelere düşen Güneş ışınlarının aylık değerleri ve güneşlenme süreleri ise Tablo 'de verilmiştir [8,16].

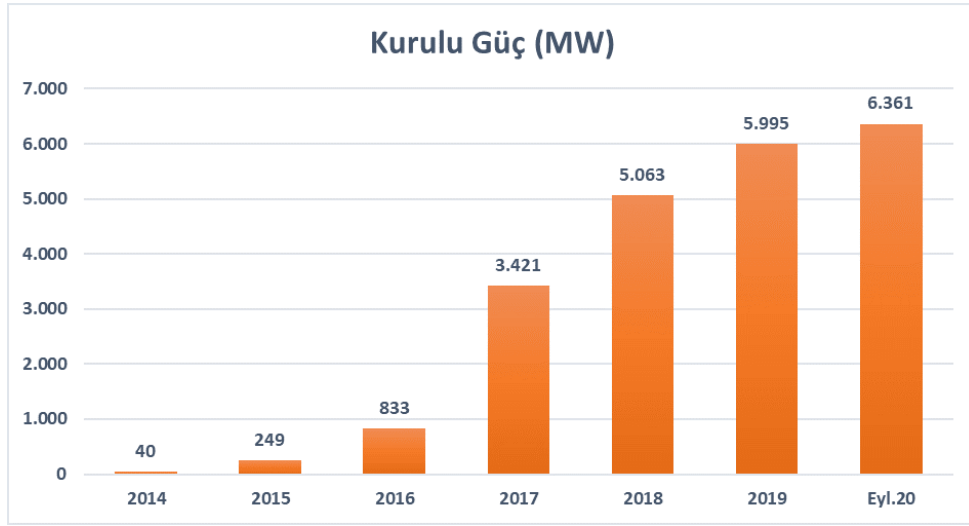
Tablo 6. Türkiye Üzerine Düşen Güneş Işınlarnın Aylık Değerleri ve Güneşlenme Süreleri

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	Saat/ay
OCAK	4.45	51.75	103.0
ŞUBAT	5.44	63.27	115.0
MART	8.31	96.65	165.0
NİSAN	10.51	122.23	197.0
MAYIS	13.23	153.86	273.0
HAZİRAN	14.51	168.75	325.0
TEMMUZ	15.08	175.38	365.0
AĞUSTOS	13.62	158.40	343.0
EYLÜL	10.60	123.28	280.0
EKİM	7.73	89.90	214.0
KASIM	5.23	60.82	157.0
ARALIK	4.03	46.87	103.0
TOPLAM	112.74	1311	2640
ORTALAMA	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Tablo 7. Türkiye'de Bölgelere Düşen Güneş Işınlarnın Aylık Değerleri ve Güneşlenme Süreleri

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

Enerji işleri genel müdürlüğünün verilerine göre ülkemizde 2020 yılının ilk dokuz ayında Güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 6361 MW olup yıllara göre kurulu güç değişimi Şekil 21'de yer almaktadır [17].



Şekil 21. 2014-2020 Yılları Güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu güç

Şekil 21’de görüldüğü gibi ülkemizde Güneş’ten elektrik üretimi 2014 yılında başlayarak hızla artmış ve yeni yapılan yatırımlarla 6 yıl içinde %15800’lik artış göstermiştir. 20/03/2017 tarihinde gerçekleştirilen Karapınar Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) yarışması (YEKA GES1) Yurt İçinde Üretim Karşılığı Tahsis (YÜKT) yöntemine göre gerçekleştirilmiş olup yarışmada en düşük teklifi (6,99 ABD Doları-cent/kWh) vererek kazanan Kalyon Güneş Teknolojileri Üretim Anonim Şirketi ile 15/09/2017 tarihinde YEKA Kullanım Hakkı Sözleşmesini imzalamıştır.

Şirket tarafından Başkent OSB’nde 500 MWp/yıl kapasiteli Türkiye’nin ve bölgenin en büyük ve entegre ilk Güneş Paneli Üretim Fabrikası kurulmuştur. Fabrika’da; silikon ingot, wafer, Güneş hücresi ve Güneş modülü üretimlerinin tamamı birlikte gerçekleştirilmektedir. Fabrika’da üretilen fotovoltaik Güneş modüllerinin toplam yerli katkı oranı bugün itibariyle %76,42’dir. Fabrika ile entegre bir şekilde kurulan AR-GE Merkezi’nde de faaliyetlere başlanılmıştır. AR-GE Merkezi’nde de en az 5 konuda 10 yıl süreyle Güneş enerjisi teknolojileri konusunda AR-GE faaliyetleri yürütülecektir.

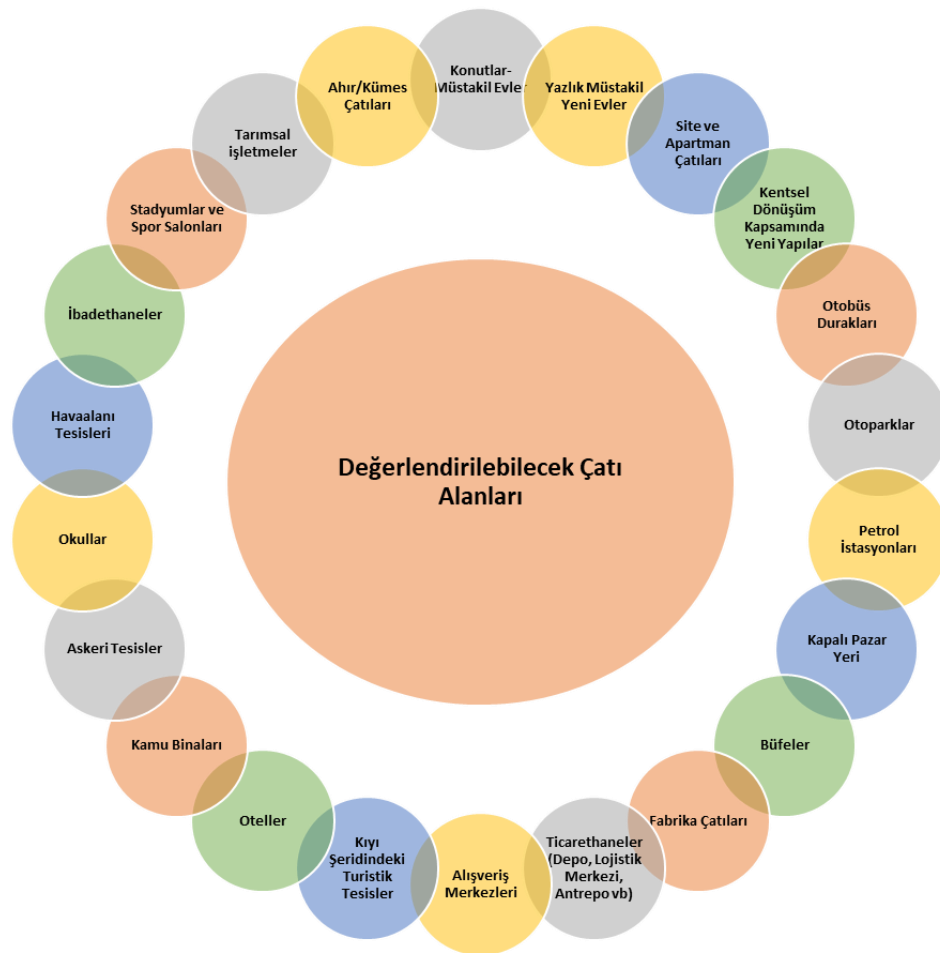
YEKA Yönetmeliği kapsamında ilk elektrik enerjisi üretim tesisinin kurulumu Konya / Karapınar’da Güneş enerjisine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Karapınar’da toplam 1000 MWe / 1300 MWm kapasiteli elektrik enerjisi üretim tesisi kurulmuş olacaktır. Bu tesiste her yıl yaklaşık en az 2 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmesi öngörülmektedir.

Ayrıca 03/07/2020 tarih ve 31174 sayılı Resmî Gazete’nin çeşitli ilanlar kısmında yayınlanan yarışma ilanında, her biri 10 MWe, 15 MWe ve 20 MWe olacak şekilde 74 ayrı YEKA yarışmasının yapılması kararlaştırılmıştır (YEKA GES 3). Dördüncü YEKA uygulaması olarak belirlenen yarışma Güneş enerjisine dayalı olarak Yerli Malı Kullanım Karşılığı Tahsis (YMKT) yöntemine göre gerçekleştirilecektir. Güneş enerjisi kaynağına

dayalı olarak 36 adet ilimizde belirlenen toplam 1000 (bin) MWe gücündeki bağlantı kapasitesinin oluşturulması planlanmaktadır.

09/05/2019 tarihli 1044 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile Kamu kurum ve kuruluşları hariç Güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri ancak çatı ve cephe uygulaması olarak gerçekleştirileceğinden çatı ve cephe uygulamalı Güneş potansiyelimiz araştırılmış ve önümüzdeki 10 yıl içinde toplam 2.000 – 4.000 MW seviyelerinde Güneş modülü sistemlerinin çatılarda kurulabileceği öngörülmüştür.

Enerji işleri genel müdürlüğü yaptığı araştırmada Türkiye’de değerlendirilebilecek çatı alanları Şekil 22’deki gibi gruplandırılabilir.



Şekil 22. Ülkemizde değerlendirilebilecek çatı alanları

Ancak çatı uygulamaları sadece elektrik üretimi için değil aynı zamanda ısı teknolojileri içinde kullanılmaktadır. Bunların başında Güneş enerjisi ile su ısıtma sistemleri ve bina soğutma sistemleri gelmektedir. Ülkemizde 2019 yılı itibariyle 19.600.000 m²lik düzlemsel kolektörler kullanılarak yaklaşık 537.000 konut ve 289.000 sanayi kuruluşu bu

tür sistemlerden yararlanmıştır. Ayrıca yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak üretilen elektrik miktarı da 10MW'a ulaşmıştır.

4.6 Dünya'da Güneş Enerjisi Politikaları

Dünyadaki hemen hemen tüm ülkelerde Güneş enerjisi ile az ya da çok elektrik üretimi yapıldığı söylenebilmektedir. Fakat resmi istatistiklerde ulusların enterkonekte sistemine bağlı olmayan diğer bir ifadeyle of-grid santraller genel olarak istatistik dışında bırakılır. Dünyada şebeke bağlantılı başka bir ifadeyle on-grid sistemlerin ülkelere dağılımına bakıldığında, Çin 78 GW'ı aşan kurulu gücü ile lider konumdadır. Çin Halk Cumhuriyeti'ni sırasıyla Japonya, Almanya, ABD, İtalya, Birleşik Krallık (İngiltere ile Krallığa bağlı diğer ülkeler) ve Hindistan takip etmektedir.

Tablo 8. Ünelere Göre Dünyada Güneş Enerji Santrali Kurulu Gücü Listesi [27].

Sıra	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Aralık, 2020	254.355
2	Amerika Birleşik Devletleri	Aralık, 2020	75.572
3	Japonya	Aralık, 2020	67.000
4	Almanya	Aralık, 2020	53.783
5	Hindistan	Aralık, 2020	39.211
6	İtalya	Aralık, 2020	21.600
7	Avusturalya	Aralık, 2020	17.627
8	Vietnam	Aralık, 2020	16.504
9	Güney Kore	Aralık, 2020	14.575
10	İspanya	Aralık, 2020	14.089
11	Birleşik Krallık	Aralık, 2020	13.563
12	Fransa	Aralık, 2020	11.733
13	Hollanda	Aralık, 2020	10.213
14	Brezilya	Aralık, 2020	7.881
15	Türkiye	Mayıs, 2021	7.170
16	Güney Afrika	Aralık, 2020	5.990
17	Tayvan	Aralık, 2020	5.817
18	Belçika	Aralık, 2020	5.646
19	Meksika	Aralık, 2020	5.644
20	Ukrayna	Aralık, 2020	5.360

4.7 Türkiye'de Güneş Enerjisi Politikaları

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. GEPA'da yer alan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı aşağıda yer almaktadır [17].

Türkiye’de son yıllarda enerji politikalarında olumlu gelişmelerin gerçekleştiği bir gerçektir. 2018 yılı itibariyle, Türkiye’nin özellikle elektrik enerjisi üretiminde kaynak çeşitlendirmesine gittiği, böylece ithalat yoluyla enerji üretimi sağlayan kaynakları oransal olarak düşürmeye başladığı bunun da Türkiye ekonomisi için olumlu bir gelişme olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca su ısıtma kolektörleri bakımından Türkiye’nin son yıllarda ciddi hamleler yaptığı ve bu sayede Dünya’da önde gelen ülkeler arasında yer aldığı, Ar-Ge harcamalarına ayrılan payda yıldan yıla artış gerçekleştiği ve bunun olumlu bir gelişme olduğu ifade edilebilir [28].

4.8 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri

Türkiye’nin temel enerji kaynaklarının petrol, linyit, kömür, doğal gaz, jeotermal ve hidro enerji olduğu görülmektedir. Türkiye’nin kendi üretimi, 2008 yılı verilerine göre tüm enerji ihtiyacının ancak %48’ini karşılayabilmektedir. Birçok araştırma kurumunun hazırladıkları raporlara göre 2060 yılında Dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %60’ı yenilenebilir kaynaklardan karşılanacaktır. Dünya Bankası tahminlerinde Güneş enerjisi sektörünün ticari hacmi önümüzdeki 30 yıl içinde 4 trilyon USD olarak yer almaktadır. 2012 ve 2030 yılları için yapılan toplam elektrik enerjisi üretimi dağılımı incelendiğinde ise günümüzde Güneş enerjisi potansiyelinden az yararlanıldığı görülmektedir. 2030 yılı tahmini Güneş enerjisinden elektrik üretimi ise %5 olarak gösterilmektedir [29].

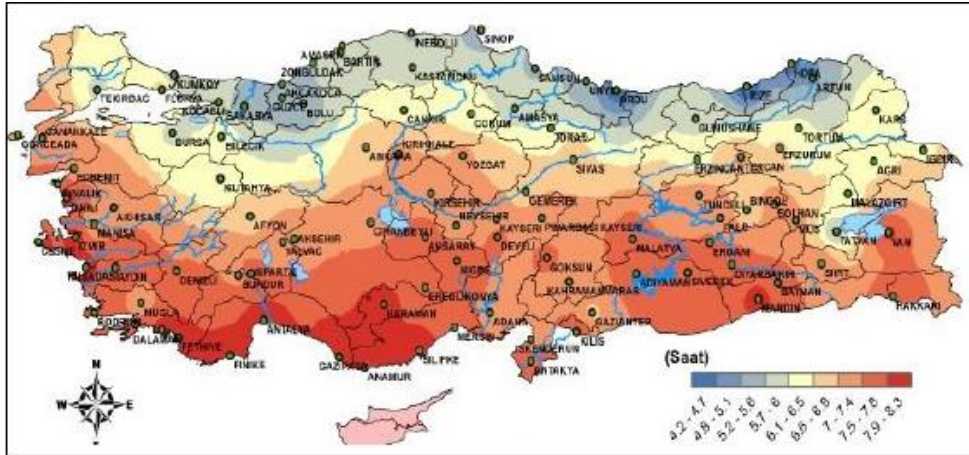
Tablo 9. 2012 ve 2030 Türkiye Kurulu Güç Kaynağına Göre Yıllık Toplam Elektrik Enerjisi Üretimi Tahmini Karşılaştırması [29]

Kaynak	2012		2030	
	TWh	%	TWh	%
Doğalgaz	103	43	145	23
Yerli Kömür	65	27	197	32
Hidroelektrik	58	24	94	15
Rüzgâr ve Jeotermal	7	3	72	12
Güneş	-	-	28	5
Nükleer	-	-	71	12
Diğerleri	6	2,5	12	
Toplam	239		619	

Güneş kuşağı içinde bulunan ve bu nedenle Güneş enerjisi kazancı açısından zengin olan Türkiye, bu potansiyelini henüz tam olarak kullanamasa da coğrafi konumu nedeniyle

Güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeden daha avantajlı bir konumda bulunmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [14].

Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir Güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim m²'den ortalama olarak 1.100 kWh'lık Güneş enerjisi üretebilir. Güneş'ten Dünya'ya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji geldiği göz önünde bulundurulduğunda, bir saniyede Dünya'ya gelen Güneş enerjisinin, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katı olduğu görülmektedir. Türkiye üretim açısından Dünya'da birinci sırada yer alan Almanya'dan daha avantajlı bir konumda bulunmaktadır. Türkiye Yıllık Ortalama Günlük güneşlenme Süresi Şekil 23'te sunulmuştur.

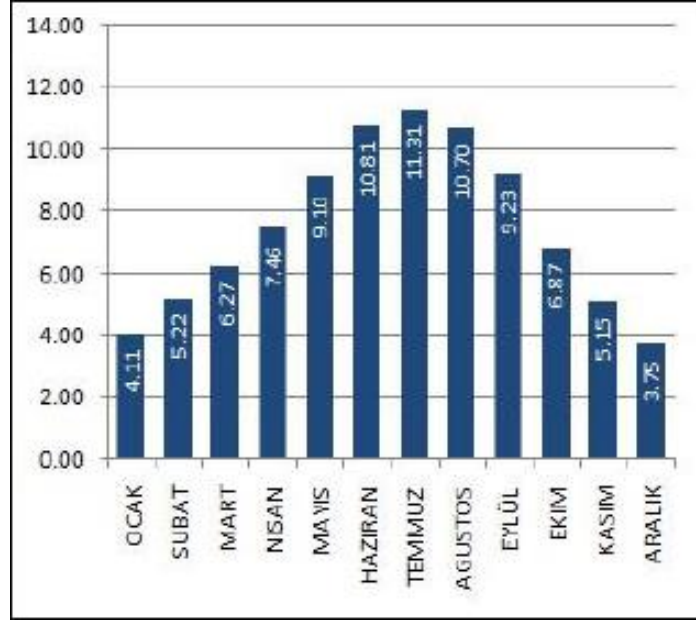


Şekil 23. Türkiye yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi (1985-2013)

Türkiye'nin Güneş potansiyelini ortaya koymak amacıyla Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) hazırlanmış ve kullanıma sunulmuştur. Bu atlas uluslararası geçerliliği kabul görmüş bir model olan Güneş Radyasyon Modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak haritalandırılmıştır. Modelde kullanılacak parametrelerin hesaplanması ve model kalibrasyonun yapılması için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ve Devlet Meteoroloji İşleri istasyonlarında 1985-2006 yıllarına ait ölçüm yapılan 22 yıllık Güneş ölçüm değerlerinden yararlanılmıştır [14].

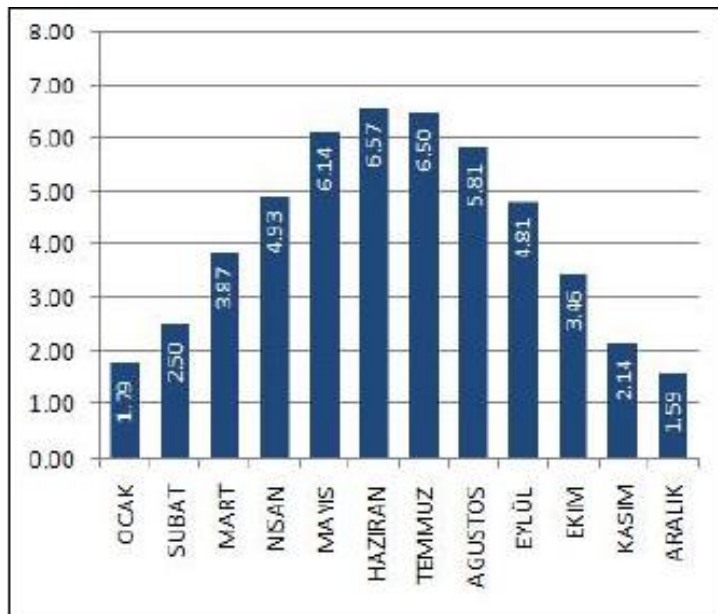
Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na (GEPA) göre, Türkiye'nin yıllık Güneş enerjisi teknik potansiyeli yaklaşık 405 milyar kWh (DNI> 1800 kwh/m²-yıl) ve ekonomik potansiyeli

yaklaşık 131 milyar kWh (DNI> 2000 kwh/m²-yıl) dir. Türkiye'nin güneşlenme saatleri değerleri incelendiği zaman günlük ortalama güneşlenme süresinin en düşük değerine 3,75 saat ile Aralık ayında, en yüksek değerine ise 11,31 saat ile Temmuz ayında ulaştığı görülmektedir [29]. Türkiye güneşlenme Saatleri Şekil 24'te sunulmuştur.



Şekil 24. Türkiye güneşlenme saatleri (saat)

Türkiye'nin Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-gün) incelendiğinde ise global radyasyon değerlerinin en yüksek oranına 6,57 ile Haziran ayında, en düşük oranına ise 1,59 ile Aralık ayında ulaştığı görülmektedir [29]. Türkiye Global Radyasyon Değerleri Şekil 25'te sunulmuştur.



Şekil 25. Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün)

Türkiye'nin Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde ise en fazla Güneş enerjisi alan bölgenin 1.460 KWh/m²-yıl ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi olduğu, onu 1.390 KWh/m²-yıl ile Akdeniz Bölgesi'nin izlediği görülmektedir. En az Güneş enerjisi alan bölge ise 1.120 KWh/m²-yıl ile Karadeniz Bölgesidir.

Tablo 10. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ve DMİ, Güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla Güneş enerjisi ölçümleri yapmaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye Güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir [14].

Bu ışınım şiddetleri ile Türkiye'nin, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri içinde kalan ve yüzölçümünün %17'sini kapsayan bölümünde, Güneş'li su ısıtıcılarının yıl boyunca tam kapasite ile çalışabilmektedir. Türkiye yüzölçümünün %63'ünü kapsayan bölümde ise, Güneş'li su ısıtıcılarının yıl boyunca çalışma oranı %90 ve ülkenin %94'ünü kapsayan bir bölümdeki çalışma oranı ise, %80'dir. Türkiye'nin hemen her yerinde, Güneş'li su ısıtıcılarının yılın %70'i kadar bir sürede tam kapasite ile çalışabilmektedir. Bu sebeple özellikle ülkenin güney kesimleri ve Ege kıyıları başta olmak üzere bütün bölgelerde Güneş enerjisi kolektörleri yoğun olarak sıcak su elde etmek amacıyla

kullanılmaktadır. Büyük çoğunluğu Akdeniz, Ege ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinde olmak üzere, Türkiye’de 3-3,5 milyon konutta Güneş kolektörü bulunmaktadır. Bu toplayıcıların tümü 18 milyon m²’lik alan kaplamakta ve bu alana her yıl yaklaşık olarak 1 milyon m² ilave yapılmaktadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre 2007’de üretilen enerji miktarı 420 bin ton eşdeğeri petrolün üstündedir. Ayrıca bazı endüstriyel uygulamalar, hacim ısıtma uygulamaları (Güneş mimarisi) ile elektrik üretiminde fotovoltaiik pillerin kullanımı da gittikçe yaygınlaşmaktadır [29].

Güneş enerjisinden elektrik üretimi için potansiyeli yüksek olan Dünya’nın sayılı ülkelerinden biri olmasına rağmen Türkiye’deki çalışmaların yetersiz olmasının en büyük nedeni ise Güneş enerjisinden elektrik elde etme maliyetlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Yenilenebilir olan bu enerji kaynağının ticari şekilde kullanmasını kısıtlayan en önemli nedenlerden biri bu maliyet yüksekliğidir. Güneş’ten elektrik üretimi ise 1.000 kW kurulu güç ile pilot uygulamalar seviyesindedir. Şu anda 3.000 dolar olan kW maliyetinin 1.500 dolara düşmesi durumunda ülkemizde de Güneş’ten elektrik üretimi uygulamaları yaygınlaşabilecektir. Yapılan çeşitli araştırmalara göre Türkiye’de yaklaşık 56.000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer Güneş enerjisi potansiyelinin bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır [29].

Şu anda Güneş enerjisi kullanımı daha çok sıcak su temini yönünde olmasına rağmen ilerleyen yıllarda Güneş enerji kaynağı açısından gelişmeler yakından takip edilmeli ve elektrik enerjisi üretimi diğer enerji kaynakları ile rekabet edebildiği sürece hızlı bir şekilde potansiyeli değerlendirecek çalışmalar yapılmalıdır. Maliyetlerdeki düşmeye ve özellikle AB ve ABD gibi gelişmiş ülkelerin uyguladığı teşvikler nedeniyle Dünya’da Güneş enerjisinden elektrik elde etme çalışmaları hızlı bir şekilde artmaktadır. Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanımlarına ülke enerji politikalarında yer verilmesi, enerji dış alımlarını azaltabileceği gibi fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılmasını da sağlayacaktır [29].

5. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

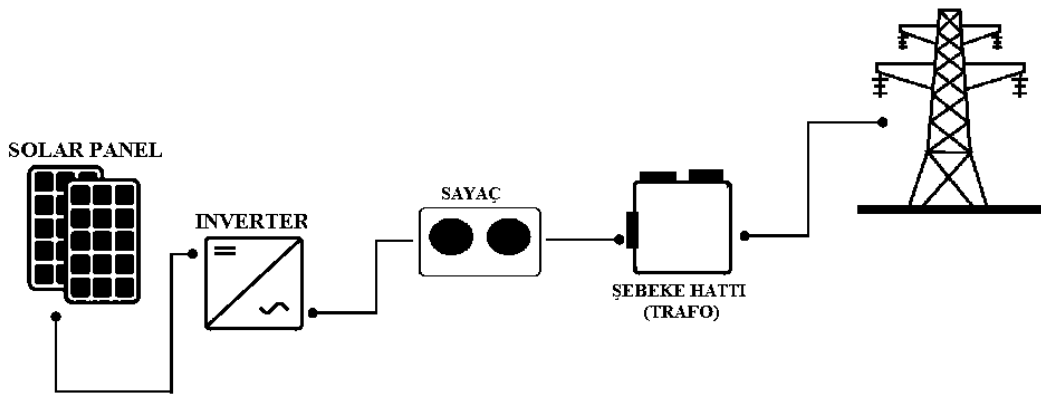
Güneş enerji sistemlerinde kullanılan Güneş panellerinin çalışma prensibi, üzerine ışık düşen malzemelerde gerçekleşen elektron hareketi yani fotovoltaiik etki prensibine dayanmaktadır. Fotovoltaiik piller yani Güneş panelleri, üzerine düşen Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden oluşan ekipmanlardır.

Bir Güneş paneli kabaca silikon hücreler, cam muhafaza ünitesi, koruma ve sabitleme çerçevesi Güneş paneli üzerinde üretilen elektrik akımını aktarmak için kullanılan doğru akım ve alternatif akım kablolarından oluşur.

Silikon Güneş ışığını emmesine ve kullanılabilir elektriğe dönüştürmesine izin veren iletken özelliklere sahip bir ametaldir. Işık bir silikon hücresine çarptığında silikon hücrelerin üzerindeki elektronların harekete geçirilmesine neden olarak elektrik akımı akışını başlatır. Bu "fotovoltaiik (FV) etki" olarak bilinir ve Güneş paneli teknolojisinin genel işlevselliğini açıklar.

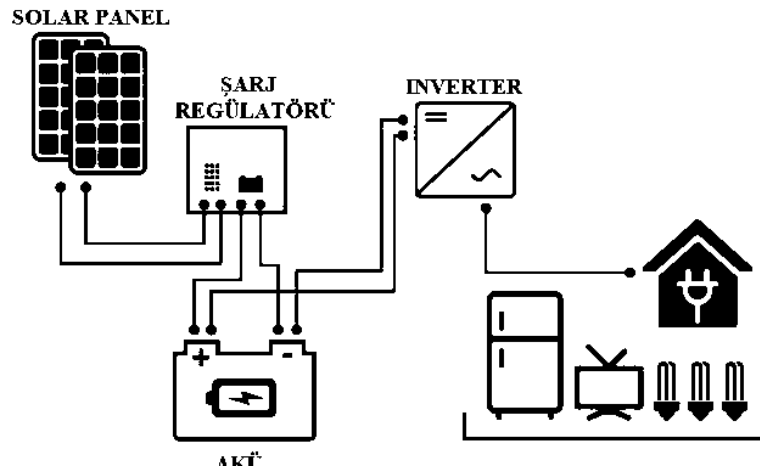
Silikon bazlı Güneş hücrelerini kullanarak Güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürebiliriz. Gün doğumu ile birlikte ışınlar Güneş panellerinize çarpar ve Güneş panelleri bu ışınları doğru akım elektronlarına dönüştürür. Elektronlar Güneş panelinden bir invertere gider. Inverter yani evirici, doğru akımı alternatif akıma dönüştürür. Alternatif akım ise günlük hayatımızda kullandığımız pek çok elektrikli cihazın çalışmasını sağlayan akım türüdür.

Fotovoltaiik sistem çeşitleri içerdiği konfigürasyonlara göre 3 ana gruba ayrılır. Bunlar; şebekeye bağlı (on-grid) sistemler, şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler, Fotovoltaiik Hibrit Sistemlerdir. Bu üç sistem birbirlerinden içerdiği ekipmanlar vasıtasıyla ayrılır. Şebekeye bağlı PV sistemler Şekil 26'da sunulmuştur.



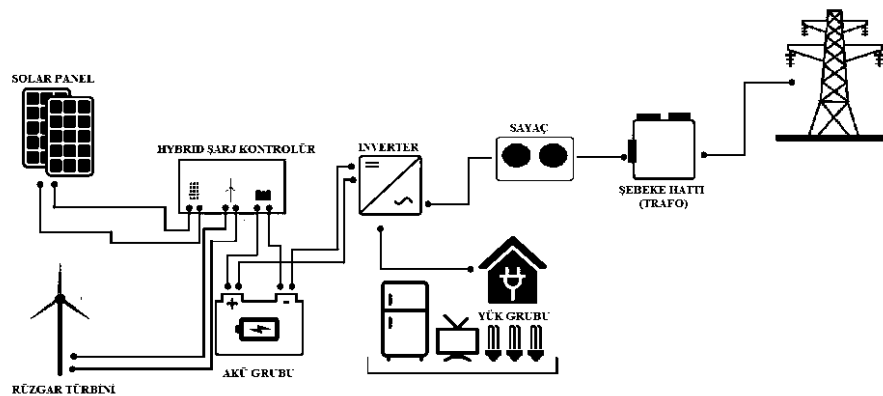
Şekil 26. Şebekeye bağlı PV sistemler [30]

Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler: Şebekeye bağlı bir Güneş fotovoltaik (PV) sistemi, PV modülleri kullanarak elektrik üreten ve ürettiği elektriği Şebekede elektrik olması koşulu ile Şebekeye veren sistemlerdir. Şebekeye bağlı bir Güneş PV güç sisteminin temel bileşenleri, Güneş PV modülleri, inverterler, bağlantı kutusu (DC/AC), güç koşullandırma ünitesi, AC dağıtım panosu ve transformatör, Şalt, Şalt sahasıdır. Şebekeye bağlı bir sistemde, gündüz saatlerinde üretilen Güneş enerjisi, herhangi bir enerji depolamadan şebekeye verilir. Şebekeden bağımsız PV sistem Şekil 27’de sunulmuştur.



Şekil 27. Şebekeden bağımsız PV sistem [30]

Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltaik Sistemler: Şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler stand alone sistemler olarak da bilir. Bu sistemler, solar PV modülleri tarafından üretilen elektrik enerjisini aküler gibi depolama cihazlarında depolar. Akülerde depolanan enerji, güç kaynağı talebi olduğunda veya Güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde kullanılabilir. Daha doğrusu, bu sistemler elektrik kaynağı olmayan, enerji sıkıntısı olan veya Şebekeye erişimin olmadığı uzak yerlerde kullanılır. Hibrit PV sistem Şekil 28’de sunulmuştur.



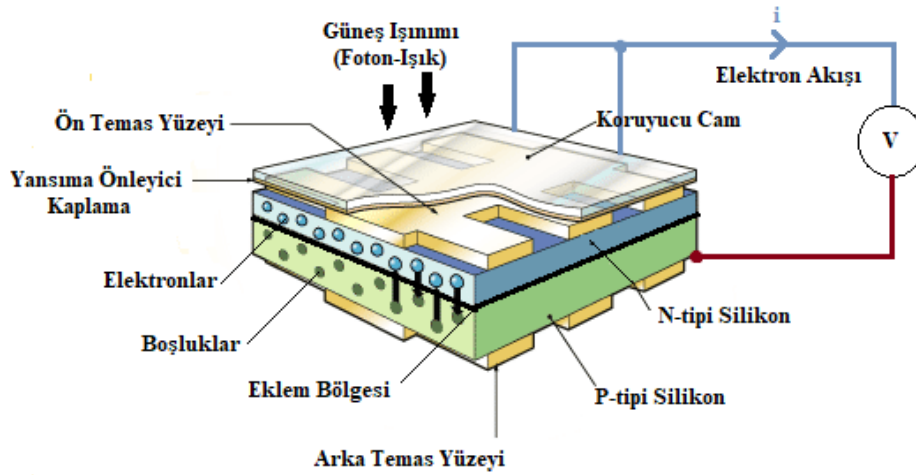
Şekil 28. Hibrit PV sistem [30]

Fotovoltaik Hibrit Sistemler: Fotovoltaik Güneş panellerinin ve küçük rüzgâr türbinlerinin iklim koşullarına göre elektrik enerjisi üretimi değişir. Bu yüzden tek başlarına çok zengin bir enerji üretim kaynağı değildirler. Sistemleri birleştirme (rüzgâr ve Güneş) daha çok elektrik enerjisi üretiminde etkilidir. Bu çözüme hibrit sistem denir. Birçok yenilenebilir enerji uzmanına göre, küçük bir hibrit elektrik sistemi, rüzgâr ve fotovoltaik Güneş teknolojileri tek sistem üzerinden birleştirildiğinde pek çok avantaj sunar [31].

5.1 Güneş Enerjisi Sistemlerini Oluşturan Elemanlar

5.1.1 Güneş Pili

Güneş hücresi ışığı doğrudan elektrik akımına dönüştüren fotovoltaik bir araçtır. Yarı iletken bir diyot olarak çalışan Güneş hücresi, Güneş ışığının taşıdığı enerjiyi iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur [32]. Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma düzeneği Şekil 29'da sunulmuştur.



Şekil 29. Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma düzeneği [30]

Güneş pili yapımında kullanılan malzemeler şunlardır;

- Kristal silisyum,
- Amorf silisyum,
- Galyum arsenik,
- Kadmiyum tellür,
- Bakır indiyum diseleneid,
- Optik yoğunlaştırıcı hücreler.

Fotonlar, Güneş ışığının yarı iletken yüzeye çarpması ile atomun içindeki elektronların serbest kalması ile oluşur. Fotonlar, Güneş ışınım spektrumundaki her dalga boyu için farklı miktarda enerji içerir. Fotonlar Güneş pili hücresi üzerine geldiği zaman, bir kısmı aynen yansıtılır, bir kısmı Güneş hücresi tarafından soğurular ve bir kısmı da Güneş hücresinin içinden geçer. Güneş pili tarafından soğurulan fotonlar elektrik üretir.

5.1.2 Panel

Güneş paneli, üzerinde Güneş enerjisini soğurmaya yarayan birçok Güneş hücresi bulunduran bir enerji kaynağıdır [33]. Güneş Paneline ait görsel Şekil 30'da sunulmuştur.



Şekil 30. Güneş paneli

Güneş paneli, üzerine gelen Güneş ışığını emmeye yarayan Güneş hücrelerinden oluşur. Bir Güneş panelinin verimi, kullanıldığı hücrenin Güneş ışığını elektriğe dönüştürme oranı ile belirlenir [34].

5.1.3 Inverter

Elektriksel gücü dönüştürme elemanı olarak bilinen inverter, evirici olarak da adlandırılmaktadır. İnverterler, herhangi bir DC kaynaktan aldığı gerilimi işleyerek, sabit veya değişken genlik ve frekanslı AC gerilim elde etmek için kullanılan güç elektroniği elemanlarıdır. Kısacası, inverter Güneş enerjisi elektrik üretimi sistemlerinde

Güneş panellerinin ürettiği enerjiyi 220 volt veya 380 volt kullanmamıza yarayan cihazlardır [35]. İnverter'e ait görsel Şekil 31'de sunulmuştur.



Şekil 31. İnverter

5.1.3 Bağlantı Elemanları

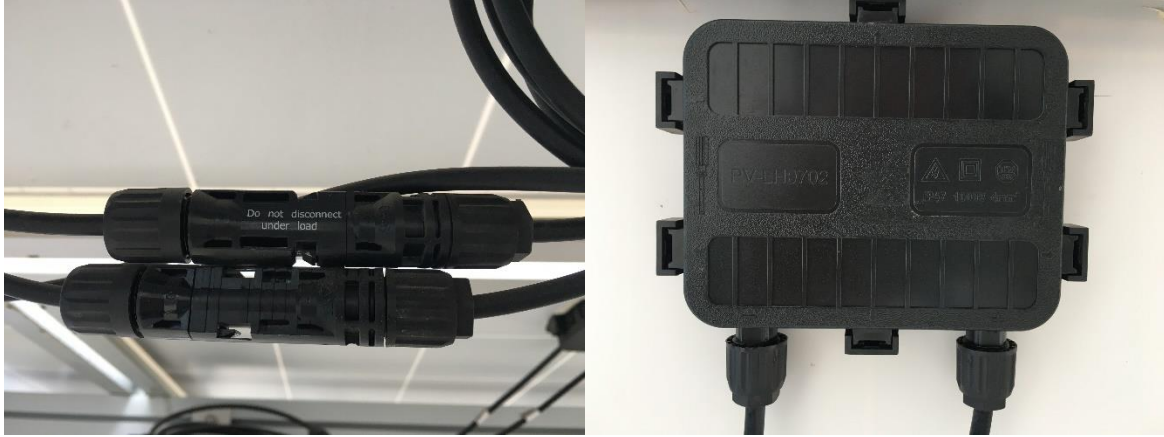
MC-4 Konnektör: Güneş panellerinin kablolarının birbirine bağlanması için kullanılan ve bağlantı noktalarında IP67 sınıfı geçirmezlik sağlayan özel bir elemandır.

MC-4 Branch Konnektör: Güneş panellerinin paralel bağlantısı için kullanılan ve birden çok panelin birbirine bağlanması için kullanılan özel bir bağlantı elemanıdır. Bağlantı noktalarında IP67 sınıfı geçirmezlik sağlayan MC-4 Branch Konnektör dış mekan kullanımı için özel üretildiğinden UV dayanımı yüksektir.

MC-4 Diyot Konnektör: Elektrik enerjisinin sadece tek yönde (panelden dışarıya) geçmesine izin veren ve paralel bağlanmış Güneş panellerinden oluşan bir Güneş enerji sisteminde gölge alan panellerin diğerlerini etkilememesi için kablo üzerine konulan bir koruma elemanı olan MC-4 diyot konnektör, bağlantı noktalarında IP67 sınıfı geçirmezlik sağladığından dış mekân kullanımına uygun ve UV dayanımı yüksektir.

Kablo: Bir Güneş enerji sistemi projelendirilirken kurulacak sistem gücü ve kablo metrajına göre kablo kesiti dikkatle hesaplanmalıdır. Yanlış kablo seçimi verim kayıplarını doğurabileceğinden ve akım taşıma kapasiteleri ile türleri uygun olmayan

kablolar da yangın riskini meydana getirebileceğinden tüm etmenler göz önünde bulundurulmalıdır. Bağlantı elemanlarına ait görsel Şekil 32’de sunulmuştur.



Şekil 32. Bağlantı elemanları

Sigorta: Sistemin korumasını gerçekleştirecek olan sigortalar gerektiğinde Güneş enerji sistemi ile bağlı oldukları akü bloğunun bağlantısını kesebilmek için regülatör çıkışına bağlanabilirler. Konulacak sigorta mutlaka sistem gücüne uygun seçilmelidir. Maksimum akım değerinin üzerinde seçilen sigorta sisteme zarar vereceği gibi bu değer altında seçilen sigorta da sürekli devreyi kesebilir.

5.1.4 Akü

Akü, elektrik enerjisini depolayıp ihtiyaç duyulduğunda kullanıma sunan bir enerji aracıdır. Güneş enerjisi elektrik üretim sistemlerinde Güneş panellerince üretilen enerji, şarj kontrol cihazları ile akü grubunda depolanır. Akülerdeki enerji, inverter ile 220 volta çevrilebilir. Gelişen teknoloji ile Güneş enerji sistemlerinde jel akü diğer akü çeşitlerinden ayrılarak en fazla tercih edilen akü türlerinden biri haline gelmiştir.

Jel Akü: Kurşun asit akülerin yerini alan ve verimlilik yönünden diğer akülere göre ön plana çıkan jel aküler, kuru akü sınıfında yer almaktadır. Jel akünün içerisinde sıvı değil, jel kıvamında elektrolit bulunur. Akünün içerisindeki jel kıvamı sülfürik asit ve isli silikanın homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilir. Jel aküler özellikleri bakımından yüksek sıcaklığa ve titreşime karşı dayanıklıdırlar. Bu sebeple denizcilik, rüzgâr enerjisi, Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında yoğun olarak tercih edilmektedirler.

Jel aküyü diğer akü türlerinden ayırtıran en önemli özelliği derin deşarj imkânı sunmasıdır. Jel aküler tam deşarj olduktan sonra tekrardan şarj edildiğinde bünyesindeki kimyasal yapının hiçbir zarar görmemesi özelliği derin deşarj olarak

adlandırılır. Bu sayede uzun ömürlülüğü ile ön plana çıkan jel aküler verimsizlik ve dayanıksızlık yaşatmazlar.

İçerisinde bulunan elektrolitin jel kıvamlı olması sayesinde en düşük veya en yüksek sıcaklıkta bile yüksek verimli olarak çalışan jel akülerde bulunan jel elektrolit sayesinde buharlaşma sorunu ortadan kalkar ve aküye saf su takviyesi yapılmasına gerek kalmaz.

Sulu akünün düşük enerji üretim kapasitesine karşılık yüksek değerler sunan jel aküler 80 amper düzeyinde bir enerji sağlar. Bu yönüyle diğer akülere göre yaklaşık 75 kat daha yüksek bir performansa sahiptir.

Jel aküler çevre dostudur. Kullanıma bağlı olarak sulu akülerde görülen sızdırma problemleri daha düşük olan jel aküler; titreşime, sıvı temasına, aşınmaya ve darbeye karşı daha dayanıklıdır. Jel aküler uzun yıllar boyunca kullanılabilir.

5.1.5 Şarj Kontrol Ünitesi

Güneş panelinden gelen akımı ayarlayarak akünün tam dolmasını veya tamamen boşalmasını engeller. Tüketici için gerekli akım değerine göre sistemde uyumlu çalışabilecek tipte seçilmesi gereklidir. Ayrıca akü şarj regülatörünün, akü gerilimine uyumlu olması gerekmektedir. Şarj regülatöründen direkt doğru akım çıkışı alınabilir. Çoğu regülatörde şarj durumuna ait sayısal bilgileri gösteren ekran bulunmaktadır. Birçok regülatör üreticisi firma panel gücüne göre seçilmesi gereken regülatörü saptamış ve tablolar halinde kataloglarına eklemektedir [36]. Şarj kontrol ünitesine ait görsel Şekil 33'te sunulmuştur.



Şekil 33. Şarj kontrol ünitesi

5.1.6 Montaj Elemanları

Güneş enerji santralleri farklı statik özellikler taşıyan zeminler üzerine kurulabilmektedir. Santralin uzun ömürlü olabilmesi için, kurulacak zemin ile ilgili statik hesaplar dikkatle yapılmalıdır. Güneş enerji santralleri alüminyum ve çelik konstrüksiyonlarla kurulabilmektedirler. Ancak her tasarlanan ya da yapılan konstrüksiyon her santrale uygun değildir. Özellikle çatı üzerine ya da teras diye adlandırılan geniş balkonlara kurulan santrallerin zemin etütlerinin yapılarak delinecekse izolasyonun çok iyi yapılması ya da konstrüksiyonun beton bloklarla kurulması sağlanmalıdır. Santrali taşıyacak olan zeminin yapılacak konstrüksiyonun malzemesinin çelik ya da alüminyum olması ihtimallerini doğuracaktır. Hazırlanan konstrüksiyonun iklim koşullarına göre dış kaplamasının yapılması uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Montaj Elemanlarına ait görseller Şekil 34’te sunulmuştur.

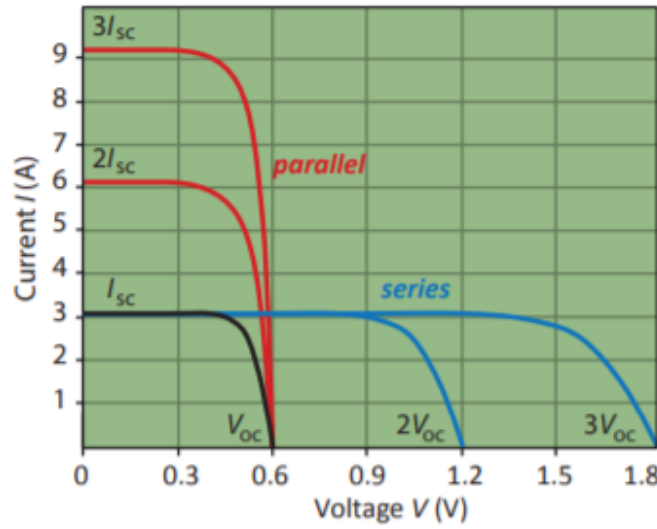


Şekil 34. Montaj elemanları

5.2 Bağlantı Şekilleri ve Kurulu Güç Hesabı

Birden fazla Güneş panelini seri, paralel veya karışık modda bağlamak, yalnızca uygun maliyetli bir Güneş paneli sistemi oluşturmak için değil aynı zamanda artan günlük ihtiyaçlarımızı karşılamak için gelecekte daha fazla Güneş paneli eklememize yardımcı olmak için etkili ve kolay bir yoldur. Güneş panellerinin türü, üretilmesi istenen Güneş enerjisi miktarı, şarj regülatörü, akü ve inverter ile diğer sistem bileşenleri bağlantı şekillerini etkileyen faktörlerdir.

Güneş enerji santralinde bulunan her bir panelden daha yüksek voltaj alınması gerektiğinde Güneş panelleri seri, daha yüksek akım alınması gerektiğinde ise paneller paralel olarak bağlanır. Seri ve paralel bağlı Güneş hücrelerinin I-V eğrileri Şekil 35'te sunulmuştur.



Şekil 35. Seri ve paralel bağlı Güneş hücrelerinin I-V eğrileri [37]

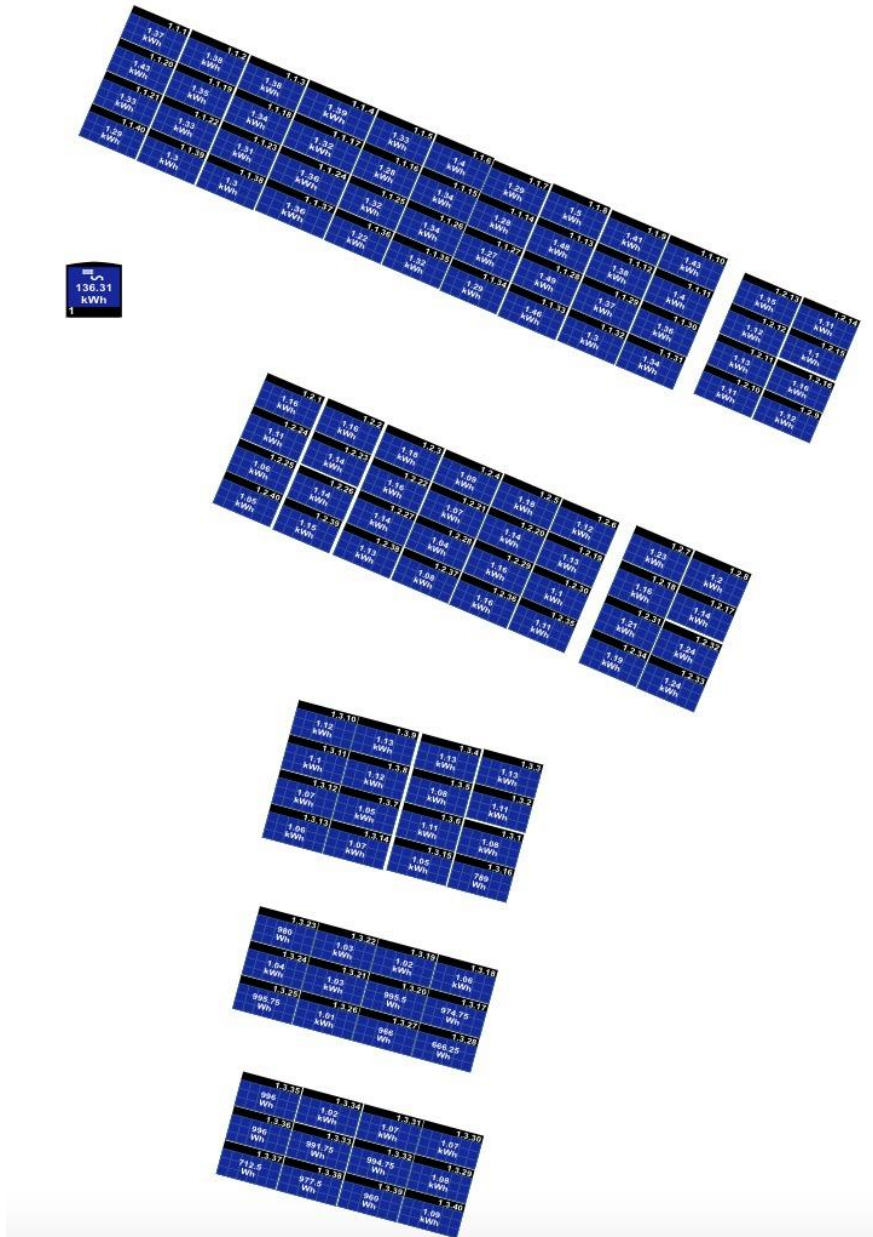
Hem daha yüksek bir voltaja hem de daha yüksek bir akıma gerek duyulursa her iki bağlantı türünü de uygulanabilir; Güneş panellerinizin bir kısmının seri olarak bağlanması gerektiği, diğerlerinin paralel olarak bağlanması gerektiği anlamına gelmektedir.

Kurulu güç: Bir tesiste bulunan elektrik enerjisi tüketicilerinin anma (etiket) güçlerinin toplamını ifade eder [38]. Güneş enerji santrallerinde kurulu güç, sistemde bulunan toplam panel sayısı ile bir panelin gücünün çarpımı ile bulunur. W_p şeklinde ifade edilen kurulu güç aşağıdaki basit formülle hesaplanabilir.

$$\text{Sistemin Kurulu Gücü} = \text{Toplam Panel Sayısı} * 1 \text{ Panelin Gücü}$$

Özel ASO Teknik Koleji MTAL Panel Yerleşim Planına ait görsel Şekil 36'da sunulmuştur. Örnek olarak; Özel ASO Teknik Koleji MTAL GES içerisinde 80 adet 275

W, 40 adet 310 W'lık Güneş panelleri bulunmaktadır. Sistemin kurulu gücü 34,4 kWp, invertör gücü ise 27,3 kWe'dir.



Şekil 36. Özel ASO Teknik Koleji MTAL panel yerleşim planı

Hesaplaması ise şu şekilde olmaktadır.

$$\begin{aligned}
 \text{Sistemin Kurulu Gücü} &= \text{Toplam Panel Sayısı} \times 1 \text{ Panelin Gücü} \\
 &= 80 \times 275 \\
 &= 22.000 \text{ W} = 22 \text{ kW} \\
 &= 40 \times 310 \\
 &= 12.400 \text{ W} = 12,4 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sistemin Kurulu Gücü} &= 22.000 + 12.400 \\ &= 34.400 \text{ W} = 34,4 \text{ kWp}\end{aligned}$$

6. HÜCRE ÇEŞİTLERİ

6.1 Fotovoltaik yöntem

Fotovoltaik hücreler daha yüksek akım, gerilim veya güç seviyesi elde etmek için elektriksel olarak seri veya paralel bağlanırlar. Fotovoltaik modüller çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklenmiş fotovoltaik hücreler içerirler. Fotovoltaik paneller elektrik kabloları ile birbirine bağlanmış iki veya daha çok sayıda Fotovoltaik modül içerirler. Fotovoltaik diziler ise belli sayıda Fotovoltaik modül veya panel içeren enerji üretim ekipmanlarıdır [39].

6.2 Kristaline paneller

Güneş enerjisi panelleri kristal yapılarına göre monokristal ve polikristal olmak üzere ikiye ayrılırlar.

6.2.1 Monokristalin

En eski ve en bilinen Güneş panellerinden biri olan mono kristal Güneş paneli, tek bir kristal yapısından oluşur. Hepsi tek bir düz renk olarak görülen Güneş hücreleridir

%19-20 aralığında bir oranla en yüksek verimlilik oranına sahip olan mono kristal Güneş panellerinin öne çıkan özelliklerinden biri de yerden tasarruf sağlamasıdır. Mono kristal Güneş panelleri uzun ömürlü yapıları ile tercih edilen Güneş panellerinden olup ortalama 17-20 yıl garantisi olabilmektedir. Verimliliğinin yüksek olmasının karşılık maliyetinin de yüksek olması monokristal Güneş panellerini bir adım geri atmaktadır. Uzun ömürlü ve dayanıklı malzemedен yapılmış olması sebebiyle ilk yatırım maliyetleri yüksek ancak uzun yıllar içerisinde verimliliği ile bu maliyeti karşılayabilmektedir. Monokristal Panele ait görsel Şekil 37' de sunulmuştur.



Şekil 37. Monokristal panel

6.2.2 Polikristalin

Polikristal silikondan yapılan Güneş paneli hücreleri, dikdörtgen hücrelerden oluşmakta olup aynı zamanda çoklu-kristal silisyum olarak adlandırılan, oldukça kolayca tanınabilir bir dış görünüme sahiptir. Polikristal Güneş panellerinin renkleri mavidir. Polikristal Güneş panelleri monokristal Güneş panellerinin aksine üretim maliyetleri daha düşüktür. Fakat monokristal panellere göre verimliliği daha düşük olan polikristal Güneş panelleri maliyet düşüklüğü sebebiyle tercih edilmektedirler. Polikristal Güneş panellerinin verimlilik oranları %18-19 aralığındadır. Polikristal Panele ait görsel Şekil 38'de sunulmuştur.



Şekil 38. Polikristal panel

Polikristal Güneş panelleri, mono kristal Güneş panellerinden daha düşük ısı toleransına sahiptir. Bu durum polikristal Güneş panellerinin verimliliğini olumsuz etkilemekte olup, kurulum maliyetlerinin monokristallere göre daha düşük olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır.

6.3 İnce Film

İnce Film Güneş Paneli, verimlilikleri düşük olması sebebiyle Güneş enerji santrallerinde nadiren kullanılırlar. Spesifik alanlarda tercih edilme oranı düşük olsa da maliyetleri üretim faktörlerine bağlı olarak düşürülmüş ve yapıları itibariyle daha geniş alanlarda kullanılabilmesi sağlanabilmektedir. Oldukça ekonomik olan ince film Güneş panelleri binaların dış cephelerinde tercih edilebilmektedir. Seri üretim faktörleri için oldukça avantajlı yapıya sahip olan bu paneller diğer panellere göre daha fazla yıpranıp daha hızlı deforme olabilmektedirler.

6.4 Esnek Panel

Esnek Güneş panelleri mevcut Güneş panellerine göre daha hafif ve esnek bir malzemedен yapılan solar panellerdir. Genellikle tekne, marin, elektrikli bisiklet gibi tasarımı önemli alanlarda kullanılan bir ürün olup, eğimli çatılar içinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Eğimli ve montajın zor olduğu yüzeylerde esnek Güneş panelleri çatının izolasyonuna hasar vermeden kullanım kolaylığı sunabilir.

Diğer Güneş paneli türlerine göre ağırlıkları çok hafif olduğu için taşınması ve uygulandığı yüzeydeki etkisi ile ön plana çıkan esnek Güneş panelleri farklı güç seçenekleri ile de temin edilebilmektedir.

6.5 Saydam

Saydam Güneş panelleri dış yüzeyi komple cam olan plaza, alışveriş merkezi gibi binaların dış yüzeylerinin kaplanarak içeriye Güneş ışığının girmesini belli oranda engellemek, çalışanların mesai saatleri içerisinde Güneş ışığından rahatsız olmayarak çalışmasının sağlamak ve aynı zaman da enerji üretimi gerçekleştirmek amacıyla üretilmiştir. Aynı zamanda üretilen enerjinin akülerde depo edilip, gerektiğinde kullanılabilir olması ihtimali de düşünüldüğünde oldukça avantajlı bir yatırım olduğu gerçeği kaçınılmazdır. Şeffaf Güneş panellerinin verimlilikleri çok yüksek değildir. Ancak dış yüzeyi komple cam olan tüm binaların kaplandığı ya da belirli bir şarj miktarı ile kullanılabilen cep telefonu, tablet bilgisayar gibi ürünlerin bu ürünler ile kaplanıp kullanım sürelerinin uzatılabileceği durumu bu panelleri ön plana çıkarmaktadır.

6.6 Hibrit

Güneş pilleri, Güneş'ten gelen enerjinin %15'ni elektrik enerjisine dönüştürebilirler, kalan enerjinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek Güneş pilinin ısınmasına neden olur. Güneş pilindeki her 1°C sıcaklık artışı elektrik üretimini %0,45 düşürmektedir.

Güneş pillerinin ideal çalışma sıcaklığı 25°C olarak hesaplanırken, ortam sıcaklığı 25°C olan bir bölgede çalışan Güneş pili 45°C'a çıkmaktadır, bu durum karşısında Güneş pillerinin elde ettiği bu ısıdan faydalanmak ve Güneş pilini soğutmak amacı ile hibrit sistemler geliştirilmiştir. Bu sayede hem elektrik hem de sıcak su ve hava sağlanmış olur. Bir yandan Güneş pilinin soğutulması ile verim artışı sağlanırken, diğer yandan ısı enerjisi kullanılabilir bir hal almaktadır.

Hibrit sistemlerde Güneş panelinin altına bütünleşmiş su veya hava kanalları ile panellerin soğutulup, su kanalları ile bütünleşik panellerde bulunan suyun pompa yardımı ile sirkülasyonu sağlanır. Aynı zamanda ısıtılan havanın enerjisi, enerji transfer ünitesi ile suya aktarılır ve ısıtılan hava doğrudan iç ısıtmada kullanılır.

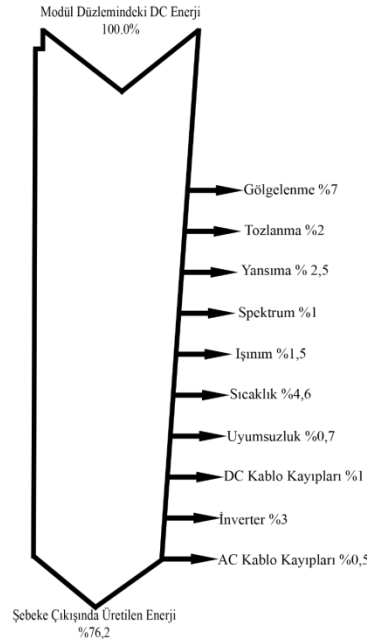
Panel sıcaklığını azaltarak, artan elektrik enerjisi üretimi ve aşırı ısınmadan dolayı meydana gelebilecek olası hataları önleme ile verim artışının sağlanması, tek bir sistem üzerinden hem elektrik hem ısı enerjisinin elde edilip sistemin daha stabil çalıştırılabilmesi hibrit sistemleri ön plana çıkarırken, kurulum maliyetlerinin yaklaşık %25 oranında yüksek olması yatırımcıları geri adım attırabilmektedir. Ancak verimlilik durumu düşünüldüğünde kısa bir süre içerisinde kurulum maliyetini de karşılayacağı gerçeği karşımıza çıkmaktadır.

7. FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PERFORMANSINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Güneş enerji santrallerinde üretilebilecek maksimum elektrik enerjisi yapılan fizibilite çalışmaları sırasında belirlenir. Santral kurulduktan ve devreye alındıktan sonra önceden hesaplanan ve maksimum üretilmesi gereken elektrik enerjinin altında bir değer karşımıza çıkıyorsa sistemde kayıplar var demektir. Bu kayıpları önlemekten önce kayıpları ön görebilmek çok daha önemlidir. Çünkü yapılabilecek tüm müdahaleler bilinçli bir şekilde yapılırsa sistemden maksimum verimin en kısa süre içerisinde alınabileceği anlamına gelmektedir. Aksi takdirde kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemlerden istenen performans ya da beklenen gelir elde edilemeyecektir. Güneş enerji santrallerinde kullanılan meteorolojik istasyonlar bazı veriler sunar. İstasyonlardan alınan sıcaklık, ışınım, rüzgâr değeri gibi meteorolojik verilerin anlamlı hale getirilip analizlerinin yapılması sonucu sistemin hangi düzeyde ve hangi verimlilik oranında

çalıştığını görebilme konusunda kullanıcıya yol gösterici olur. Yapılacak analizlere göre bilinçli müdahaleler kayıpları minimize edebilmek adına çok önemlidir.

Bahsedilen meteorolojik faktörlerin yanı sıra gölgelenme, malzeme kalitesi, parçalar arasındaki uyumsuzluklar ve evirici kayıpları gibi Güneş enerji santrallerinin tasarımından kaynaklanabilecek kayıplar da sistem verimliliğine etki edebilir. Modül Enerji Kayıplarına ait yüzdeler Şekil 39'da sunulmuştur.



Şekil 39. Modül enerji kayıplarına ait yüzdeler

7.1 Konum

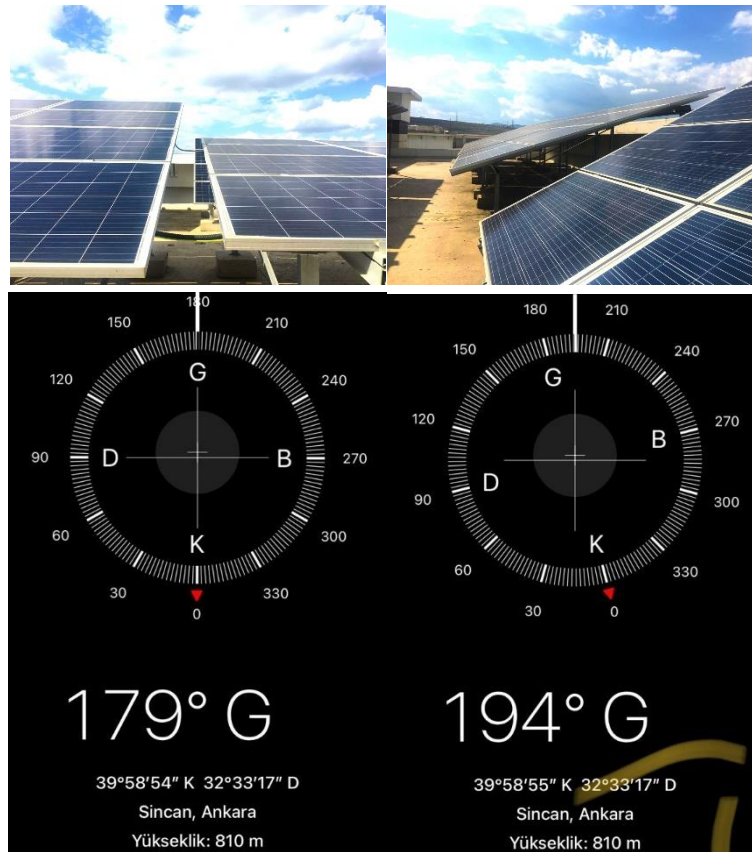
Güneş enerji santrallerinde gün içerisinde panel yüzeyine düşen Güneş ışını miktarı ile elde edilen elektrik enerjisi değeri doğru orantılıdır. Kurulum aşamasından önce yapılacak olan fizibilite çalışmalarının en önemli basamaklarından biri panel yerleşiminin ve sistem konumlandırmasının en doğru şekilde yapılmasıdır.

Özellikle sabit sıralı diziler ya da sehpalar halinde tasarımı yapılan Güneş enerji santrallerinin gün içerisinde birbirlerinin ışınımını engelleyecek derecede yükseklik ve konumlandırma hatası sebebiyle panellerin birbirini gölgelemesi durumu yaşanabilir. Panellerin birbirini gölgelemesi ihtimali ile Güneş enerji santralının kurulduğu alanın özelliklerine göre yaşanabilecek gölgelenme durumları da doğabilir. Yine bununla birlikte gün içerisinde Güneş'in doğuş ve batış doğrultusunda konumlandırılmaması da büyük kayıplara yol açacaktır. Panel yerleşiminde çok yüksek boylu ve dar aralıklı yerleşimden uzak durmak bu türlü kayıpları azaltacaktır [40].

7.2 Yönlendirme ve Yüzey Açısı

Güneş enerji santrallerindeki panellerin yüzeyleri ne kadar fazla Güneş ışınına maruz bırakılırsa üretim verimliliği o kadar yüksek olur. Bu ışınımın maksimum düzeyde tutulabilmesinin bir diğer yolu da yapılan tasarımda dizilerin eğim açılarının doğru bir şekilde belirlenmesidir. Doğru eğimle konumlandırılan Güneş enerji santrallerinde verim yüksek, yanlış eğimle konumlandırılan Güneş enerji santrallerinde ise verim düşük olacaktır.

Güneş enerji santrallerinde yönlendirme ve yüzey açısı kayıpları arasında gökyüzünden gelen ışınların sapma olması durumun da ki oluşan kayıplara spektrum kayıpları, panel yüzeyine düşen ışınların bir kısmının enerjiye dönüştürülemeden geri yansımaya ise yansıma kayıpları adı verilmektedir. Geri yansıma değeri %4'ün üzerinde ise yüzey açısı hatalı sonucuna varılabilir. Panellere Ait Açı Ölçüm Değerleri Şekil 40'ta sunulmuştur.



Şekil 40. Panellere ait açı ölçüm değerleri

7.3 Gölgeleme

Gölgeleme kayıpları Güneş enerji santrallerinde bulunan panellerin gölgelenen kısımları ile gölgelenmeyen kısımlar arasındaki gerilim farkını ifade eder. Santralin kurulduğu alanda ya da panellerin yanlış konumlandırıldığı durumlarda karşımıza çıkan bu durum ufuk gölgelenmesi ve panel sırası gölgelenmesi ile açıklanabilir.

Santralin kurulduğu alanın doğal fiziksel özelliklerinden (dağ, tepe gibi) etkenlerden meydana gelen gölgelenme ufuk gölgelenmesi, santraldeki panellerin birbirini gölgelemesine ise panel sırası gölgelenmesi adı verilmektedir. Gölgeleme Örneği Şekil 41'de sunulmuştur.



Şekil 41. Gölgeleme örneği

7.4 Panel Tipi

Güneş enerji santrallerinin kurulum aşamasında seçilen panel tipi verimlilik analizini doğrudan etkilemektedir. Yapılan hatalı seçimler santrali büyük kayıplara götürebilir. İklim koşulları, panellerin garanti özellikleri ve ürün sertifikaları gibi etmenler fizibilite aşamasında çok iyi değerlendirilmelidir.

Kristal yapıdaki panellerden polikristal Güneş panellerinin hücre verimlilikleri %18-18,6 aralığındadır. Daha kolay bulunabilir olmaları ve maliyetinin monokristal panellere göre daha düşük olması bu tip panelleri ön plana çıkarırken, sıcaklık toleranslarının ve verimliliklerinin diğer panellere göre düşük olması bu panellerin popülerliğini düşürmektedir.

Monokristal yapıdaki Güneş panelleri ise polikristal panellere göre verimlilik yönünden öne çıkmaktadır. Kurulum maliyetinin polikristal panellere göre daha yüksek olması onları geride tutarken, sıcaklık toleransları ve verimlilik oranlarının %19-20,6 aralığında olması bu panelleri ön plana çıkarmaktadır.

Güneş enerjisi panellerinin verimlilik analizleri yapılırken pek çok parametre karşımıza çıkmaktadır. Tasarım yapılırken fizibilite etüdünün eksiksiz yapıp iklim koşullarının, santral konumlandırmasının, panel yerleşiminin ve kurulum yapılacak alanın fiziksel özelliklerinin belirlenmesinden sonra panel seçiminin yapılması çok önemlidir.

7.5 Modüller Arası Sıcaklık

Güneş enerjisi panellerinde sıcaklık yükseldikçe panelden alınan güç azalmaktadır. Yani güç ile sıcaklık arasında ters orantı bulunmaktadır. Günlük ışınlam miktarı ile doğru orantılı olarak artan panel sıcaklık değerleri verimi azaltmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için çeşitli soğutma teknikleri kullanılabilir ve geliştirilebilir. Böylelikle Güneş enerji santralinden gün boyunca alınan verim yükselecektir.

7.6 Panel Temizliği

Güneş enerjisi panellerinin yüzeylerinin çeşitli fiziksel etkilere bağlı olarak kirlenmesi gün içerisinde ışınlamın yüksek olmasına ihtimaline rağmen verimin düşmesine sebep olacaktır. Panellerin maruz kaldığı tozlanma, çamurlanma, kuş pislikleri ya da kış aylarında panel yüzeylerinin karla kaplanması bu fiziksel etmenlere örnek olarak verilebilir. Verimliliğin artması için panel yüzeyleri kontrol edilerek sık sık temizlenmelidir. Bu temizlik işlemleri insan gücüyle yapılabileceği gibi geliştirilebilecek temizlik otomasyon sistemleri ile uzaktan da sağlanabilir. Kirlenmiş Güneş Panellerine ait görsel Şekil 42’de sunulmuştur.



Şekil 42. Kirlenmiş güneş panelleri

8. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE VERİMİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bir GES sisteminde verimi etkileyen temelde dört neden vardır. Bunlar iklimsel etkiler, çevresel etkiler, sistemde kullanılacak Güneş panellerinin karakteristik ve yapısal özellikleri ve sistemin bir araya getirilmesinde kullanılan cihazların kayıpları (kurulum kayıpları) olarak sıralanabilir. Bu dört neden aslında birbirine bağlıdır. Bir tanesini göz ardı etmek sistemin güç üretiminde büyük değişikliklere neden olabilir. Bu yüzden GES'in kurulacağı bölgede önceden bu parametreler iyice irdelenmeli ve tüm etkileşimler göz önüne alınmalıdır. Böylece belirlenen günde sistemin üretebileceği güç daha doğrulukla tahmin edilebilir [41].

GES kurulacak bölgenin meteorolojik verilerinin bilinmesi panel verimliliğini hesaplamada oldukça etkilidir. Bu yüzden bu parametrelerin yıl içinde değişimlerinin bilinmesi (en az 10 yıllık ölçümlere dayanan tahmin) GES'in günlük ve yıllık güç üretimi tahminlerinde daha doğru sonuçlar verecektir. Ölçülmesi veya bilinmesi gereken parametreler ve nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

8.1 İklimsel Etkiler

8.1.1 Panel yüzey sıcaklığını (çalışma sıcaklığını) etkileyen parametreler

Panel yüzey sıcaklığı arttıkça panellerin açık devre gerilimi ve V_{mpp} değeri ciddi miktarda düşer bu da güç kaybına neden olur. Panel yüzey sıcaklığını etkileyen iklimsel parametreler;

Hava sıcaklığı: ortam sıcaklığındaki artış, panellerin sıcaklığını doğrudan etkiler arttan sıcaklık açık devre gerilimini ve V_{mpp} değerini düşürür.

Rüzgâr hızı: rüzgâr hızı paneller üzerinde soğutucu bir etki yaratırlar, bu da panellerin açık devre gerilimini ve V_{mpp} değerini artırır.

Nem: nem, rüzgâr hızı ile birlikte değerlendirildiğinde panellerin yüzey sıcaklığındaki değişimi net olarak bilmemizi sağlar.

Işınım miktarı: panel yüzeyine düşen ışınımın birden fazla etkisi vardır. Ancak yüzey sıcaklığına olan etkisine bakıldığında yüzeye gelen sabit ışınım miktarı panel yüzey sıcaklığını, termal dengeye gelene kadar arttıracaktır. Işınım miktarı arttıkça da panellerin yüzey sıcaklığının dengeye gelme süresi ve sıcaklık değeri de artar.



Şekil 43. Ölçüm sensörleri

Bu dört parametrenin önceden bilinmesi panellerin çalışma sıcaklığı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Böylelikle panel sıcaklığı anlık olarak ölçülerek beklenen verimdeki değişim direk olarak görülebilecektir. Ölçüm Sensörlerine ait görsel Şekil 43'te sunulmuştur.

8.1.2 Panel yüzeyine düşen ışınım miktarını etkileyen parametreler

Panel yüzeyine düşen ışınım, panellerin kısa devre akımını ve I_{mpp} değerini doğru orantılı şekilde değiştirir. Işınım miktarındaki artış güç üretiminde, I_{mpp} değerini artırarak olumlu bir etki yaratmakla birlikte, panel yüzey sıcaklığını da artırdığı için olumsuz bir etki de oluşturmaktadır. Bu yüzden panel yüzey sıcaklığı ile birlikte değerlendirilmelidir.

Yağmur yağış süresi: yağış süresince havanın bulutlu olması ışınım miktarını düşürecektir. Bu da I_{mpp} değerini düşürerek güç üretimini azaltacaktır.

Kar yağış süresi, kar yoğunluğu: kar yağışı anında hava yağmurlu bir güne göre daha aydınlık olmaktadır. Ancak kar paneller üzerinde birikerek panellerin ışık almasını engeller. Eğimli yüzey nedeniyle kar genelde aşağı doğru kayacaktır. Bu da panellerin bir kısmının gölgelenmesine ve verimin düşmesine neden olacaktır. Bu etkiden kurtulmak için panellerin temizlenmesi gerekmektedir. Bu da fazladan bir maliyet getirir. Fizibilite çalışmalarında bu maliyetin hesaplanması için kar yoğunluğunun ve bunun erime süresinin bilinmesi önemlidir.

Bulut yoğunluğu: bölgedeki havanın bulutlu olması ve bu bulutların gölgesinin paneller üzerine tamamen veya kısmen düşmesi, ışınım miktarını düşürecektir. Bu da Impv değerini düşürerek güç üretimini azaltacaktır.

Güneşlenme süresi: yıl /gün içinde paneller üzerine düşecek ışık miktarının önceden bilinmesi üretilen güç miktarını tahmin etmede / hesaplamada en önemli parametredir.

Bu dört parametrenin önceden bilinmesi panellerin üzerine düşecek ışınım hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Böylelikle panel üzerine düşen ışınım anlık olarak ölçülerek beklenen verimdeki değişim direkt olarak görülebilecektir.

8.2 Çevresel Etkiler

Çevresel etkiler iklimsel etkilere benzer etkiler yaratmakla birlikte oluşum nedenleri yapay olduklarından değiştirilebilirler. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta GES'in kurulacağı bölge etrafında GES üzerine yıl içinde gölgesi gelebilecek yapıların öngörülebilmesidir. GES kurulacak bölge çevresinde mümkünse gölge oluşturacak bir yapı (doğal ya da yapay) bulunmamalıdır. Varsa bu önceden kaldırılmalı ya da kurulum alanları bu gölgeden en az etkilenecek şekilde yapılmalıdır. Çevresel etkilere ait görsel Şekil 44'te sunulmuştur.



Şekil 44. Çevresel etkiler

Buna ek olarak GES'in kurulduğu bölgede yıllar içinde oluşabilecek kentsel değişimler / oluşumlar, yetkili kurumlar tarafından GES üzerine gölge düşürülmeyecek şekilde sınırlandırılmalıdır.

Ayrıca GES santralının kurulması planlanan bölgedeki altyapı dikkatle incelenmelidir. Buradaki altyapı imkanları ya da eksiklikleri yatırım maliyetini etkilemektedir.

8.3 Güneş Panellerinin Karakteristik ve Yapısal Özellikleri

Bir GES kurulumundan önce ilk olarak yukarıda belirttiğimiz parametreler saha üzerinde incelenmeli, alınan bu verilere göre panel secimi, karakteristik ve yapısal özelliklerinde göre belirlenmelidir. Hücrelerin yapım aşamasında oluşan paralel- seri direnç, kapasitif özellik gibi verimi etkileyen P-N eklem parametreleri bura da incelenmemiştir.

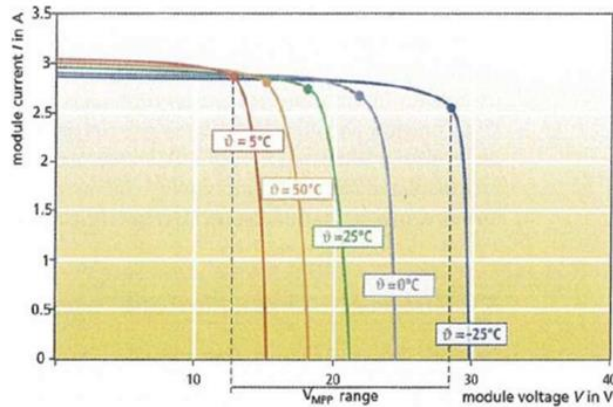
Birbirine seri bağlanmış bir paneller dizisinde çıkış gerilimi, en düşük gerilimdeki panele göre ayarlandığından GES te kullanılan panellerin karakteristik özelliklerinin aynı olmasına dikkat edilmelidir. Birbirinden farklı yapıda ya da özelliğe sahip paneller kullanılmamalıdır. Aksi takdirde kurulan santralden maksimum verim elde edilemez.

8.3.1 Panel yüzey sıcaklığı

Standart şartlar altında panel verimliliklerine bakıldığında en yüksek verimi monokristal paneller göstermektedir. Ancak Kocaeli, Tekirdağ, Karabük, illerinde farklı paneller üzerinde yapılan deneylerde polikristal panellerin daha yüksek verim de çalıştıkları gözlenirken, Erzincan ilinde yapılan deneylerde de monokristal ile polikristal panellerin verimlilikleri yaklaşık eşit olmuştur [42,43,44,45].

Buda göstermektedir ki panel seçimi bölgesel olarak değişmektedir. Aslında bu değişim bölgesel olmaktan çok panellerin karakteristik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Yüzey sıcaklığındaki değişim, ışık şiddetini sabit kabul edersek Şekil 45'te görüldüğü gibidir. Buna göre artan yüzey sıcaklığı ile V_{mpp} ve V_{oc} değerleri azalırken (yaklaşık exp olarak) I_{mpp} ve I_{sc} değerleri çok az artacaktır.



Şekil 45. Yüzey sıcaklığındaki değişim

$I_{mpp}(T)$, $V_{mpp}(T)$, $I_{sc}(T)$ ve $V_{oc}(T)$ değerlerinin sıcaklıkla değişimleri

$$\begin{aligned}
 I_{sc}(T) &= I_{sc} \times [1 + \alpha_{I_{sc}} \times (T_{hücre} - 25)] \\
 I_{mpp}(T) &= I_{mpp} \times [1 + \alpha_{I_{mpp}} \times (T_{hücre} - 25)] \\
 V_{oc}(T) &= V_{oc} \times [1 - \beta_{V_{oc}} \times (T_{hücre} - 25)] \\
 V_{mpp}(T) &= V_{mpp} \times [1 - \beta_{V_{mpp}} \times (T_{hücre} - 25)]
 \end{aligned} \tag{28}$$

ifadeleri ile verilir. Burada $\alpha_{I_{sc}}$, $\alpha_{I_{mpp}}$, $\beta_{V_{oc}}$, $\beta_{V_{mpp}}$ sırası ile kısa devre akımı, max. çalışma akımı, açık devre gerilim ve max. çalışma gerilim sıcaklık katsayılarıdır. Hücre sıcaklığı ($T_{hücre}$), ortam sıcaklığı ve Güneş radyasyonunun değişimi ile değişir ve

$$T_{hücre} = T_{ortam} + \left(\frac{T_{nom} - 20}{0,8} \right) \times G \tag{29}$$

ifadesi ile verilir. Burada T_{nom} , hücre/PV modül üzerine gelen radyasyonun elektriğe dönüşmeyen kısmının, ısı olarak hücrede açığa çıkarttığı sıcaklıktır. “Nominal hücre çalışma sıcaklığı” olarak ifade edilen T_{nom} , ortam sıcaklığı 20°C, Güneş yoğunluğu 0,8 kW/m² ve rüzgâr hızı 1m/s için tanımlanır/ölçülür. G, kW/m² olarak verilen Güneş ışınım yoğunluğudur.

Kullanılan panelin $\beta_{V_{mpp}}$ sıcaklık katsayısı ne kadar düşük olursa V_{mpp} deki değişimde o kadar küçük olacaktır. Bu yüzden GES kurulacak bölgede ki hava sıcaklığı değişimi çok büyükse, $\beta_{V_{mpp}}$ sıcaklık katsayısı küçük olan paneller seçilmelidir. Böylelikle sıcaklık değişimlerinden oluşacak verim kaybını min. Düzeyde tutmuş oluruz. Farklı paneller ile farklı sıcaklıklarda yapılan verim hesaplamaları [46]. Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11: Farklı Sıcaklıklarda Güneş Panel Verimlerinin Kıyaslanması

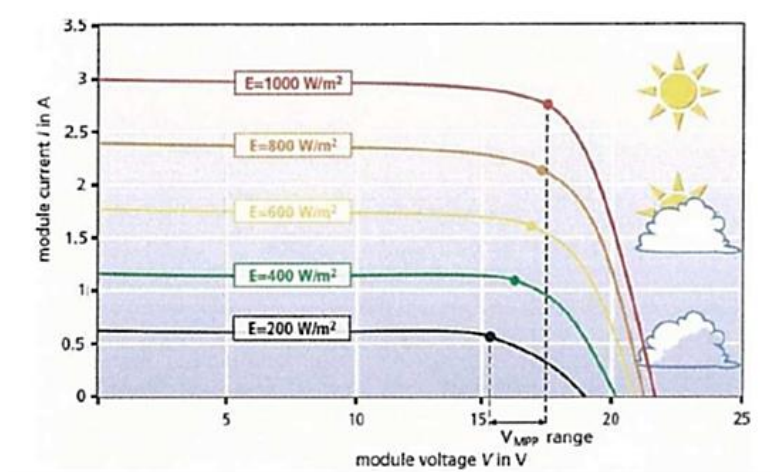
Sıcaklık (Ortam C°)	Monokristal Verim (%)	Polikristal Verim (%)	Amorf Verim (%)
25	15	14	10,36
30	13	12	9,6
35	12,8	11	9
37	11	10,2	8,3
40	9,9	9,2	7,9
45	7,65	7,5	7,46

Tablo 11’de görüldüğü gibi düşük ortam sıcaklığında verimde gözlenen fark ortam sıcaklığının artması ile hızla azalmıştır. Aslında bu da V_{mpp} değerinin sıcaklıkla değişiminden kaynaklanmaktadır. Buna göre Amorf ince film Güneş gözelerinin $\beta_{V_{mpp}}$

sıcaklık katsayısının monokristallere göre daha düşük olduğu göstermektedir. Benzer bir çalışma Pakistan'da da yapılmıştır [47].

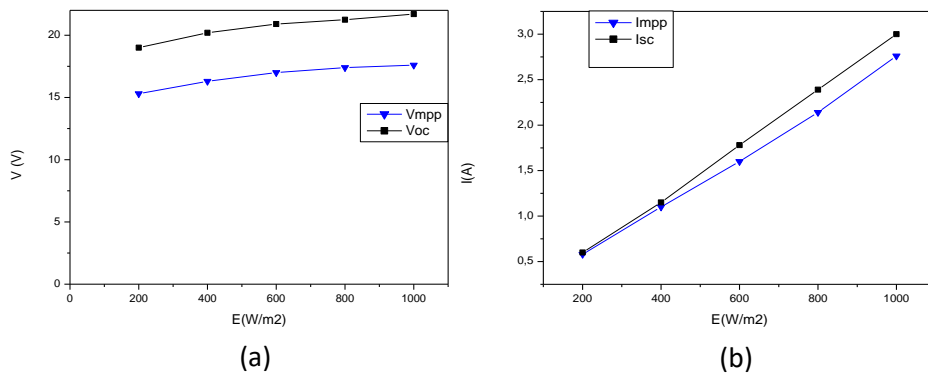
8.3.2 Panel üzerine gelen ışınım miktarı

Bir panelin üzerine düşen ışık şiddeti değiştikçe panelin I-V değişimini gösteren grafik Şekil 46'da verilmiştir.



Şekil 46. panelin I-V değişimi

Şekil 47 incelendiğinde kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre gerilimi (V_{oc}), akım ve gerilim için maksimum çalışma noktaları (I_{mpp} ve V_{mpp})'nın ışık şiddeti ile nasıl değiştiği görülmektedir. Bu değerlerin ışık şiddeti ile nasıl değiştiği 42'de verilmiştir. Buna göre V_{oc} ve V_{mpp} değerleri ışık şiddetinin artması ile exp olarak artarak doyuma giderken I_{sc} ve I_{mpp} değerleri ışık şiddeti ile lineer olarak değişmektedir.



Şekil 47. I_{sc} ve I_{mpp} değerleri

İşık şiddetini max. konumda tutmak için paneller en uzun süre Güneş'i görecek şekilde ve Güneş ışınlarını en dik alacak şekilde yerleştirilmelidir. Bunun en kolay yolu Güneş takip sistemleri kullanarak panelleri Güneş'e yöneltmektir. Ancak bu tür sistemlerin, hem bakım onarım masraflarının fazla olmasından hem de sahada her yönde birbirlerini gölgelemeyecek şekilde kurulması gerektiğinden daha büyük alanlara ihtiyaç duymasından dolayı pek tercih edilmezler. Bunun yerine daha küçük alanda daha yüksek verim elde etmek için tek eksenli Güneş takip sistemleri kullanılabilir. Ancak bu tür sistemler sürekli hareket halinde olmaları nedeniyle çok fazla arıza oluşmakta ve bakım-onarım süreçleri uzun ve maliyetli olmaktadır.

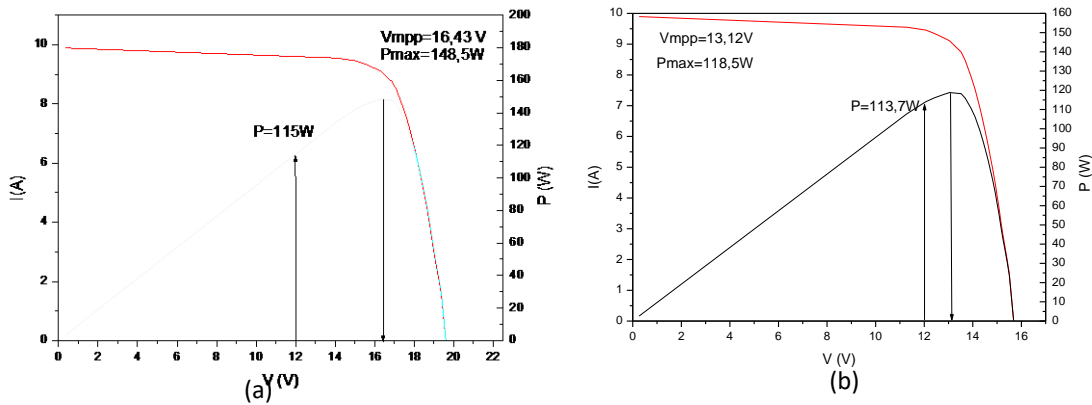
Bu tür arıza ve bakım – onarım süreçlerinden kurtulmanın bir yolu konstrüksiyonu yaz, kış ve bahar mevsimlerinde Güneş ışınlarını en iyi alacak şekilde üç farklı açıda kolayca konumlanabilecek şekilde tasarlamaktır. (Her dört ay da bir panel eğim açısını manuel değiştirmek)

8.3.3 Yüzey Alanı ve V_{mpp} değeri

Farklı paneller için birim alandaki güç üretimine bakıldığında birim alanda en yüksek gücü monokristal oluştururken, sırasıyla polikristal, ince film bakır indiyum selenoid, ince film amorf silisyum ve ince film kadmiyum paneller gelmektedir [43].

Sınırlı bölgelerde maksimum verimi sağlayabilmek için en düşük alanda en yüksek verimi sağlayan paneller seçilmelidir. Ancak seçilen panelin V_{mpp} değeri kullanılan inverterin veya istenen DC çıkış geriliminden farklı ise bu panelden maksimum verim elde edemezsiniz. Bu da maliyeti gereksiz yere arttırır.

Örnek olarak yüzey alanları aynı büyüklükte olan açık devre gerilimleri sırasıyla 0,59V (Şekil 48 (a)) ve 0,48V (Şekil 48 (b)) olan 33 hücreden oluşmuş bir seri modülün I-V ve P-V grafikleri verilmiştir.



Şekil 48. Seri modülün I-V ve P-V grafikleri

Şekil 48’de görüldüğü gibi 12VDC çıkış için, max güç üretimi Şekil 48 (a) ya göre daha düşük olmasına rağmen Şekil (b) deki modülü kullanmak verimliliği artıracaktır. Dolayısıyla panelin kapladığı alanla birlikte, modülün V_{mpp} değeri istenen çıkış gerilimine ya da katlarına eşit olmasına da dikkat edilmelidir.

8.4 Kurulum Kayıpları

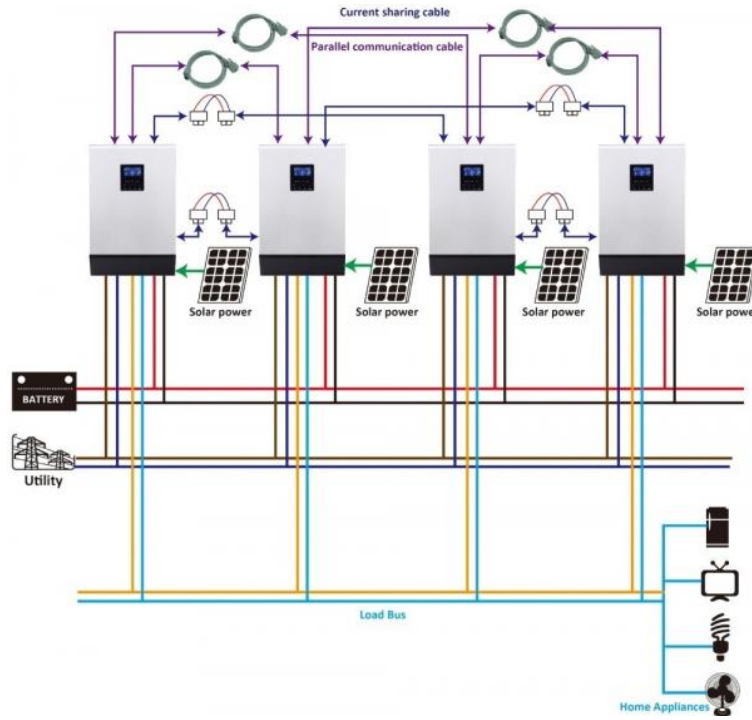
Bir GES kurulumunda kullanılan kablo, invertör, akü, kablo bağlantıları, topraklama bağlantıları, trafo üzerlerinde kayıplar gelmektedir [48]. Bu kayıpların min. seviyeye indirilmesi için uygun malzeme seçimi ve ayrıntılı hesaplamaların yapılması gerekir. Bu hesaplamaların doğru yapılması güç üretimi tahminlerinin daha doğru olmasını sağlayacaktır.

9. KARŞILAŞILAN ARIZALAR

Güneş enerji santrallerinde karşılaşılan arızalar; elektrik iletiminde yaşanan izolasyon hataları, inverter ve kompakt şalter arızaları, Güneş paneli ve Güneş konnektör arızaları, orta gerilim arızaları, röle koordinasyonu kaynaklı arızalar olmak üzere 5 farklı türde sıralanabilir.

9.1 İzolasyon Hataları

Güneş enerji santrallerindeki panellerde üretilen DC gerilimin invertere iletilmesi, inverterde üretilen AC gerilimin şebekeye bağlantısında çeşitli iletkenler kullanılır. İletkenlerin birbiriyle temas etmelerini engellemek, kısa devre oluşmaması ve kabloları dış etmenlerden korumak için izolasyon malzemeleri kullanılır. Kullanılan malzeme çeşidine göre izolasyon özellikleri değişir. Sistem koruması ve can güvenliği için kablolarda izolasyon kritik önem taşımaktadır. Örnek Güneş enerji santrali devre şeması Şekil 49'da sunulmuştur.



Şekil 49. Örnek Güneş enerji santrali devre şeması

İzolasyon hataları Güneş enerji santrallerinde en sık görülen hatalardır. Bu hatalar genellikle kurulum aşamasında yapılan gevşek bağlantılar, kabloların toleranssız döşenmesi, kablo tavalalarının köşelerinin kabloları zarar vermesi, kemirgenlerin kabloları kemirerek kabloları zarar vermesi, kabloların yüksek ve düşük sıcaklıklara maruz kalarak yalıtkan tabakanın deforme olması gibi sebeplerden ötürü oluşmaktadır.

İzolasyon hataları, kısa devrelere sebep olmakta ve bağlı olduğu inverter, Güneş paneli gibi ekipmanların arızalanmasına ya da devreden çıkmasına sebep olmaktadır. Arızanın çözümü sonrasında IEC 62446-2016 standardına göre izolasyon testi yapılması gerekmektedir. Kablo izolasyonlarının en az 2 Mega ohm değerinin üzerinde olması ve kablo izolasyon değerlerinin birbiri içerisinde tutarlı olması gerekmektedir. Hasar gören kabloların bakımının yapılması için kablolar yer altındaysa yeniden kablo çekilmesi, yer üstünde olan hasarlarda ise kablo onarımının yapılması gerekmektedir. Kış aylarında kemirgenlerin yer altındaki kanallarda saklanması ve sıcak olan kablo kanallarına yakın yuvalarını yapması sonucu kemirgenler DC kabloları kemirerek zarar verebilmektedir. Bakım ve onarım olarak bu durumda Güneş enerji santrali sahasında ilaçlama yapılması ve kemirgenlerin Güneş enerji santrali sahasından uzaklaştırılması gerekmektedir. İzolasyon hatalarına ait görsel Şekil 50’de sunulmuştur.



Şekil 50. İzolasyon hataları

9.2 İverter ve Kompakt Şalter Arızaları

Güneş enerji sistemlerinden elektrik üretimi yapmak için diğer tüm sistemlerde olduğu gibi yardımcı elemanlar bulunmaktadır. DC olarak üretilen enerjinin AC olarak kullanımını sağlayan bu sistemler hayatımızda önemli yer kaplamaktadır.

İnverter (Evirici) Güneş panelinden DC olarak üretilen enerjinin AC enerjiye çevrilmesini sağlayan ekipmandır. Kurulan sistemlerin en önemli üretim aracıdır. On-Grid ve Off-Grid olarak çeşitlenmektedir.

- On-Grid İverter: Şebeke içi olarak da adlandırılan bu inverterler panellerden gelen DC enerjiyi AC enerjiye çevirir. Kurulacak olan sistemler şebeke bağlantılı olup satış yapacak ise On-Grid inverter kullanılmalıdır.
- Off-Grid İverter: Bu sistemlerde işlem panel aracılığıyla üretilen enerji direk olarak akülere depo etmek için aktarılır. Akülerden DC olarak çıkan enerjiyi AC enerjiye dönüştürüp sisteme aktarmak için Off-Grid inverterler kullanılır.

9.2.1 On-Grid Sistemler

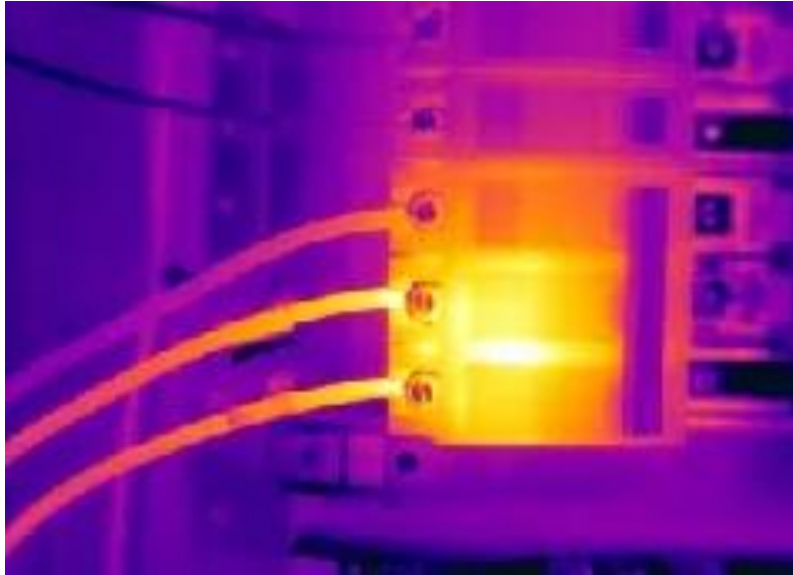
Bu sistemler akü kullanımına gerek kalmadan direkt olarak şebeke bağlantısı aracılığıyla çalışmaktadır. Çift yönlü sistem olarak, ihtiyaç fazlası enerjiyi şebekeye satıp, enerji ihtiyacı olduğu zaman ise şebekeden alım işlemi gerçekleştirilmektedir. Yüksek bedellerle karşılanan akülere ihtiyaç olmadığı için hem maliyeti azaltmaktadır hem de bakım işlemlerini ortadan büyük derecede azaltmaktadır.

9.2.2 İverter Seçimi

Sahada kullanılan panel sayısına göre ve bu panellerin oluşturacağı string sayısına göre inverter seçimi yapılmalıdır. Seçilen inverterin kullanılan diğer malzemelerle uyumu enerji üretimi için çok önemlidir. Voltajına uygun olmayan ve kalitesi düşük İverter seçiminde, teknik hatalar ve bozulmalar yaşanabilmektedir. İverter sayısı projenin büyüklüğüne ve seçilen markaya göre değişiklikler gösterecektir [49].

İnverterlerin bakım onarımı ekipman üreticilerinin belirlediği bakım kılavuzlarına göre yapılması önem taşımaktadır. İnverterlerin markalarına göre montaj bağlantılarında veya havalandırma sistemlerinde farklılıklar görülmektedir. String inverterlerin yanlış veya uygun tork değerinde yapılmayan bağlantılarında zamanla klemens yanıkları meydana gelmektedir. Merkezi inverterlerde özellikle hava filtrelerinin temizliği ve fanların bakımı mutlaka her yıl yapılması gerekmektedir. Merkezi inverterlerde inverter köşkünün havalandırması, temizlik ve bakımı önem taşımaktadır.

Güneş enerji santrallerinde kullanılan şalterlerde oluşan aşırı ısınma sorunları ancak bağlantıların bakımlarının uygun şekilde yapılmasıyla giderilebilmektedir. Güneş enerji santrali sahasında yılda en az 1 kere tüm bağlantıların termal testlerin yapılması ve gözle kontrollerinin yapılması olası yangın riskini ve üretim kayıplarını engelleyecektir [50]. Kompakt şalter termal görüntüsü Şekil 51'de sunulmuştur.



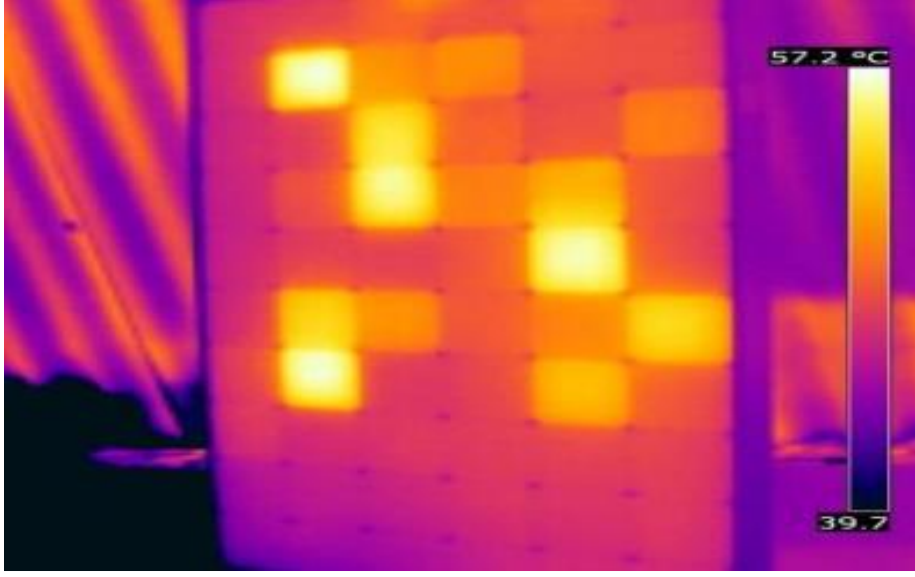
Şekil 51. Kompakt şalter termal görüntüsü

9.3 Güneş Paneli ve Güneş Konnektör Arızaları

Güneş panellerinde çok sıklıkla rastlanan kırık bağlantı, korozyon, kırık cam, kırık hücre, kaplama hatası vb. birtakım arızalar mevcuttur. Üretim hatalarının da dâhil olduğu, çatlak, çizik, kuş pislemesi ve kırık hücre gibi sebeplerden dolayı panellerin üzerinde oluşan sıcak noktalara Hotspot denir. Meydana gelen bu ısılar üretim kapasitelerinde düşümlere neden olabileceği gibi yan hücreleri de etkileyerek onların da enerji üretmesine engel olmaktadır. Taşınabilir termal kameralarla bu arızaları tespit etmek mümkündür. Ancak arazi yapısının uygun olmadığı sahalarda, çatı uygulaması olan alanlarda veya çok geniş üretim alanlarında el ile bu tespitler çok zaman alabilmekte ya da ölçüm yapmak mümkün olmayabilmektedir. Böyle durumlarda yaygın olarak, yüksek çözünürlüklü kameralara sahip hava araçlarıyla bu panellerde termal arıza tespiti çok kısa sürede yapılabilmektedir. Üzerinde HD termal kamera bulunan ve çok eksenli uçuş kabiliyetine sahip dronlarla arıza tespiti yapan sistemlere “Kamerallı Multikopter Sistem” denir. Cismin yüzey sıcaklığına bağı olan ısıl ışınım spektrumu ve miktarı, ölçüm yapan kameranın panel yüzeyindeki sıcaklığı görüntülemesini mümkün kılmaktadır.

Güneş panellerinde karşılaşılan arıza tipleri, hücrelerde kısa devre ve diyot kısa devresidir. Hücrelerde kısa devre genellikle panellerin üretim aşamasında ya da kalitesinden dolayı sahada montajından sonra ortaya çıkmaktadır. Bu arıza sonucunda Güneş paneli enerji üretmek yerine bunu ısıya çevirerek tüketmektedir. Bu tür arızalar da genel enerji üretimini düşürmektedir. Solar panellerin yapıları basitçe bir PN jonksiyonuna benzer ki buna da diyot diyebiliriz. Solar panellerde ayrıca diyot kısa

devre arızaları da meydana gelebilmektedir [51]. Solar panel termal kamera görüntüsü ve sıcaklık değeri şekil 52’de sunulmuştur.



Şekil 52. Solar panel termal kamera görüntüsü ve sıcaklık değeri

Güneş panellerinde görülen başka bir arıza ise bağlantı kutularındaki kablo arızalardır. Özellikle yaz aylarında panel verimlerinin bu sebeplerden ötürü nominal verimin altına düştüğü görülmektedir. Konnektörlerde görülen uyumsuzluk “mismatch” durumu konnektörlerin arızalanmasına sebep olabilmektedir. Uyumsuzluk sorunları sebebiyle konnektörler yanmakta ve Güneş enerji santrali sahası için yangın riski oluşturmaktadır. Uyumsuzluk sonucu yanmış bir konnektör Şekil 53’te sunulmuştur.



Şekil 53. Uyumsuzluk sonucu yanmış bir konnektör

9.4 Orta Gerilim Arızaları

Güneş enerji santrallerinin şebekeyle bağlantısını sağlayan orta gerilim sistemlerinde yaşanan arızalar Güneş enerji santrallerinde önemli üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Özellikle trafo ve kesicilerin tamir/temin sürelerinin 1 aya kadar çıkabilmesi riskin ne kadar büyük olduğunu göstermektedir. Trafolarında ve kesicilerde arızaların önlenmesi için periyodik bakımların uzman personellerce yapılması gereklidir. Bakımlarda trafo korumalarının test edilmesi büyük önem arz etmektedir. Koruması olmayan trafolar şebekeden gelebilecek darbelerde kolaylıkla faz arızası verebilmektedir. Faz yanıklarının oluşması durumunda trafonun fabrikaya gönderilerek tamir edilmesi gerekmektedir. Yağlı trafolarında yağ-gaz analizlerinin yapılması, çevirme oranı ve sargı dirençlerinin ölçülmesi tavsiye edilmektedir. Kesicilerde kontak geçiş dirençlerinin ölçülmesi de olası ark oluşumlarını tespit etmekte büyük önem taşımaktadır.

9.5 Röle Koordinasyonu Kaynaklı Arızalar

Röleler enerji sistemlerinde sistemi anormal şartlardan koruyan ekipmanlardır. Şebekeden sağlanan enerjinin kalitesinin veya sistem içerisindeki enerjinin kalitesinin belli toleransların üzerinde bozulması sistemlere zarar verebilmektedir. Bu durumun önlenmesi için sahada röle koordinasyonunun yapılması gerekmektedir. Aksi durumda şebekeden gelen veya şebekeye verilen darbeler beklenmedik arızalara ve patlamalara sebep olabilir. Şebekeden gelen darbelerde röle koordinasyonuna göre hiyerarşik kesici korumalarının çalışıp çalışmadığı, röle ayarlarının doğru yapıp yapılmadığı kontrol edilerek anlaşılabilir.

10. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN BAKIM ONARIM VE İŞLETİLMESİ FAALİYETLERİ

Genel olarak bakım-onarım iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunlar planlı ve planlanmamış bakım onarımlardır.

Planlı (Önleyici/Periyodik) Bakım Onarım: Önceden planlanmış ve arıza önlemeyi hedeflemenin yanı sıra tesisin optimum seviyede çalışmasını sağlamak amaçlanmaktadır.

Planlanmamış (arıza) bakım onarım: Arızalara yanıt olarak gerçekleştirilir.

10.1 Planlı (Önleyici/Periyodik) Bakım Onarım

Planlı bakım arıza kaynaklı bakım onarım ihtiyaçlarını en aza indirmektedir. Önleyici bakımın planlanması çeşitli şartlara bağlı gerçekleşmektedir. Bunlar, seçilen teknoloji, sistemin çevre koşulları, garanti koşulları ve mevsimsel farklılıkları kapsamaktadır. Planlı bakım genellikle üreticinin tavsiyelerine göre planlanan aralıklarla ve ekipman garantilerinin gerektirdiği şekilde gerçekleştirilmektedir. Aşağıda verilen tabloda yaygın olarak üreticilerin benimsediği periyodik bakım tarihleri görülmektedir.

Tablo.12 Periyodik Bakım Tablosu [52]

NO	PERİYODİK BAKIM TANIMI	BAKIM PERİYODU	1. BAKIM		
			TARİH	ONAY	AÇIKLAMA
1	I-V Curve Ölçümü	Yılda 1 Defa	1-30 Nisan		
2	Termal Kamera ile DC Hotspot Kontrolleri	Yılda 1 Defa	1-30 Nisan		
3	Güneş Paneli Temizliği	Yılda 2 Defa	1-14 Nisan		
4	Inverterler İçin Ölçüm ve Denetimler	Yılda 1 Defa	1-30 Mart		
5	Topraklama Ölçümleri	Yılda 1 Defa	1-30 Eylül		
6	Yıldırım Korunma Sistemi Ölçümleri	Yılda 1 Defa	1-30 Eylül		
7	Konstrüksiyon İçin Ölçüm ve Denetimler	Yılda 1 Defa	1-30 Eylül		
8	AG Elektrik Tesisatı Ölçüm ve Denetimler	Yılda 1 Defa	1-30 Mart		
9	OG Elektrik Tesisat Denetimi- YG İşletme Sorumluluğu	Her Ayın 20-25 Arası Pazartesi Günü			
10	Trafo Bakımları	Yılda 1 Defa	1-30 Mart		
11	YG Hücre Bakımları	2 Yılda 1 Defa	1-30 Mart		
12	Kompanzasyon Denetimi	Her Ayın 20-25'i Arası (Pazartesi Günü)			
13	Faturalama Denetimi	Her Ayın 20-25'i Arası (Pazartesi Günü)			
14	Kamera Sistem Bakımı	Yılda 1 Defa	1-30 Mayıs		

Yine aşağıda, bir PV santralinde planlı/önleyici bakım kapsamı içinde yer alan düzenleyici bakım olayları ve bu olaylar karşısında alınması gereken tutumun nasıl

olması gerektiği ile ilgili durumları bir tablo haline getirerek bu yol haritası üzerinden nasıl bir bakım planlanması gerektiğini belirtmiştir.

Tablo 13. Bakım Planlama Tablosu [53]

	Düzeltilici Teknikler					
	Yapay Zekâ	Su Temizleme	Kuru Temizleme	Kar Temizleme	Ekipman Teknik Bakımı	Gölgeleme Azaltma
Etkinlikler						
Kar Birikimi				+		
Toz Partikül Birikimi		+	+			
Gölgelen-dirme	+					
Ekipman Arızası					+	
Düzeltilici Görevler						
Değiştir					+	
Düzeltil					+	
Kaldırmak		+	+		+	
Onarım					+	+
Kod						+

10.1.1 Panel Temizliği

PV panellerinin temizliği sistem verimini etkileyen en önemli etkidir. Toz ve biriken diğer parçacıklar, Güneş ışınımının hedef hücrelere ulaşmasını engellediğinden paneller kirlendiğinde voltaj düşüşü ve diğer rahatsızlıklar görülmektedir. Bu da en az tozlu bölgelerde %7, Ortadoğu bölgesi gibi kum ve çöl hareketlerinin bulunduğu yerlerde %50'ye varan enerji kayıplarına neden olmaktadır. Panel temizliği Şekil 54'te görülmektedir.



Şekil 54. Panel temizliği

Modül kirlenme seviyesi bölgeye özel olduğu için temizlik işlemleri arasındaki süre farklı bölgelerde önemli ölçüde değişiklik gösterecektir. Ancak genel uygulama yılda iki kez panellerin temizlenmesinin verim için gerekli olduğu şeklindedir. Modüllerin temizlenme sıklığı, saha ve çevresindeki alan zemin kaplaması ve yerel yağış modelleri gibi faktörler tarafından belirlenmektedir. Tablo 14'te 16 aylık ölçümlerle temiz ve kirli panellerin güç çıkışları kaydedilmiştir. Söz konusu bölgede temiz panellerle üretilen gücün %8,7 daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 14. Temiz ve Kirli Panellerden Güneş Enerjisi İle Üretilen Güçler Arasındaki Fark [54].

SIRA	AY- YIL	TEMİZ PANELLER	KİRLİ PANELLER	YÜZDE FARKI
1	Kas.13	11.365	10.717	5.7
2	Ara.13	10.809	10194	5.69
3	Oca.14	11.344	10685	5.81
4	Şub.14	12.382	11865	4.18
5	Mar.14	11.735	11343	3.34
6	Nis.14	12.196	11569	5.15
7	May.14	11.862	11412	3.79
8	Haz.14	11.048	11035	0.12
9	Tem.14	0.9201	0.9355	-1.67
10	Ağu.14	0.7544	0.7619	0.99
11	Eyl.14	0.6810	0.7106	-4.35
12	Eki.14	12093	0.6631	45.17
13	Kas.14	0.9560	0.6026	36.97

14	Ara.14	10479	0.9785	6.62
15	Oca.15	10487	0.9821	6.35
16	Şub.15	12037	11.512	4.36
17	GENEL TOPLAM	10612	0.9687	8.72

Elle temizleme, küçük ölçekli Güneş enerji santralleri için en verimli temizleme tekniklerinden biridir [55]. Panelleri temizlemek için bir işçiye, yumuşak bir bez ve suya ihtiyaç duyduğu için en ilkel teknik olarak kabul edilmektedir. Sert kirler için ise temizliği iyileştirmenin bir yolu olarak deterjan formülleri ekleyebilen jetler ve fırçalar kullanılır (Şekil 55) [56].



Şekil 55. Elle panel temizliği

Aktif Temizleme tekniği, mekanik yöntemlerden başlayarak işi yürütmek için sürekli güç gerektiren tüm temizleme tekniklerine karşılık gelmektedir. Paspaslama, fırçalama ve üfleme ile donatılmıştır. Bir merkezi işlemci, bir dişli kutusu ve bir kademeli motordan oluşan bir sistem, Güneş ışınımını Güneş paneli modül yüzeyine normal tutacak şekilde döner. 180° dönerken fırça, yerçekimi kuvveti nedeniyle döner ve Güneş paneli yüzeyini temizler. Fırçanın tuttuğu diğer temizleme işlemi farklı zamanlarda 360 derecede gerçekleştirilir [57].

Elektrostatik kalkanlar temizleme tekniklerinde ise, yüklü hava tozu elemanlarını enine bir şekilde taşıyan elektrik alanından kaynaklanan hareket eden dalga teorisine dayanmaktadır [58].

Elektrostatik toz giderme sistemi, iki paralel elektrottan oluşmaktadır ve her elektrot karşılıklı olarak yüklü toz elemanlarında negatif elektrot indüklemektedir. Negatif yük Güneş paneli yüzeyinde mevcut belirli bir ortama yerleştirilebilir çok özel kimyasal bileşenlerden yapılmıştır. Toz birikintileri, çekimden sonra pozitif elektrotta biriktirmektedir. Sonuç olarak temassız bir temizleme gerçekleşir ve her bir Güneş paneli modülünün performansının %90 arttığı belirtilmiştir [59].

Aktif temizlemenin son alt bölümünde ise elektrik motoru ve fırçadan oluşan robotik temizleme su kullanımını azaltmada oldukça etkinlik göstermiştir (Şekil56) [60].



Şekil 56. Robotla panel temizliği

Panellerin su ile temizleme işlemi ucuz ve kolay olmakla birlikte uzmanlık ve bunu gerçekleştirmek için özel donanım gerektirmemektedir. Temizlik için kullanılan su ve işçilik maliyetleri, yüksek elektrik çıktıları ile kompanse edilmektedir. Ancak yılda iki kereden fazla panellerin temizlenmesini gerektiren bölgelerde diğer otomasyon teknikleri ve kuru temizleme yöntemini tercih etmek maliyetleri azaltabilir. Su ile temizleme tekniğinde dikkat edilmesi gereken nokta, temizliğin çözünmüş katı madde miktarı az olan su ile yapılması gerektiğidir. Sabun veya diğer temizlik maddelerinin eklenmesi, Güneş panellerin üst yüzeyinde kalıntılara yol açarak arızalara ve verim kaybına neden olabilmektedir. Bazı kimyasal deterjanlar cam montajında iz bırakarak ışık sapmasına ve diğer arızalara; taşıma veya şebeke suyu ile yapılan temizlemeler kireç birikintisine neden olabilmektedir. Bu yüzden de-iyonize saf su kullanımı tercih edilmesi uygun olacaktır.

Öte yandan kuru temizleme, su ile temizleme yerine geçen daha üst düzey bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Ancak diğer donanımlara (robotlar, elektronikler) ihtiyaç duyulması ve makinelerin performansının sürekli gözetim altında tutulması, bakım ve izlenmesi için teknik personele ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Bir Güneş enerji santralinin güç çıkışını yalnızca toz ve kuş pisliği etkilemez. Soğuk bölgelerde, Güneş panelleri üzerindeki kar birikimi, genel güç çıkışını büyük ölçüde azaltmaktadır [61].

Toz ve kar yapısı arasındaki büyük fark nedeniyle, tozun / birikintilerin olumsuz etkisini azaltmak için kullanılan teknikler, karı Güneş paneli yüzeylerinin üstünden kaldırmak için işe yaramamaktadır [62].

Aşağıdaki özetlenen sekiz teknik arasında, eğim açısının artırılması, biriken karın daha hızlı kaymasına ve dolayısıyla güç üretimi kayıplarının azalmasına sağlayabilmektedir.

Kar Biriktirmesi Azaltma Yöntemleri,

- ✓ Geceleri Eğim Arttırma
- ✓ Arkadan Yansıtma
- ✓ Yüzey Kaplama
- ✓ Isıtma
- ✓ Elektrostatik Yüzey
- ✓ Termal Kolektör
- ✓ Venturi Deflektör
- ✓ Mekanik Temizleme [63].

Bu işlem gece (Güneş ışınımı ve Güneş paneli çıkışlarına güç bağlantısı kapalıyken) yapılır; burada, panel enerji ürettiği pozisyona ertesi günü hızlıca geri dönecektir.

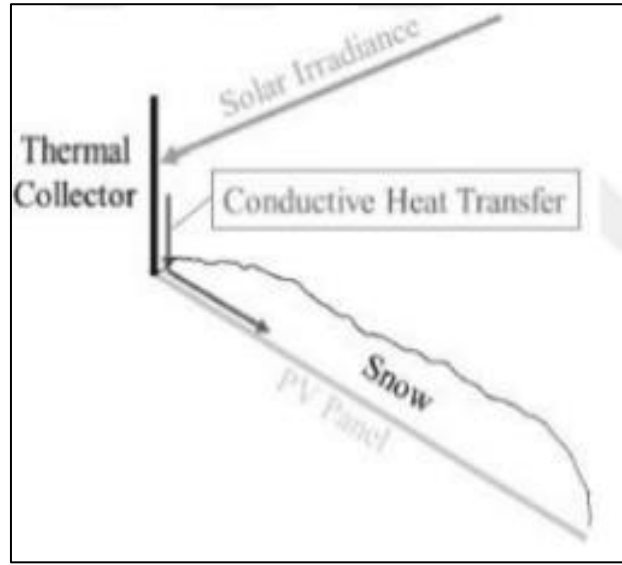
Güneş panelinin arkası her zaman kardan temizlendiğinden, panellerin arka yüzeylerini dağınık ışığı emmeye zorlanabilecektir. Bu da panellerin arkasından yansıyarak Güneş paneli sıcaklığının artmasına ve dolayısıyla erime sürecini hızlandırmaya neden olmaktadır. Bu da Güneş panellerinin önündeki karın erimesine neden olur [64].

Yüzey kaplamaları kullanmak kar örtüsünü parçalamak için Güneş ışınlarını emerek yapışmayı azaltıcı ve sürtünmeyi arttırıcı işlev görmektedir. Alternatif olarak, ısıtma süreçleri karı Güneş panellerinden uzaklaştırmak için kullanılan basit yöntemdir. Bunlar ikiye ayrılır:

Gerilim Uygulaması Isıtma: Güneş panellerin direnç özelliklerinden yararlanılarak, kar düştükten sonra bir gerilim kaynağı uygulanarak ısı üretmeleri sağlanmaktadır [65].

Harici Isıtma Kaynağı: Panelin ön veya arka yüzeylerine harici dirençli ısıtıcılar eklenerek yapılır [66]. Bu strateji, çevredeki soğuk ortamdan kaynaklanan ısı kayıplarını azaltarak daha hızlı ve odaklanmış bir kar temizleme sağlamaktadır.

Termal Toplayıcı işlemi, Güneş ışınımını toplayıcının ısınmasına ve dolayısıyla ısıyı iletken yollardan panele ve dolayısıyla kara aktarmasına yol açan bir tekniktir. Dikey bir metal panelden ısı transferi yapılmaktadır (Şekil 57) [67].



Şekil 57. Termal toplayıcı

Hareketli parçası olmayan basit bir cihaz olan Venturi Deflektör, havayı Güneş panelinin önünden aşağı doğru itmek için tek yönlü rüzgâr kullanır ve böylece kar birikmesini önlemektedir [68].

Kimyasal arıtmanın (tuzlu su ve tuzun püskürtülmesi) buz çözmeye etkili olduğu ancak bir şekilde Güneş paneli modülünü bozabileceği bulunmuştur [69].

Yüzey kaplaması haricinde burada sunulan tüm teknikler panellerin taşıyıcılarına ek elektro-mekanik ekipman montajı gerektirmektedir. Öte yandan, elektrostatik kuvvet ve ısıtma başlatıcıları olan teknikler, ekipmanı çalıştırmak için üretilen gücün bir kısmını alarak sistemin toplam güç çıkışını azaltabilmektedir.

Panel temizliğini planlarken aşağıdakilere dikkat edilmelidir:

- Çevresel ve insan faktörleri (örneğin, sonbaharda sonbahar kalıntıları ve yerel tarım ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik).

- Hava koşulları: Yağmurlu dönemlerde temizlik yapılmasına gerek yoktur.
- Rüzgârla çöllerden taşınan ve yağmurun ardından da görünebilen tozlar.
- Araç trafiğinin neden olduğu toz.
- Hava tahminlerine dayalı tesis yerinin erişilebilirliği.
- Su ve temizlik malzemelerinin mevcudiyeti.

10.1.2 Modül Bağlantı Bütünlüğü

Sistem yılda bir kez modül bağlantıları açısından kontrol edilmeli, gözle muayene, termal kontrol, bağlantı gevşekliği gibi başlıklarla değerlendirilmelidir. Bulunulan coğrafyanın nem ve sıcaklığı korozyon ve paslanmaya sebep olabilmektedir. Modül bağlantı bütünlüğünün kontrol edilmesi önem taşımaktadır. Her bir dizideki akımın izlenmesi ve diğer dizilerle anlık olarak karşılaştırılması her modül dizisindeki arızaların tespit edilmesi açısından gereklidir. Dizi düzeyinde izleme kullanılmıyorsa, bakım onarım yüklenicisi her dizideki modüller arasındaki bağlantıları en azından yıllık periyodik olarak kontrol etmesi gerekmektedir.

10.1.3 Dizi Birleştirici Kutusu

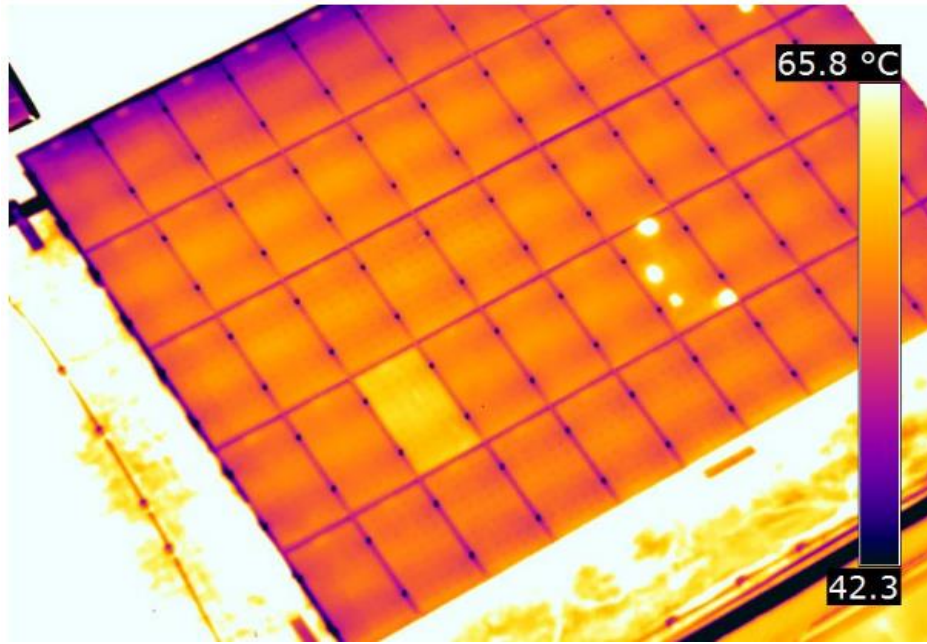
Dizi birleştirme kutuları da yine coğrafi şartlara göre su, kir ve toz gibi etmenlerden olumsuz etkilenebilmekte ve sistemin bütünlüğünü tehlikeye atabilmekte, verimin düşmesine sebep olabilmektedir. Ayrıca yıl içindeki sıcaklık değişiminden etkilenerek bağlantıları gevşeyebilir. Gevşek bağlantılar, Güneş enerji sisteminin genel performansını etkileyebilir. Herhangi bir su, kir veya toz birikmesi bağlantı kutusu içinde korozyona veya kısa devreye neden olabilir. Dizi seviyesinde izlemenin kullanılmadığı durumlarda, bakım onarım yüklenicisi bağlantı kutularındaki, birleştirici kutulardaki ve bazı durumlarda modül bağlantı kutusundaki sigortaların bütünlüğünün periyodik kontrollerini en azından yıllık olarak yapması gerekmektedir (Şekil 58).



Şekil 58. Dizi birleştirici kutusu

10.1.4 Sıcak Noktalar

Dizi düzeyinde izlenen sistemlerin performansları takip edilirken bu şekilde izlenmeyen merkezi inverterli sistemler için periyodik olarak termal kameralarla kontrol gereklidir. Bu yöntem, özellikle karasal iklimin hâkim olduğu bölgelerde gündüz ve gece sıcaklıkları arasındaki büyük değişikliklerin bağlantı kutuları ve inverter bağlantılarındaki zayıf ve gevşek bağlantılar gibi sık karşılaşılan problemlerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Termografi, inverter bileşenleri içinde ve beklendiği gibi performans göstermeyen modüller üzerindeki sıcak noktaları da tespit edebilir. Eğitimli bir uzmanın en azından yıllık olarak bir termal kamera kullanarak termografi yapması sorunları önceden tespit edebilmek açısından önemlidir. Ayrıca sıcak nokta kontrollerinin termal kamera veya infraredsensör taşıyan insansız hava araçları vasıtasıyla yapıldığı örnekler günden güne artmaktadır (Şekil 59).



Şekil 59. Termal kamera ile panel görünümü

10.1.5 İnverter Bakımı

Genel olarak inverter arızaları, fotovoltaik enerji santrallerinde sistem kesintilerinin en yaygın nedeni olmaktadır. Verimliliği maksimum, plansız bakım ve onarım maliyetlerini de minimum seviyeye getirebilmek adına inverter bakımı ve kontrollerinin periyodik olarak yapılması önerilmektedir. İnverterlerde oluşabilecek aşırı ısınma, kaçak akım, yalıtım, iletişim, aşırı gerilim, aşırı akım, şebeke, frekans, fan ve düşük gerilim arızalarının uzman ve deneyimli ekipler tarafından giderilmesi gerekmektedir.

Bir inverter için düzenli koruyucu bakım, asgari olarak şunları içermelidir:

- Göz ile inceleme,
- Soğutma fanı filtrelerinin temizlenmesi / değiştirilmesi,
- Elektronik bileşenlerden tozun giderilmesi,
- Herhangi bir gevşek bağlantının sıkılması,
- Üretici tarafından önerilen herhangi bir ek analiz ve teşhis.

10.1.6 Trafo Bakımı

Trafo bakımına iş güvenliği tedbirleri alındıktan sonra elektriğin şebeke ile bağlantısı kesilerek hem şebeke kısmının hem fazların yıldız noktasının topraklaması yapılarak başlanır. Bunlar yapılmadan trafo kabine girilmesi ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Yılda en az bir kez olacak şekilde bakım ve gerekli kontrollerin yapılması; sistemin, trafonun, beslediği şebekenin veya tesisin verimliliği, güvenliği ve stabilitesi yönünden büyük önem arz etmektedir. Trafoların gücü arttıkça boyutu artar.

Boyuta göre ihtiyaç duyulan yağ miktarı, sargı sayısı ve kalınlığı gibi faktörler hesaplanmaktadır. Trafo bakımında yapılması gereken kontroller şunlardır [70]:

- Termal kamera ile buşingler, kablo başlıkları, trafo yüzeyi kontrol edilir.
- Trafo yağ seviyesi ve yağ kaçağı olup olmadığı kontrol edilir. Trafonun yağ seviyesi ve kalitesi ömrünü etkileyen en önemli kriterdir.
- Buşinglerin contalarındaki yağ kaçaqları kontrol edilir.
- Trafo üzerindeki cıvatalar tek tek sıkılır.
- Yüksek gerilim kablo başlık-buşing cıvatalar sıkılır.
- Alçak gerilim kablo başlık-buşing cıvatalar sıkılır. (Buşingler bazen çatlak olabilir.)
- Ark boynuzları kontrol edilir. Kararmalar varsa atlama yapılma ihtimali vardır.
- Yıldız noktası topraklaması ölçülür.
- Trafo, kablo başlıkları iyice kurulanmak şartıyla tiner ile silinebilir.
- Yağ kalite ölçümü yapılır, gerekirse yağ ilavesi yapılır.

10.1.7 Yapısal Bütünlük

Güneş enerjisi santrali için kurulan modül sehpaları, kablo kanalları ve diğer bağlantılar, mekanik bütünlük ve korozyon göstergesi açısından aralıklı olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

10.1.8 Sistemin Genel Uyum Kontrolü

Tesis içindeki haberleşmeyi sağlayan ve dışarıdan bağlanan iletişim sistemleri, sinyal gücü ve bağlantısı açısından kontrol edilmelidir. Kapalı devre kamera sistemi ve diğer güvenlik sistemleri, yardımcı güç kaynakları ve aydınlatma sistemleri dahil olmak üzere bir Güneş enerji santralindeki geriye kalan tüm sistemler düzenli olarak kontrol edilmeli ve bakımı yapılması gerekmektedir.

10.1.9 Bitki Örtüsü Kontrolü

Tesisin bulunduğu arazide çıkabilecek yabancı otlar ve çalılar sisteme müdahale etme sürecini uzatabilmektedir. Olası yangın durumunda alevlerin şiddetlenmesini sağlayabilir. Çiçekli bitkiler polenler vasıtasıyla panellerin üstünde birikip sistemin performansını etkileyebilmektedir. Ağaçlar paneller için gölgeleme riski oluşturur ve yaprakları da panellerin önünü kapatabilir. Tesisin bu şekilde ortaya çıkabilecek tüm risklere karşı yılda bir kez arazi kontrolünden geçirilmesi gerekmektedir.

10.2 Planlanmamış (Arıza) Bakım Onarım

Arızalara yanıt olarak plansız bakım yapılmaktadır. Planlanmamış bakım durumunda temel parametreler teşhis, yanıt hızı ve onarım süresi olmaktadır. Enerji verimini

artırmak ve kaybı en aza indirmek için mümkün olan en kısa yanıt tercih edilmektedir. Yanıt süreleri bakım-onarım öncesinde açıkça planlanmalı ve tesisin konumuna ve insanlı olup olmadığına bağlı olarak gerçekleştirilmelidir. İyi tasarlanıp inşa edilmiş bir tesis için planlanmamış bakım sorunlarının büyük bir kısmı inverter arızalarıyla ilgili olabilmektedir. Arızanın niteliğine bağlı olarak, arızayı uzaktan düzeltmek mümkün olabilir. Mümkünse bu seçenek açıkça tercih edilir. Diğer yaygın planlanmamış bakım gereksinimleri şunları içerir:

- Gevşemiş kablo bağlantılarının sıkılması,
- Atan sigortaların değiştirilmesi,
- Yıldırım hasarının onarılması,
- İzinsiz giriş yapan kişiler tarafından veya modül temizliği sırasında hasar gören ekipmanın onarımı,
- SCADA hatalarını gidermek,
- Montaj yapısı hatalarının onarılması.

10.2.1 Yedek Parçalar

Ekipman arızası durumunda hızlı müdahaleyi kolaylaştırmak için asgari sayıda stoklanmış bir yedek parça envanteri gerekmektedir. Yedek parçaların maliyeti yüksek olduğu için, satın alımlarının tesis arıza süresinin azaltılması ve gelir kaybının önlenmesinde getirdikleri fayda ile gerekçelendirilmesi gerekmektedir. Optimum yedek parça stratejisi, tesisin boyutuna, yedek parçaların yerel mevcudiyetine ve ortak mülkiyet altındaki bir dizi tesis arasında kritik ekipmanın paylaşılma potansiyeline bağlı olacaktır. Genel olarak, aşağıdaki temel bileşenlerin yeterli tedariki bulundurulmalıdır:

- Montaj yapı parçaları
- Bağlantı / birleştirici kutuları
- Sigortalar
- DC ve AC kablolama bileşenleri
- İletişim ekipmanları
- Modüller (modül hasarı durumunda)
- Yedek inverterler (dizi inverterler kullanılıyorsa) veya merkezi inverterler durumunda üreticinin tavsiyelerine göre bileşenler.

10.2.2 Performans İzleme, Değerlendirme ve Optimizasyon

Sistem performansını optimize etmek için, tesis bileşenlerinin tesisin ömrü boyunca verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak gereklidir. Sistemin kullanılabilirliğini ve verimini en üst düzeye çıkarmak için Güneş enerji sistemlerinin sürekli izlenmesi önemlidir. Bir SCADA sistemi, Güneş enerji sisteminin gerçek zamanlı verimliliğini

izleyebilir ve sistemin en iyi şekilde çalışıp çalışmadığını değerlendirmek için teorik verimlilikle sürekli olarak karşılaştırabilir. Bu bilgiler, bakım-onarım yüklenicisi tarafından sistemin genel durumunu belirlemek ve temizlik gibi acil onarım veya bakım faaliyetlerini planlamak için kullanılabilir.

10.3 Arıza Tespiti ve Onarımı

Periyodik bakım sistem verimini en üst seviyede tutarken yüksek maliyetli arızaların oluşumunu engeller ve Güneş enerji santralının ömrünü uzatmaktadır. Bakım ve onarım için uluslararası standartlar ve normlara uygun testler uygulanması sistemlerin güvenli ve verimli çalışması açısından gereklidir. Güneş santralleri için aşağıda belirtilen bakımlar uygulanmaktadır.

- Denetim, Test ve Ölçümler
- Fotovoltaik Panel Bakımı
- Inverter Bakımı
- Taşıyıcı Sistem Bakımı
- DC Panolar ve Kablolama Bakımı
- AC Panolar ve Kablolama Bakımı
- Trafo ve OG Hücre Bakımı
- Tel Çitlerin Kontrolü
- Ot ve Haşere Temizliği
- Drenaj Kanalları ve Menhollerin Kontrolü
- Güvenlik-Aydınlatma Sistemi Bakımı
- Kontrol Odası Bakımı
- Haberleşme ve Uzaktan İzleme Sistemi Bakımı
- Yıldırımdan Korunma Sistemi Bakımı
- Santral Dokümanlarının Oluşturulması ve Kaydı
- Panel Yıkama ve Genel Temizlik

Bakım onarım sürecinde mecburi ve opsiyonel ölçümler yapılmaktadır. Bu testler aşağıdaki gibidir.

10.3.1 Topraklama ve Süreklilik Testleri

Ülkemizde topraklama iş ve işlemlerinin, Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği hükümleri doğrultusunda yapılması gerekmektedir. İlgili yönetmelikte topraklamaya ilişkin tanımlar verilmiştir.

Toprak: Elektrik potansiyelinin her noktada sıfır olduğu yeryüzünün madde ve yer olarak ifadesidir. Örnek: Humuslu toprak, killi toprak, kumlu toprak, çamur ve kayalık arazi.

Topraklama iletkeni: Topraklanacak bir cihazı ya da tesis bölümünü, bir topraklayıcıya bağlayan toprağın dışında veya yalıtılmış olarak toprağın içinde döşenmiş bir iletkenidir.

Topraklama barası (topraklama birleştirme iletkeni): Birden fazla topraklama iletkeninin bağlandığı bir topraklama barasıdır (iletkenidir).

Topraklamak: Elektriksel bakımdan iletken bir parçayı bir topraklama tesisi üzerinden toprağa bağlamaktır.

Topraklama: Topraklamak için kullanılan araç, düzen ve yöntemlerin tümüdür.

Potansiyel dengeleme hattı (eş potansiyel kuşaklama): Potansiyel dengelemesini sağlamak amacıyla kullanılan bağlantı iletkenleridir.

Tüm elektriksel tesislerde olduğu gibi Güneş enerjisi santrallerinde de topraklamanın uygunluğu insan sağlığı, tesisin güvenliği ve yangın riskleri açısından önem taşımaktadır. Elektrik üretim, dağıtım ve tüketim noktalarında kullanılan tüm ekipmanların eş potansiyelde olabilmesi için toprakla birbiriyle bağlantısı sağlanmalıdır.

Elektrik akımına karşı alınabilecek en iyi güvenlik önlemi topraklamadır. Büyük bina ve tesislerde kurulu bulunan topraklama sisteminin toplandığı baraya eş potansiyel bara denir. Temel topraklamasından gelen iletkenlerle metal gövdeli cihazlardan gelen iletkenlerin tek yerde toplanması eş potansiyel bara ile yapılmaktadır (Şekil 60).



Şekil 60. Eş potansiyel bara

DC tarafta koruyucu topraklama ve/veya eş potansiyel kuşaklama bağlandığı yerlerde, tüm bu iletkenler üzerinde elektriksel süreklilik testleri yapılmalı ve ana topraklama terminali bağlantısının doğruluğu da kontrol edilmelidir.

Güneş enerjisi santrallerinde kaçak akım korumalarında ve santraldeki yıldırım topraklamasının önemi büyüktür. Topraklamada ve eş potansiyelde ortaya çıkabilecek bir kopukluk sisteme ciddi zarar verebilir. Bu doğrultuda meger cihazı ile eş potansiyel barasının, konstrüksiyon ve Güneş panellerinin topraklama ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Bu ölçümlerin kayıt altına alınması ileride oluşabilecek sorunların tespit edilmesini kolaylaştıracaktır.

Bu test ve denetim sonucunda;

- Kaçak akımların şok etkisi ile insan sağlığı ve ekipmana vereceği zararın önüne geçilecektir.
- Yıldırımdan korunma ekipmanlarının periyodik kontrolleri yapılmış olacaktır.
- Yalıtım kaynaklı sorunların tespiti yapılmış olacaktır.

10.3.2 Polarite Testleri

Panel testlerini yapmadan, anahtarı kapatmadan veya dizi aşırı akım koruma cihazları bağlanmadan önce, güvenlik ve bağlanan ekipmanı hasardan korumak için polarite kontrolünün yapılması önem taşımaktadır.

Bir dizi üzerinde ters polarite bulunmuşsa bu hatadan kaynaklanan herhangi bir hasar için by-pass diyotlar ve modüllerin kontrol edilmesi gerekir.

10.3.3 Açık Devre Gerilimi (VOC) ve Kısa Devre Akımı (ISC) Ölçümleri

Açık devre gerilimi (VOC) ölçümünün amacı, modül dizilerinin doğru bağlandığının ve dizi içerisinde beklenen sayıda modülün birbirlerine seri bağlandığının kontrol edilmesini sağlamaktır. Panellerde her ışık miktarı altında farklı bir açık devre gerilimi vardır. Bir ara bağlantının atlanması veya yanlışlıkla bir dizi içerisinde yanlış sayıda modülün birbirine bağlanması özellikle büyük sitemlerde olabilecek ortak hatadır ve açık devre gerilimi bu hataları hızla tespit etmektedir.

Panellerde her ışık miktarı için farklı kısa devre akımı vardır. Kısa devre akımı (ISC) ölçümünün amacı sistemin doğru çalışma karakteristiklerinden emin olmak ve Fotovoltaik dizi kablolarda büyük bir hata olmadığını doğrulamaktadır. İki test metodu mevcuttur (kısa devre testi ve çalışma testi) ve her ikisi de Fotovoltaik dizilerinin doğru çalışması üzerinde bilgi vermektedir. Mümkün olduğunda, inverterlerden gelen etkiler hariç tutulduğu için kısa devre testi tercih edilmektedir.

10.3.4 Fonksiyon Testleri

Şalt cihazı ve diğer kontrol aparatları doğru bir şekilde monte edilip bağlandığından ve düzgün çalıştıklarından emin olmak için test edilmesi gerekmektedir.

10.3.5 İzolasyon (Hipot) Testleri-IEC 62446

İzolasyon hataları Güneş enerji santrallerinde sık karşılaşılan hatalardandır. Genellikle bu hatalar; yanlış ve gevşek bağlantılar, kemirgen kaynaklı, kabloların sıkı çekilmesi ve kablo tavalalarının keskin kenarlarının kabloları zarar vermesi durumlarında ortaya çıkmaktadır. Yapılan test ölçümlerinde kablo izolasyon değerlerinin birbiri ile tutarlı olması gerekmektedir. Sistemin kablolama kurulumu esnasında oluşan zararlar da bu aşamada tespit edilmektedir (Şekil 61).



Şekil 61. Kablo ve kablolama hasarları

Güneş panelleri ve toprak izolasyonu direnci ölçümlerinde, Güneş panelleri 1.000V'luk bir gerilime tabi tutularak panel-toprak arası oluşan izolasyon direncine bakılması gerekmektedir. Bu test hem panellerde bir kaçak olmaması ve insanlara zarar vermemesi, hem de inverterlerin devre dışı kalmaması için önem taşımaktadır [71].

Bu test ve denetim sonucunda;

- Kabloların periyodik koruyucu bakımları,
- Fotovoltaik paneller ile toprak arasında yalıtım hatasının tespiti,
- Güneş panellerinde AC-DC akım tarafında oluşabilecek bir faz-toprak hatasının tespiti,

- İnverterlerin devre dışı kalmasına neden olacak, izolasyon direncine etki eden sorunların tespiti,
- Tüm elektriksel ekipmanların üretim kaynaklı hatalarının tespiti, yapılmış olacaktır.

10.3.6 Fotovoltaik Modüllerinde Oluşan Hot-Spot Etkisi ile Tüm Panoların Drone ve El Termali ile Ölçümü IEC 62446/IEC61215

Güneş panellerinde sıcaklık dağılımı dengeli olması gerekmektedir. Panellerde oluşabilecek sıcaklık farklılıkları Güneş santralının performansını düşürecek aynı zamanda güç kayıplarına sebep olacaktır. Enerji üretim kaybının önlenmesinde sıcak noktaların tespit edilmesi gerekmektedir.

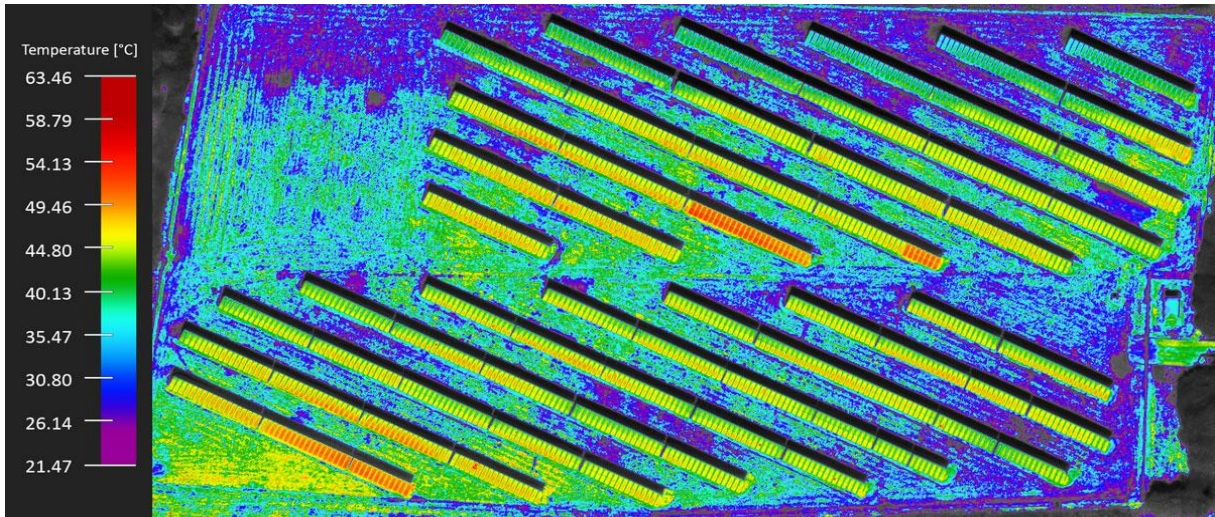
AC ve DC panolarda, inverter bağlantılarında, kablolarda, konnektör bağlantılarındaki uyumsuzluklarda ve fotovoltaik modüllerde oluşan sıcak noktalar, termal kameralarla hızlı ve güvenilir bir şekilde tespitleri yapılabilmektedir. Bu sayede enerji üretim performansının en üst seviyede olması sağlanmaktadır.

Güneş panelleri üretici hatası, montaj hatası veya işletme sürecinde hasar görebilir. Bu hasar ya da hatalar noktasal delinmeye sebep olmaktadır. Bu olay hot-spot etkisi olarak adlandırılır. Güneş panelleri devreye alındıktan sonra da hot-spotlar oluşabilmektedir. Hot-spotlar hücre sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Fotovoltaik modüller birbirine seri bağlandığında hücrelerden herhangi birinin ürettiği akım, diğer hücrelerin ürettiği akımdan daha düşükse, panel yük durumuna geçip ters gerilim oluşturmaktadır. Bu durumda hücreler elektrik enerjisi üretmek yerine, enerjiyi ısıya dönüştürmektedir. Hot-spotlu hücrelerdeki termal sıcaklık farkları çok yüksek derecelere ulaşabilmektedir. Yüksek sıcaklıklar sonucunda hücre tamamen bozulabilir, fotovoltaik panellerin çalışma verimini olumsuz etkileyerek modüllerin yanmasına dahi sebep olabilmektedir.

Ayrı montajlanmış fotovoltaik hücrelerin incelenmesinin zorlukları bulunmaktadır. Paneller, genellikle binaların çatılarında bulunur veya santral alanı çok büyüktür. Görsel olarak veya el termali ile yapılacak kontroller zaman almaktadır. Drone ve termal kamera ile bu kontroller daha kısa sürelerde yapılabilmektedir. Paneller üzerindeki sıcak noktalar çevreye göre farklı renklerle termal görüntüye yansımaktadır. Bu görüntüler drone sabitlenmiş termal kameralarla tespit edilir. El termali ile genellikle pano, trafo, inverter ve diğer bağlantı noktalarındaki sorunlar tespit edilebilmektedir.



Şekil 62. Drone kontrolleri



Şekil 63. Drone ve termal kamera ile kontrol

Bu test ve denetim sonucunda;

- ✓ Bypass diyodu, junction-box (bağlantı kutusu) gibi panel malzemelerindeki beklenmeyen ısınmaların,
- ✓ Hotspot etkisine sebep olan durumların;
- ✓ Güneş panellerinde oluşmuş; çiziklerin, çatlakların, hasarların, nem ve kırık hücrelerin,
- ✓ Üretim hatalı hücrelerin,
- ✓ Gölgeleme, kuş pisliğinin ve çevre etmenlerinin verdiği zararların,
- ✓ Yangın tehlikesi yaratabilecek noktaların,

- ✓ Dengesiz yüklenen cihazların,
- ✓ Montaj hatasından kaynaklanan problemler ve hiç devreye alınmamış panellerin,
- ✓ Kablo, toplama panoları, bağlantı noktaları, inverterler ve güç ünitelerindeki sıcaklık farklılıklarının durumları tespit edilebilmektedir.

10.3.7 Fotovoltaik Modüller ve Dizileri için I-V Eğrisi Ölçümleri (IEC 60891)

Her panelin kendine özgü akım-gerilim (I-V) eğrisi bulunmaktadır. Dolayısıyla Güneş enerjisi santralindeki her dizinin de kendine özgü (I-V) eğrisi olacağı anlamına gelmektedir. Bu sayede santralin gerçek gücü ve üretim değerleri hakkında bilgi sahibi olunacaktır. (I-V) ölçümleri sayesinde fotovoltaik modüller ve modül dizileri için LID (Light induced degradation-ışık kaynaklı bozulmalar), PID (Potential induced degradation-potansiyel kaynaklı bozulmalar), micro-crack (mikro çatlak), degradation (bozulma) gibi problemler ile gözle görülemeyen kusurlar tespit edilebilmektedir. Bu ölçümler Güneş enerjisi santralının tamamında yapılabileceği gibi belli sayıda panel seçilerek ya da performansı düşük olan kısımlara yönelik de yapılabilmektedir [72].

Fotovoltaik modüller ve modül dizileri için I-V grafiği ölçümleri testi ve denetimi sonucunda [73,74];

- Panellerin gerçek gücünü öğrenilebilir. Fabrika verileri ile tutarlı olup olmadığı kontrol edilebilir,
- LID (Light induced degradation) ışık kaynaklı bir kayıp olup olmadığı,
- PID (Potential induced degradation) potansiyel kaynaklı bir kayıp olup olmadığı,
- DC kablolarda herhangi bir kesik/fare veya kemirgen kaynaklı, toprakla temas ve kaçak olup olmadığı,
- VOC, ISC, Vmpp, Impp, Pmaks Ölçüm sonuçları,
- Dizi performans ölçümü,
- Modül / Dizi doluluk oranı,
- Modül / Sıra kusurları veya gölgelenme sorunlarının tanımlanması,
- Modül üzerindeki kirlilik kaynaklı problemler,
- By-pass diyotları kaynaklı sorunlar,
- Panel serilerindeki muhtemel hatalı bağlantılar ve yalıtım hataları tespit edilebilmektedir.

LID (Light induced degradation): Fotovoltaik modüllerin Güneş'e maruz kaldıktan sonraki ilk saatlerde meydana gelen performans kaybı olmaktadır.

PID (Potential induced degradation): Güneş panelleri çalıştıkça iletken tabakası ile cam yüzeyinde oluşan potansiyel ile sodyum iyonları tepkimeye girer ve panel yüzeyinde

pozitif yük birikmektedir. Bu etkileşime PID, oluşturduğu kayıp ise PID kaybı adı verilmektedir.

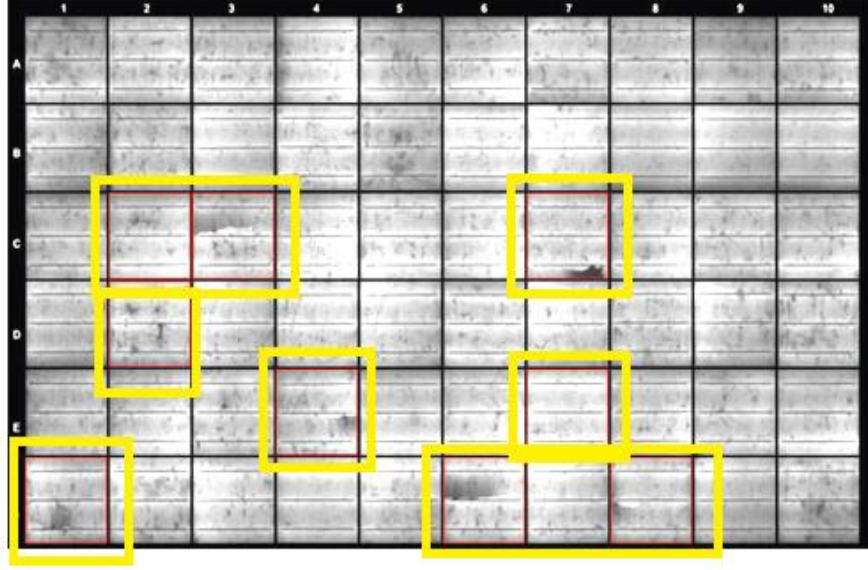
10.3.8 Güneş Panellerinin EL (Elektrolüminesans) Görüntüleme Testi-IEC 61215/IEC61646

Elektrolüminesans görüntüleme, fotovoltaik modüllerin voltaj geri beslemesi sonucu yaydığı üst kızılötesi dalga boyundaki ışığı analiz ederek, modülü oluşturan hücreler üzerindeki kristal yapı hakkında bilgi veren bir yöntemdir.

Fotovoltaik modüller üretildikten sonra uygun bir şekilde taşınıp montajları yapılmazsa aynı şekilde hücrelerinde yapısal kusurlar oluşmaktadır. Bu kusurların laboratuvar ortamında tespit edilmesi çok zahmetli ve maliyetli olacağından santral sahasında tespit edilmesi daha uygun olacaktır.

Elektrolüminesans testi ve denetimi sonucunda;

- Üretim esansında hücre ve modüllerde oluşmuş;
 - Hücre kırıkları,
 - Teknolojik hatalar,
 - Mikro ve makro çatlaklar,
 - Lehim kusurları,
 - Omik kontak sorunları,
 - Montaj aşamasında oluşan arızalar ve çalışmayan bölgeler tespit edilebilmektedir.



Şekil 64. Elektrolüminesans testi ve denetimi

10.3.9 Gerçek Değerler Kullanılarak Fotovoltaik SYST Simülasyonu

Santralin kaydedilen ışınım ve panel sıcaklığı verileri baz alınarak yine panelin üretici tarafından sunulmuş PAN dosyaları kullanılarak yazılım üzerinde simülasyon gerçekleştirilir ve üretilmesi gereken enerji bulunarak üretilen enerji ile karşılaştırılmaktadır. Bu sonuçlar ile sistemde gözden kaçan bir durum olup olmadığı değerlendirilir (trafo, evirici vb. kayıpları) ve genel bir üretim beklenti profili çıkarılır. Bu test sonucunda sistem genelinde bir problem olup olmadığı denetlenmiş olur. Bu hesaplama ile Güneş enerjisi santrali performans ölçümü yapılmış olur ve santralin performans değeri belirlenmektedir.

Bu simülasyon testi ve denetimi sonucunda;

- Elde edilen verilerle santralin ne kadar üretmesi gerektiği,
- Santralin performansının değerlendirilmesi, bilgileri elde edilmektedir.

10.3.10 Güvenlik Etiketleri

Güneş enerji santrallerinde; sistemin düzgün çalışması, müdahale güvenliği, sistemi tanımlama ve can güvenliği konularında uyarı etiketlemeleri yapılması gerekmektedir.

Bütün işaret levhaları ve etiketler silinmez, açık, kolayca görülebilir, sökülemeyecek, sabitlenmiş ve fotovoltaik sistemin ömrü boyunca okunaklı duracak şekilde yapılması gerekmektedir.



Şekil 65. Örnek güvenlik etiketleri

10.4 Örnek Bakım Prosedürü

Tablo 15. Bakım Prosedürü Tablosu [75].

NO	PERİYODİK BAKIMLAR	BAKIM PERİYODU	AY
1	Güneş Paneli Temizliği	Yılda 2 Defa	Nisan
2	Akım-Gerilim Ölçümü	Yılda 1 Defa	Nisan
3	Topraklama Ölçümleri	Yılda 1 Defa	Eylül
4	Inverterler İçin Ölçüm ve Denetimler	Yılda 1 Defa	Mart
5	Termal Kamera ile DC Hotspot Kontrolleri	Yılda 1 Defa	Nisan
6	Yıldırımdan Korunma Sistemi Ölçümleri	Yılda 1 Defa	Eylül
7	Konstrüksiyon İçin Ölçüm ve Denetimler	Yılda 1 Defa	Eylül
8	AG Elektrik Tesisatı Ölçüm ve Denetimler	Yılda 1 Defa	Mart
9	Trafo Bakımları	Yılda 1 Defa	Mart
10	OG Elektrik Tesisat Denetimi-YG İşletme Sorumluluğu	Her Ay Sonunda	
11	Kompanzasyon Denetimi	Her Ay Sonunda	
12	Faturalama Denetimi	Her Ay Sonunda	
13	YG Hücre Bakımları	2 Yılda Bir Defa	
14	Kamera Sistem Bakımı	Yılda 1 Defa	Mayıs
15	Saha Kontrolü	Yılda 1 Defa	

Güneş panellerine gelen ışıklar, paneller sayesinde enerjiye dönüştürülerek büyük Güneş pillerine veya akülere depo edilmektedir. Bunu yapan sistemlere ise Güneş enerji santrali (GES) denilmektedir. GES, Güneş enerji santralinin kısaltılmış halidir.

GES'lerde arızalı/hatalı panellerin tespiti için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler teknik personel, ekipman ve uzun zaman gerektirme ancak genel olarak yorucu olduğu için GES işletmecileri ve personelleri alternatif arayışına girmektedir. İHA'ların kullanım alanlarının genişlemesi ile GES'lerde de İHA kullanımını aktif olarak başlatmıştır. Teknik personel ve ekipman ile 2-4 gün ve hatta daha uzun sürede yapılan tespit işlemi sistemimiz sayesinde tek uçuşta yapılabilmektedir [76].

Güneş enerjisi santralleri sık bakım gerektirmese de dönemsel olarak bakım ve temizlik yapıldığında verim ve dayanıklılıkları artmaktadır.

Güneş panelleri üretim tesislerinde yağmur, kar, dolu, gibi doğal afetlere dayanıklı üretilmektedir. Aldığınız panellerin data sheetlerinde rüzgâr gücü, kar gücü gibi afetlere dayanıklılığı belirlenmiştir.

Panel seçimi yaparken Güneş panellerinin hangi bölgede kullanılacağına göre seçim yapılması gerekmektedir [77].

GES İşletme ve Bakım Faaliyetlerinin genel hedefleri [78]:

- Güneş enerjisi santralinde verim kaybına neden olan problemlerin tespiti,
- Tespit edilen problemlerin ortadan kaldırılması,
- Detaylı raporlama ve açıklıktır.

10.4.1 Güneş Paneli Temizliği

Güneş enerji santralinde en çok verim kaybına yol açan sorunların başında kirli panel gelmektedir. Kirli panel üretiminizi %10-15 verim kaybına uğratabilmektedir [79].

❖ Güneş Paneli Nasıl Temizlenir?

Güneş enerjisi üreten panellerin temizlenmesi verimliliğin sürdürülebilmesi açısından önem taşımaktadır. Panel temizliğinde saf su ve bazı alkollü temizleyicilerden yararlanılmaktadır. Özellikle kış mevsiminde soğğun etkisiyle Güneş panellerinin üzerinde donma olmasının engellenmesi için alkol bazlı temizleyiciler tercih edilmektedir. Bu tür temizlik maddeleri panel üzerinde su lekesi bırakarak Güneş ışınlarına ket vursa da donmayı engellenmesi bakımından sıklıkla kullanılmaktadır. Mevsim koşullarından bağımsız olarak ise genellikle saf suyla panelleri temizlemek en yaygın temizlik malzemesi olarak öne çıkarmaktadır.

Panellerin temizliğinde deiyonize saf suyun kullanılması gerekmektedir. Bu tür su ise çözünmüş cisimlerden bütünüyle arındırılmış haldedir. Alkollü temizlik maddelerinin aksine deiyonize saf su paneller üzerinde leke bırakmamaktadır. Böylece temizliğin

ardından Güneş ışınlarının panele ulaşım emilmesi önünde bir engel oluşmamaktadır. Bu şekilde temizlik yapmak ayrıca güvenliğe de katkı sağlamaktadır. Deiyonize edilmiş saf su iletken olmadığı için panel temizliği yapılırken yüksek gerilimin riskleri ve korozyon tehlikesi ortadan kaldırılmış olmaktadır.

Güneş panellerini temizlemek için panellerin sıcak olmadığı akşam veya sabahın erken saatleri tercih edilmesi gerekmektedir. Aksi halde paneller sıcak olacağından yüzey temizliği mümkün olmayabilir. Her mevsim değişiminde Güneş panellerinin temizlenmesi verimliliğin korunabilmesi için önerilmektedir.

❖ Güneş Paneli Temizliği Yapılırken Dikkat Edilmesi Gerekenler Nelerdir?

- Güneş enerjisi panelleri sayesinde elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu yüzden de panellerin temizliği her zaman yüksek gerilime kapılma riskini de beraberinde getirmektedir. Akıma kapılmamak için panellerin iletkenliği olmayan deiyonize edilmiş saf suyla temizlenmesi gerekmektedir. Bu sayede iş güvenliği sağlanabilir.
- Evlerdeki ve sanayi tesislerindeki Güneş panelleri yükseğe konumlanmış olabilmektedir. Yüksekten düşme tehlikesinin ortadan kaldırılması için uzatma borularından yardım alınması gerekmektedir.
- Panel temizliği esnasında üzerine basılmamalı ve kesinlikle yürünmemesi gerekmektedir. İnsan vücudunun ağırlığı sebebiyle panel üzerinde küçük çatlaklar oluşabilecektir. Çatlaklara sızan yağmur suları veya temizlikte kullanılan sıvılar nedeniyle elektrik çarpması başta olmak üzere ciddi boyutlu sorunlar yaşanabilmesi mümkün olacaktır.
- Güneş panellerinin toz ve kirden arındırılması için deterjan ve kimyasal içerikli ürünlerin kullanılmaması gerekmektedir.
- Her yeni mevsim başlarken panel temizliği yapılması gerekmektedir. Panel temizliğinde özel solar fırçalar kullanılmalıdır.
- Güneş panellerinin bakımının düzenli aralıklarla yaptırılması önem taşımaktadır.
- Güneş paneli temizlenirken suyun sıcaklığı ile panelin sıcaklığının aynı oranda olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Sıcak panel üzerine soğuk su dökülmemelidir. Aksi halde termal şok görülebilir. Paneller kullanılamaz hale gelebilir [80].

❖ Güneş Paneli Temizliğinin Verimlilik Üzerindeki Etkileri Nelerdir?

Güneş enerjisinden elde edilen verimlilik çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Elektrik enerjisi üretmek için kullanılan malzemenin cinsi, panel kurulumundaki işçiliğin kalitesi, çevresel etmenler, panel üzerinde kirler ve tasarım verimliliği etkileyen unsurlardandır. Söz konusu unsurlara dikkat ederek mümkün olan en fazla düzeyde verimliliğin elde edilebilmesi sağlanabilmektedir. Bakımı ve temizliği düzgün bir şekilde yapılan panellerden istenilen seviyede elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.

Çevresel koşullara göre oluşan toz ve kir panellerin üzerine yapışarak Güneş ışınlarının yüzeye nüfuz etmesine engel olmaktadır. Tam olarak Güneş ışını alamayan fotovoltaik hücreler Güneş enerjisi üretemeyeceğinden panellerin temizlenmesi gerekmektedir. Güneş panellerinin temizlenmemesi yüzünden verimliliğin %30 oranında azaldığı görülmektedir. Panellerin deiyonize suyla daha düşük maliyetle ve olması gerektiği şekilde temizlenmesi önerilmektedir [81].

❖ Güneş Enerjisi Paneli Kirlenme Nedenleri [82]:

- Taşıma su ile yapılan yanlış temizlik neticesinde oluşan kireç izleri.
- Ağaçlardan gelen reçine ve organik salgılar.
- Endüstriyel hava kirliliği neticesi oluşan is ve kurum.
- Isıtma, soğutma ve havalandırma neticesi oluşan is ve kurum.
- Stabilize yollardan ve demiryollarından gelen toz ve egzoz gazları.
- Kuş ve haşere pislikleri.
- Hayvan çiftlikleri, deniz gibi alanlara yakın olan santrallerdeki tuz ve amonyak izleri.
- Uygun olmayan ekipman ve personel ile yapılan yanlış uygulamalar neticesinde oluşan kırılmalar, mikro çatlaklar ve yanlış kimyevi neticesi oluşan korozyon.

❖ Güneş Paneli Temizliğinde İyonize Saf Suyun Önemi:

Deminerale su yani bir diğer adıyla iyonize su, yüksek derecede kaliteli bir sudur ve su içerisindeki katyon ve anyon iyonlarının giderilmesi ile oluşmaktadır. Bu suyu elde etmek için, demineralizasyon tesisi veya de iyonizasyon tesisinde uzmanlık gerektiren ekipmanlar ile üretim yapılması gerekmektedir.

- Yüzeylerde tortu maddesi kalmaz. Bu nedenle de Güneş ışığını iyi emer,

- Su iletkenliği az olduğu için, temizlik esnasında yüksek voltaja maruz kalma olasılığı azdır,
- Bitki ve otları su gibi beslemediği için, paneller etrafında gölge yapabilecek oluşumlara neden olmaz,
- Kurulama gibi işlemlere ihtiyaç duyulmaz,
- Uzun süre panellerin temiz kalmasını sağlar ve aynı zamanda toz, polen gibi maddelerin panellere yapışmasını engeller,
- Uzun yıllar ilk günkü gibi yeni kalır ve korozyona uğramaz. Dolayısıyla uzun ömürlü olurlar,
- Sürekli ve düzenli olarak temizliği yapılan panellerde, diğer panellere göre %30 daha verimle çalışırlar,
- Bu yüzden Güneş enerjisi santrali panel temizliği için Dünya'da da İyonize Saf Su kullanımı tercih edilmektedir [83].

❖ **Güneş enerji santrali temizliğindeki yararları:**

- Güneş enerji santrali temizliğinde de iyonize saf su kullanıldığında korozyona uğramaz ve uzun zaman ilk günkü gibi kalacaktır.
- Güneş enerji santrali temizliğinde de iyonize saf suyla temizlendiğinde, diğer temizliklere göre %20 daha verimli olacaktır.
- Güneş enerji santrali temizliğinde de iyonize saf suyla temizlendiğinde, toz, polen ve dış etkenlerin panellere daha geç yapışmasını ve dolayısıyla daha geç kirlenmesini sağlamaktadır.
- Güneş enerji santrali temizliğinde de iyonize saf suyla temizlendiğinde korozyona uğramadığı gibi tortu bırakmayacaktır. Bu sebeple Güneş ışınları paneller için daha verimli olacaktır.
- Güneş enerji santrali temizliğinde de iyonize saf suyla temizlendiğinde, suyu panelden arındırma veya kurulamaya gerek kalmayacaktır.
- De iyonize saf su bütün minerallerden arındırılmış, değeri sifıra çok yakın olacaktır.
- Güneş enerji santrali temizliğinde de iyonize saf suyla temizlemeyi tüm Dünya'da kullanılmaktadır.

10.4.2 Akım (I) – Gerilim (V) Ölçümü

IV-Curve Ölçümü – IEC 60891: Sahadaki tüm Güneş paneli dizilerinin IV curve ölçümlerini çıkartıp LID, PID, micro-crack, degradasyon vb. gibi bir problemi olup olmadığı denetlenebilmektedir. Bu ölçümler aynı zamanda bir kayıt defteri gibi hizmet vermekte olup ileriki zamanlarda gerçekleştirilecek kontrollerde Güneş panellerinin kaç derecede olduğunu görmeyi sağlamaktadır. Güneş paneli, Güneş enerji santrali eksik üretim yapıyor sorusunun cevabı Güneş panelleri ile ilgili kısmının cevabı bu test ile alınabilmektedir.

Akım (I) - Gerilim (V) Ölçümü ile aşağıdaki hatalar;

- Güneş panellerinin gerçek gücünü ve fabrika verileri ile tutarlı olup olmadığı,
- Güneş panellerinin LID (Light induced degradation) kaynaklı bir kaybın olup olmadığı,
- Güneş panellerinin PID (Potential induced degradation) kaynaklı bir kaybın olup olmadığı,
- DC kablolarında herhangi bir kesik/fare kemirmesi gibi sebeplerden kaynaklı toprakla temas veya herhangi bir kaçağın olup olmadığı,
- Güneş panellerinin by-pass diyotlarında mevcut hataların olup olmadığı,
- Gölgeleme kaynaklı kayıpların performans oranına etkisinin durumu,
- Güneş paneli serilerindeki muhtemel hatalı bağlantıların olup olmadığı gözlemlenmektedir [84].

10.4.3 Topraklama Ölçümleri

Güneş enerji santrallerinde en önemli noktalardan biri de topraklamadır. Topraklama değerleri yıllık olarak ölçülmesi ve kayıt altına alınması gerekmektedir. Eş potansiyel devrede kopukluk olması nedeniyle santralinizde yıldırım düşmelerinde kaçak akım oluşması durumunda ciddi zararlar görebilir. Her yıl düzenli ve kayıt altına alınarak meger cihazı ile ölçümlerin yapılması gerekmektedir [85].

Topraklamalar:

- Panellerin topraklaması binanın dağıtım tablosuna irtibatlandırılarak eş potansiyel sağlanması gerekmektedir. Topraklama değerleri projede belirtilen değerde olmalıdır. Bu ölçüm mutlak suretle yapılması gerekmektedir.

- Tüm ek noktaları projede belirtilen kesitte kablo kullanılarak topraklanması gerekmektedir. Kablo pabucu kullanılarak ve sıkılarak yapılır ve Kesinlikle akıllı vida ile topraklama kablosu konstrüksiyona irtibatlandırılmamalıdır.
- Konstrüksiyon üzerine kablolar bakır malzeme kullanılarak tutturulması gerekmektedir. Aşırı ısınmayı önlemek için kabloların bükülme yerleri 90 derece veya daha küçük açılı olmamalı ve oval bir dönüş sağlanacak daha geniş açıyla bükülmesi önem taşımaktadır [86].

Foto-Voltaik sistemlerin uygulama alanları, daima eldeki tüm yüzeyi kaplayacak şekilde tasarlandığından mevcut TT topraklama sistemiyle entegre edilmeleri gerekmektedir. Ancak DIN VDE 0100-712'ye göre bir kablo/iletken ile beslenen tesisatlarda devreyi açan otomatik bir cihaz bulunması zorunludur.

Güneş panelleri montaj yeri özelliğine göre som bakır ve esnek bakır iletkenler ile topraklanması gerekmektedir.

Güneş Panellerinin Topraklaması yapılırken, bağlantı noktalarında, farklı malzemelerin kullanımından ötürü korozyon oluşabilmektedir.

Bu sorunu önlemek için paslanmaz malzemedan yapılan bağlantı klemensi, cıvata, somun, pul kullanmak gerekmektedir.

Bu alanlarda, kısa devre arıza akımlarından ötürü oluşabilecek adım ve dokunma gerilimlerine karşı önleyici olması açısından IEEE 80 2000'e göre tasarlanmış bir topraklama sistemi tesis edilmesi gerekmektedir [87].

Güneş enerjisi santralleri başta olmak üzere tüm elektriksel tesislerde topraklama ciddi önem arz etmektedir. Gerek kaçak akım korumalarında gerek santraldeki yıldırım başta olmak üzere genel korumalarda topraklamanın önemi büyüktür. Topraklamada ve eş potansiyelde ortaya çıkabilecek bir kopukluk sisteme ciddi zararlar verebilmektedir. Bu kapsamda gerek eş potansiyel barasının megger ile topraklama ölçümü, gerek konstrüksiyon ve Güneş panellerinin topraklama ölçümleri gerçekleştirilerek kayıt altına alınmalı ve problem tespit edildiği durumda gerekli önlemler alınması gerekmektedir [88].

10.4.4 İnverterler İçin Ölçüm ve Denetimler

Elektriksel bir güç dönüştürme elemanı olarak bilinen inverter, güç dönüştürücü ya da çevirici olarak da adlandırılmaktadır. İnverterler, herhangi bir DC kaynaktan aldığı gerilimi işleyerek, sabit veya değişken genlik ve frekanslı AC gerilim elde etmek için kullanılan güç elektroniği devreleridir. Daha açık ifade ile inverter, Güneş enerjisi

elektrik üretimi sistemlerinde Güneş panellerinin ürettiği enerjiyi 220 volt veya 380 volt kullanmamıza yarayan cihazlar olarak adlandırılmaktadır.

Güneş panelleri DC enerji (Doğru Akım) üretir. Üretilen enerjinin evlerde, iş yerlerinde kullanılabilmesi için AC enerjiye (Alternatif Akım) dönüştürülmesi gerekmektedir. İnverterler tam da bu işi yapmaktadır. DC akımı, AC ye çevirerek ve bununla beraber voltaj ayarlaması yaparak solar paneller tarafından üretilen enerjiyi kullanılabilir hale getirmiş olmaktadır.

İnverterin kullanılma amacı; sistemdeki kesintileri, dalgalanmaları, dengesizlikleri, harmonikleri vb. önlenerek sistemin daha etkin ve verimli şekilde çalışmasını sağlamaktır.

Şebekeden gelen gerilim dalgalanmalarını, pikleri, fitre devresinden geçirerek temizleyen inverter cihazı bu etkilerden kaynaklanan motor, mekanik aksam hatalarını azaltır; bu parçaların tamir, bakım maliyetlerini en aza indirir ve ömürlerini uzatmaktadır. Ayrıca, inverter reaktif enerjiyi azaltarak tasarruf sağlanmasına imkân vermektedir. Bununla birlikte, akü gibi enerji depolama sistemlerinden istenilen özellikle enerji çekebilmek için yine inverterler kullanılmaktadır.

Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları (Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi) yararları konusundaki çalışmalar ile bu sistemlere duyulan ihtiyacın ve talebin artması sonucu rüzgâr, Güneş enerji sistemlerinden elde edilen enerjinin kullanıma uygun hale getirilmesi için daha kaliteli ve stabil çalışan, daha fazla özelliğe sahip inverter çeşitleri üretilmektedir.

Mikroişlemci veya düşük voltaj kontrollü, alarma ve uyarı çıkışlarına sahip, aşırı yük korumalı, statik regülasyona sahip cihazlar üreticiler tarafından piyasaya sunulmaktadır. Kalkış akımları olmadığı için şebekeye zarar vermeyen cihazlar minimum ve maksimum aralıklarda çalışmaktadır.

İnverterler kullanım amaçlarına göre iki grupta toplanmaktadır. Bunlar:

- Off Grid İnverterler (Akülü Solar Sistemler)
- On Grid İnverterler

Off-grid inverterler (Elektrik Şebekesi olmayan yerlerde kullanılan inverterler): Bu inverterler daha çok depolamalı (Akülü – Bataryalı) sistemlerde kullanılmaktadır. Bu tarz uygulamalar daha çok şebeke hattının getirilmesinin çok masraflı olduğu çiftlik evleri, yayla evleri, GSM baz istasyonları gibi yerlerde kullanılmaktadır.

On-grid inverterler (Şebekeye bağlı sistemlerde kullanılan inverterler): On grid inverterler, şebekeye bağlı Güneş enerjisi elektrik üretim sistemlerinde kullanılmaktadır [89].

Mikroişlemciler konut ve ticari tesisler için popüler bir seçim haline gelmektedir. Güç optimizasyon cihazları gibi, mikro inverterler de modül seviyeli elektroniklerdir, bu yüzden her panelde bir tane kurulmaktadır. Bununla birlikte, dönüştürücü olmayan güç optimize edicilerinden farklı olarak, mikro besleyiciler DC gücü doğrudan panelde AC'ye çevirir ve böylece bir inverter gerektirmemektedir. Ayrıca, panel düzeyi dönüşümü nedeniyle, bir veya daha fazla panel gölgelendirilirse veya diğerlerinden daha düşük bir seviyede performans gösterirse, kalan panellerin performansı tehlikeye girmemektedir. Mikro inverterler ayrıca her bir panelin performansını izler, dize inverterleri ise her dizinin performansını göstermektedir. Bu, mikro dizileycileri gölgelendirme sorunları olan kurulumlar için veya çeşitli yönlere bakan birden fazla düzlemdeki panellerle daha iyi hale getirmektedir. Mikro inverterli sistemler daha verimli olabilir, ancak bunlar genellikle dize inverterlerden daha fazla maliyetli olmaktadır [90].

Güneş enerjisi santralleri (GES) arızalarının ve verim kayıplarının birçok sebebi bulunmaktadır. Bazı solar inverter arızaları ve Güneş paneli arızaları üretimden kaynaklı olabilmektedir. Malzemelerin GES sahasına nakliyesi ve solar enerji santralinin kurulumu sırasında işçilik hatalarından dolayı malzemenin zarar görmesi GES işletmesi sırasında arızalar ve verim kayıplarına neden olmaktadır. Güneş enerjisi santralının projelendirilmesi aşamasında yapılan tasarım hataları da GES arızalarının yaşanmasına ve GES'te verim kayıplarına sebebiyet vermektedir.

Güneş enerjisi santralının işletmesi sırasında yaşanan bazı aksaklıklar da GES arızalarına ve verim kayıplarına neden olmaktadır. Bu aksaklıkların bir kısmı kullanıcı hatası ve ihmali sayıldığı için özellikle solar inverter arızalarında bazen maalesef garanti koşulları işletilememektedir.

Sahada karşılaşılan bu tip problemlerin bir kısmı şu şekilde sıralanabilmektedir.

- Solar İnverter fanlarının aşırı tozlu olması.
- Solar inverterlerin bulunduğu alanda hava sirkülasyonunu önleyecek şekilde malzeme depolanması.
- GES'in bulunduğu alanı yıldırımdan koruyan ekipmanın koruma özelliğini yitirmesi.
- Solar panellerin aşırı kirlenmesi.
- Güneş Panellerin camlarına yapışan kuş pisliği, salyangoz, yaprak ve benzeri maddeler solar panellerde hot spot denilen yanıklara neden olması.

- Kuşların panellerin altına, solar inverterlerin bulunduğu kış aylarında çevreye göre daha sıcak yerlere yuva yapması.
- GES sahalarında bitki örtüsünün solar panelleri gölgeleyecek kadar büyümesi.
- Panoların ve solar inverterlerin bulunduğu yerlerdeki ot ve bitki örtüsünün aşırı büyümesi.
- Çatıda ve sahada kurulum yapıldıktan sonra baca, kulübe, sundurma gibi Güneş panellerini gölgeleyecek yapıların inşa edilmiş olması.
- Çatıda solar panellerin üzerinde hortum, fırça vb. malzemelerin unutulması ve Güneş panelinin sürekli olarak kısmi gölgelenmesi.
- Çatıda panellerin bulunduğu alana anten, kamera ve benzeri kabloların çekilmesi.
- GES panolarında kuş, fare, yılan ve benzeri hayvanların yuva yapması.
- GES panolarında uzman ekip dışında müdahale yapılması.

Bu tip durumlar inverterlerin, panellerin, panoların ve benzeri malzemenin arızalanmasına ve garanti kapsamı dışında kalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı bir arıza oluşmaması için rutin kontrollerde gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Eviricinin temel görevi, bir DC gerilimi AC gerilime çevirmektir. Bu dönüşümü yaparken simetrik bir sinüs dalga, eşit genlik ve frekans ile bozulmadan yapmasıdır. Ayrıca çıkış geriliminin düşük bir harmonik ile elde edilmesi istenmektedir. Çıkış gerilimi ayarlı olabileceği gibi sabitte olabilmektedir. Yalnız sabit ya da değişken olması değişik harmonik üretilmesine yol açmaktadır. Bunu gidermek için frekans değerleri sabit veya değişken seçilmektedir. Değişken bir çıkış gerilimi elde etmek için değişken bir de DC giriş gerilimi kullanılmaktadır. Bunun için evirici kazancının sabit tutulması gerekmektedir. Diğer bir yol ise eğer DC giriş gerilimi sabit ve ayarlanamazsa değişken bir çıkış gerilimi evirici kazancını değiştirerek elde edilebilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan evirici modelleri ise anahtarlama stratejisi olarak ise temel frekansta anahtarlama yapan sistemler ya da PWM (Pulse Width Modulation) yani darbe genişlik modülasyonu teknikleri kullanılmaktadır [91].

İnverter Bakım / Onarım:

- Bakım ve Kontroller
- Yağlı Kir Problemleri
- Elyaf-İplik Toz Problemleri
- Erozyon Problemleri
- Endüstriyel Toz Problemleri
- Kablo ve Kurulum Problemleri

AC motor sürücüleri çok geniş hata yelpazesine sahip olup çok çeşitli alarm ve hata mesajlarına sahiptir. Hata fark edildikten sonra, ilgili koruma fonksiyonları aktif olmaktadır. Ardından ilgili hatalar sürücülerin dijital key-padleri üzerinde görünmektedir. Değişebilmekle birlikte altı en çok meydana gelen hatalar dijital key-pad üzerinden ya da haberleşme üzerinden okunabilmektedir.

AC motor sürücüleri çeşitli malzemelerden, elektronik parçalar gibi malzemelerden oluşmuştur ve IC, direnç, kondansatör, transistör, soğutma fanı, röle vb. içermektedir.

Bu komponentler ise sürekli ya da sonsuza kadar kullanılamazlar. Bu komponentlerin ömürleri limitlidir ve elbet normal çalışma şartları dahi olsa günün birinde zarar görecekler ya da ömürlerini tamamlayacaklardır. Koruyucu bakım sağlanması ise AC motor sürücülerini en uygun koşullarda çalıştırmakla mümkün olacaktır.

AC Motor sürücüsünü düzenli olarak çalışma esnasında kontrol edilmesi ve herhangi bir anormallik olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Keypad ya da giriş terminali üzerinden resetleme işlemini hata temizlendikten 5 saniye sonra yapılması gerekmektedir. Güç kesildikten sonra 22 kW'dan küçük sürücüler için 5 dakika ve 30kW üstü sürücüler için 10 dakika kapasitörlerin tamamen deşarj olma süresi bulunmaktadır. Bunun tam olarak gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için '+' ve '-' baraları ölçülerek işlem gerçekleştirilebilmektedir. Gerilimin ölçüldüğünde 25 VDC'den daha az olması gerekmektedir.

Kontroller öncesinde her zaman AC giriş enerjisinin kesilmesi ve kapağın kaldırılması gerekmektedir. En az 10 dakika beklenmesi ve bu sürede tüm kondansatörlerin deşarj olduğundan emin olunması gerekmektedir. Tüm ışık ve ledlerin sönmesini gözlemlenmelidir. DC+ ve DC- baralar arası enerjinin 25VDC'den daha az olması gerekmektedir [92].

10.4.5 Termal Kamera ile DC Hotspot Kontrolleri

Drone ve El Termali ile Hotspot Ölçümü Standartlar: IEC 62446 / IEC 61215

Güneş panelleri devreye alındıktan sonra hotspotlar oluşabilmektedir. Hem drone ile hem de el termali ile bu kontrol gerçekleştirilebilmektedir [93].

Güneş Panelleri üretici hatası, montaj hatası veya işletme sürecinde hasar görebilmektedir. Bu hasar ya da hatalar noktasal olarak hot-spot denilen delinmeye kadar giden hatalara neden olabilmektedir. Ayrıca elektrik aksamında termal ölçülmesi pek çok ciddi arızanın daha önceden tespitini sağlayabilmektedir. Bu nedenle hem drone hem de el termali ile bu kontrolü gerçekleştirilmektedir.

- Yüksek çözünürlüklü termal kameralarla herhangi bir toplu çekim yapmadan her bir panelin tek tek kontrolü yapılmakta, problemliler fotoğraflandırılarak, kusurlar sınıflandırılmaktadır.
- Problemliler panellerin; ilgili probleminin tespiti için termal kameralarla junction boxlarının, kablolarının ve bağlantılarının kontrolü gerçekleştirilmekte, fotoğraf alınmaktadır.

Panellerde Yapılan Termal ölçüm sonucunda aşağıdaki konularda bilgi sahibi olunabilmektedir.

- Güneş panellerimde zarar görmüş hücre olup olmadığı,
- Bypass diyodu ya da junction-box gibi panel malzemelerinde beklenmeyen bir ısınmanın olup olmadığı,
- Gölgeleme yapan çevre etmenlerinin Güneş panellerine zarar verip vermediği,
- Devreye alınmamış dizilerin olup olmadığı,
- İnverter ve elektriksel alt yapıda sorunlu ısınmaların bulunup bulunmadığı hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir [94].

Güneş Paneli Bypass Diyot Arızası: Bir bypass diyot arızası önemli Güneş paneli arızalarından biridir ve Güneş panelinin belirli kısmının, tamamının veya da dizinin komple çalışmamasına neden olmaktadır. Bu arızanın tespiti termal kamera ile problemliler bypass diyotlarının tespit edilmesi ile yapılmaktadır.

Solar Panel Bypass Diyot Arızası Etkileri: Bypass diyot arızası yüksek verim kayıplarına neden olmaktadır. Bu da Güneş enerji santralının geri dönüş süresini etkilemektedir.

- Bypass diyotu arızasının tespiti yapılmaması halinde üretim kaybı ve yangın çıkarma riski taşımaktadır.
- Arızalı bypass diyotu küçük bir sorun olarak görülmektedir. Fakat büyük yangınlara sebep olmaktadır.

Güneş panellerinin ömürlerini etkileyen durumlar hava şartları dışında panelde oluşan arızalardan oluşmaktadır. Bu arızalar hotspot ve diyot arızaları, gölgeleme gibi durumlardan da panelin ömrü etkilenmektedir. Bu durumların yaşanmaması için gerekli bakımlar yıllık aylık olarak yapılması gerekmektedir.

10.4.6 Yıldırımdan Korunma Sistemi Ölçümleri

Yenilenebilir enerji üreten fotovoltaik sistemler, kurulum yeri ve kurulum alanı sebebi ile yıldırım düşme tehlikesi riski taşırlar Binaların ve fotovoltaik sistemlerin korunması; tesislerin işletimde kalma sürelerinin artırılması ve yatırımların güvenliği açısından önem taşımaktadır. Koruma açısına göre yerleşimi yapılacak ve uzunluğu belirlenecek yakalama uçları ile bu sahaların yıldırımdan korunması yapılabilir. Bu yakalama uçları bir iletken ile birbirine bağlanmalıdır ve topraklama ağına bağlanması gerekmektedir.

Fotovoltaik sistemler ve frekans dönüştürücülerin bozulmasına genellikle yıldırım düşmesi sonucunda oluşan yüksek gerilimler sebep olmaktadır. Bu gibi durumlarda fotovoltaik sistemin kullanıcısı, sistemin durmasından kaynaklanan zararın yanı sıra yüksek tamir bedeli ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu hasarlara engel olmak için birbirine uygun olarak tasarlanmış yıldırım ve yüksek gerilim koruması kullanılması gerekmektedir [95].

10.4.7 Konstrüksiyon İçin Ölçüm ve Denetimler

Konstrüksiyonların yılda bir defa kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Rüzgâr, kar gibi nedenle konstrüksiyonda bozulmalar meydana gelebilmektedir. Konstrüksiyon galvaniz malzemeden imal edilmektedir. Zamanla metallerin bağlantı noktalarında kopmalar meydana gelebilmektedir. Sıcak daldırma galvanize çelik tipli konstrüksiyon yapıları içinde standart yapılardaki profiller (kutu, boru, L vb.) kullanılabilirdiği gibi bir de C ve U tiplerinde Soğuk şekillendirilen çelik ürünler kullanılabilir. Sıcak daldırma galvanize çelik tipli konstrüksiyon yapıları içinde standart yapılardaki profiller (kutu, boru, L vb.) kullanılabilirdiği gibi bir de C ve U tiplerinde Soğuk şekillendirilen çelik ürünler kullanılabilir. Tüm Dünya'da hem farklı statik durumlar için boyutlandırılabilme kolaylığı hem de kaynaksız bir şekilde rahat montaj olanağı sunduğu için, Güneş Enerjisinden elektrik üretim santrallerinde en çok tercih edilen ürün olan, soğuk şekillendirilen çelik ürünlerin de konstrüksiyon hesaplarında da dikkat edilmesi gereken konular vardır [96].

10.4.8 AG (Alçak Gerilim) Elektrik Tesisatı Ölçüm ve Denetimleri

Alçak gerilim şebekeleri 1 Volt ile 1000 Volt (1kV) arası gerilime sahip olan şebekelerdir. Bu şebekeler dağıtım trafolarından elektrik tüketicilerine (abone) kadar olan elektrik hatlarından oluşmaktadır. Alçak gerilimler yalıtımı ve korunması kolay olduğu için abonelere yakın kısımlarda kurulmaktadır. Alçak gerilimle yapılan iletimlerde gerilim

düşümü ve güç kaybı fazla olduğu için alçak gerilimler iletimden ziyade dağıtım şebekelerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde alçak gerilim, abonelerde 220 V ve 380 V değerindedir. Evlerimizdeki elektrik tesisatları alçak gerilim tesisleridir. Evlerde kullanılan elektrikli cihazların tamamı alçak gerilimle çalışmaktadır [97].

Akım gerilim ölçümlerinde:

- Panellerin gerçek değerleri ile fabrika verileri ile karşılaştırılabilir.
- Güneş panellerinde mikro çatlaklardan kaynaklı verim kaybı olup olmadığı gözlemlenebilir.
- DC kablolarda izolasyon problemi, haşere kemirmeleri DC kaçak olup olmadığı tespit edilebilir.
- Güneş panellerinin by-pass diyotlarında hasar olup olmadığı belirlenebilir.
- Gölgeleme oluşabilecek hasarların tespiti yapılabilir.
- Panel dize bağlantılarının hataları yanlış bağlantı ve verimsiz bağlantı tespiti olup olmadığı belirlenebilir [98].

10.4.9 OG (Orta Gerilim) Elektrik Tesisatı Ölçüm ve Denetimleri

Orta gerilim şebekeleri etkin şiddeti 1000 V üstünden 36 kV'a kadar olan (36 kV dahil) gerilimler arasındaki şebekelerdir. Bu şebekeler yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekelerinin birbirine bağlanması işleminde kullanılmaktadır. Yüksek gerilime sahip elektrik enerjisinin direkt olarak abonelere verilmesi izolasyon ve güvenlik açısından uygun olmamaktadır. Bu sebeple yüksek gerilimler uygun değerlere indirilerek orta gerilim şebekelerine bağlanmaktadır. Orta gerilim şebekeleri küçük şehirler ve sanayi bölgelerine elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılmaktadır. Orta gerilimler şehirlerin girişindeki dağıtım trafolarına bağlanıp abonelere dağıtılmaktadır. Türkiye'de kullanılan orta gerilim şebekelerinde 10, 15 ve 33 kV'lık gerilimler kullanılmaktadır. Orta gerilim şebekelerinde kullanılan ENH'lerde hattın uzunluğuna göre hat gerilimi tespit edilmektedir. Buna göre 10 km'ye kadar olan uzunluklarda 3 ile 10 kV, 20 ile 30 km arasındaki uzunluktaki hatlarda 10-20 kV, 30 ile 70 km arasındaki uzaklıklarda 20-35 kV'luk gerilimler kullanılması uygun olurken 70 km'yi geçen uzunluktaki hatlarda yüksek gerilimler kullanılmaktadır [99].

10.4.10 Trafo Bakımları

GES tesislerinde ikinci önemli nokta olarak köşk hücreleri gelmektedir. Köşk hücrelinin içinde ölçüm hücreleri kesici hücresi sayaç hücresi AC dağıtım panosu ve trafo yer almaktadır.

Bu hücrelerin bakımları düzenli şekilde yapılması gerekmektedir.

- XLPE Kablo bağlantılarının kontrolleri termal cihazla sıcaklık testleri tork testleri.
- Röle fonksiyon testleri sıcaklık basınç buchholz rölesi testleri.
- Kesici hücresinin açma kapama testleri ve ayarları.
- AC dağıtım panosu tork tersleri.
- Kablo bağlantılarının termal testleri.
- Trafo yağ kontrolü trafo koruma rölelerinin kontrolleri gibi testlerin yapılması gerekmektedir [100].

Trafo Bakımında Yapılacak Kontroller:

- Termal kamera ile kablo başlıkları, buşingler ve trafo yüzeyi kontrol edilir.
- Trafo yağ seviyesi ve yağ kaçağı olup olmadığı kontrol edilir.
- Buşinglerin contalarında bulunan yağ kaçakları kontrol edilir.
- Trafo üzerinde bulunan civatalar tek tek kontrol edilir.
- Yıldız noktası topraklaması ölçülür.
- Trafo kablo başlıkları tiner ile silinir ve iyice kurulanır.
- Silikojel değişimi yapılır.
- Yağ kalite ölçümü yapılır.
- Yüksek ve alçak gerilim kablo başlık, buşing civatalar sıkılır.
- Ark boynuzları kontrol edilir. Kararmalar var ise atlama yapıyordur.
- Trafo odasının varsa soğutma fanları kontrol edilir.
- Sargı ölçümleri yapılır.

Trafo Kontrolü:

Trafo göstergelerinin kontrolü: Sargı sıcaklığı göstergesi, yağ sıcaklığı göstergesi, yağ seviyesi ve basınç kontrolleri yapılmaktadır.

Trafo conta ve cıvatalarının kontrolü: Tank kapağı, buşingler, tankın contaları kontrol edilmektedir. Yıpranmış ya da çatlamış iş göremeyecek olan contalar yenisi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Contası değiştirilen trafodaki cıvatanın bir sonraki periyodik bakımda kontrolü yapılması gerekmektedir.

Trafonun metal gövdesinin kontrolü: Kaçaklara, yıpranmaya ve paslanmaya karşı kontroller yapılmaktadır. Paslı bölgeler temizlenip, astar ve boya uygulanarak bakım yapılmaktadır.

Trafo soğutma sisteminin kontrolü: Soğutma fanları kontrol edilmektedir. Fanların düzgün bir şekilde çalışıp çalışmadığı kontrol edilip, arızalı fanlar sökülen fanlarla aynı özelliklere sahip olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Sistemin kararlılığı açısından bu durum önem taşımaktadır.

Trafo yağının kontrolü: Trafoyu neme karşı korumak için madeni yağlar kullanılmaktadır. Trafoda kullanılan yağ zamanla çeşitli sebeplerden bozulmaya başlamaktadır. Bakımlar da trafo yağından 1,5 lt numune alınarak testlere tabi tutulması gerekmektedir. Özelliğini kaybeden yağın değiştirilmesi önem taşımaktadır. Genleşme deposu olan trafolarda yağın ömrünü daha uzun tutabilmek için hava kurutucu periyodik bakımlarda kontrol edilmesi gerekmektedir. Normal şartlar altında hava kurutucusu mavi renkli olması gereken pembe renge dönüşmüş ise değiştirilmesi önem taşımaktadır.

Trafo buşinglerinin kontrolü: Orta ve alçak gerilim çıkışında bulunan buşingler kontrol edilmektedir. Kırık ve çatlak olanların değiştirilmesi gerekmektedir. Kirli olan buşinglerin nemli bir bez yardımı ile silinerek tozdan ve kirden arındırılması, orta gerilim kısmında olan ark boynuzları da kullanılan gerilime göre ara mesafesinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Trafo bağlantılarının kontrolü: Buşinglere bağlı olan iletkenlerle, topraklama bağlantıları kontrol edilmelidir. Doğru temas etmeyen, gevşek veya oksitlenmiş bağlantıların düzenlenmesi gerekmektedir. Trafo yük altında olduğu sırada termal kamera ile yapılması gereken kontrollerde bağlantı noktalarının sıcaklıkları kontrol edilerek arıza tespiti yapılabilmektedir.

Trafo Kontrol ve Ölçümleri:

İmalatçının belirlediği şartlar kapsamında ve belirli bir yönetmeliğe göre incelenmektedir.

- İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
- Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği
- Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği

Trafo kontrol ve ölçümlerinin yılda en az bir kez gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kontrol ve ölçümleri Yüksek Gerilim Elektrik Kontrol Ekibi ve Mühendisleri yapmaktadır.

Trafo ölçümleri periyodik kontroller sırasında yapılır. Denetimsizlik ve kontrolsüzlük sebebiyle hasar ve ölümlere sebep olmaması en temel amaç kabul edilmektedir.

Trafo ölçümleri:

- TTR Trafo Çevirme Oran Testi
- Trafo Sargı DC Direnç Testi
- Trafo DC İzolasyon Testi
- Topraklama Ölçümleri
- Termal Kamera Ölçümleri
- Kesici Testleri
- Kablo Testi [101].

10.4.11 YG Hücre Bakımları

Yüksek gerilim işletme sorumluluğu trafo sorumluluğu olarak da adlandırılmaktadır. Bu hizmetin başlangıcı ve yöntemleri belirli bir yönetmelik dahilinde yapılmaktadır. Trafo işletmeciliği sorumluluğu can ve mal kaybının önüne geçmek ve belirli bir düzen içinde ilerlemesi için oluşturulmuştur. Yüksek gerilim işletme sorumluluğu yapılabilmesi için SMM belgesinin olması gerekmektedir. Yüksek gerilim noktalarındaki zararın azaltılması için bazı mevzuatlar bulunmaktadır. Yüksek gerilim işletme sorumluluğu yapmak isteyen elektrik mühendisleri bu alanda eğitim almaları gerekmektedir.

Devamlı olarak yapılan hücre test ve bakımları bu sıkıntıların ortaya çıkma olanaklarını tıkadığı için sorun ihtimallerini ortadan kaldırmakta ve sistemin problemsiz çalışmasını sağlamaktadır. Kurulum sırasında kablo başlıklarına özen gösterilirse arıza riski sıfırlanır. Benzer dikkatin topraklama anahtarlarında da geçerli olması gerekmektedir. Ekipler, hücre test ve bakımları yaparken önce gözden geçirerek denetlemekte ve yazılı

olan hücre yönergelerine uygun olarak elektrik kesintisi yapıp ve topraklama uygulanmaktadır. Güvenlik tedbirleri dahilinde arızaya yol açan sorunlar belirlenmektedir. Bu bakımlar esnasında bütün kabloların testi yapıp ve topraklama sistemi titiz şekilde denetlenmektedir. Testi yapılan kabloların enerji dönüşümünü yeterli düzeyde gerçekleştirip gerçekleştirmediği kontrolden geçirilmektedir.

Kontakların, geçiş yönündeki iletimini sağlayan geçiş ve dirençlerin bakımı hücrede bulunan ayırıcı sistemlerin düzgün biçimde işleyebilmesi için gerekmektedir. Hücre test ve bakımları esnasında kontakların ve hücre yüzeylerinin kontrolü, gerekli görüldüğü takdirde temizliğinin yapılması gerekmektedir. Sonrasında gövde bölümünün denetlenmesi ve topraklama kontrolü dikkat edilmesi gereken bir basamaktır. Ana bağlantılar denetlenmeli, izolatörlerin bakımı ve temizliği elden geçirilmelidir. Ana merkezden sinyallerin iletimi sağlanmalı ve enerjiyi dönüştürme becerisi hesaplanmalıdır. Sigorta sisteminin sağlıklı bir şekilde işleyip işlemediğinin denetlenmesi gerekmektedir. Hücre içerisindeki kabloların ve panonun metal bölümlerinin dayanıklılığı, çürük barındırma durumunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Hücreye haddinden fazla akım yüklemesi yapılarak test edilmelidir. Elektrik kaçağı oluşma ihtimalleri kontrol edilirken civatalar da kontrol edilmelidir. Oluşabilecek elektrik kaçağının önüne geçmek için önlemlerin alınması, kabloların bağlantı noktalarından emin olabilmek için bu bakım ve testlerin düzenli yapılması önem taşımaktadır. Hücrenin uzun ömürlü oluşunu sağlayacak olan hücre test ve bakımlarının uygulanması sırasında yüzeysel temizlik de iç temizlik de tiner ile sağlanmaktadır [102].

10.4.12 Kompanzasyon Denetimi

GES tesisinde inverterlerin doğru bir şekilde ayarlandığından emin olmak, kompanzasyon ihtiyacının ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Yukarıda belirttiğimiz gibi gündüz saatlerinde üretilen aktif gücün fazla olmasından dolayı ceza oluşmuyorsa bile, gece saatlerinde tüketime geçen GES tesisleri, aktif tüketimin çok düşük ancak reaktif tüketimin bu aktif tüketime göre yüksek olmasından dolayı ceza ile karşılaşmaktadır. GES'te üretimden tüketime geçildiği noktayı (gündüzden geceye) hassas olarak yakalayabilen Solar kompanzasyon rölesi, kendisine bağlı olan kademeleri kullanarak kompanzasyona başlar ve şebekeden çekilen reaktif gücü düşürerek sistemi cezaya sokmaz. GES tesislerinde genel olarak kapasitif ceza değeri ile karşılaşmaktadır. Bunun nedeni inverterler ve sistemde kullanılan yer altı kablolarıdır. İnverterler hem gece hem gündüz kapasitif basmaktadır. Ancak gündüz saatlerinde oluşan kapasitif, genel olarak aktive göre düşük kaldığından göz ardı edilmektedir. Gece saatlerinde oluşan kapasitif oran ise göz ardı edilemeyecek kadar büyük olmaktadır. Dolayısıyla bu

sistemlerde kompanzasyon yapılırken mutlaka şönt reaktörler kademe olarak reaktif güç kompanzasyon rölesine bağlanması gerekmektedir. Orta gerilimden akım referansı alacak şekilde üretilen Solar röle, trafonun reaktif kaybını da göz önünde bulundurarak kompanzasyon sistemine daha az şönt reaktörü bağlanmasına olanak tanımakta ve kompanzasyon sisteminin daha ekonomik hale gelmesini sağlamaktadır. Bu sistemlerde şönt reaktör sürücüler ile kompanzasyon yapmak çok doğru bir yöntem olmamaktadır. Bunun başlıca sebebi reaktörlerin, sürücülü cihazlara monofaze olarak bağlanmasıdır. Ancak bilindiği üzere trafoların OG sargıları üçgendir yani nötr bulunmamaktadır. Dolayısıyla AG tarafında sürülen bir monofaze yük OG tarafında iki sargıyı birlikte etkileyecek ve bunun neticesinde reaktifi sıfırlamak isteyen röle ve sürücü çifti sürekli olarak bir döngüye girmektedir. Bunun neticesinde reaktörler neredeyse tam yükte sürülecek ve bunların aktif tüketimleri neredeyse ceza tutarı kadar para tutacaktır. Bunların yerine monofaze de olsa reaktör ve kondansatörleri röle üzerinden hassas bir şekilde kumanda etmek, kompanzasyon sebebiyle trafonun OG sargılarında oluşan dengesizliğin daha aza inmesine neden olacak ve sistem daha verimli hale gelecektir.

Bu tesislerde başlıca kompanze edilmesi gereken yükler, trafonun reaktif kayıpları, yeraltı kabloları, inverterler ve sahalarda bulunan bekçi kulübelerinin içinde bulunabilecek yüklerdir [103].

10.4.13 Faturalama Denetimi

Güneş enerji sistemlerinin geri dönüş süreleri 6-7 yıl civarında olmaktadır. Birçok ortalama ev için 2 -3 KW kapasite bile yeterli olabilmektedir. Her bir KW kapasite bedeli evrak süreçleri dahil 1300-1500 dolar seviyelerinde bulunmaktadır [104].

Güneş enerjisi yatırımı uzun soluklu bir yatırım olarak düşünülmelidir. Kullanılan dönüştürücü inverter standart 5 yıl garantili olmaktadır. Küçük bir fark ile 10 yıla hatta daha fazlasına garanti uzatımı yapılabilmektedir. Güneş panellerinde ise ortalama 10-15 yıl panel garantileri bulunmakta ve 25 yılın sonunda %80 çıkış garanti etmektedir. Yani 100 Wp gücünde bir panel 25 yıl sonra 80Wp verebilir olacağı öngörülmektedir [105].

Güneş enerjisi sistemleri genellikle çok fazla bakım gerektirmemektedir. Sadece nispeten temiz tutmanız gerekmektedir; bu yüzden yılda birkaç kez temizletmek gerekmektedir. En güvenilir Güneş paneli üreticileri ürünlerine 20-25 yıl garanti vermektedir. Ayrıca hareketli parça olmadığından aşınma ve yıpranma az olmaktadır. Güneş Enerjisi Projelerinde kullanılan İnverter genellikle 5-10 yıl sonra değiştirilmesi gereken neredeyse tek parça olmaktadır. Çünkü Güneş enerjisini elektrik ve ısıya dönüştürmek için sürekli çalışmaktadır. İnverter dışında, Güneş enerjisi sisteminizin maksimum verimle çalışmasını sağlamak için kabloların da bakıma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu nedenle

Güneş sisteminin ilk maliyeti karşılandıktan sonra bakım ve onarım işleri için çok fazla harcama yapılmasına gerek kalmamaktadır [106].

10.4.14 Kamera Sistem Bakımı

Alarm sistemlerinin pek fayda etmeyeceği yerde kamera sistemleri devreye girebilmektedir. Yüksek çözünürlüklü kameralarla kayıt alınarak alan her zaman taramadan geçmektedir. Ayrıca üstün teknoloji sayesinde kameraların vermiş olduğu kayıtlar telefon üzerinden de izlenebilmektedir. Sürekli Güneş panellerinin kontrol edilmesinden her yerden her şeye hâkim olunabilmektedir.

GES güvenlik kamera sistemi sayesinde 7/24 GES güvenlik altında olmaktadır. Herhangi bir kötü durum karşısında ise telefona bildirim gelerek uyarı verilmektedir. Kameraların sürekli kayıt altında olması istediğiniz günü, saati ve dakikayı seçilmesine yardımcı olmaktadır.

Güneş enerji sistemleri gibi yapılarda kamera cihazlarının rolü büyük olmaktadır. Büyük bir yatırım söz konusu olunca korunması ve kontrol edilmesi daha da önem kazanmaktadır. Ayrıca santralin başında sürekli durmak neredeyse imkânsız olmaktadır.

Verim almanın en iyi yolu yine kamera sistemlerinden geçmektedir. Kontrol için bir personele ihtiyaç duyulabilir. Ancak kamera cihazlarıyla birlikte bu işlemler daha kolay olmaktadır [107].

10.4.15 Saha Kontrolü

SCADA terimi İngilizce “Supervisory Control and Data Acquisition” kelimelerinin ilk harflerinin birleşmesi ile oluşmaktadır. Türkçe karşılığına bakacak olursak “merkezi yönetim ve veri toplama sistemi” anlamına gelmektedir. Sanayide de oldukça yaygın kullanılan kapsamlı ve bütünleşmiş bir veri tabanlı kontrol ve izleme sistemleri olan SCADA sistemleri ile bir tesise veya işletmeye ait tüm ekipmanların kontrolünden üretim planlamasına, çevre kontrol ünitelerinden yardımcı işletmelere kadar tüm birimlerin otomatik kontrolü, gözetilmesi ve sonuçların raporlanması sağlanabilmektedir.

Güneş Enerjisi SCADA sistemlerinin genel merkezi EDAŞ'ların bünyesinde bulunmaktadır. Dağıtım Şirketi kendi bölgesinde dağıtım sistemine bağlı olan bütün enerji santrallerini kendi genel merkezlerinden izleyebilmekte ve kontrol edebilmektedir. Genel merkez ile üretim santrali arasındaki bağlantı, santrale yerleştirilen SCADA panelleri içerisinde yer alan “GSM / GPRS modemlerin” sağladığı internet aracılığı ile gerçekleşmektedir. Genel merkez ile santral arasındaki bu internet

bağlantısı ile alınan ve gönderilen veriler lisanslı özel bir haberleşme protokolü olan IEC 60870-5-104 protokolü kullanılarak koruma altına alınmaktadır [108].

Güneş enerjisi izleme sistemleri, enerji tüketimini ve üretim verilerini görüntülemenin yanı sıra, Güneş enerjisi kurulumunuzu anlamanıza yardımcı olacak birçok araç sunmaktadır. Güneş enerjisi izleme yazılımı genellikle panellerle ilgili sorunların ve kusurların tespit edilmesine yardımcı olabilmekte ve kurulumunuz için onarımlar önerebilmektedir. İzleme sisteminizden geçmiş veriler de takip edilebilmektedir. Güneş panelleri minimum 20-25 yıllık performans garantisiyle temin edilmektedir. Ancak performanslarının garanti edilen değer altına düşüp düşmediğinin tespiti için solar izleme sistemlerinden yararlanılması gerekmektedir. Örneğin, izleme sistemleri geçmiş hava durumuna dayalı performansla ilgili veriler sunmaktadır, böylece havanın geçmişte Güneş enerjisi üretimini nasıl etkilediğini ve gelecekte nelerin beklenebileceği tahmin edilebilmektedir.

Güneş enerjisi inverterinin verimliliği güç çıkışıyla doğru orantılı olmaktadır. Eğer inverterlerin performansı düşerse, elektrik enerjisi üretiminde kayıp yaşanması beklenebilmektedir. Güneş enerjisi izleme sisteminin en önemli özelliği bu gibi durumlarda sistem arızalarını veya muhtemelen Güneş paneli arızalarının tespit etmektedir. Öte yandan, Güneş enerjisi izleme yazılımı Güneş enerjisi ile ilgili verileri hafızasında tutmakta ve bir arşiv oluşturmaktadır. Güneş enerjisi sisteminin durumunu kontrol etmek isteyen bir kişi ya da kurum tüm bilgileri görebilmekte ve bunları karşılaştırabilmektedir. Böylece Güneş enerjisi santralindeki sorun tespitinin onarım sürecine geçilebilmektedir.

Güneş enerjisi izleme sistemlerinin bir diğer faydası ise sistemin ne kadar Güneş enerjisi ürettiğini kolayca kontrol edebilmeyi sağlamaktır. Çoğu izleme yazılımı, her bir inverter ve panelin nasıl performans gösterdiğinin kontrol edilmesine olanak tanımaktadır. Böylece bunlardan herhangi birinin bakıma ihtiyacı olup olmadığı veya Güneş enerjisi verimliliklerinin artırılıp artırılamayacağı belirlenebilmektedir. Güneş enerjisi izleme sistemi ayrıca verileri hızlı bir şekilde günceller, böylece sisteminizin nasıl performans gösterdiğini her zaman gerçek zamanlı olarak bilinmesine olanak sağlamaktadır [109].

Hem sahanın büyüklüğü hem de kullanılan ekipman sayısının fazlalığından dolayı GES'lerde sahanın kontrolü çok zor olmaktadır. Genellikle sahada oluşan sorunlar çok dramatik seviyelere ulaştıklarında görülebilmekte ve giderilmektedir. Bu durum santral sahibinin üretim/para kaybetmesine sebep olmaktadır.

Diğer bir sorun ise; kurulan santrallerin üretimlerinin zaman zaman izin verilen üst limitin dışına çıkması nedeni ile EPDK tarafından cezalı duruma düşmektir.

Tüm bu sebeplerde, günümüzde santrallerin santral yönetim odasından lokal olarak veya uzak noktadaki merkezi yönetim biriminden, izlenmesi / kontrol edilmesi, tüm bu sayılan sorunların önüne geçilmesini sağlayarak, yatırımcının para/zaman kazancını arttırmaktadır.

GES'ler sahada birçok ekipmana sahip olduklarından, bunların izlenmesi-kontrol edilmesi için EDAŞ veri izleme sisteminden alınan verilere ek olarak aşağıdaki verilerinde scada sistemi üzerinden izlenmesi-kontrol edilmesi büyük bir avantaj sağlayacaktır.

- Panel sıcaklıklarının izlenmesi
- Işınımın pyronometre ile ayrıca ölçülmesi
- Rüzgâr hızının ölçülmesi
- Panel dizilerinden; akım, gerilim, güç ve kapasite bilgilerinin alınması ve invertere giren toplam DC gücün ölçülmesi
- Saha toplama panolarındaki sigorta-kaçak akım şalterlerinin durum bilgilerinin izlenmesi
- İnverter çalışma parametrelerinin izlenmesi ve üretiminin ölçülüp kontrol edilmesi
- Eğer tali trafo merkezleri var ise bunlara ait AG şalter, analizör, koruma rölesi trafo, OG hücre, röle çalışma durum bilgileri ile ölçülen parametrelerin izlenmesi ve kontrol edilmesi.

Scada sistemi lokal olarak GES yönetim merkezine veya merkezi yönetim merkezine kurulduğunda yatırımcı isterse internet üzerinden ilgili kişi veya kişilerin sistemi web browser (internet) üzerinden bir bilgisayar veya cep telefonu ile izlemesine de olanak sağlamaktadır [110].

Güneş enerji santralindeki otların temizlemesi panellerin temizlenmesi kadar önem teşkil etmektedir. Panellere yetişen otlar gölge yapabilir bu gölgede panellerde hot spotlara neden olmaktadır. Her yıl arazinin düzenli bir şekilde ot temizlemesi yapılması gerekmektedir [111].

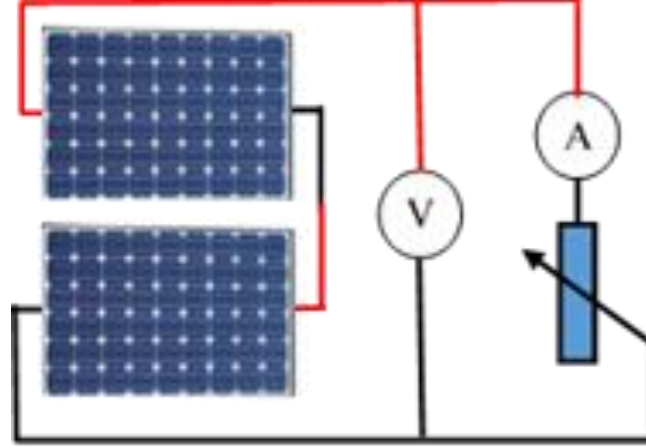
Tüm saha tel örgü ile kapatılması, tesis üzerinden enerji nakil hattı geçiyorsa tel örgüler uygun şekilde topraklanması gerekmektedir. Tüm topraklamaların vizeli elektrik projesinde belirtilen şekilde yapılması gerekmektedir. Yere gömülü olmayan tüm

kabloların galvaniz boru veya metal kablo kanalı ile mekanik korumaya alınması gerekmektedir.

Saha içerisindeki yer altı kablolarının çelik zırlı olması ve bu kabloların 1 m derinlikte ve PVC boru içerisinde çekilmesi gerekmektedir. Metal konstrüksiyonun parçası olan taşıyıcı sehpalar toprak altından eş potansiyele getirilip ve üstten de birbirine bağlanması önem taşımaktadır. Saha içindeki etiketlemelerin kontrol edilmesi gerekmektedir [112].

11. BAKIM ONARIM İÇİN ALINMASI GEREKEN ÖLÇÜMLER VE HESAPLAMALAR

Bir Güneş enerji santralinde I_{sc} ve V_{oc} değerlerini okumak, sistemin çalışmasını engelleyeceği için uygun bir yöntem olmamaktadır. Buna rağmen sistem maksimum güçte çalışırken Şekil 66'da gösterildiği gibi sisteme bağlanan voltmetre ve ampermetre ile çıkış gerilimi ve akımını ölçmek (bu değerler V_{mpp} ve I_{mpp} değerlerine eşittir.) sistemin çalışmasında hiçbir engel oluşturmamaktadır.



Şekil 66. Voltmetre ve ampermetrenin bağlantısı

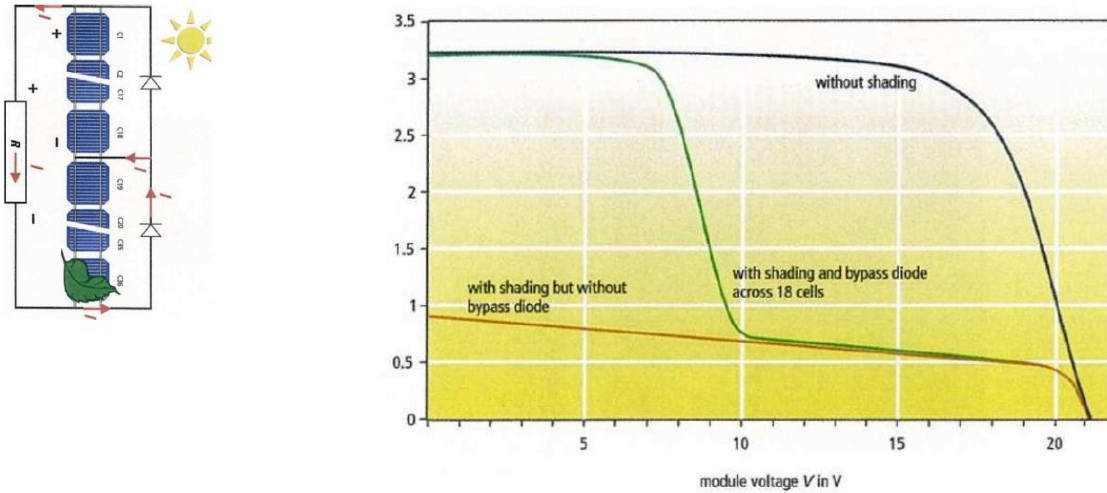
Böylelikle I_{mpp} değeri sürekli ölçülerek, paneller üzerine düşen ışık şiddetini (E (I_{mpp})) önceden deneysel olarak yapılmış ve sonuçları grafiklere işlenmiş bilgilerden yapılabilmektedir. Bu değer eş zamanlı olarak, panellerin konumu ile aynı şekilde yerleştirilmiş harici bir solarmetre ile ölçülen ışık şiddeti (E) ile karşılaştırıldığında, aradaki fark panellerin kirlenmiş olduğunun göstergesi olmaktadır. Böylelikle hesaplanan ışık şiddetindeki fark (ΔE) verimi etkileyecek düzeye geldiğinde panellerin temizlenmesi gerektiği söylenebilecektir. (Panellerin temizlenmesi için gerekli ΔE değeri belirlenirken, paneller temizlikten sonra oluşacak güç üretimindeki artışın, temizlik maliyetini karşıladığından emin olunması önem taşımaktadır.)

V_{mpp} deki değişimi ise sadece ışık şiddetindeki değişim ile yorumlamak yeterli olmayacaktır. Işık şiddetinden başka V_{mpp} değerini değiştiren iki temel neden daha bulunmaktadır. Bunlar panellerin sıcaklığı ve paneller üzerinde oluşacak herhangi bir gölgelemedir.

Paneller gün içinde Güneş altında kaldıkları için yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığına ve panel yüzeyine gelen ışık radyasyon miktarına bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Yüzey sıcaklığındaki bu değişim ışık şiddeti sabit kabul edilirse artan yüzey sıcaklığı ile V_{mpp} ve V_{oc} değerleri azalırken (yaklaşık exp. olarak) I_{mpp} ve I_{sc} değerleri çok az artış

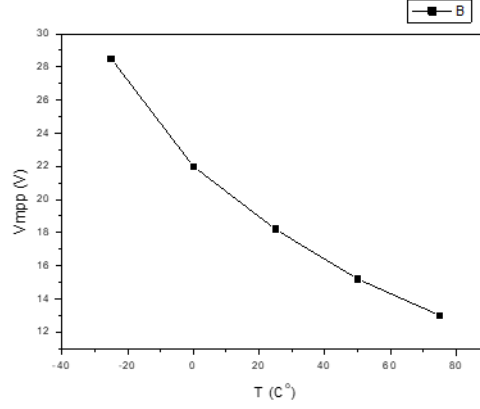
gösterecektir. Akımdaki bu artış çoğu panelde gerilimdeki azalma yanında ihmal edilebilecek düzeyde olacaktır.

Panel yüzey sıcaklığı ve panel üzerine düşen ışık şiddeti sabit iken, bir panel üzerine veya panel içindeki bir hücre üzerine gölge düştüğünde panel/hücre akım üretimi sonlandırılıp, kendi üzerinde güç harcanması başlayacaktır. Bu da panel çıkışında büyük bir güç düşümüne neden olmaktadır. Şekil 67'de görüldüğü gibi 36 hücrenin seri bağlanmasıyla oluşan bir panelde by-pass diyotu yoksa hücrelerden herhangi bir tanesi gölgelendiğinde panelin akım değeri (I_{sc} ve I_{mpp}) sıfıra doğru düşecek ve panel artık güç üretmeyi bırakacaktır. Oysaki hücreler 18'lik gruplar halinde iki by-pass diyotu ile bağlanırsa gruptaki bir veya birden fazla hücre gölgelendiğinde, bu 18 hücre üzerine 0,6 V gerilim düşümü olacak ve devre dışı kalacaktır. Panelin çıkış gerilimi (V_{mpp}) ise yaklaşık olarak gölgesiz durumdaki değer yarısının 0,6V eksiğine düşmüş olacaktır.



Şekil 67. Seri bağlı 36 hücrenin oluşturduğu panel

Gölgeleme etkisi de göz önüne alındığında ve her bir panelde iki veya üç by-pass diyotu olduğu düşünüldüğünde, I_{mpp} ve ışık şiddeti ölçümlerine ek olarak eş zamanlı olarak V_{mpp} , ortam sıcaklığı ve panellerin yüzey sıcaklığının ölçülmesi gerekmektedir.

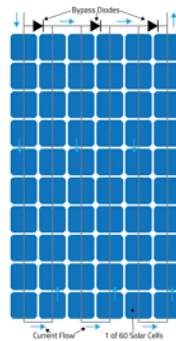


Şekil 68. Panellerin yüzey sıcaklığı

Ölçülen ışık şiddeti, ortam sıcaklığı ve yüzey sıcaklığına göre Şekil 68’de gözlemlendiği gibi önceden deneysel olarak yapılmış $V_{mpp}(T,E)$ değeri hesaplanıp ve sistemin çıkışından ölçülen V_{mpp} değeri ile karşılaştırılarak ΔV_{mpp} değerine bakılması gerekmektedir. Sistemde bir arıza yoksa bu değerlerin sıfır olması gerekmektedir. Ancak ışık şiddetindeki değişimden dolayı fark sıfıra yakın bir değer olacaktır.

Ancak sistemde bir gölgeleme veya bir panel arızası varsa, panele yerleştirilen bypass diyotu sayısına ve sistemdeki seri bağlı panel sayısına bağlı olarak ΔV_{mpp} değerinde belirli bir fark olacaktır. Bu fark değerine bakılarak gölgenin büyüklüğü veya arızalı panelin sayısı tespit edilebilecektir.

Şekil 69’da görüldüğü gibi bir by-pass diyotuna seri olarak bağlı hücrelerden en az bir tanesi gölgelenir ya da bozulursa, hücrelere bağlı by-pass diyotu devreye girecek ve panelin çıkış gerilimi yaklaşık 1/3 oranında düşecektir.



$$V_{oc} = 36 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 9 \text{ A}$$

$$V_{mpp} = 33 \text{ V}$$

$$I_{mpp} = 8,4 \text{ A}$$

Şekil 69. 60 Hücreden oluşan panel

Örnek olarak Şekil 69'de gösterildiği gibi 60 hücreden oluşan bir panel içerisinde hücre sayısı n_h , bypass diyot sayısı n_{bp} olan n tane panel kullanılarak birbirine seri bağlı bir dizi oluşturulduğu kabul edildiğinde

Bir by-pass diyotu üzerine bağlı hücre sayısı; n_{h-bp}

$$n_{h-bp} = n_h / n_{bp} = 60/3 = 20 \text{ Adet}$$

$$1. \text{ Hücrenin } V_{mpp} \text{ Değeri} = V_{h(mpp)} = V_{mpp} / n_h = 33 / 60 = 0,55 \text{ V}$$

Bir by-pass diyodu devreye girdiğinde n_{h-bp} kadar hücre üretim yapamayacaktır.

$$V_d = n_{h-bp} \times V_{h(mpp)} = 20 \times 0,55 = 11 \text{ V}$$

Bir by-pass diyotu devreye girdiğinde oluşan gerilim düşümü

$$V_{g,d} = V_d + 0,6 = 11 + 0,6 = 11,06 \text{ V}$$

Buna göre dizide n tane panel varsa dizinin çıkış gerilimi

$$V_{\zeta} = n \times V_{mpp} = 10 \times 33 = 330 \text{ V olur.}$$

y tane by-pass diyodu devreye girerse dizinin çıkış gerilimi

$$V_{\zeta} = V_{\zeta} - y \times V_{g,d} \text{ olur.}$$

Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi V_{mpp} deki gerilim düşümü $V_{g,d}$ nin katları katarsa bu bize gölgeleme/panel arızası olduğunu gösterecektir.

Sonuç olarak, ölçülmesi gereken parametreler:

- I_{mpp} (A),
- V_{mpp} (V),
- T (yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)),
- E (paneller üzerine düşen ışınım miktarı (W/m^2))

Bilmememiz gereken parametreler:

- I_{mpp} 'nin ışınım şiddeti ile değişimi,
- Farklı ışınım şiddetlerinde V_{mpp} 'nin T ile değişimi,

Hesaplayacağımız parametreler:

- Paneller üzerindeki kirlilik yoğunluğu (bağlı olarak)
- Paneller üzerine gelen günlük ışınım miktarı

Panellerin günlük verimliliği ve üretilen güç miktarı olacaktır.

12. YAPAY ZEKÂ VE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

12.1 Yapay Zekâ

Yapay zekâ, herhangi bir canlı organizmadan faydalanılmaksızın, tamamen yapay araçlar ile oluşturulan, insan gibi davranışlar ve hareketler sergileyebilen makinelerin geliştirilmesi teknolojisinin genel adıdır. Bir nevi bilgisayarların insan davranışını taklit etmesini sağlayan teknikler bütünüdür. Bu kavram 1950'lerden bu yana kullanılmakla beraber, günümüzde her geçen gün daha yeni ve daha karmaşık teknolojiler geliştirmek için kullanılmaktadır. Yapay zekâ kavramı, gelecek için heyecan yaratan kavramların da başında gelmektedir. Özellikle son yıllarda hayal sınırlarının iyice zorlanmasında etken olan yapay zekâ çalışmaları, her geçen gün yeniliklerle insanların karşısına çıkmaktadır.

Yapay zekâyı anlamak ve kullanmak için birçok farklı teknik hâlihazırda kullanılmakta, zaman içerisinde yeni teknikler üretilmekte ve çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Makineleri eğitmenin anahtarı şu faktörlere bağlıdır [113]:

- *Anlam*: Büyük verinin ortasında anlamlı nesnelere veya kavramları tanımlama ve tanıma. Örneğin bir araç stop lambası veya tümörlü/normal bir dokuyu ayırt etme.
- *Sebeplere*: Daha geniş bağlamı anlama ve bir hedefe ulaşmak için bir plan yapma. Örneğin amaç bir çarpışmayı önlemek ise; araç, araç davranışlarına, yakınlık, hız ve yol şartlarına göre çarpma olasılığını hesaplamalıdır.
- *Hareket*: En iyi hareket tarzını önerme ya da doğrudan başlatma. Örneğin araç ve trafik analizlerine dayanarak, emniyet mekanizmalarını frenleyebilir, hızlandırabilir veya hazırlayabilir.
- *Uyarılma*: Son olarak, her aşamada algoritmalar deneyime dayanarak uyarlanabilmeli ve daha akıllı hale getirilmeye çalışılmalı. Örneğin daha fazla kör nokta tanımak, yeni değişkenleri bağlama dâhil etmek ve önceki olaylara dayanarak eylemleri ayarlamak vb.

Yapay zekâ kullanım alanları her geçen gün daha da artmakta, yapay zekâ evreni zamanla daha da genişlemektedir. Eğitimden sağlığa, endüstriden tarıma, otomotiv teknolojilerinden ekonomi ve finans uygulamalarına kadar pek çok alanda başarılı yapay zekâ uygulamaları geliştirilmektedir. Özellikle son 20 yılda Microsoft, Google, Apple, Facebook gibi Dünya'nın lider bilişim sektörü kuruluşları yapay zekâ tabanlı uygulamalar gerçekleştirmektedirler. Bu çalışmalar da göstermektedir ki Dünya'nın gidişatına yön verecek teknikler, yapay zekâ teknikleridir.

12.2 Makine Öğrenmesi

Makine Öğrenmesi, verilen bir problemi probleme ait ortamdan edinilen veriye göre modelleyen bilgisayar algoritmalarının genel adıdır. Tahmin, öngörme, sınıflandırma gibi problemlere çözüm için önerilmiş birçok yaklaşım ve algoritma mevcuttur.

Herhangi bir problemin bilgisayar tarafından çözülebilmesi için algoritmasını bilmek gerekmektedir. Algoritma, girdiyi çıktıya çevirmek için uygulanacak komutlar dizisidir. Örneğin, istenmeyen eposta ayıklaması için en basit haliyle bir metin dosyası girdi iken çıktı bu epostanın istenip istenmediğini belirten evet ya da hayır işaretidir. Amaç, girdiye bağlı olarak çıktının belirlenmesidir. Bu işlem için kullanılan tek bir algoritma yoktur ve aynı zamanda istenen ve istenmeyen kavramı da kişiden kişiye değişebilmektedir. Bilgi çıkarılabilecek miktarda (on binlerce veya yüz binlerce) eposta incelenebilseydi, hangi epostanın istenip hangisinin istenmeyeceğini çıkarılabilir miydi? Bu problem bilgisayar ile çözülmek istense nasıl bir algoritmaya ihtiyaç duyulur?

Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde her alanda büyük miktarda veri ortaya çıkmakta ve bu veriler depolanabilmektedir. Örneğin bir bankacılık sektöründe milyonlarca müşteri bilgisi ve bu müşterilerin kredi kartı harcamaları anlık sistemlere kaydedilebilmektedir. İnsan hayatının her anında baytlarca bilgi elektronik aygıtlardan sistemlere depolanmaktadır. Sistemlerde toplanan gigabaytlarca bilgi ancak çözümlenip gelecekle ilgili öngörü yapmaya yarayacak bilgiye dönüştüğünde değerli olacaktır. Bir kredi kartı kullanıcılarına ait veriler rastgele değildir. Tam olarak kredi kartı kullanıcısının davranışı tanımlanamasa da bir örüntü ve düzen gözlemlenebilir ve bu da makine öğrenmesi alanına girmektedir. Böylece toplanan dijital verilere bakarak geleceğe dair öngörülerde bulunulabilir. Makine öğrenmesi, bilgisayarla görü, konuşma tanıma, yüz tanıma ve robotik gibi daha pek çok alanda çözüm bulunmasına yardımcı olmaktadır [114].

Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak insanların gerçekleştirmeyi amaçladığı iş ve işlemleri, hesaplamaları ve çalışmalarını bilgisayarlara yaptırmak mümkündür. Tahmin, öngörme, ilişkilendirme, sepet analizi ve sınıflandırma gibi işlemlerde kullanılabilir.

Tahmin: Veriden öğrenen modellerde sistem çıktısının nicel olması durumunda kullanılan yöntemlerin ürettiği değerlerdir.

Öngörme: Geçmiş ve şimdiki verilere dayanarak, gelecekteki durumu tahmin etme ve hesaplama işlemidir.

İlişkilendirme: Programların kendisine girdi olarak sunulan veriler arasında örüntüler bulabilmesidir. İnsanlar tanıdığı birini gördüklerinde hemen hatırlar ancak bu işlemi nasıl yaptığını açıklayamaz veya algoritmasını yazamaz. Yüz görüntüsü gelişigüzel

noktalardan oluşmaz ve belirli bir yapısı vardır. Örneğin göz, ağız ve burunun yerleri bellidir. Programlar ise bir insana ait yüz resimlerini inceleyerek o kişiye özgü örüntüyü tanımlayabilir. Daha sonra verilen bir resmin bu örüntüye ne kadar benzediğini çıkarabilir. Bu işleme örüntü tanıma denir.

Sepet analizi: Eğer bir müşteri X ürününü aldığı anda Y ürününü de alıyorsa, o halde X ürününü alan müşteri Y ürününü almaya adaydır denir. İlişkilendirme kuralı bulunurken müşterinin geçmişte yapmış olduğu alışverişlerden X kümesine koşullu olarak Y ürünü için $P(Y|X)$ olasılığı hesaplanır.

Sınıflandırma: Giriş verisine ait çıkışların nitel olduğu durumlarda kullanılan yöntemlerin her veri örneğinin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemesidir. Burada amaç, probleme ait tüm uzayın belirli sayıda sınıfa bölünmesidir. Sınıflandırma görevlerinde, makine öğrenme programı gözlemlenen değerlerden bir sonuç çıkarmalı ve yeni gözlemlerin hangi kategoriye ait olduğunu belirlemelidir.

Makine öğrenmesinin; denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme, yarı denetimli öğrenme ve takviyeli öğrenme gibi çeşitli türleri bulunmaktadır. Bu türlerin altında da pek çok algoritma kullanılmakta ve gerçek Dünya problemlerine çözüm aranmaktadır.

Denetimli öğrenmede etiketli verileri içeren bir bilgisayar programı sağlanır. Örneğin, görüntüleri sınıflandırmak için bir algoritma kullanarak farklı hayvan resimlerini ayırma görevi tanımlandığında, her hayvanın bir etiketi olur. Bu bir "eğitim" veri seti olarak kabul edilir ve etiketler, program görüntüleri kabul edilebilir bir oranda başarılı bir şekilde sınıflandırana kadar yerinde kalır. Sürecin sonunda girdi verilerini en iyi tanımlayan fonksiyon seçilir ve verilen "X" (girdi) için en iyi tahmini "y" (çıkıtı) yapar. Denetimli öğrenme algoritmaları, hedef tahmin çıktısı ile girdi özellikleri arasındaki ilişkileri ve bağımlılıkları, önceki veri setlerinden öğrendiği ilişkilere dayanarak yeni veriler için çıktı değerlerini tahmin edebilecek şekilde modellemeye çalışır. Denetimli öğrenme için kullanılan algoritmalar arasında en yakın komşu, naive bayes, karar ağaçları, doğrusal regresyon, destek vektör makineleri, yapay sinir ağları gibi başlıca algoritmalar bulunmaktadır [115].

Denetimsiz öğrenmede etiketli veri bulunmamakta, bunun yerine program özelliklere dayanarak verileri gruplara ayırmaktadır. Kümeleme işlemlerinde kullanılabilir. Kümeleme işlemlerinde, önceki paragrafta belirtilen hayvanları gruplama örneği için hayvanların bacak boyu, gövde uzunluğu, gözler vb. gibi özelliklere dayalı olarak benzer hayvanlar bir grupta toplanır. Denetimsiz öğrenme, ilişkilendirme işlemlerinde de kullanılmaktadır. Burada programın keşfettiği benzerliklere dayanarak kurallar oluşturulur. Başka bir deyişle, görüntüler arasında ortak bir kalıp belirlenir ve görüntüler buna göre sıralanır. Temel olarak desen tespiti ve tanımlayıcı modellemede

kullanılan makine öğrenme algoritmaları ailesidir. Başlıca denetimsiz öğrenme algoritmaları, k-ortalama kümeleme ve birliktelik kuralları algoritmaları olarak sayılabilir [115].

Yarı denetimli öğrenme bilgisayarların hem etiketli hem de etiketsiz verilerin varlığında, insanlar gibi doğal sistemlerin nasıl öğrendiği üzerine yapılan çalışmalarla ilgili bir öğrenme türüdür. Yarı denetimli öğrenmede yalnızca birkaç resim etiketlenir. Bilgisayar programı daha sonra etiketlenmemiş görüntüler hakkında en iyi tahminde bulunmak için bir algoritma kullanır ve ardından veriler programa eğitim verileri olarak geri beslenir. Daha sonra sadece birkaç etiketi içeren yeni bir görüntü grubu sunulur. Program veriler içerisindeki hayvanları (hayvan sınıflandırma örneğindeki gibi) kendi arasında kabul edilebilir bir oranda ayırt edebinceye kadar tekrarlayan bir işlemdir. Yarı denetimli öğrenme önceki ikisinin arasında yer alır. Etiketleme pek çok durumda uzmanları gerektirdiği için maliyeti oldukça yüksektir. Dolayısıyla, gözlemlerin çoğunda etiket yokluğunda ancak az sayıda mevcut olsa da yarı denetimli algoritmalar model yapımı için en iyi adaylardır. Bu yöntemler, etiketlenmemiş verilerin grup üyeliğinin bilinmemesine rağmen, bu verilerin grup parametreleri hakkında önemli bilgiler taşıdığı fikrinden yararlanmaktadır. Birçok makine-öğrenmesi araştırmacısı, etiketlenmemiş verilerin küçük bir miktarla etiketlenmiş verilerle birlikte kullanıldığında, öğrenme doğruluğunda önemli ölçüde iyileşme sağlayabildiğini bulmuştur [115]. Kendi kendine eğitim, üretken karışım modelleri, yarı denetimli destek vektör makinesi ve grafik tabanlı algoritmalar gibi çeşitli algoritmalar, yarı denetimli öğrenme algoritmalarına örnek gösterilebilir.

Takviyeli öğrenmede kendi ortamını algılayan ve ortamında hareket yapan özerk bir etmenin, amacını gerçekleştirmek için en uygun hareketleri yapmayı nasıl öğrenebileceği sorusuna cevap aranmaktadır. Robotik, oyun programlama, hastalık tanı ve teşhisi, otomasyon gibi sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Takviyeli öğrenme ortamında etmendeki bir hareketinin karşılığı olarak eğitici veya yazılım, yeni durumun istem durumunu belirtmek için bir ödül veya ceza ile etmeni takviye işlemi gerçekleştirir. Böylece bu sistemde, amaca ulaşmak için gerçekleştirilebilecek en iyi eylem seçilmeye çalışılır.

Takviyeli öğrenme ile problemleri çözmek için iki ana yöntem vardır: Bunlardan ilki, ortamı iyiye götüreni bulmak için eğitim uzayında bir arama yapmak, ikincisi ise faydalı hareketi tahmin etmek için istatistik ve dinamik programlama yöntemlerini kullanmaktır. Takviyeli öğrenmenin amacı optimal politikayı bulmaktır. Optimal politika, etmenin problemi optimal yönden çözmesini ve sonuca ulaşmasını sağlar. Böylece etmen hedefi olan en yüksek ödül değerine de ulaşmış olur. Takviyeli öğrenmede etmenin amacına ulaşması için eğitmen veya yazılım tarafından belirlenen

amaç ve ödüller büyük önem taşımaktadır. Bir takviyeli öğrenme sisteminde etmen ve çevre dışında biri opsiyonel olmak üzere dört unsur bulunur.

- Politika (policy)
- Ödül (reward signal)
- Değer/Durum Değeri (value function)
- Çevre modeli (model)

Politika; etmenin içinde bulunduğu durumda alabileceği aksiyonu belirler.

Ödül; etmenin gerçekleştirmiş olduğu bir aksiyona karşılık çevreden aldığı puandır.

Durum değeri; etmenin içinde bulunduğu durumdan ve o durumu takip eden diğer durumlardan bekleyebileceği ödüllerin toplamıdır.

Model; isteğe bağlı olarak sisteme dâhil edilen bir unsurdur.

Zamansal fark öğrenimi ve Q öğrenme gibi çeşitli algoritmalar, takviyeli öğrenme problemlerinde kullanılmaktadır.

12.2.1 Makine Öğrenmesinin Sınırlılıkları

Makine öğrenimi sistemlerinin sağladığı fırsatlar ve faydalarla beraber, sınırlılıkları ve zorlukları da bulunmaktadır. Öğrenme problemine uygun algoritmanın belirlenmesi, makine öğrenimi için en önemli problemlerden birisidir. Araştırmacılar, problemin ihtiyacına yönelik algoritmayı belirleyebilmesi, bunun için de farklı pek çok algoritmayı deneyerek test etmesi gerekmektedir. Algoritma ile birlikte model parametrelerinin de belirlenmesi gerekmektedir. Metin işlemleri için bazı algoritmalar iyi performans gösterirken, görüntü işleme için farklı algoritmalar daha iyi performans gösterebilmektedir.

Eldeki veriler içerisinde bulunan gürültüler, makine öğrenmesinin bir başka sınırlılığıdır. Özellikle büyük veri kavramıyla birlikte ortaya çıkan, veri yığınları arasında yapılandırılmış ve/veya yapılandırılmamış verilerin aynı anda bulunması, makine öğrenmesinde baş edilmesi gereken diğer bir sorundur. Verideki gürültü; bir görüntünün boyut, renk, çözünürlük gibi özelliklerindeki farklılıklar, bir metin verisindeki yanlış yazım, noktalama işaretleri, kullanılan özel simge ve kısaltmalar gibi farklı şekillerde karşımıza çıkabilir.

Özellik çıkarımı, sistemin doğru çalışması, doğru özelliklerin ve özellik sayılarının seçilmesine bağlı olarak değiştiği için makine öğrenimi sisteminin en önemli adımlarındandır. Özellik çıkarım işlemi işlemin gerçekleştirildiği probleme bağlıdır ve özeldir. Daha açık belirtmek gerekirse, bir sağlık probleminde belirlenen özellikler, otonom bir araç için kullanılacak özelliklerden farklı olacaktır. Farklı disiplinlerde, farklı

problem çözümlerine üretilen ortak bir özellik çıkarımı, gelecekte çok büyük problem çözümlerine fayda sağlayabilecektir.

Aşırı öğrenme bir diğer makine öğrenimi sınırlılığıdır. Oluşturulan model, eğitim sırasında yüksek performans gösterirken, test verisi üzerinde düşük performans gösterebilir veya beklenildiğinden daha az performansta olabilir. Bu durumda, eğitim verilerinin model tarafından ezberlendiği, bir diğer deyişle modelin aşırı öğrendiği düşünülmektedir. Bunun önüne geçmek için, eğitim sırasında modelin karmaşıklığı arttırılmakta, çeşitli yöntemler denenmektedir.

Denetimli makine öğrenmesi yöntemlerinde etiketlenmiş veriler üzerinden model eğitilerek tespit ve teşhisler gerçekleştirilir. Bu modeli kurgulamak için de elde hatırı sayılır miktarda büyük bir veri bulunmalıdır. Böyle bir veri etiketleme işi için uzman kişiler ve yoğun mesai gerekmektedir. Ayrıca insan kaynaklı hatalara da sebebiyet verilmesi mümkündür. Özel problemlerin çözümünde, uzman personel eksikliği de yaşanabilir. Tüm bunlar bir araya gelerek, veri etiketleme sınırlılığını ortaya çıkarmaktadır.

12.3 Derin Öğrenme

Son yıllarda, derin öğrenme araştırmalarında geliştirilen teknikler, makine öğrenmesi ve yapay zekânın en etkili ve önemli yönleri dâhil olmak üzere hem geleneksel hem de yeni biçimlerde, genişletilmiş kapsamlar içinde büyük bir yelpazede bilgiyi işleme çalışmalarını etkilemektedir. Derin öğrenme, makine öğrenmesinin bir alt alanı olmakla beraber derin sinir ağlarının gün geçtikçe yaygınlaşan uygulama alanıdır. Bu alanda her bir çalışmaya ait özelleştirilmiş algoritmalar yerine, verileri öğrenmeye dayanan ve çözümlerin daha geniş veri kümesini kapsamaya amaçlanmaktadır. Derin öğrenme, makine öğrenmesindeki yapay zekâ problemlerini çözmek için gelecek vaat eden bir yaklaşımdır.

Derin öğrenmenin çeşitli tanımları bulunmaktadır:

Tanım 1: Denetimli veya denetimsiz özellik çıkarımı ve dönüşümü, model analizi ve sınıflandırma için birçok doğrusal olmayan bilgi işlem katmanını kullanan bir makine öğrenme teknikleri sınıfı.

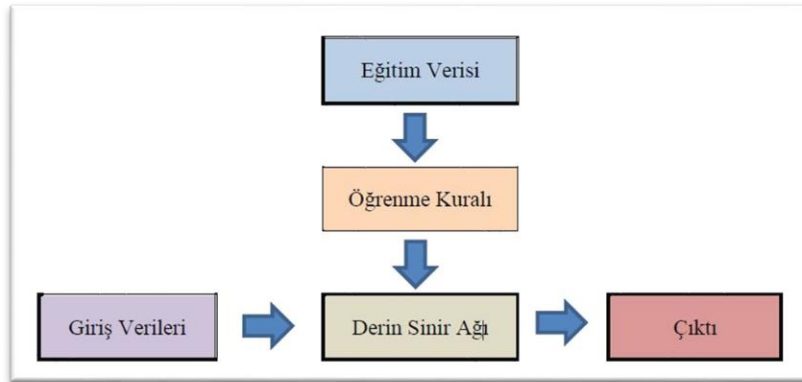
Tanım 2: Makine öğrenmesi içinde, veriler arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek için çoklu temsil seviyelerini öğrenmek için algoritmalara dayanan bir alt alan. Böylece üst düzey özellikler ve kavramlar alt düzey özellikler olarak tanımlanır ve bu tür özellikler hiyerarşisine derin bir mimari denir. Bu modellerin çoğu denetlenmeyen temsillerin öğrenilmesine dayanmaktadır.

Tanım 3: Daha üst düzey kavramların daha düşük seviyeli olanlardan tanımlandığı özelliklerin veya faktörlerin veya kavramların hiyerarşisine tekabül eden birkaç temsil seviyesinin öğrenilmesine dayanan bir makine öğrenme alt alanıdır. Aynı düşük seviyeli kavramlar birçok üst seviye kavramın tanımlanmasına yardımcı olabilir. Derin öğrenme, öğrenme temsillerine dayalı daha geniş bir makine öğrenme yöntemleri ailesinin bir parçasıdır. Bir gözlem (örn., bir görüntü) birçok şekilde gösterilebilir (örn., bir piksel vektörü), ancak bazı gösterimler ilgi çekici görevleri öğrenmeyi kolaylaştırır (örn., bu bir insan yüzünün görüntüsü müdür?) Örneklerden ve bu alandaki araştırmalardan, neyin daha iyi temsil edilebileceğini ve nasıl öğrenileceğini belirlemeye çalışır.

Tanım 4: Derin öğrenme, makine öğreniminde farklı soyutlama seviyelerine karşılık gelen çoklu seviyelerde öğrenmeye çalışan bir dizi algoritmadır. Genellikle yapay sinir ağları kullanılır. Bu öğrenilen istatistiksel modellerde seviyeler, daha yüksek seviyeli kavramların düşük seviyeli kavramlardan tanımlandığı ve aynı düşük seviyeli kavramların daha yüksek seviyeli kavramları tanımlamaya yardımcı olabileceği farklı kavram seviyelerine karşılık gelir.

Tanım 5: Derin Öğrenme, makine öğrenmesini orijinal amaçlarından birine (yapay zekâ) yaklaştırmak amacıyla tanımlanan makine öğrenimi araştırmasının yeni bir alanıdır. Derin öğrenme, görüntüler, sesler ve metinler gibi verileri anlamada yardımcı olan çoklu temsil ve soyutlama seviyelerini öğrenmekle ilgilidir.

Sonuç olarak derin öğrenme, derin sinir ağını kullanan bir makine öğrenme tekniğidir. Derin sinir ağları ise iki veya daha fazla gizli katman içeren çok katmanlı sinir ağlarıdır.



Şekil.70. Derin öğrenme yapısı

Derin öğrenmede, verilerin birden fazla özellik seviyesinin veya temsillerinin öğrenilmesine dayanan bir yapı söz konusudur. Üst düzey özellikler, alt düzey özelliklerden türetilerek hiyerarşik bir temsil oluşturur. Bir görüntü için temsil, piksel başına yoğunluk değerlerinin bir vektörü veya kenar kümeleri, özel şekiller gibi özellikler olabilir. Bu özelliklerin içinden bazıları veriyi daha iyi temsil etmektedir. Derin

öğrenme yöntemlerinde, elle çıkarılan özellikler yerine veriyi en iyi temsil eden hiyerarşik özellik çıkarımı için etkin algoritmalar kullanılmaktadır.

Derin öğrenmenin çeşitli üst düzey tanımları arasında ortak olan iki temel husus vardır:

- Çoklu katmanlardan veya doğrusal olmayan bilgi işlem aşamalarından oluşan modeller,
- Art arda daha yüksek, daha soyut katmanlarda özellik gösteriminin denetimli veya denetimsiz bir şekilde öğrenilmesine yönelik yöntemler.

Derin öğrenme algoritmalarının çalıştırılması ve problemlerin çözüme ulaştırılması için, kapasitesi yüksek (özellikle GPU) makineler ve büyük miktarda veriye ihtiyaç vardır. Problemleri parçalara ayıran ve ayrı ayrı çözen standart makine öğrenme algoritmalarının aksine, derin öğrenmede problem baştan sona çözülür. Daha da önemlisi, derin bir öğrenme algoritması ne kadar çok veri ile beslenirse, görevin yerine getirilmesi de o kadar iyi olur. Ayrıca zaman faktörü de önemlidir. Zaman kısıtlı olmayan çalışmalar, büyük veri ile beslendiğinde daha iyi sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Günümüzde derin öğrenmenin popüleritesinin üç önemli sebebi, büyük ölçüde artan işlemci yetenekleri (örn., grafik işlemciler (GPU)), eğitim için kullanılan verilerin büyük ölçüde artması ve makine öğrenmesi ve sinyal/bilgi işleme araştırmalarındaki son gelişmelerdir. Bu gelişmeler, derin öğrenme yöntemlerinin karmaşık, bileşimli doğrusal olmayan işlevlerden etkin bir şekilde yararlanmasını, dağıtılmış ve hiyerarşik özellik gösterimlerini öğrenmesini ve hem etiketli hem de etiketlenmemiş verileri etkili bir şekilde kullanmasını sağlamıştır.

Derin sinir ağlarında ise iki veya daha fazla gizli sinir ağı katmanı bulunmaktadır. Derin sinir ağlarında veri içerisinde basitten karmaşığa doğru daha kapsamlı ilişkiler kurulur. Her katman bir önceki katmanla kendi arasında bir ilişki kurmaya çalışır. Böylece girdiler hakkında daha detaylı inceleme yapılarak daha doğru karar verilmesi sağlanır.

Derin sinir ağları yapısı oluşturulurken farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Bu fonksiyonlar verinin türüne, yapısına, büyüklüğüne ve modeli oluşturan kişiye göre değişebilir. Aktivasyon fonksiyonu hücreye gelen girdiye karşılık olarak bu hücrenin üreteceği çıktıyı belirler. Genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Başlıca aktivasyon fonksiyonları, Sigmoid, TanH ve ReLU'dur.

Derin öğrenme mimarileri oluşturulurken, kullanılacak algoritma büyük önem taşımaktadır. Bu algoritmalar verinin türüne, boyutuna, hacmine ve yapısına, kullanılacak olan parametrelere göre farklılık gösterebilmektedir. Evrimsel Sinir Ağları (ESA-Convolutional Neural Network – CNN), Tekrarlayan Sinir Ağı (Recurrent Neural

Network-RNN), Kısıtlı Boltzmann Makineleri (Restricted Boltzmann Machines-RBM) ve Derin İnanç Ağları (Deep Belief Nets-DBN) bunlardan başlıcalarıdır.

12.4 Yapay Zekâ Kullanım Alanları

Günümüzde olduğu gibi gelecekte de yapay zekâ ve alt alanlarındaki çalışmalar sayesinde pek çok yenilik insan hayatına dâhil olacaktır. Yapay zekâ tabanlı çalışmalardan elde edilen yüksek başarılı sonuçlar sayesinde günümüzde hemen hemen her disiplin, yapay zekâ ile paralel çalışmalar gerçekleştirmekte, burada kullanılan algoritmaları, yöntem ve teknikleri kullanmakta ve çözümler üretmektedir. Enerji, tıp, eğitim, siber güvenlik, eğlence, sosyal hayat, tarım, ulaşım, turizm, müşteri hizmetleri, akıllı şehirler, e-ticaret, etkinlikler, bankacılık ve finans, vb. pek çok alanda başarılı çözümler üretilmektedir [118,119].

Tıp alanında yapay zekâ algoritmaları, doktorların ve hastanelerin verileri daha iyi analiz etmesini ve sağlık hizmetlerini her hastanın genlerine, ortamına ve yaşam tarzına göre özelleştirmesini sağlamaktadır. Yapay zekâ sayesinde kişiselleştirilmiş tıp devrimini yaşanacak ve sağlık alanında çığır açan yenilikler de yaşanacaktır.

Eğitim teknolojilerinde yapay zekâ kullanımı sayesinde öğrencilerin eksik alanlarının analiz edilmesi ve oluşturacağı programı bireye uygun bir şekilde tasarlaması mümkün olacaktır. Kişiyeye özel oluşturulan eğitim programı ile öğrencilerin hem daha verimli olacağı hem de gelecekte işini seven bir birey olarak çevresine katma değer sağlayacağı öngörülmektedir. Eğitim yazılımlarını öğrenci ihtiyaçlarına göre kişiselleştiren yapay zekâ, öğrencilerin eksiklerini daha iyi anlayarak gelişim için kişiyeye özel destek avantajı oluşturabilir. Akıllı bilgisayar sistemleri ile desteklenen akıllı veri toplama, günümüzde aktif olarak birçok okul tarafından uygulanan bir işlemdir. Günümüzde okullar, öğrencilerin gelişim sürecini takip edebilmek ve bu analiz ile öğrencinin performansını arttırmak için de yapay zekâ teknolojisini kullanmaktadır [116].

Siber Dünya'daki en önemli unsurlardan birisi siber tehditlere karşı koyabilmektir. Kötü niyetli kişilere ve yazılımlara önlem alabilmektir. Kişiler ve kurumlar bu unsurlarla mücadele halindedirler. Yapay zekâ tarafından sağlanan kendi kendine öğrenme ve otomasyon yeteneklerinin, verileri daha sistematik ve uygun fiyatlı bir şekilde koruyabileceğini ve insanları terörizmden veya daha küçük ölçekli kimlik hırsızlığından daha güvenli tutabileceğini belirtilen farklı çalışmalar da siber güvenlik alanında başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Eğlence, yapay zekâ teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı alanlardan biri olmuştur. Özellikle son dönemde oyun sektörü, yapay zekâ tekniklerinde yaşanan gelişmeler

sayesinde büyük ilerleme kaydetmiştir [117]. Benzer şekilde tahmin ve öneri sistemleri sayesinde film sektörü, sinema sektörü, müzik sektöründe de gelişmeler yaşanmaktadır.

Sosyal hayatta kullanılan yapay zekâ tekniklerini kullanan asistanlar, yaşları gereği birinin yardımına ihtiyaç duyan kişilerin bağımsız kalmasına ve kendi evlerinde daha uzun süre yaşamasına yardımcı olmaktadır. Yapay zekâ araçları gelecekte besleyici yiyecekleri hazır tutacak, yüksek raflardaki nesnelere güvenli bir şekilde ulaşacak ve kişilerin evindeki hareketlerini izleyecektir.

Tarım alanında yapay zekâ teknolojileri özellikle son dönemde gittikçe yaygın kullanılır hale gelmiştir. Akıllı ilaçlama sistemlerinden verimli üretim analizlerine, otonom araçlarla tarım yapmaktan drone destekli tarım teknolojilerine kadar geniş yelpazede tarımda yapay zekâ uygulamaları gerçekleştirilmektedir.

Ulaşım konusunda yapay zekânın yakın gelecekte en büyük etkiye sahip olabileceği noktanın otomobiller olacağı tahmin edilmektedir. Akıllı teknolojiler sayesinde pek çok algılayıcıdan ve merkezi bilgisayar sistemlerinden verileri işleyecek olan otonom araçlarla güvenli sürüş teknolojileri sağlanmış olacaktır. Bu konuda büyük ilerlemeler kaydetmiş firmalar bulunmaktadır. Havaalanları ulaşım konusunda yapay zekâ teknolojilerini en yoğun kullanan yerler arasında yer almaktadır.

Turizm ve kültür koruma bölgeleri için özel olarak geliştirilen yapay zekâ ve turizm sanal asistanları, turistlerin ziyaret, eğlence, yolculuk, etkinlik ve benzer tatil aksiyonlarının başlangıcından sonuna kadar ziyaretçi memnuniyetini artırarak, beklentilerini karşılamaktadır. Böylece kişiler, ilgili turistik bölgeye ait eserler, restoranlar, servisler ve etkinlikler gibi ziyaret noktaları hakkında güncel bilgiler alabilir veya ilgili tanıtım videolarını izleyebilir ve turistik alanlar kapsamında gitmek istedikleri her noktaya navigasyon yönlendirmesi ile ulaşabilirler.

Yapay zekâ ve müşteri hizmetleri deneyimi sayesinde kullanıcılar, mevcut ürünler hakkında bilgi ve çevrimiçi teknik yardım alabilir ve hatta teknik servis randevusu oluşturabilirler. Yapay zekâ akıllı müşteri asistanları, insan zekâsı ve doğal konuşmayı taklit ederek, sesle veya yazıyla aktif edilebilmektedir. Sesli komut sistemi ile bireylerle iletişim kurduklarında, insan seslerini yorumlayarak sorulara uygun danışmanlık servisi sağlamaktadırlar.

Yapay zekâ ve akıllı şehirler teknolojileri sayesinde belediye hizmetlerinin daha az maliyetle daha verimli şekilde gerçekleşmesi sağlanarak, vatandaşa daha etkin hizmet sunulmasına imkân tanınmaktadır. Akıllı şehirler, insan hayatına değer katarken, yaşam kalitesini de iyileştirmektedir. Birçok belediyede kullanılmaya başlanan akıllı şehir

uygulamaları; daha çok çevre, ulaşım, yönetim, güvenlik, sağlık ve coğrafi bilgi sistemleri alanlarında yoğunlaşmaktadır.

E-ticaret sitelerinde arama konsolları yapay zekâ algoritmaları sayesinde kişiye özel hale getirilmiş durumdadır. Bu konuda her geçen gün daha çok iyileştirmeler yapılmaktadır. Yapay zekâ, müşterilerin alışveriş alışkanlıkları ve ilgi alanları gibi bilgileri bir araya getirerek tüketicilere kişiselleştirilmiş ürün önerilerinde bulunabilmesini mümkün kılmaktadır. Yapay zekâ, e-ticaret sektöründe farklı müşterilere farklı indirimlerin sunulması ya da farklı müşterilere farklı ürünlerin gösterilmesi gibi amaçlar için de yoğun olarak kullanılmaktadır.

Etkinlik asistanları kullanıcıların, etkinlik, sinema filmleri ve daha fazlası hakkında güncel bilgiler almasını veya konu ile ilgili tanıtım videolarını izleyebilmelerini sağlayarak yapay zekâ teknolojileri sayesinde hava durumu ve trafik durumu ayrıntılarını inceleyebilme, kafe ve mağazalardaki promosyonları kontrol edebilme ve mevcut kampanyalar hakkında bilgi sahibi olabilme fırsatı sunmaktadır.

Bankacılık ve finans hizmetleri yapay zekâ teknolojilerinin en yaygın kullanıldığı alanlardan önde gelenler arasında yer almaktadır. Yapay zekâ ve bankacılık ve finansal hizmetler deneyimi, kullanıcıların iş verimliliğini arttırarak, yatırımcıları hesap işlemlerinden, hisse senedi önerilerine kadar birçok konuda bireylere yardımcı olmaktadır. Hisse senetleri takibi, alım satım süreci, fon takibi ve benzeri süreçlere ayrılan zamanı daha etkili kullanabilmek adına; kullanıcı hesap bilgileri, kredi bilgileri, güncellemeler, yatırım raporları ve daha fazlası hakkında bilgi alarak bu süreci yatırımcılar için denetlemektedir. Günümüzde hemen hemen her banka, akıllı asistanlar kullanarak müşterilerine hizmet sunmaktadır [118,119].

Yenilenebilir enerji sektöründe de yapay zekâ çalışmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Yapay zekâ bu alanda Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidro, okyanus, biyo, hidrojen ve hibrit yenilenebilir enerji türlerinde; tasarım, optimizasyon, tahmin, yönetim, dağıtım ve politikaların belirlenmesi amaçlarıyla kullanılmaktadır [120]. Bu sektör içerisinde Güneş enerjisi sistemleri önemli bir pay sahibidir. Bu nedenle Güneş enerjisi sistemlerinde yapay zekâ kullanımı, ayrı bir başlık olarak açılmıştır.

12.5 Yapay Zekâ ve Güneş Enerjisi Sistemleri Alanında Kullanımı

Günümüzde enerji şirketlerinin yönetmesi gereken çok sayıda veri nedeniyle, enerjinin maliyeti, üretimi, dağıtımı gibi pek çok konuda ciddi problemler yaşanmaktadır. Bu problemlerin başında ise karbon ayak izi ve enerji verimliliğinde tutarsızlık gelmektedir. Yapay zekâ teknolojileri sayesinde, bu verileri daha az zaman ve maliyetle depolayıp

işlenebilir ve yönetebilir hale getirmek mümkündür [121]. Bu teknolojilerin kullanımı sayesinde ortaya çıkabilecek faydalar şöyle açıklanabilir.

Tahmine Dayalı Analiz: Dünyada modern endüstrilerin devamlılığı için ve küresel nüfus artışı nedeniyle gittikçe daha fazla artan bir enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için yapay zekânın analitik ve tahmin yeteneğinin önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Enerji şirketleri maliyetleri düşürmek, güç tasarrufu yapmak, değişen koşullara hazır olmak ve daha iyi müşteri hizmeti sunmak gibi karmaşık veri sistemleri gerektiren sorunlara sahiptir. Bu sorunlara çözüm ancak yüksek doğruluk payına sahip tahmin ve analiz sayesinde gerçekleştirilebilir ve günümüzde yapay zekâ teknolojileri de bu yeteneğe sahiptir. Yapay zekâ makine öğreniminin de yardımı ile enerji endüstrisinde tahmine dayalı veri kullanımını en üst seviyeye getirerek tüm bu sorunları çözebilir. Enerji şirketlerinin, talep değişikliklerini, sistem aşırı yüklenmelerini ve olası arızaları mümkün olduğu kadar kesin bir şekilde tahmin etmeleri gerekmektedir. Bu tahminlerdeki her sapmanın hata maliyeti enerji sektörü için epey yüksektir. Bu nedenle yapay zekânın işlediği veriler neticesinde ulaşacağı tahminler, bu sorunların üstesinden gelmek için çözümler üretebilecektir [121].

Kaynak Yönetimi: Yapay zekânın elde ettiği tahminlerin bir sonraki adımı kaynak yönetimidir. Bu tahminlerin analizi sayesinde enerji şirketleri kaynaklarını daha iyi dağıtabilecek, enerji taleplerine önceden hazırlanabilecek, sorunları öngörebilecek ve kaynaklardan tasarruf edebilecektir. Son tüketiciler açısından da yapay zekâ ile güç tasarrufu, daha düşük faturalar ve özelleştirilmiş hizmetler şeklinde sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır [121].

Enerjinin Depolanması: Enerjinin verimli depolanması oldukça zor ve karmaşık bir konudur. Depolanacak güç miktarı arttıkça, ek kapasite ve yeni yönetim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay zekâ, sektörün enerji depolamalarını optimize edebilir. Ayrıca temiz ve yenilenebilir enerjilerin depolanması oldukça sorunludur. Yenilenebilir enerjiyi yapay zekâ destekli depolama ile birleştirmek, depolama yönetimini kolaylaştırabilir ve güç kayıplarını en aza indirebilir [121].

Önleme Hizmetleri: Enerji, hatalı kullanımda çok tehlikeli olabilen güçlü bir kaynaktır. Yapay zekâ destekli sistemler sayesinde aşırı sistem yüklenmeleri tahmin edilebilir ve operatörler, potansiyel trafo arızaları hakkında önceden bilgi sahibi olunabilir [121].

Günümüzde farklı çalışmalarda yapay zekâ teknolojilerinin Güneş enerjisi sistemlerine uyarlanmasına yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları şöyle özetlenebilir.

İzmirli Ayan tarafından 2018 yılında gerçekleştirilen tez çalışmasında, değişen çevresel faktörler göz önünde bulundurularak Fotovoltaik (FV) sistemin üreteceği gücün tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çevresel faktörler olarak, radyasyon, panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr soğuğu ve nem verileri farklı zamanlarda ölçülerek kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında yapay zekâ yöntemlerinden yapay sinir ağları algoritması ile fotovoltaik panelin üreteceği güç tahmin edilmiştir. Sekiz değişik yapay sinir ağı eğitim algoritması oluşturulmuş, test edilmiş ve başarı sonuçları karşılaştırılmıştır. En düşük ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) %6,6 ve başarı oranı (R2) %98,9 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte FV panelin güç tahmininde, yapay sinir ağının performansı istatistiksel tekniklerden Çoklu Regresyon Analizi ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar yapay sinir ağlarının, FV panellerin ürettiği gücü doğru tahminleme yapabildiğini göstermektedir. Çalışmada, FV sistemde çevresel faktörlerin güce olan etkisi incelenmiş ve ayrıca değişen çevresel faktörlere göre FV panelin üreteceği güç başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir [122].

Benzer şekilde Geçmez ve Gençer (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Elâzığ ili Şahinkaya Mevkiinde kurulu olan bir Güneş enerji santralinin 2018 Ocak-2019 Aralık ayı arasındaki 24 aylık üretim verilerinin Meteorolojik verilere (Günlük Ortalama Nispi Nem (%), Günlük Ortalama Sıcaklık (°C), Günlük Toplam Global Güneş Radyasyonu (kWh/m²)) bağlı olarak tahmini yapılmıştır. GES'e ait üretim bilgileri GES'ten alınmıştır. Meteorolojik veriler ise MEVBİS'ten alınmıştır. Çalışmada uygulanacak YSA modeli MATLAB (R2018 Sürümü) yazılımı ile eğitilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bütün veriler için regresyon değerlerinin 1'e yakın olduğu görülmüştür. YSA model çıkış değerlerinin gerçek verilere çok yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Önerilen modelin performansı yani Ortalama Hata Karesi (MSE) değeri 0.00908 bulunmuştur [123].

Kayabaşı, Yıldız ve Balcı (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Güneş panelinin, hava şartlarına bağlı olarak çıkış güç verimliliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kurulan hava ölçüm istasyonu ile nem ve sıcaklık, Güneş ve aydınlık seviyesi, rüzgâr şiddeti gibi veriler elde edilmiştir. Bu değerler alınırken Güneş panelinin, akım ve gerilim değerleri ölçülerek Yapay Sinir Ağları (YSA) yapay zekâ metodu ile tüm veriler analiz edilmiştir. YSA modelinde rüzgâr hızı, nem, sıcaklık ve aydınlık şiddeti girdi olarak Güneş paneli gücü de çıktı olarak alınmıştır. Yapay zekâ tekniklerinden YSA'nın kullanılması ile de bu çevresel faktörlerin etkileri ölçülüp değerlendirilmiştir. Sistem gerçek çıkış gücü ile test çıkış gücü arasındaki toplam hata oranı %1,57 olarak tespit edilmiştir. Bu analizler sonucunda hava şartlarının verimlilik üzerindeki etkileri değerlendirilerek daha verimli Güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu ve işletilmesi sağlanmıştır [124].

Güzel, Okatan ve Kırbaş (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise enerji üretiminin öngörülebilmesi için, geçmiş meteorolojik verilerle bir gün önceden Güneş ışınımı değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla günümüzde yaygın olarak kullanılan makine öğrenmesi tekniklerinden olan Yapay Sinir Ağları (YSA) ile zaman serisi analizi yapılmıştır. Zaman serisi analizi için NAR ve NARX yöntemleri kullanılmıştır. Veri kümesi olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan Isparta iline ait 2016 – 2020 yıllarını kapsayan meteorolojik veriler kullanılmıştır. Farklı zaman gecikmesi değerleri arasında performans karşılaştırılmış, meteorolojik veriler arasında özellik seçimi yapılarak farklı kombinasyonlarla elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerin Güneş santrallerinin kurulumu ve işletmesine katkı sağlayacağı düşünülmüştür [125].

Turgut vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da hava sıcaklığı tahmini için bir sistem tasarlanmıştır. Çalışmada mikrodenetleyiciye bağlı olan sıcaklık, nem, rüzgâr şiddeti ve rüzgâr yönü gibi analog bilgiler sensörler tarafından elde edilip veri tabanına kaydedilmiştir. Verilerin kaydedilmesi, gerçek zamanlı olarak mikrodenetleyiciye bağlı olan ölçülen verileri herhangi bir kayba uğramadan hızlı bir biçimde veri tabanına aktarabilen ethernet modülü ile sayesinde gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan veri tabanı yapay zekâ konusunun bir alt başlığı olan yapay sinir ağ modelleri (YSA), K-Nearest Neighbors (K-NN) ve Random Forest (RF) algoritmaları tarafından işlenmiş ve ağ modelleri oluşturulmuştur. Böylece sistem giriş parametreleri nem, rüzgâr yönü ve şiddeti temel alınarak sistem çıkış parametresi olan hava sıcaklığının tahmin oranı %87 ile gerçekleştirilmiştir [126].

Benzer şekilde farklı çalışmalarda da YSA kullanılarak FV panel güç çıkışlarının tahmini ve sezgisel algoritmalar ile karşılaştırılması [127], FV sistemlerin çıkış gücü ve enerji verimliliği için yeni gerçek zamanlı tahmin modelleri [128], FV bir sistemden elde edilen güç tahmini için radyasyonun etkisi [129] ve elektrik enerjisi talep tahmini [130] gibi araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Özetlenen araştırmalardan da görüldüğü gibi Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy Systems isimli projemizin konusu olan Güneş enerji sistemlerinin akıllı bakım onarımına yönelik henüz yeterli düzeyde çalışma gerçekleştirilmemiştir. Çalışmalar özellikle enerji tahmini üzerine yoğunlaşmıştır. Fotovoltaik sistemler için yapay zeka uygulama alanlarından biri, fotovoltaik arıza teşhisidir. Fotovoltaik arıza teşhisi ve bakımında yapay zeka uygulaması, [131], [132], [133], [134] ve [135] gibi çalışmalarda olduğu gibi son yıllarda tartışmalarda zemin kazanmaktadır.

12.6 Güneş Enerji Sistemi için Kurulan Yapay Zekâ Yazılım Altyapısı

Projede, panellere yerleştirilen donanımsal sensörler vasıtasıyla elde edilen veriler, yapay zekâ algoritmalarında kullanılacak verileri işlemek için kullanılmıştır. Bu verilerin analizi içinse Kafka, Elasticsearch ve Kibana açık kaynak kodlu yazılım araçlarından faydalanılmıştır. Bu bölümde bu araçlar açıklanmıştır.

12.6.1 Kafka

Apache Kafka, akış işleme, gerçek zamanlı veri işlem hatları ve ölçekte veri entegrasyonu için kullanılan açık kaynaklı bir dağıtılmış akış sistemidir. İlk olarak 2011 yılında LinkedIn'de gerçek zamanlı veri akışlarını işlemek için oluşturulan Kafka, mesajlaşma kuyruğundan saniyede 1 milyondan fazla veya günde trilyonlarca mesajı işleyebilen tam teşekküllü bir olay akış platformuna hızla dönüşmüştür [136].

Kafka'nın çeşitli avantajları vardır. Bugün Kafka, büyük ve küçük sayısız kullanım durumu için neredeyse her sektörde Fortune 100'ün %80'inden fazlası tarafından kullanılmaktadır. En yeni nesil ölçeklenebilir, gerçek zamanlı veri akışı uygulamalarını oluşturmak için kullanılan fiili teknoloji geliştiricileri ve mimarlarıdır. Bunlar piyasada bulunan bir dizi teknoloji ile elde edilebilirken, Kafka'nın bu kadar popüler olmasının ana nedenleri şöyle sıralanabilir.

- **Yüksek Verim:** Yüksek hızlı ve yüksek hacimli verileri işleyebilen Kafka, saniyede milyonlarca mesajı işleyebilir.
- **Yüksek Ölçeklenebilirlik:** Kafka kümeleri bin aracıya, günde trilyonlarca iletiye, petabaytlarca veriye, yüz binlerce bölüme kadar ölçeklendirilebilir. Depolama ve işleme esnek bir şekilde genişletilip daraltılabilir.
- **Düşük Gecikme Süresi:** Bu yüksek hacimli mesajları, gecikme süreleri 2 ms kadar düşük olan bir makine kümesi kullanarak iletebilir.
- **Sürekli Depolama:** Veri akışlarını dağıtılmış, dayanıklı, güvenilir, hataya dayanıklı bir kümede güvenli bir şekilde saklayabilir.
- **Yüksek Kullanılabilirlik:** Kümeleri kullanılabilirlik alanları üzerinden verimli bir şekilde genişletebilir veya kümeleri coğrafi bölgeler arasında bağlayarak Kafka'yı veri kaybı riski olmadan yüksek düzeyde kullanılabilir ve hataya dayanıklı hale getirilebilir.

Apache Kafka, verimli, gerçek zamanlı veri alımını, akışlı veri ardışık düzenlerini ve dağıtılmış sistemler arasında depolamayı birleştiren bir depolama katmanından ve bir bilgi işlem katmanından oluşur. Özetle bu, Kafka ve harici sistemler arasında basitleştirilmiş veri akışı sağlar, böylece gerçek zamanlı verileri kolayca yönetebilir ve her türlü altyapı içinde ölçeklendirilebilir.

- **Ölçekte Gerçek Zamanlı İşleme:** Bir veri akışı platformu, verileri oluşturdukları anda işleme ve analiz etme yeteneği olmadan tamamlanmış

sayılmaz. Kafka Streams API, anında işlemeye izin veren, toplamaya, pencereleme parametreleri oluşturmaya, bir akış içinde veri birleştirmeye ve daha pek çok şeye izin veren güçlü, hafif bir kitaplıktır. Kafka'nın üzerine bir Java uygulaması olarak inşa edilmiş olması ve bakımı gereken fazladan küme olmadan iş akışınızı sağlam tutması önemlidir.

- **Dayanıklı, Kalıcı Depolama:** Dağıtılmış veri tabanlarında yaygın olarak bulunan dağıtılmış bir taahhüt günlüğünün bir soyutlaması olan Apache Kafka, dayanıklı depolama sağlar. Kafka, tek bir veri merkezinde veya birden çok kullanılabilirlik bölgesinde yüksek düzeyde kullanılabilir bir dağıtım için verileri birden çok düğüm arasında dağıtarak bir gerçeğin kaynağı olarak hareket edebilir.
- **Yayınla + Abone Ol:** Merkezde değişmez taahhüt günlüğü bulunur ve buradan ona abone olunabilir ve istenilen sayıda sisteme veya gerçek zamanlı uygulamaya veri yayınlanabilir. Mesajlaşma kuyruklarından farklı olarak Kafka, Uber'de yolcu ve sürücü eşleştirmesini yönetme, British Gas'ın akıllı evi için gerçek zamanlı analitik ve kestirimci bakım sağlama ve çok sayıda gerçek işlem gerçekleştirme gibi uygulamalar için dağıtılmasına olanak tanıyan, yüksek düzeyde ölçeklenebilir, hataya dayanıklı dağıtılmış bir sistemdir. Bu performans, tek bir uygulamadan şirket çapında kullanıma ölçeklendirmeyi mümkün hale getirir.

Gerçek zamanlı akış veri hatları ve gerçek zamanlı akış uygulamaları oluşturmak için yaygın olarak kullanılan, bugün pek çok Kafka kullanım örneği vardır. Verilere güvenen veya verilerle çalışan herhangi uygulama için pek çok fayda sağlamaktadır.

- **Veri Boru Hatları:** Apache Kafka bağlamında, bir akış verisi ardışık düzeni, kaynaklardan gelen verileri oluşturuldukları gibi Kafka'ya almak ve ardından bu verileri Kafka'dan bir veya daha fazla hedefe akışa almak anlamına gelir.
- **Akış İşleme:** Filtreler, birleşimler, haritalar, toplamalar ve kuruluşların birçok kullanım durumunu desteklemek için kullandığı diğer dönüşümler gibi işlemleri içerir. Kafka Streams, kurumların verileri gerçek zamanlı olarak işlemesini sağlayan Apache Kafka için oluşturulmuş bir akış işleme kitaplığıdır.
- **Akış Analizi:** Kafka, yüksek verimli olay teslimi sağlar ve Druid gibi açık kaynaklı teknolojilerle birleştirildiğinde güçlü bir Akış Analizi Yöneticisi (SAM) oluşturabilir. Druid, analitik sorguları etkinleştirmek için Kafka'dan akış verilerini kullanır. Olaylar ilk olarak Kafka'ya yüklenir ve burada Druid gerçek zamanlı çalışanları tarafından tüketilmeden önce Kafka araçlarında arabelleğe alınır.
- **Akış Ayıkla, Dönüştür, Yükle (ETL):** Kafka ile gerçek zamanlı ETL, başka herhangi bir veri tabanı, uygulama veya API'den/API'ye veri tüketmek ve üretmek için Kafka Connect kaynak ve havuz bağlayıcıları gibi farklı bileşenleri ve özellikleri birleştirir.

- **Olaya Dayalı Mikro Hizmetler:** Apache Kafka, mikro hizmetler için popüler bir araçtır, çünkü mikro hizmetlerin elde etmeyi amaçladığı ölçeklenebilirlik, verimlilik ve hız gibi özellikleri etkinleştirirken mikro hizmet düzenleme sorunlarının çoğunu çözer. Ayrıca, ultra düşük gecikme ve hata toleransını korurken hizmetler arası iletişimi kolaylaştırır.

12.6.2 Elasticsearch

Elasticsearch, metinsel, sayısal, coğrafi, yapılandırılmış ve yapılandırılmamış dahil olmak üzere her tür veri için dağıtılmış, ücretsiz ve açık bir arama ve analiz motorudur. Elasticsearch, Apache Lucene üzerine kurulmuştur ve ilk olarak 2010 yılında Elasticsearch N.V. (Elastic olarak bilinir) tarafından piyasaya sürülmüştür. Basit REST API'leri, dağıtılmış yapısı, hızı ve ölçeklenebilirliği ile tanınan Elasticsearch, veri alımı, zenginleştirme, depolama, analiz ve görselleştirme için bir dizi ücretsiz ve açık araç olan Elastic Stack'in merkezi bileşenidir. Genel olarak ELK Yığını (Elasticsearch, Logstash ve Kibana'dan sonra) olarak adlandırılan Elastic Stack, artık Elasticsearch'e veri göndermek için Beats olarak bilinen zengin bir hafif nakliye araçları koleksiyonunu içerir [137].

Elasticsearch'ün hızı ve ölçeklenebilirliği ve birçok içerik türünü dizine ekleme yeteneği, farklı kullanım amaçları için kullanılabilmesi anlamına gelir:

- Uygulama arama
- Web sitesi araması
- Kurumsal arama
- Günlüğe kaydetme ve günlük analizi
- Altyapı ölçümleri ve konteyner izleme
- Uygulama performansı izleme
- Jeo-uzamsal veri analizi ve görselleştirme
- Güvenlik analitiği
- İş analitiği

Günlükler, sistem ölçümleri ve web uygulamaları dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan Elasticsearch'e ham veriler aktarılabilir. Veri alma, bu ham verilerin Elasticsearch'te dizine eklenmeden önce ayrıştırıldığı, normalleştirildiği ve zenginleştirildiği süreçtir. Elasticsearch'te dizine eklendikten sonra, kullanıcılar verilerine karşı karmaşık sorgular çalıştırabilir ve verilerinin karmaşık özetlerini almak için toplamaları kullanabilir. Kullanıcılar Kibana'dan verilerinin güçlü görselleştirmelerini oluşturabilir, gösterge tablolarını paylaşabilir ve Elastik Yığını yönetebilir.

Bir Elasticsearch dizini, birbiriyle ilişkili belgelerin bir koleksiyonudur. Elasticsearch, verileri JSON belgeleri olarak depolar. Her belge, bir dizi anahtarla (alanların veya özelliklerin adları) bunlara karşılık gelen değerlerle (dizeler, sayılar, Booleanlar, tarihler,

değer dizileri, coğrafi konumlar veya diğer veri türleri) ilişkilendirir. Elasticsearch, çok hızlı tam metin aramalarına izin vermek için tasarlanmış, ters çevrilmiş dizin adı verilen bir veri yapısı kullanır. Tersine çevrilmiş bir dizin, herhangi bir belgede görünen her benzersiz sözcüğü listeler ve her bir sözcüğün içinde geçtiği tüm belgeleri tanımlar. Dizinin oluşturma işlemi sırasında, Elasticsearch belgeleri depolar ve belge verilerini neredeyse gerçek zamanlı olarak aranabilir hale getirmek için ters çevrilmiş bir dizin oluşturur. Dizinin oluşturma, belirli bir dizine bir JSON belgesi ekleyebileceğiniz veya güncelleyebileceğiniz dizin API'si ile başlatılır.

Elasticsearch, Lucene üzerine inşa edildiğinden, tam metin aramada hızlıdır. Elasticsearch aynı zamanda neredeyse gerçek zamanlı bir arama platformudur, yani bir belgenin dizine eklenmesinden aranabilir hale gelmesine kadar geçen gecikme çok kısadır- tipik olarak bir saniyedir. Sonuç olarak, Elasticsearch, güvenlik analitiği ve altyapı izleme gibi zamana duyarlı kullanım durumları için çok uygundur.

Elasticsearch doğası gereği dağıtılır. Elasticsearch'te depolanan belgeler, donanım arızası durumunda verilerin yedek kopyalarını sağlamak için çoğaltılan, parçalar olarak bilinen farklı kaplar arasında dağıtılır. Elasticsearch'ün dağıtılmış doğası, yüzlerce (hatta binlerce) sunucuya ölçeklenmesine ve petabaytlarca veriyi işlemesine olanak tanır.

Elasticsearch, çok çeşitli özelliklerle birlikte gelir. Hızına, ölçeklenebilirliğine ve esnekliğine ek olarak Elasticsearch, veri toplamaları ve dizin yaşam döngüsü yönetimi gibi verileri depolamayı ve aramayı daha verimli hale getiren bir dizi güçlü yerleşik özelliğe sahiptir.

Elastik Yığın, veri alımını, görselleştirmeyi ve raporlamayı basitleştirir. Beats ve Logstash ile entegrasyon, verilerin Elasticsearch'e endekslenmeden önce işlenmesini kolaylaştırır. Kibana, uygulama performansı izleme (APM), günlükler ve altyapı ölçüm verilerine hızlı erişim için kullanıcı arabirimlerinin yanı sıra Elasticsearch verilerinin gerçek zamanlı görselleştirmesini sağlar.

12.6.3 Kibana

Kibana, Elasticsearch'te indekslenen veriler için arama ve veri görselleştirme yetenekleri sağlayan, Elastic Stack'in üzerinde yer alan ücretsiz ve açık bir ön uç uygulamasıdır [138]. Genellikle Elastik Yığın için grafik aracı olarak Kibana ayrıca bir Elastik Yığın kümesinin izlenmesi, yönetilmesi ve güvenliğinin sağlanması için kullanıcı arabirimi olarak da işlev görür. Elastic Stack üzerinde geliştirilen yerleşik çözümler için merkezdir. 2013 yılında Elasticsearch topluluğu içinde geliştirilen Kibana, kullanıcılar ve şirketler için bir portal sunan Elastic Stack'in kendisine açılan pencere haline geldi. Kibana'nın

Elasticsearch ve daha büyük Elastic Stack ile sıkı entegrasyonu, onu aşağıdakileri unsurları desteklemek için ideal kılmıştır:

1. Elasticsearch'te dizine eklenen verileri arama, görüntüleme ve görselleştirme ve çubuk grafikler, pasta grafikler, tablolar, histogramlar ve haritalar oluşturarak verileri analiz etme. Pano görünümü, aşağıdaki gibi kullanım durumlarını desteklemek için büyük veri hacimlerine gerçek zamanlı analitik görünüm sağlamak için daha sonra tarayıcı aracılığıyla paylaşılmak üzere bu görsel öğeleri birleştirir:
 - a. Günlüğe kaydetme ve günlük analizi
 - b. Altyapı ölçümleri ve kapsayıcı izleme
 - c. Uygulama performansı izleme (APM)
 - d. Coğrafi veri analizi ve görselleştirme
 - e. Güvenlik analitiği
 - f. İş analitiği
2. Web arabirimi aracılığıyla bir Elastic Stack örneğini izleme, yönetme ve güvenceye alma.
3. Gözlenebilirlik, güvenlik ve kurumsal arama uygulamaları için Elastic Stack üzerinde geliştirilen yerleşik çözümlere erişimi merkezileştirme.

Kibana, bir Elasticsearch indeksinden veya çoklu indekslerden gelen verilerin görsel analizini sağlar. Endeksler, Logstash (büyük ölçekli bir alıcı) veya Beats (tek amaçlı veri göndericileri topluluğu) günlük dosyalarından ve diğer kaynaklardan yapılandırılmamış verileri alıp Elasticsearch depolama ve arama işlevleri için yapılandırılmış bir biçime dönüştürdüğünde oluşturulur. Kibana'nın arayüzü, kullanıcıların Elasticsearch endekslerindeki verileri sorgulamasına ve ardından sonuçları standart grafik seçenekleri veya Lens, Canvas ve Maps gibi yerleşik uygulamalar aracılığıyla görselleştirmesine olanak tanır. Kullanıcılar, farklı grafik türleri arasında seçim yapabilir, sayıların toplamlarını değiştirebilir ve belirli veri segmentlerine göre filtre uygulayabilir.

Kibana panosu, tek bir bölmede bir araya getirilmiş bir çizelgeler, grafikler, ölçümler, aramalar ve haritalar topluluğudur. Gösterge tabloları, birden çok perspektiften verilere bir bakışta içgörü sağlar ve kullanıcıların ayrıntılara inmesine olanak tanır.

Kibana'da bir gösterge panosu oluşturmak için, kullanıcıların Elasticsearch'te dizine alınmış verileri olması ve önceden bir arama, görselleştirme veya harita oluşturmuş olmaları gerekir. Kibana'nın içinden, yan gezinme panelinde Gösterge Tablosu'na tıklanır. Pano arayüzünü açarken, mevcut panolara genel bir bakış sunulur. Pano yoksa, önceden oluşturulmuş panoları içeren örnek veri kümeleri eklenebilir.

Bir pano oluşturmak için kullanıcılar şu adımları izleyebilir:

1. Yan gezinmede Gösterge Tablosu'na tıklayın.
2. Yeni gösterge tablosu oluşturma tıklayın.
3. Ekleye tıklayın.
4. Panoya görselleştirmeler ve kayıtlı aramalar eklemek için Panel Ekleyi kullanın.
Çok sayıda görselleştirme varsa listeler filtrelenebilir.

Başlıkta salt okunur bir simge varsa, bu, kullanıcının pano oluşturmak, düzenlemek veya kaydetmek için yeterli izne sahip olmadığını gösterir. Kibana yöneticileri bu izin ayarlarını bireysel veya grup bazında değiştirebilir.

Kibana Lens, hem deneyimli hem de tecrübesiz kullanıcılar için veri içgörülerine daha hızlı erişim sağlamak üzere tasarlanmış yerleşik bir araçtır. Lens, Elasticsearch verilerini keşfetme ve görseller oluşturma sürecini basitleştirmek için bir sürükle ve bırak arayüzüne sahiptir. Lens, en iyi veri analizi uygulamasına ve yaygın kullanım modellerine dayalı olarak verileri görselleştirmenin alternatif yollarını sağlayan akıllı önerilerle çizelgelerin oluşturulmasına yardımcı olur.

Kibana Lens ile bir kullanıcı şunları yapabilir:

- Minimum program etkileşimi ile bir Elasticsearch dizinindeki verileri keşfetmek,
- Birden çok veri görselleştirmesi oluşturmak için veri alanlarını sürükleyip bırakmak,
- Aynı görselleştirmede karşılaştırma için birden çok Elasticsearch dizininde aynı anda arama yapabilme,
- Grafik türlerini değiştirerek ve toplamaları gerçek zamanlı olarak değiştirerek veri görselleştirmelerini özelleştirme,
- Kibana'yı kullanarak kod veya önceki deneyim olmadan etkileşimli veri görselleştirmeleri oluşturmak.

Canvas, Kibana bünyesinde bir veri görselleştirme ve sunum uygulamasıdır. Canvas ile canlı veriler doğrudan Elasticsearch'ten alınabilir ve dinamik, çok sayfalı görüntüler oluşturmak için renkler, resimler, metin ve diğer özelleştirilmiş seçeneklerle birleştirilebilir.

Canvas ile bir kullanıcı şunları yapabilir:

- Arka planlar, kenarlıklar, renkler, yazı tipleri ve daha fazlasıyla bir çalışma alanı oluşturma ve kişiselleştirme,
- Çalışma yüzeylerini resimler ve metin gibi özel görselleştirmelerle özelleştirme,
- Verileri doğrudan Elasticsearch'ten çekerek özelleştirme,
- Verileri çizelgeler, grafikler, ilerleme izleyicileri ve daha fazlasıyla görüntüleme,
- Filtrelerle görüntülenmesi istenen verilere odaklanmak.

Kibana, Elasticsearch'ün resmi arayüzüdür. Elasticsearch kullanıcıları, veri içgörülerini keşfetmek ve Elastic Stack'lerinin sağlığının aktif yönetimini gerçekleştirmek için Kibana'yı en etkili arayüz olarak görecektir.

Kibana birçok kullanım örneğini ele almaktadır. APM, güvenlik analitiği, iş analitiği, çalışma süresi izleme, coğrafi analitik ve daha fazlası gibi kullanım durumları için Kibana'nın yerleşik özelliklerinden yararlanır.

Kibana'nın güçlü bir destek topluluğu vardır. Ücretsiz ve açık bir arayüz olarak Kibana, güçlü bir benimseme ve topluluk katkısı görmüştür. Kibana kullanıcılarının deneyim seviyeleri önemli ölçüde farklılık gösterir- dokümantasyon, talimat ve topluluk desteği bu geniş uzmanlık yelpazesini yansıtır. Elastic ayrıca kullanıcıların çalışmaya başlamasına yardımcı olmak için eğitim ve bireysel destek sunar.

12.7 Enerji Sektöründe Yapay Zekâ Uygulamasının Olası Zorlukları

Enerji sektöründe yapay zekâ uygulamalarını sınırlayan bazı unsurlar bulunmaktadır. Bu unsurlar şöyle açıklanabilir [121]:

Teorik Bilgi Eksikliği: Yapay zekânın enerji sektöründe yavaş benimsenmesinin nedenlerinden biri, karar vericilerin yapay zekâ hakkındaki bilgi eksikliğidir. Pek çok şirket, yapay zekâ uygulamalarından nasıl yararlanacağını anlayacak kadar teknik geçmişe sahip değildir. Bazı paydaşlar, yeni bir şey denemenin riski yerine, kanıtlanmış yöntemlere bağlı kalmayı tercih etmektedir.

Pratik Uzmanlık Eksikliği: Yapay zekâ hala yeni bir teknolojidir ve bu konuda uzmanlaşmış profesyoneller azdır. Derinlemesine teorik bilgiye sahip olan birçok uzman olsa da pratikte uygulama tecrübesine sahip yeni yapay zekâ yazılımları geliştirebilecek uzmanlar bulmak son derece zordur. Enerji sektöründe hata maliyeti yüksek olduğundan, birçok şirket yeni yaklaşımları denemeye isteksizdir.

Eski Altyapı Modası Geçmiş Altyapılar: Bu yapılanma enerji sektöründe yapay zekâ kullanımının önündeki en büyük engeldir. Kamuya enerji hizmeti sunan şirketler, kendilerini topladıkları yığınlarca verinin içine gömülmüş halde bulunmakta ve bununla nasıl başa çıkacakları hakkında hiçbir fikirleri bulunmamaktadır. Enerji sektörü modası geçmiş sistemlerin güvenlik açıkları nedeni ile büyük kayıplar yaşamaktadır.

Mali Baskı: Yapay zekâ teknolojisini uygulamak yapılacak en akıllı şey olabilir. Ancak kesinlikle en ucuzu değildir. Deneyimli bir yazılım hizmetleri sağlayıcısı bulmak, yazılımı geliştirmek ve özelleştirmek, yönetmek ve izlemek çok zaman ve kaynak gerektirir. Enerji sektöründeki işletmeler yapay zekâ, makine öğrenimi ve derin

öğrenmeyi stratejilerine dahil etmenin avantajlarından yararlanmadan önce, etkileyici bir bütçe ayırmaya istekli olmalı ve eski sistemlerini değiştirmenin risklerini kabul etmelidir.

13. ENERJİ SEKTÖRÜNDE AKILLI DÖNÜŞÜM

13.1 Elektrik Enerjisi ve Kaynakların Verimliliği

Enerji, fizik bilim dalında iş yapabilme yeteneği olarak tarif edilmektedir. Aşağıdaki şemada pek çok enerji türü görülmektedir.

Elektrik enerjisi elektron hareketi ile oluşmaktadır.



Şekil 71. Enerji türleri [139]

Elektrik enerjisini üretmek için kaynakları yenilenebilen ve yenilenemeyen olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğaya zarar vermeyen çevre dostu enerji kaynaklarıdır. Günümüzde çevreyi olumsuz etkileyen küresel ısınma gibi birçok olumsuzluklara neden olan yenilenemeyen enerji kaynakları terk edilip yerine yenilenebilir enerji kaynakları alınmaya çalışılmaktadır. Kyoto protokolü bu konuda atılan adımlardan biri olarak gösterilebilmektedir. Bu protokol Türkiye tarafından onaylanmış ve imzalanmış olup henüz onaylamayan ülkeler de bulunmaktadır. Otomotiv sektörü de fosil yakıtlı motorların geliştirilmesi yavaşlatılmış olup, tüm ar-ge faaliyetlerini elektrikli araçlar ve hidrojen yakıtına doğru kaydırmaktadırlar.

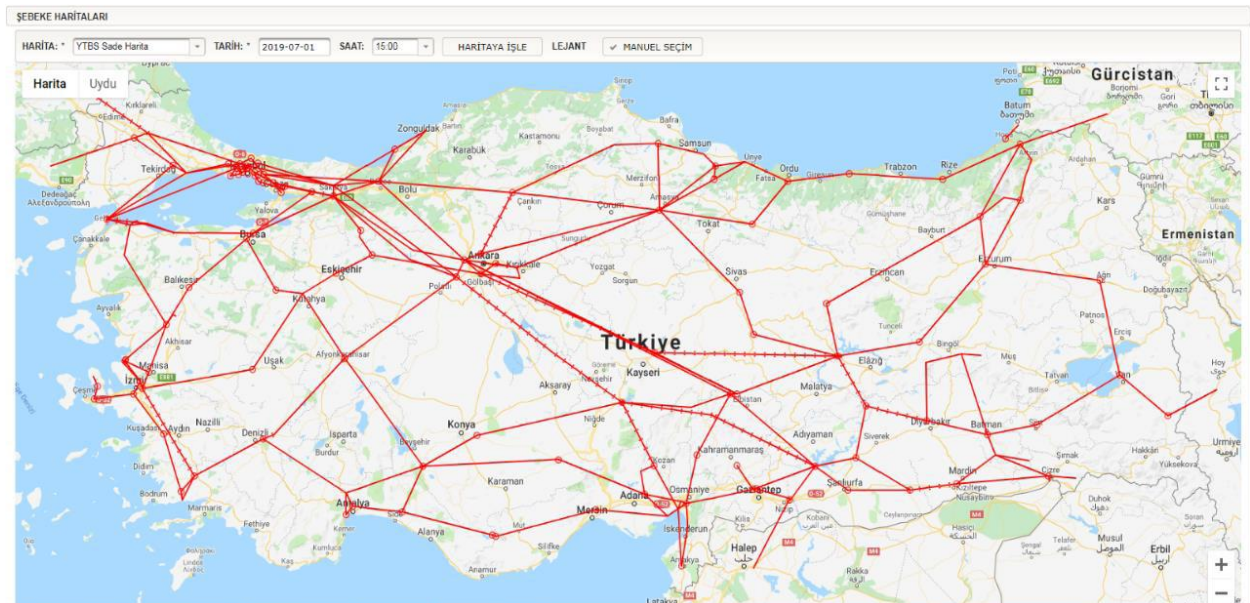
Elektrik enerjisi olmadan hayatın devam ettirilebilme şansının çok düşük olduğu ifade edilmektedir. Kullanılan cihazların büyük bir kısmı elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Elektrik enerjisinin yüksek değerlerde kullanılması her geçen gün daha da fazla ihtiyaç duyulması hatta enerji krizlerine yol açabileceği düşünülmektedir. Artan ihtiyaç üretim faktörlerinin doğaya zarar vermesine sebep olmaktadır.



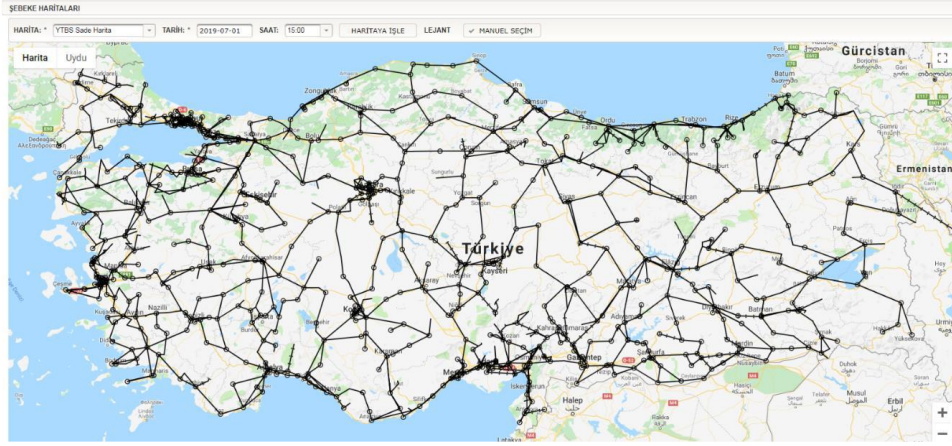
Şekil 72. Yenilenebilir enerji kaynakları [140]

Yenilenebilir enerji kaynakları doğanın dengesini bozmadan enerji üretilebileceğini göstermektedir.

13.2 Elektrik Enerjisi Üretimi ve Dağıtımında Karşılaşılan Zorluklar



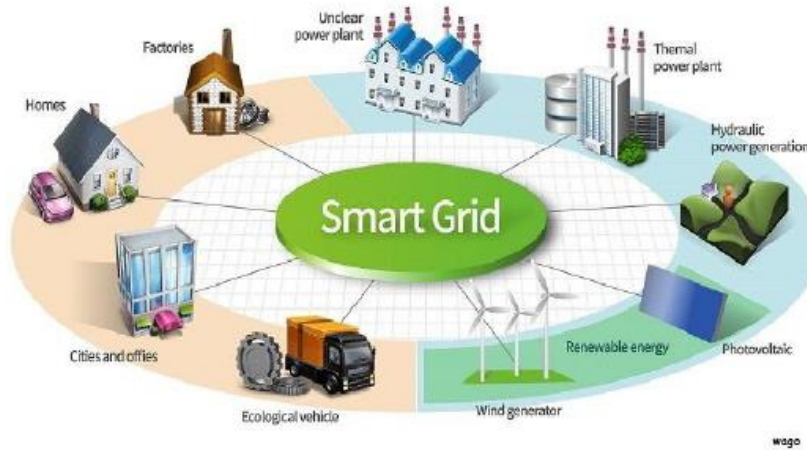
Şekil 73. 400 KV'luk iletim hattı ağı



Şekil 74. 154KV'luk iletim hattı ağı

1900'lü yılların başlarına dayanan elektrik üretim tesisleri ve şebekeleri artık yetersiz kalmaktadır. Gün içerisindeki kullanıma bağlı olarak, bir bölgeden elde edilen enerjinin o bölgeye yetersiz kaldığı zaman dilimleri meydana gelmektedir. Ancak aynı zaman diliminde başka bir bölgedeki enerji ihtiyacı daha az olabilmektedir. Kullanılmayan fazla enerji ihtiyacı olan diğer bölgeye nakil yapılırsa talep ve arz dengelenmiş olacaktır. Bu durum Enterkonnekte şebeke ihtiyacını doğurmuştur. Ülkemizde elektrik santrallerinin hepsi bu şebeke ağı ile birbirine bağlıdır. Santraller birbirine çok yüksek gerilim hattı ile bağlıdır. Üretim ile tüketimin sürekli denge halinde olması gerekmektedir. AC (Alternatif akım) akım depolanamadığından direk olarak tüketiciye aktarılması gerekmektedir. Hızlı nüfus artışı ve insanların elektrikli cihazlara olan talebinin günden güne artması neticesinde mevcut elektrik üretim hatları da yetersiz kalmaktadır. Üretilen elektrik enerjisindeki en büyük kayıp iletim hatları, transformatör kayıpları ve verimsiz cihaz kullanımı oluşturmaktadır. Tüketimde oluşan dengesiz yük kullanımı da sistemin olumsuz etkenlerindedir.

13.3 Akıllı Şebekeler



Şekil 75. Akıllı şebekeler

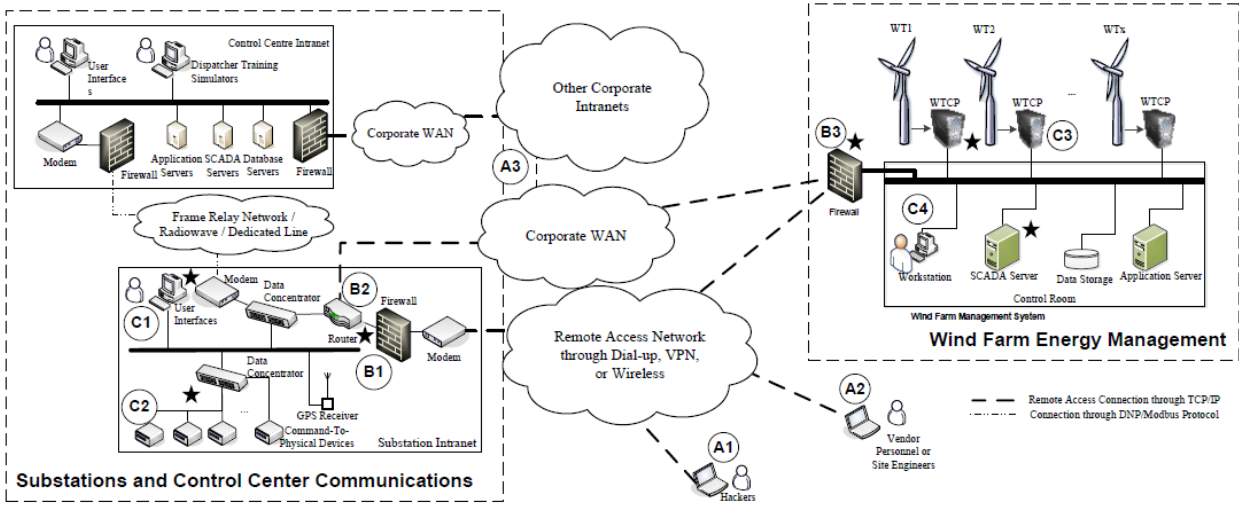
Elektrik enerjisinin üretiminde ve iletiminde karşılaşılan sorun ve zorluklar sonucunda, kullanılan elektrik enerji alt yapısının daha modern bir akıllı yapıya dönüşme gereksinimini ortaya çıkarmaktadır. Bunun için kullanılan haberleşme ve bilgi işleme teknolojileri mevcut sisteme uyarlanarak verimlilik daha da artırılmaktadır. Oluşan bu yeni yapıya akıllı şebekeler adı verilmektedir. Akıllı şebekeler kullanıldığında enerji verimliliği yanında kesintilerinde azalması beklenmektedir. Kesinti veya arıza durumunda tespit ve varsa yedek sistemi devreye almak oldukça kolaylaşacaktır. Kayıplar bu suretle minimize edilmektedir. Akıllı şebekelerde arıza yönetiminde insan müdahalesine ihtiyaç duymadan sistem kendini yönetebilmektedir. Akıllı şebekeler çift yönlü veri haberleşmesi sayesinde güvenli, devamlı ve verimli bir enerji nakli sunmaktadır. Sistemin akıllı olması ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji de devreye alabilmektedir. Bu sayede enerji üretim santralleri birbirini etkilemeden ve zarar vermeden güçlerini birleştirmiş olacaklardır.



Şekil 76. SCADA kontrollü sistem [141]

Akıllı şebekelerin en önemli işlemlerinden biri üretimin gerçekleştiği santralin sisteme uygunluğunu sağlamaktır. Şekil 76'da Karkamış Hidroelektrik santrali görünmektedir. Santralin kontrolünde SCADA (Supervisory Control and Data ACquisition - Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama) yazılımı kullanılmıştır. SCADA yazılımı ile

santrale ait tüm cihazların ve iletim hatlarının kontrolü yapılabilmektedir. Ayrıca kontrol süreci canlı olarak takip edilebildiği gibi geriye dönük raporlama da alınabilmektedir. Alınan rapor bilgilerine dayanılarak ileriye dönük yatırım ve planlamalara kaynak oluşturulabilir. Alt yapısı buna benzer şekilde hazırlanan santral, akıllı şebekeye çok kolay bir şekilde uyum sağlayacaktır [142].



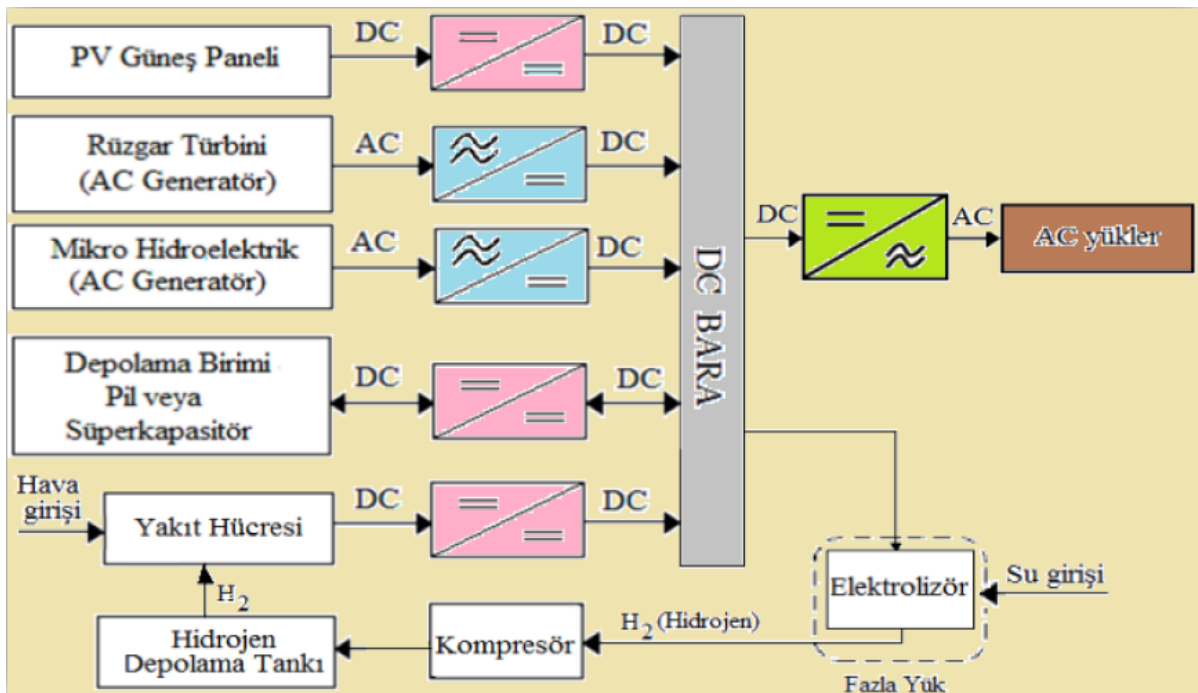
Şekil 77. SCADA trafo merkezi düzeyinde ağ, kontrol merkezleri ve rüzgâr santrali yönetim sistemi arasındaki altyapı ve ağ bağlantısı

Akıllı santralleri akıllı şebekelere dönüştürebilmek için veri iletim ve kontrol ağına ihtiyaç duyulmaktadır. Enterkonnekte sistem için kullanılan sistemlerin birbirleri ile haberleşmesi gerekmektedir. İşletmede meydana gelen arızalara müdahale ve sistemlerin verimli bir şekilde çalışabilmesi açısından bu iletişim önem taşımaktadır. Enerji hattı haberleşmesi (EHT) mevcut elektrik şebekesi üzerinden veri haberleşmesini sağlayan sistemdir. Scada sinyalleri ile ses haberleşmesi de yapılabilmektedir. Bilgisayar tabanlı veri iletişiminin sağlanabiliyor olması acil ve doğru önlemler alabilmeyi kolaylaştırmaktadır. Enerji hattı haberleşmesi ile sokak lambalarının uzaktan kontrol edilmesinden, elektrik sayaçlarının uzaktan okunmasına kadar birçok uygulama yapılabilmektedir.

31 Mart 2015 tarihinde tüm Türkiye çapında gerçekleşen büyük bir elektrik kesintisi yaşanmıştır. Bu kesintinin nedeni ülkenin doğusundan batı tarafına uzanan gerilim hatlarının bakıma alınması olarak bilinmektedir. Enterkonnekte yapının bu şekilde kesilmesi sonucunda üretim talebi karşılayamamış ve ikiye bölünmüştür. Türkiye'nin batı kısmında yaşanan kesintiler ile gün içerisinde birçok olumsuzluk ve aksaklıklar meydana gelmiştir [143].

Türkiye’de yer alan Enterkonnekte sistem aynı zamanda komşu ülkelere de bağlıdır. Tüm Türkiye çapında enerji sıkıntısı yaşandığında komşu ülkelere de enerji satın alınabilmektedir. Enerji ihtiyacının tamamının çok büyük santraller tarafından karşılanması sonucunda; karşılaşılan arıza, doğal afet ya da planlı bakım onarım çalışmaları esnasında ülkenin tamamını etkileyebilecek olumsuzluklar yaşanabilmektedir. Alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Mikro şebekeler olarak adlandırılan yapılar burada bir çözüm sunabilmektedir. Mikro şebekeler de genellikle yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Mikro şebekeler mevcut şebekelere bağlanırken gerilim ve frekans senkronizasyonu gerekmektedir. Aksi takdirde şebekeye ya da kendine zarar verecektir. Senkronizasyonu sağlamak görevi Mikro şebeke içerisinde yer alan kontrol üniteleri tarafından kumanda edilmektedir.

Mikro şebeke ile kullanılan akıllı enerji otomasyonu, nesnelerin internetini ve ağ bağlantılı bir kontrol sistemi kullanılarak, enerji kaynaklarının birbirine bağlayan sensörler ve elektroniklerle, mikro şebekeye ve gerçek zamanlı verilerin bulut tabanlı bir depo ile birleştirmektedir. Daha sonra yazılım, enerji kaynaklarını denetlemek için verileri kullanmakta, enerji talep ve hava koşullarını sürekli analiz ederek, mikro şebeke operatörünün hedeflerini karşılamak için doğru enerji karışımını belirlemektedir. Örneğin hava durumlarını sürekli olarak kontrol eden sistem yaklaşan bir yağmur fırtınasını hava durumu tahminlerini aldığı zaman, yazılım hemen kararını kesinleştirerek Güneş’ten aldığı enerji kısmını devre dışı bırakıp piller ile olan kaynağı devreye geçirmek üzere programlanabilmektedir [144].



Şekil 78. Mikro şebekelerin bileşenleri

Mikro şebekeler, şebekeden bağımsız ya da şebekeye bağlı olarak işletilebilen, kendi enerji kaynakları, üretimleri ve yükleri olan belirli sınırlara sahip küçük ölçekli enerji şebekeleri olarak adlandırılmaktadır. Mikro şebekeler yerinde üretim ile şebekeden bağımsız bölgelerde enerji arzı sağlamak, bölgeler arası iletim kayıplarını azaltmak, arızaları anında tespit ederek hizmet kalitesini artırmak, talep yönetimini destekleyerek kaynakları verimli kullanmak, daha fazla yerli kaynağı devreye almak ve daha dayanıklı ve dinamik bir şebekeye sahip olmak gibi avantajlar sunmaktadır.

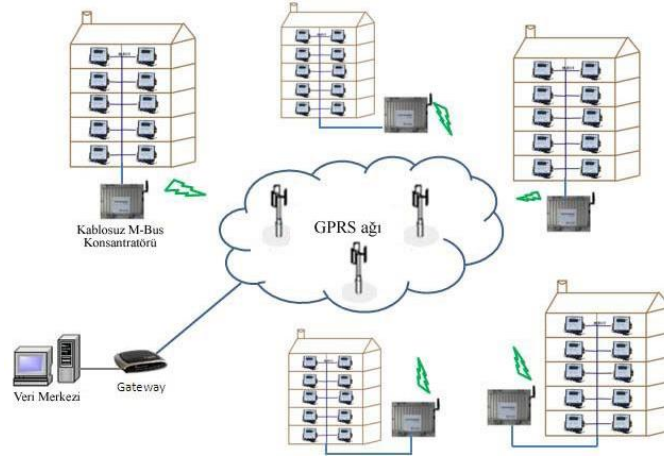


Şekil 79. Mikro şebekeler

Mikro şebekelere ilişkin sistem bileşenleri aşağıdaki gibidir [145]:

- Yenilenebilir Enerji Sistemleri
- Enerji Depolama Sistemleri
- Ölçüm ve Kontrol Sistemleri
- Şebeke Bağlantı Sistemleri
- Güç Dönüştürücü Sistemler
- Batarya Yönetim Sistemleri
- Akıllı Aydınlatma Sistemleri
- Elektrikli Araç Şarj Sistemleri
- Akıllı Ev/Bina Sistemleri
- SCADA/EMS/DMS
- Enerji Yönetim Sistemleri
- Haberleşme ve Bilgi Güvenliği Sistemleri
- Jeneratörler

13.4 Akıllı Sayaçlar ve Mbus Teknolojisi



Şekil 80. MBUS sayaç okuma sistemi

Enerji sistemlerinde sistem verimliliğini artırmak için enerji tüketimini ölçen sayaçların uzaktan okunabilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde sayaçlar sadece okunmakla kalmayıp uzaktan yönetimi de söz konusu olabilmektedir.

Hidroelektrik santrallerden elektrik enerjisi üretmenin yanı sıra tarımsal sulama faaliyetleri de yürütülmektedir. Sulama yapılırken çiftçilerin hangi ürünü ekmesi gerektiği, ne kadar su kullanması gerektiği gibi teknik konular uzman ekipler tarafından belirlenmesi ve organize edilmesi gerekmektedir. MBUS özellikli ön ödemeli kartlı sayaçlar kullanarak sistemin ücretlendirilmesi yapılabilmektedir. Cep telefonu uygulamaları ile çiftçi sayacına ulaşabilmekte ve sulama eylemini gerçekleştirebilmektedir. Kendisine tanımlanan miktar ve sürelerin dışına çıkması bu sistem sayesinde engellenmiştir. Böylece çiftçiler arası bir kullanım adaleti sağlanmış, enerji kaynakları verimli bir şekilde kullanılmış olmaktadır. Otomasyona bağlanmış sistemin bir diğer avantajı ise sayaç okuma ve takibinden tasarruf edilmektedir.

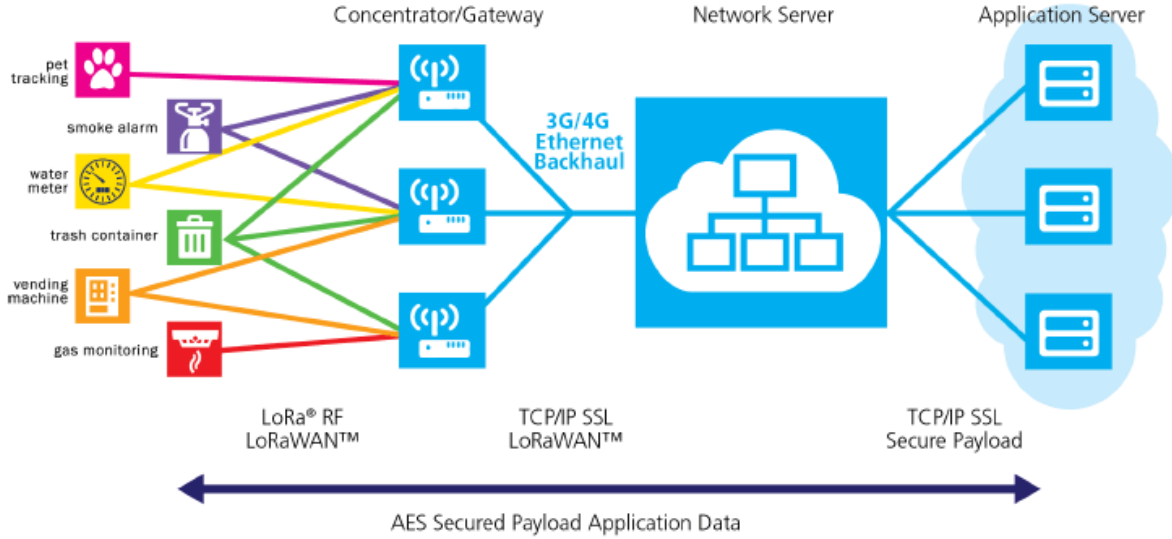
MBUS sayaçları merkezi ısıtma sistemi kullanılan yaşam alanlarında faturalandırma işlemlerinde de kullanılmaktadır. Her bir daire ne kadar bir kullanım sergilemişse sisteme o kadar katkıda bulunması beklenmektedir.

Otomatik Sayaç Okuma (OSO) sistemlerinin işletmelere sağladığı faydalar:

- Gelişmiş faturalama doğruluğu,
- Kısaltılmış gelir toplama çevrimi,
- İyileştirilmiş yük yönetimi,
- Kaçak ve kayıpların sıkı denetimi,
- Uzaktan sayaç açma kapama,

- Artırılmış müşteri bağımlılığı,
- Şikâyetlerde azalma,
- İnternet bağlantı hizmeti, ev güvenliği ve otomasyonu gibi ek hizmetler aracılığıyla yeni gelir kapılarının açılması şeklinde ifade edilmektedir [146,147].

13.5 Uzaktan Kablosuz Akıllı Yönetim Lora



Şekil 81. Kablosuz LoRa ağ yönetim sistemi

Akıllı enerji yönetiminde cihazların uzaktan kontrol edilmesi gerekmektedir. Cihazlar ile olan iletişimin her zaman kablolar yardımı ile sağlanması mümkün olmamaktadır. Ulaşımın zor olduğu veya altyapının kablo için uygun olmadığı durumlarda kablosuz iletişim özelliklerinden faydalanılmaktadır. Özellikle mesafenin uzak olduğu durumlarda cihaz üzerindeki verilere ulaşarak cihazı yönetmek için kullanılan yöntemlerden biri LoRa kablosuz iletişim ağı olmaktadır.

LoRa-WAN; 433 MHz, 868 MHz (Avrupa) , 915 MHz (Avustralya ve Kuzey Amerika), 865 MHz - 867 MHz (Hindistan) ve 923 MHz (Asya) gibi lisanssız radyo frekansı bantlarını kullanmaktadır [148].

Çok dar bantlı küçük veri paketleri ile iletişim sağlandığından uzak mesafelere iletişim sağlanabilmektedir. Bu mesafe örnek vermek gerekirse coğrafi şartlardan etkilenmekle birlikte 10-15 km'leri bulabilmektedir. Ülkemizde bu sistem Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yönetilen sulama sistemlerinin altyapısında kullanılmaktadır. Sayaçların uzaktan izlenmesi ve yönetilmesi işlemlerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

13.6 Nesnelerin İnterneti IOT Teknolojisi

İnternetin ve teknolojinin gelişmesi ile internete bağlanabilen cihaz sayısı her geçen gün artmaktadır. Nesnelerin interneti (Internet of Things)'nin kesin tanımı hala bir tartışma konusudur ve IOT'yi tanımlamak için çeşitli tanımlar yapılmıştır. Fakat en basit tanımıyla nesnelerin interneti, internete bağlanabilen her şey anlamına gelmektedir [149].

Nesnelerin interneti ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından RFID (Radio-Frequency Identification) kullanarak tedarik zinciri tanımını yapmak için kullanılmıştır [150].

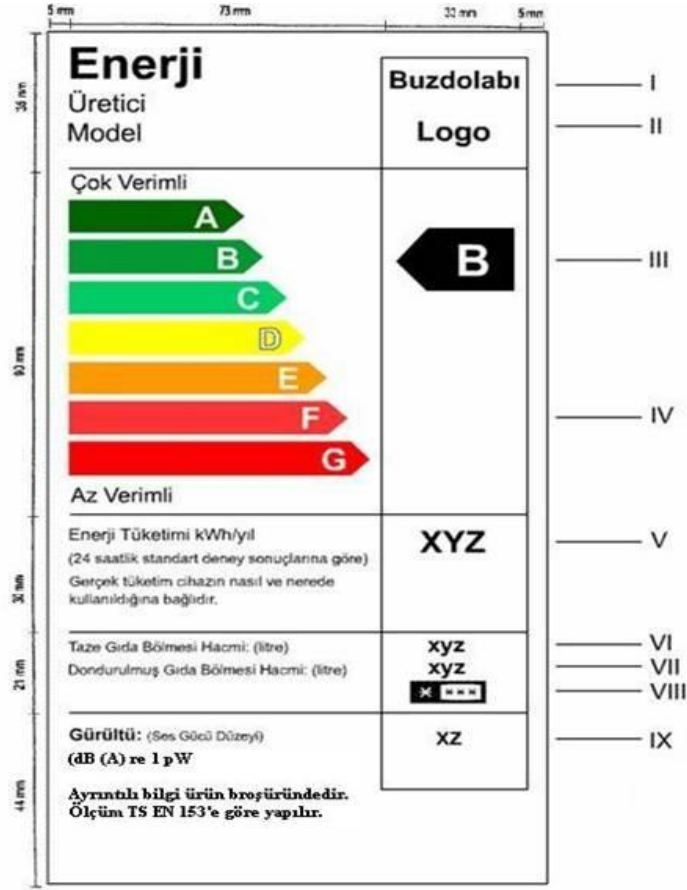


Şekil 82. Nesnelerin interneti

Nesnelerin interneti (IOT) kullanılarak ev ve işyerlerindeki birçok cihaz ve sistemi internet altyapılarını kullanarak yönetilebilmektedir. Akıllı priz kullanılarak evlerdeki prize bağlı olan bir cihazı internet üzerinden bir uygulama ile rahatlıkla açıp kapatılabilmektedir. Birçok beyaz eşya modeli artık bu yönetim şeklini hayata geçirmiştir. Bu durum iyi derecede enerji tasarrufu ile konforu bir arada sunmaktadır.

13.7 Enerji Tasarrufu ve Verimlilik

Enerjinin üretiminde çok önemli olan verimlilik enerjisi kullanırken de çok önemli hale gelmektedir. Enerjinin üretimi pahalı hale gelmeye başladıkça onu harcayan cihazların da verimli olması gerektiği bilinmektedir. Yeni teknoloji ile üretilen bir cihaz eski teknoloji ile üretilmiş bir cihaza göre daha pahalı satılırken kendisini uzun vadede elektrik faturası tarafından telafi edebilmektedir. Bu durumda maddi olarak kar ederken ekosisteme de daha az zarar verilmiş olunacaktır.

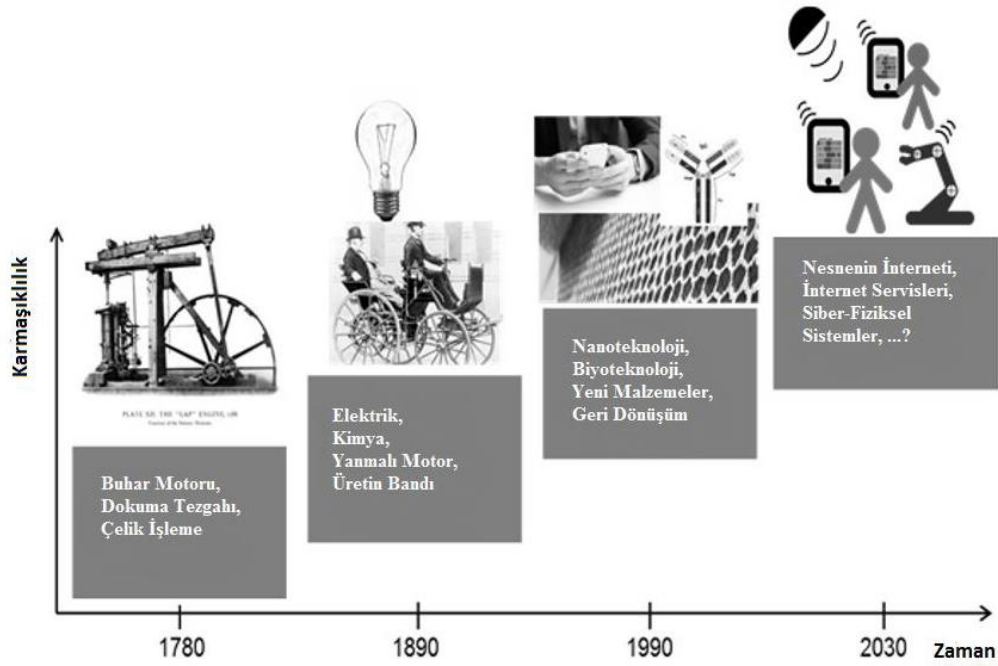


Şekil 83. Verimlilik tablosu

13.8 Endüstri 4.0

Elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir kısmını kömürden elde eden Çin devleti artık ihtiyacı karşılayamaz hale gelmiştir. Bu durum enerji ihtiyacını tam olarak karşılayamayan Çin'in Dünya'nın üretim üssü olarak davranmasını zorlaştırmaktadır. Arzı karşılayamıyor hale gelmesi ise arz talep dengesini bozmaktadır. Bu noktada çözüm üretmek isteyen diğer devletler ise Endüstri 4.0 ile engelleri aşmaya çalışmaktadır.

Dördüncü sanayi devrimine atfedilen Endüstri 4.0, akıllı sanal-fiziksel sistemler kullanarak akıllı fabrikalar inşa etmek vizyonunu taşımaktadır. Endüstri 4.0, otomatik kontrollü akıllı sistemler tarafından kontrol edilen, kendi kendinin konfigürasyonunu yapabilen, kendini izleyebilen, kendini iyileştirebilen üretim ekosistemlerini mümkün kılmaktadır. Bunun sonucu olarak endüstri 4.0 eşi benzeri görülmemiş düzeyde operasyonel verimlilik elde edilmesine ve verimlilikteki büyümenin hızlanmasına olanak sağlamaktadır [151].



Şekil 84. Endüstri devrimlerinin kronolojisi

Endüstri 4.0'ın bazı alanlarda muhtemel etkilerinin olması beklenmektedir. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Makine kontrolünün artışı ile insan gücü daha geri planda kalacaktır.
- Mevcut iş gücü azalacaktır.
- İnsan faktörünün giderek azalması veya pozisyon değiştirmesinin etkileri sosyo-ekonomik hayatta hissedilir etkiler yaratacaktır.
- Üretimini yeni sürece göre yenileyen işletmeler diğerlerine göre avantajlı konuma geçip sektörde öne çıkma şansı elde edeceklerdir.
- Dünya ticaretinde söz sahibi bazı firmalar Endüstri 4.0'a adım atma noktasında kararlı bir tavır henüz göstermemektedirler.
- Yenilikçi son sanayi devrimine yeterince hızlı ve verimli bir şekilde geçebilmek için personelin becerisinin, bilgisinin artırılması zaman alabilecektir.

Endüstri 4.0 işletmelerde, personelin iş tanımlarının değişmesi, personele başta bilgi teknolojileri alanında olmak üzere kapsamlı eğitimler verme zorunluluğu, değişen üretim ortamı, değişim sürecindeki maliyetler gibi karmaşık bir yenileme süreci gelişeceğinden dolayı bazı zorlu süreçlerden geçmesi beklenmektedir.

14. GÜNEŞ ENERJİSİNİN PROJE ORTAĞI ÜLKELERDEKİ DURUMU

14.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

Türkiye’de Güneş enerjisi; öncelikle yüksek potansiyeli, kullanım kolaylığı, yenilenebilir ve çevre dostu özellikleri ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha hızlı olarak yaygınlaşa bilecek niteliktedir. Ancak bu konuda bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Bunlar Güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarına göre kurulum maliyetlerinin yüksek olması, veriminin ve kapasite faktörünün kısmen düşük olması gibi bazı teknolojik ve ekonomik zorluklardır. Bu sorunların çözümü ile Güneş enerjisi üretimi yakın gelecekte çok daha cazip hale gelecektir. Türkiye, Güneş enerjisi konusunda oldukça şanslı bir coğrafik konumda olmasına rağmen, sahip olduğu potansiyeli bugün için yeterince kullanamamaktadır. Bu da ülkemiz için önemle ele alınması gereken bir konudur [152].

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, Güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Özellikle temiz bir enerji kaynağı olması ve kurulumdan sonra düşük maliyetle çalışması Güneş enerjisinin önemini arttırmaktadır.

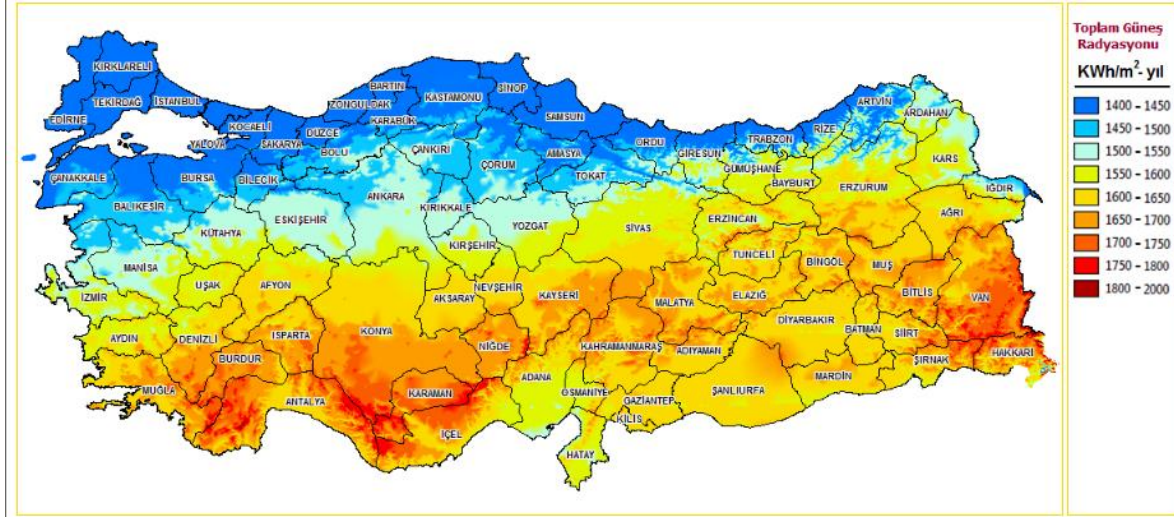
Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle yüksek Güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Enerji Bakanlığınca hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır.

Güneş Modeli:

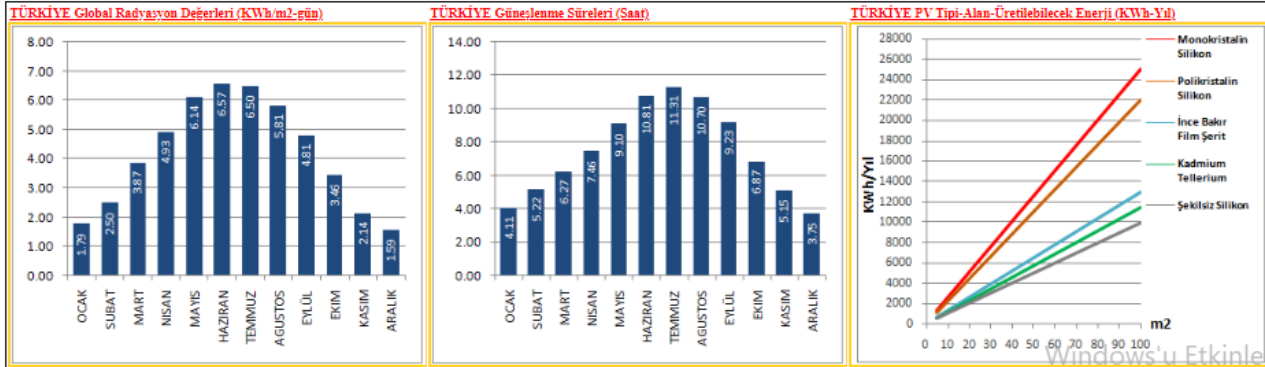
Türkiye Güneş Modeli, Coğrafi Bilgi Sisteminde kullanılan “ESRI Solar Radiation Model”ve aşağıdaki temel parametreler kullanılarak hazırlanmıştır.

- Eğim-Bakı-Gölgelenme Hesaplamaları için, Türkiye 1/100.000’lik topoğrafik haritadan üretilmiş yatayda 500m x 500m grid boyutlarına sahip Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)
- Türkiye 36-42 Derece Enlem Değerlerine Ait Alanlar
- Gökyüzü Açıklılık İndeksi (Sky Size Index)
- 32 yönde Zenit ve Azimut Açıları
- Açık ve Kapalı Gökyüzü Hesaplama Metodları
- Modelde kullanılacak parametrelerin hesaplanması ve model kalibrasyonunun yapılması için EİE ve DMİ istasyonlarında 1985- 2006 yıllarına ait ölçüm yapılan 22 yıllık saatlik Güneş ölçüm değerleri

- Gökyüzü Işık İletim Katsayısı (Transmittivity) ve Gökyüzü Açıklığı (DiffuseProportion)
- Yeryüzü Güneş Işını Yansıtma Değerleri (SurfaceAlbedo)
- Modelin Kullanılması sonucunda, 12 aya ait günlük değerlerden elde edilen aylık ortalamaları içeren aşağıdaki bilgiler 500m x 500 m grid haritası olarak elde edilmiştir.
- Toplam Güneş Radyasyonu(kwh/m2-gün)
- Direkt Güneş Radyasyonu(kwh/m2-gün)
- ØDifüz Güneş Radyasyonu(kwh/m2-gün)

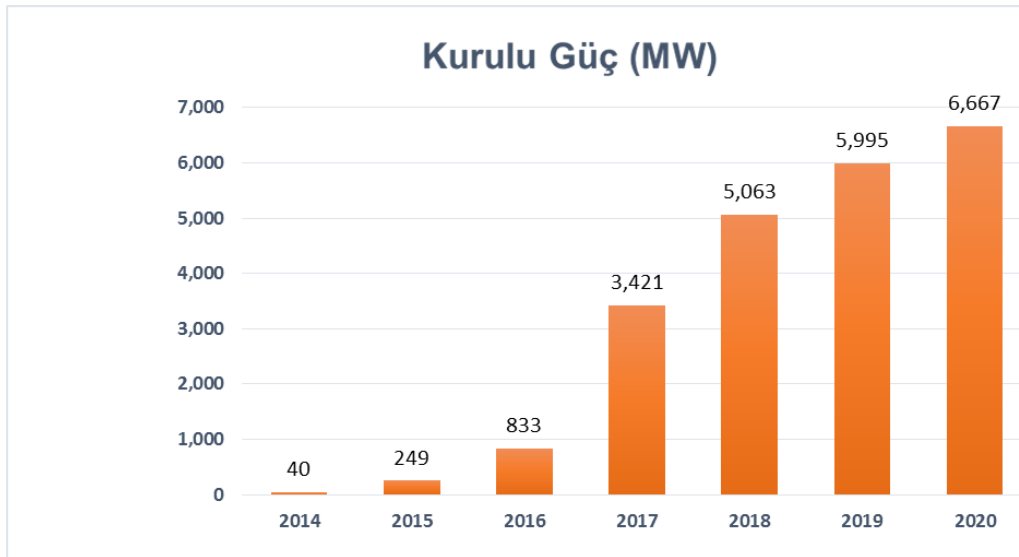


Şekil 85. Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu

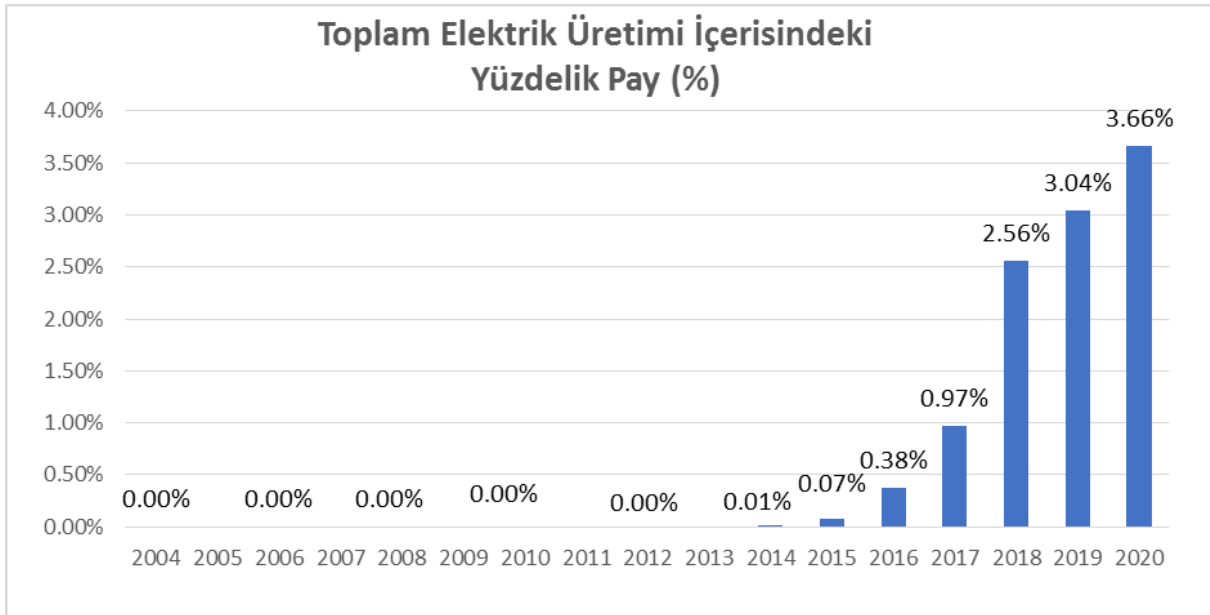


Şekil 86. Türkiye'nin global radyasyon değeri – güneşlenme süreleri – PV tipine göre üretililecek enerjisi

Türkiye'nin Aralık 2020 sonu itibariyle Güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 6.667 MW, toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %3,6 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam elektrik üretimi içerisindeki payı aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır.



Şekil 87. Türkiye'nin toplam kurulu gücü



Şekil 88. Türkiye'de Güneş enerjisinin toplam elektrik üretimi içerisindeki yüzdeler payı

14.1.1 Çatı ve Cephe Uygulamalı Güneş Potansiyeli

2019 yılı mayıs ayında Cumhurbaşkanlığı Kararı ile lisanssız faaliyet yapabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinin kurulu güç üst sınırı 1 MW'tan 5 MW'a çıkarılmıştır. Karar kapsamında kurulu gücün tüketim tesisinin bağlantı anlaşması sözleşme gücü ile sınırlı olması ve üretim ve tüketimin aynı ölçüm noktasında bulunması esası benimsenmektedir. Karar ile kurulan çatı ve cephe uygulamalı Güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerinde üretilen ihtiyaç fazlası elektrik için EPDK tarafından ilan edilen kendi abone

grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedelinin, tesisin işletmeye giriş tarihinden itibaren 10 yıl süreyle uygulanması kararlaştırılmıştır [153].

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de 9,1 milyon adet bina bulunmaktadır ve bu miktarın yaklaşık %87’sini konut nitelikli binalardan oluşmaktadır. Türkiye’nin bina stokuna her yıl 100.000’den fazla yeni bina eklenmektedir. Bu binaların çatı ve cephelerine önümüzdeki 10 yıl içinde toplam 2.000 – 4.000 MW seviyelerinde Güneş modülü sistemlerinin kurulabileceği öngörülmektedir. Ülkemizde değerlendirilebilecek çatı alanları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.



Şekil 89. Güneş enerjisi santrali kurulumu için değerlendirilebilecek çatı alanları

Sanayi, konutlar veya bireysel amaçlı kullanımlar için gerek duyulan enerji ihtiyacını, bitkilerde olduğu gibi doğrudan Güneş’ten sağlamak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple Güneş enerjisi çeşitli şekillerde dönüştürülerek kullanılabilir. Güneş ışınlarından yararlanmak için pek çok teknoloji geliştirilmiştir. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte bir kısmı Güneş enerjisini ışık ya da ısı enerjisi şeklinde direk olarak kullanırken, diğer teknolojiler Güneş enerjisinden elektrik elde etmek şeklinde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin kullanım alanları arasında, doğrudan veya dolaylı elektrik üretimi, sıcak su elde edilmesi, alan ısıtma ve soğutma, sanayi kuruluşları için proses ısı enerjisi ve sera ısıtması sayılabilmektedir. 01 Ocak 2021 itibariyle Enerji Bakanlığına yapılan çatı başvurularına ait bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Tablo 16. Çatı Uygulamalı GES Başvurusu Sayısı Tablosu [154].

ÇATI UYGULAMALI GES BAŞVURULARI			
ABONE TİPİ	DÖNEMLER	KURULU GÜÇ (MW)	ADEDİ
SANAYİ	10/05/2019 ÖNCESİ	670,52	2429
	10/05/2019 SONRASI	2868,90	4355
	TOPLAM	3539,42	6784
MESKEN	10/05/2019 ÖNCESİ	10,07	1090
	10/05/2019 SONRASI	14,00	1410
	TOPLAM	24,07	2500
GENEL TOPLAM		3563,49	9284

8 Ocak 2011 tarihli ve 27809 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 6094 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile yenilenebilir enerji kaynaklarına kaynak türüne ve yerlilik oranına göre teşvik verilmesi düzenlenmiştir. Bu çerçevede EPDK tarafından hazırlanan yönetmelik ile Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizmasının ayrıntıları belirlenmiştir.

“Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik” 01/10/2013 tarihli ve 28782 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretiminin teşvik edilmesine yönelik olarak üretim lisansı sahiplerine Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi verilmesi ve YEK Destekleme Mekanizmasının (YEKDEM) kurulmasına ve işletilmesine ilişkin esaslar düzenlenmiştir.

Tablo da yıllar itibariyle lisanslı YEKDEM katılımcı sayısı verilmiş olup katılımcı sayısı ve kurulu gücünde artış devam etmektedir. 2020 yılında YEKDEM kapsamında faaliyet gösteren toplam kurulu gücü 21.146,1 MW olan 821 adet lisanslı santral bulunmaktadır.

Tablo 17. Yıllar İtibariyle Lisanslı YEKDEM Santral Sayısı (Adet)

Türü	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Güneş	-	-	-	-	-	-	2	3	9	17
Hidrolik	4	44	14	40	126	388	418	447	463	463
Rüzgar	9	22	3	21	60	106	141	151	160	165

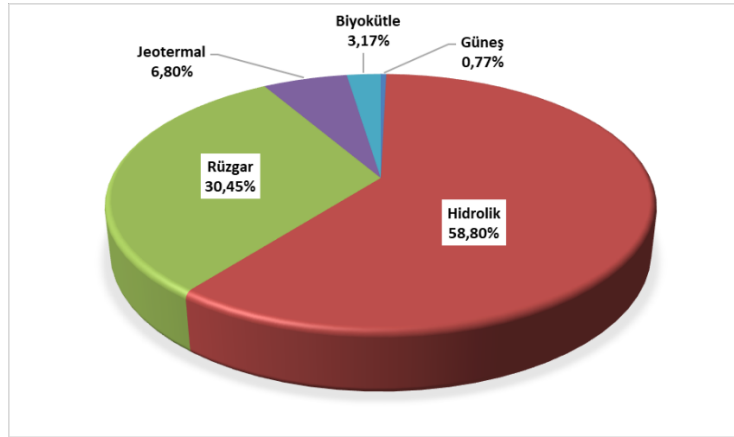
Biyokütle	3	8	15	23	34	42	57	70	100	126
Jeotermal	4	4	6	9	14	20	29	37	45	50
Genel Toplam	20	78	38	93	234	556	647	708	777	821

YEKDEM kurulu gücünün kaynak türüne göre dağılımına bakıldığında, 12.434,7 MW ile hidrolik santrallerin en yüksek paya sahip olduğu, 6.440,0 MW ile rüzgâr santrallerinin ise ikinci sırada yer aldığı görülmektedir.

Ayrıca, lisanssız elektrik üretimi kapsamında 2020 yılı sonu itibariyle 6.823,47 MW'lık kurulu gücün doğal gaz hariç 6.420,80 MW'lık kısmı da YEKDEM kapsamında işlem görmektedir.

Lisanssız santraller de dahil olmak üzere YEKDEM kapsamındaki kurulu gücün Türkiye toplam kurulu gücüne oranı 2019 yılında %22,92 iken, 2020 yılında bu oran %22,07 olmuştur.

Şekil 90'da 2020 yılı YEKDEM kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı görülmektedir.



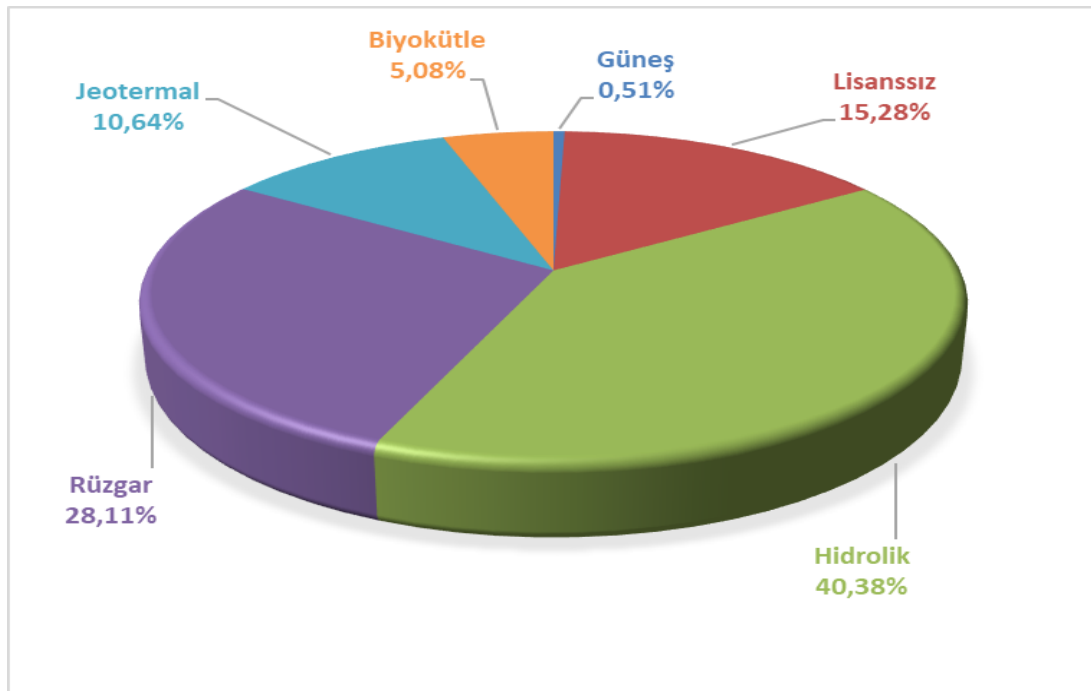
Şekil 90. 2020 Yılı YEKDEM kurulu gücünün kaynaklara dağılımı (%)

YEKDEM katılımcılarının üretimlerinin yıllar itibariyle gelişimi Tablo 18'de gösterilmektedir. Lisanssız santraller de dahil olmak üzere 2020 yılı YEKDEM üretimi önceki seneye göre yaklaşık %4,16 azalarak 73,48TWh'e ulaşmıştır.

Tablo 18. Yıllar İtibariyle YEKDEM Katılımcılarının Yıllık Üretim Miktarları (MWh)

Türü	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Güneş	-	-	-	-	24.269	39.140	159.961	375.476
Lisanssız	884	29.316	223.537	1.134.023	2.997.551	8.078.418	9.830.849	11.229.723
Hidrolik	528.427	1.072.832	5.651.215	16.212.717	17.213.394	27.369.727	36.961.886	29.671.021
Rüzgâr	223.243	2.378.819	8.275.992	14.163.402	16.765.418	19.002.863	19.900.973	20.658.797
Jeotermal	857.527	1.436.579	2.710.856	3.706.764	4.503.345	5.968.202	6.997.209	7.816.509
Biyokütle	750.715	957.223	1.082.913	10.613.594	8.992.792	2.047.082	2.817.209	3.730.699
Genel Toplam	2.360.795	5.874.769	17.944.514	45.830.502	50.496.769	62.505.431	76.668.087	73.482.227

2020 yılı YEKDEM kapsamındaki üretiminin kaynak türlerine dağılımı Şekil 91’de gösterilmektedir. En fazla üretim sırasıyla hidrolik ve rüzgârdan elde edilmiştir.



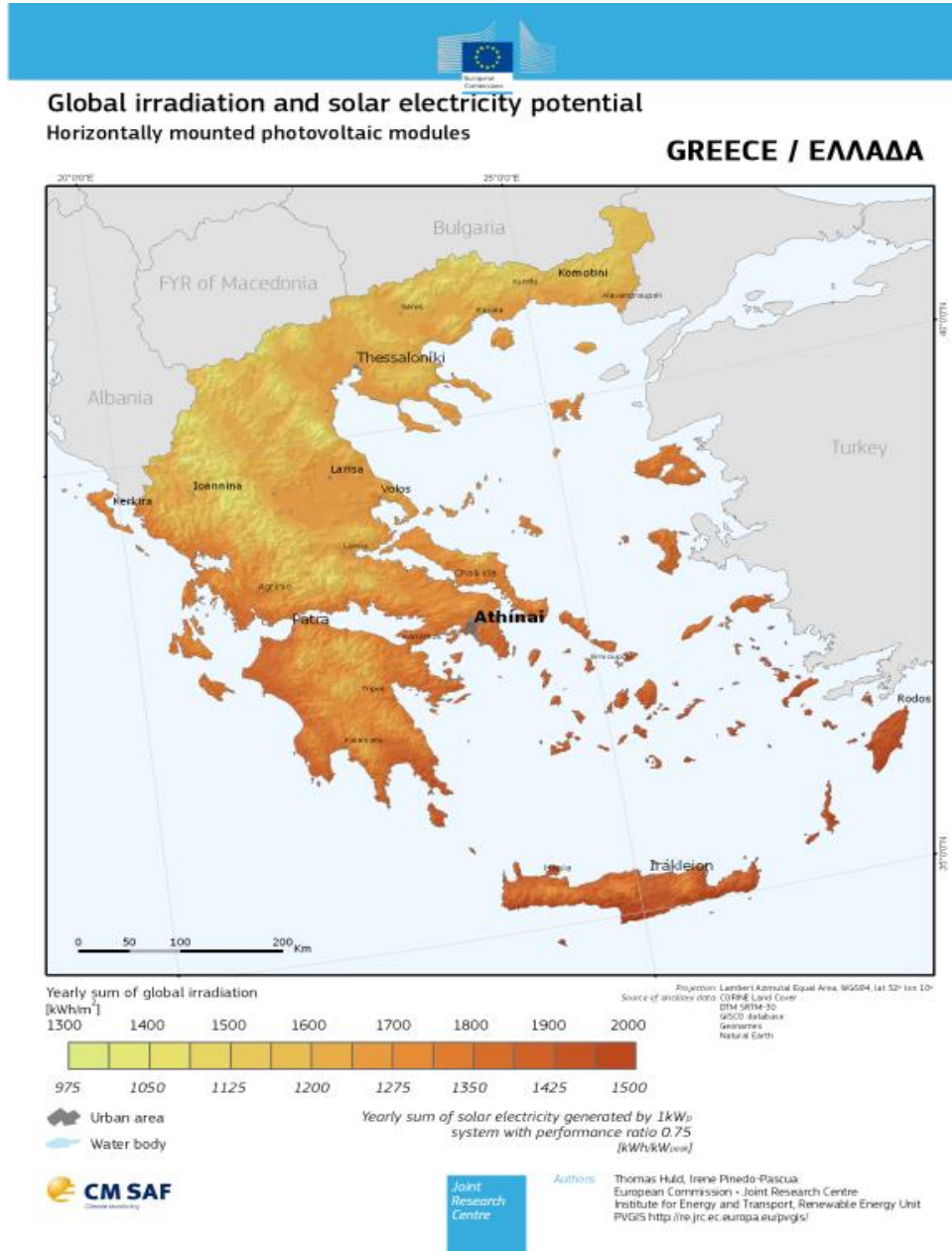
Şekil 91. 2020Yılı YEKDEM üretiminin kaynaklara dağılımı (%)

2019 yılında YEKDEM kapsamında üretim yapan santrallerin üretimlerinin ülke toplam elektrik üretimine oranı %25,21 seviyesinde iken, 2020 yılında bu oran %24,07 olarak gerçekleşmiştir.

2020 yılı YEKDEM üretiminin aylık gelişimine bakıldığında, bahar aylarında gerçekleşen yağışlar ile hidrolik üretimde ve dolayısıyla YEKDEM üretim miktarında da artış gerçekleştiği görülmektedir. Diğer kaynaklardan ise yıl boyunca daha istikrarlı bir üretim gerçekleşmiştir [155].

14.2 Yunanistan'da Güneş Enerjisi Sistemleri

Termal Güneş kollektörlerinin kurulumu 1980'lerin başında başlarken, 2010 – 2020 yılları arasında yeni kurulan termal SES kapasitesinin gelişimi biraz artan bir trend izledi. 2020 yılında Yunanistan, 4.989.550 m² kollektör alanına karşılık gelen yaklaşık 3493 MWth işletme kurulu gücü ile Dünya'da 5. ve Avrupa'da 2. sırada yer aldı [156].



Şekil 92. Yunanistan global güneş enerjisi potansiyeli

2019 yılından bu yana, 2030 yılına kadar elektrik üretiminde daha yüksek GES paylarına giden Yunanistan Enerji Piyasası dönüşümü ve daha az katı çevresel lisans prosedürleri gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Sonuç olarak, 2021’de 4000 MWp’nin üzerinde bir fotovoltaik kurulu kapasite ve ortalama enerji verimi yaklaşık 1500 kWh/kW ve çatılarda PV için yaklaşık 1300 kWh/kW şeklinde gerçekleşmiştir. Aynı yıl, PV kurulumları yaklaşık 8850 iken, PV’ler ülkenin toplam yıllık elektrik üretimine 2020 yılına göre biraz daha fazla %9,6 katkıda bulunmuştur [137].

14.3 Birleşik Krallık’ta Güneş Enerjisi Sistemlerinin Potansiyel Kullanımı

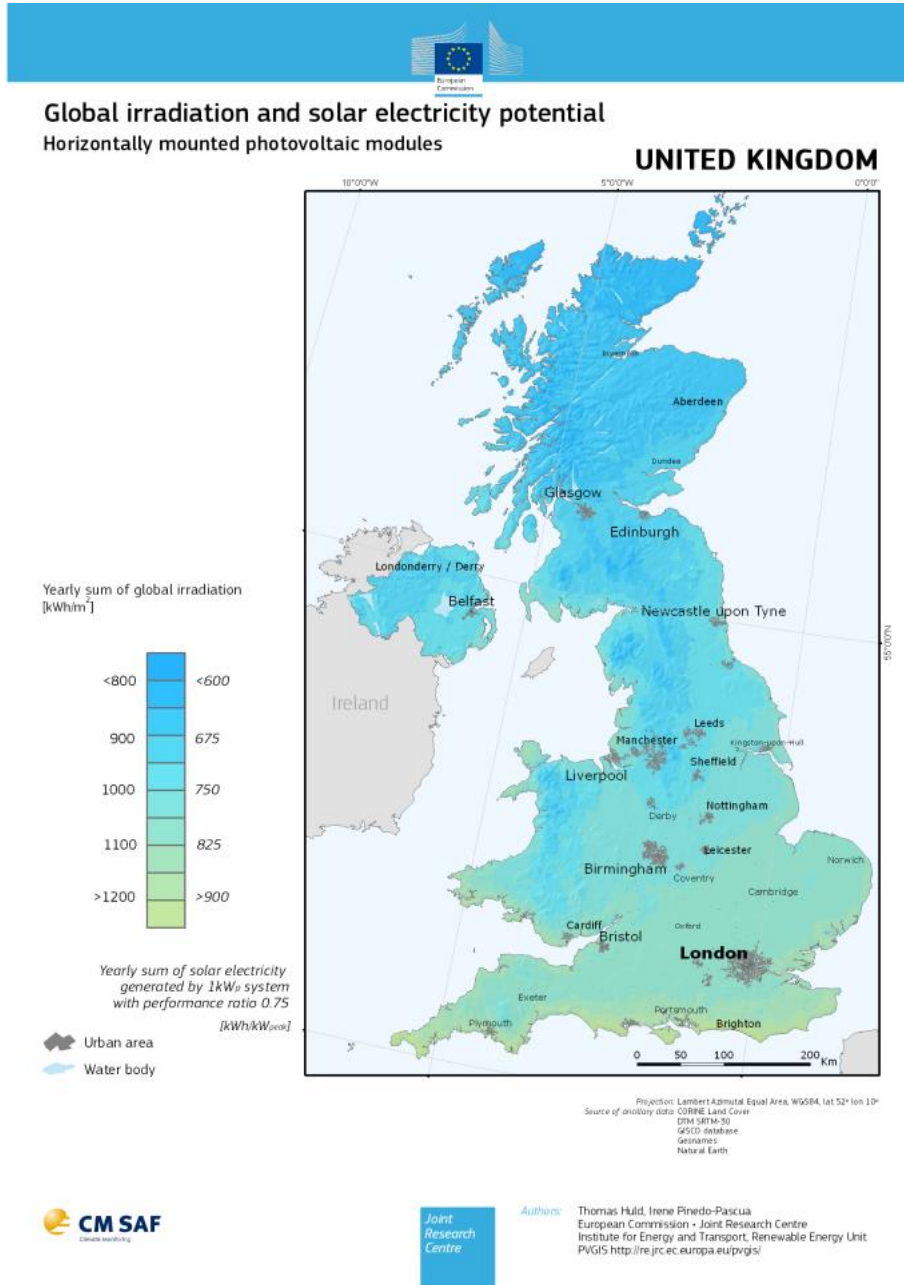
Nisan 2020 ve Mayıs 2020, Güneş'in Birleşik Krallık'ta değerli bir enerji kaynağı olduğunu kanıtlandığı tarihler olarak belirtilmektedir. Nisan 2020 Güneş enerjisi 9,68 GW üreterek tüm zamanların yeni bir zirvesine ulaşırken, Mayıs 2020 Güneş enerjisi Birleşik Krallıktaki tüm elektriğin %11'ini sağladı [158]. Birleşik Krallık coğrafi olarak Avrupa'nın en Güneş'li ülkelerinden biri olarak görülmemektedir. Ayrıca rüzgar, hidro ve jeotermal gibi birçok doğal enerji kaynağına sahiptir, ancak Güneş enerjisi büyümeye devam ederek Birleşik Krallık'ın enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Birleşik Krallık'ta Güneş enerjisi kullanımı 3 pazara ayrılmıştır:

- Büyük Ölçekli - Yere Monteli "Güneş enerjisi santralleri" (>5000 K/W sistem),
- Ticari Çatı Üstü (12,5 KW - 250 kW),
- Konut Çatısı (3 kW – 12,5).

Büyük ölçekli Güneş enerjisi çiftlikleri, son 3 yılda %75'lik bir artış görmüş ve toplamda >5000KW'a sahip 345 Güneş enerjisi çiftliğine ulaşmıştır. Büyük ölçekli Güneş enerjisinin iyi bir örneği, 55 milyon euroya mal olan 310 dönümlük Chapel Lane Güneş Çiftliği sayılmaktadır. 51,3 MW enerji üretimine sahip ve 60.000 Haneye elektrik sağlamaktadır. Bu, Güneş çiftliklerinin kasabalara ve küçük şehirlere güç sağlama potansiyelini göstermektedir. Birleşik Krallık hükümeti yakın zamanda yeni büyük ölçekli gelişmeler için 269 mevcut başvuru olduğunu bildirmiştir [159]. Bu da mevcut Güneş enerjisi çiftliklerinin mali açıdan istikrarlı olduğunu göstermektedir.

Ticari Çatı Alanı Solar (12 KW – 250KW) kurulumları 250.000 hektara yayılmıştır. Bu oran diğer iki pazara göre oldukça küçük bir miktardır. Argümanlar, ticari işletmelerin 20 – 25 yıllık bir taahhütte bulunmakla ilgilendiğini ve ilk ödemenin diğer iş kaynaklarına harcanmasının daha iyi olabileceğini düşündürmektedir.



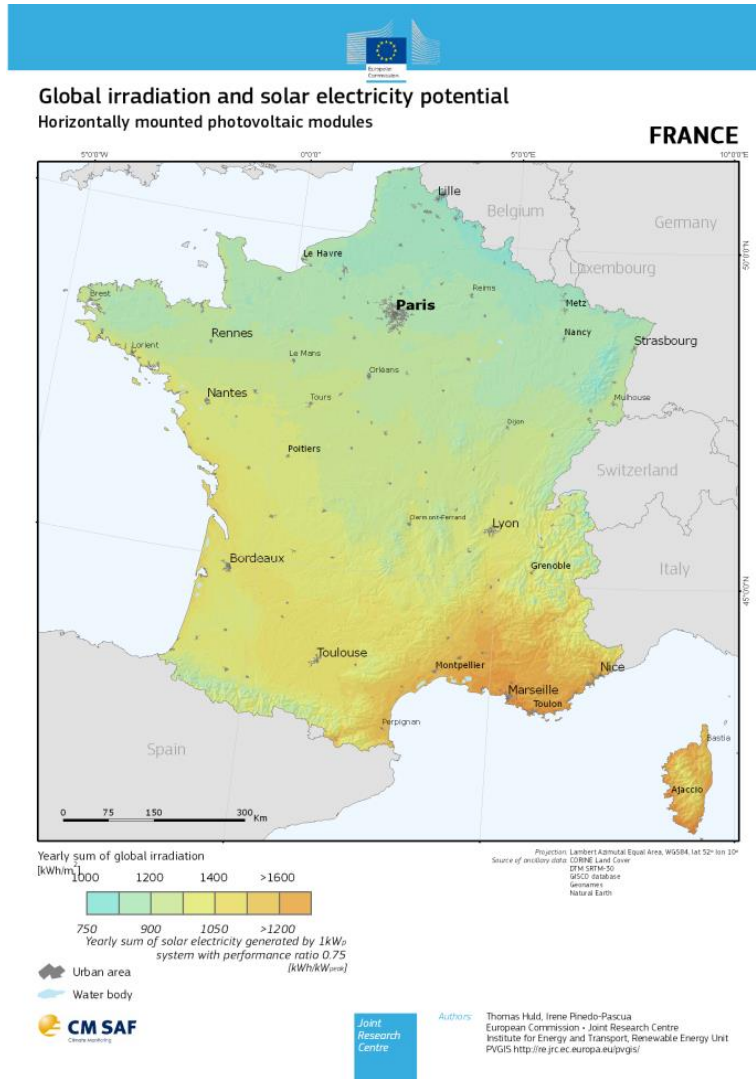
Şekil 93. Birleşik Krallık'ta güneş enerjisi potansiyeli

Birleşik Krallık'ta Yurtiçi Güneş Enerjisi, 1 milyondan fazla haneye elektrik sağlayarak 14.000 MW'ın üzerinde üretim sağlamaktadır. Bu oran, Birleşik Krallıktaki yerel kullanımın neredeyse %12'sine [160] denk gelmektedir. Tüm Avrupa ülkeleri arasında en yüksek üçüncü sırada yer alır. Aslında, bu alan büyüme için iyi bir potansiyele sahiptir. Daha önce Birleşik Krallık hükümetlerinin Yenilenebilir Enerji Yükümlülük Sertifikaları planı, Güneş enerjisi pazarının yönlendirilmesine yardımcı olmuş, ancak 2018'de geri çekildiğinde konut Güneş enerjisi bir gerileme görmüştür. Bu da hükümet tarafından tespit edilerek yakın zamanda Akıllı İhracat Garantisi [161] ile bir plan geliştirilmiştir. Buna Güneş panellerinin maliyetinde bir düşüş eşlik etmiştir ve yeni alıcılar piyasaya akın ederek yerel Güneş enerjisi oranını %17'ye ulaştırmıştır.

Birleşik Krallık'ta Güneş enerjisi için büyüme tahmini, gelecekte düşeceği tahmin edilen panel maliyetleri ve Güneş kiremitleri ve pencereler gibi yeni teknolojilerle oldukça büyük oranlardadır.

14.4 Fransa'da Güneş Enerjisi Sistemlerinin Durumu

Fransa son dönemde 10,7 GW'ın üzerinde Güneş enerjisiyle üretilen elektriğin yeni bir zirvesine ulaşmıştır. Bu oran 10 nükleer santralin ortalama olarak üretebileceği miktara eşdeğerdir. Fransa'nın elektriğinin %26'sının Güneş enerjisinden elde edildiği belirtilmektedir. Fransa, özellikle geçen yıl Güneş enerjisi kapasitesini büyük ölçüde artırmıştır. 2021'in üçüncü çeyreğinin sonunda, Fransa'nın elektrik şebekesi operatörü Enedis, şebekeye 2020'nin tamamındakinden daha fazla, yani 40.000'in üzerinde Güneş paneli bağlamıştır.



Şekil 94. Fransa'da güneş enerjisi potansiyeli

Fransa'daki bağlı Güneş paneli sayısını 500.000'in üzerine çıkmıştır ve toplamda 11GW potansiyel çıkış sağlamaktadır. Bu miktar, 2,9 milyon haneye elektrik sağlamak için yeterlidir. Kurulumlar arasında yere monte veya yüzer Güneş enerjisi santralleri de bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

1. UEA, <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables> (Aralık 2021)
2. Durak, A., Aktaş, A., Güneroğlu, A., Kuşçu, N. S. B., Kuşçu, Y. (2021). Meslek Elektrik – Elektronik. Ankara: Meb
3. Koç, E., Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları – Yenilenebilir Enerji Durumu, Mühendis Ve Makina 56(668), 36-47
4. Güneş Diye Bir Yıldız, 1991, G.Gamow -1
5. Güneş Enerjisi Uygulamaları Prof. Dr. Doğan İbrahim, Bileşim Yayınevi, İstanbul 2006 -2
6. Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları, Doç. Dr. H. Hüseyin Öztürk, Çukurova Üni. Ziraat Fak. Tarım Makineleri Böl., Birsen Yayınevi, İstanbul 2008 -3
7. Enerji, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 2002 -4
8. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No:2927 Açık Öğretim Fakültesi Yayını No:1884 -6
9. Güneş Enerjisi Slaytları, Prof. Dr. Olcay Kıncay -7
10. Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemleri, Doç. Dr. Mustafa Tırıs, Dr. Çiğdem Tırıs, Tübitak, Mam Enerji Sistemleri Ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 1997 -8
11. Göksan Gül, “Güneş Gözelerinin Üretilmesinde Son Gelişmelerin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temiz Ve Tükenmez Enerjiler Anabilim Dalı, Ankara, 2008.
12. John A. Duffie, William A. Backman, Solar Engineering Of Termal Processes, 1980 By John Wiley & Sons Publishing Company Usa -9
13. Sol Wieder, An Introduction To Solar Energy For Scientists And Engineers, 1992, Krienger Publishing Company, Malabar, Florida -11
14. [Http://Www.Yegm.Gov.Tr/Yenilenebilir](http://Www.Yegm.Gov.Tr/Yenilenebilir) (Temmuz 2018).
15. [Https://Www.Enerji.Gov.Tr/Tr-Tr/Sayfalar/Gunes](https://Www.Enerji.Gov.Tr/Tr-Tr/Sayfalar/Gunes) 25.6.2019
16. [Http://Www.Yegm.Gov.Tr/Mycalculator/Default.aspx](http://Www.Yegm.Gov.Tr/Mycalculator/Default.aspx) (Temmuz 2018).
17. [Https://Enerji.Gov.Tr/Eigm-Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklar-Gunes](https://Enerji.Gov.Tr/Eigm-Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklar-Gunes) (18.02.2021)
18. Demir, İ., Enerji, 1. Baskı, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, 2001.
19. [Http://Www.Alternaturk.Org/Gunes_Pili_Tarih.Php](http://Www.Alternaturk.Org/Gunes_Pili_Tarih.Php)
20. Chapin, D.M., Fuller, C.S. And Pearson, G.L., 1954, A New Silicon P-N Junction Photocell For Converting Solar Radiation Into Electrical Power, Journal Of Applied Physics, Vol. 25, Pp. 676-677.
21. Green, M.A., 1987, High Efficiency Silicon Solar Cells, Trans Tech Publications, Aedermannsdorf, Switzerland
22. www.Dunyaenerji.Org.Tr/Gunes-Enerjisinin-Gelecegi/ (9 Nisan 2018)
23. www.Elektrikde.Com/Gunes-Enerjisi-Nedir-Avantajlari-Ve-Dezavantajlari-Nelerdir/ (14 Mart 2019)
24. Kocakuşak, R. (2018) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin, Türkiye’deki Önemi Ve Ges Kurulum Aşamaları, Ankara: Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi
25. www.Enerjiportali.Com/Turkiye-Elektrik-Enerjisi-Uretim-İstatistikleri-Mart-2021/ (2 Nisan 2021)
26. www.Aa.Com.Tr/Tr/Ekonomi/Turkiyenin-Enerji-Haritasinda-Yesilin-Payi-Artiyor/2280401 (21 Haziran 2021)
27. [Https://Www.Enerjiatlası.Com/Ulkelere-Gore-Gunes-Enerjisi.Html](https://Www.Enerjiatlası.Com/Ulkelere-Gore-Gunes-Enerjisi.Html) (Mayıs, 2021)
28. Çetin, S., Turan, E., Bayrakdar, E. (2019) Türkiye’nin Güneş Enerjisi Politikaları, Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 54(2) 2019 949-968

29. H. S. Saner, "Türkiye'de Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi Ve Çevresel Etkileri: Karapınar Ve Karaman Enerji İhtisas Endüstri Bölgeleri Örneklerinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi Ve Kamu Yönetimi (Kent Ve Çevre Bilimleri) Ana Bilim Dalı, 2015
30. Güneş Enerjisi Santrallerinin İncelenmesi Ve Verimlilik Analizi, Melike Doğan
31. Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı Ve İşletilmesi, Cebrail Güneş)
32. [Www.Solar-Academy.Com/Menu_Detay.Asp?İd=1862](http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=1862) (Ocak, 2012)
33. [Tr.Wikipedia.Org/Wiki/G%C3%Bcne%C5%9f_Paneli](http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%Bcne%C5%9f_Paneli) (19 Ocak 2022)
34. [Tureco.Com.Tr/Blog/Gunes-Panelleri-Nedir](http://tureco.com.tr/blog/gunes-panelleri-nedir) (11 Nisan 2021)
35. [Https://Www.Powerenerji.Com/İnvertor-İnverter-Nedir-Solar-Panel-Gunes-Enerjisi-Elektrik-Uretim.Html#:~:Text=%C4%B0nverter%2c%20g%C3%Bcne%C5%9f%20enerjisi%20elektrik%20%20%C3%Bcretimi,Alternatif%20ak%C4%B1m\)%20a%20d%C3%B6n%C3%Bc%C5%9f%20%20Bclmesi%20gerekmektedir.](https://www.powerenerji.com/invertor-inverter-nedir-solar-panel-gunes-enerjisi-elektrik-uretimi.html#:~:Text=%C4%B0nverter%2c%20g%C3%Bcne%C5%9f%20enerjisi%20elektrik%20%20%C3%Bcretimi,Alternatif%20ak%C4%B1m)%20a%20d%C3%B6n%C3%Bc%C5%9f%20%20Bclmesi%20gerekmektedir.) (24 Eylül 2020)
36. [Acikders.Ankara.Edu.Tr/Pluginfile.Php/61982/Mod_Resource/Content/0/11.Hafta.Pdf](http://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61982/Mod_Resource/Content/0/11.Hafta.Pdf) (Ocak 2022)
37. [Www.Mevzuat.Gov.Tr/File/Generatepdf?Mevzuatno=9721&Mevzuattur=Kurumvekurulusyonetmeligi&Mevzuattertip=5](http://www.mevzuat.gov.tr/file/generatepdf?mevzuatno=9721&mevzuattur=Kurumvekurulusyonetmeligi&mevzuattertip=5) (12 Ocak 2020)
38. Baş, H.C., (2016), Fotovoltaik Sistemlerin Performans Değerlendirmesi, Karabük: Yayımlanmamış Bitime Tezi.
39. Gibilisco, S., The Illustrated Dictionary Of Electronics. Mcgraw-Hill Companies, New York, Isbn 0-07-137259-9. 547, 2001
40. Boztepe, M., Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, İzmir: Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü.
41. Muhammed Hüseyin Karabul "Türkiye'de Fotovoltaik Ve Rüzgar Enerjisi Uygulamalarının Ülke Verileri Ve Mevcut Teknolojiler Kapsamında İstatistiksel Olarak Analizi" T.C. Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Fizik Anabilim Dalı, Gebze, 2019
42. Başoğlu M., Kazdaloğlu A., Bilgin M., Erfidan T., Çakır B., (2014), "Farklı Güneş Paneli Teknolojilerinin Kocaeli İli İçin Performans Değerlendirmesi", Elektrik Elektronik Bilgisayar Ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.
43. Arslan İ.,(2018), "Tekirdağ Koşullarında Polikristal Ve Monokristal Tip Pv Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi.
44. İmamoğlu Ü., (2015), "Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal Ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırması", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
45. Öztürk A., (2012), "Monokristal Ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi.
46. Eldin Hossam A., Gabra C., Ahmed H.H. Ali., (2014), "A Comparative Analysis Between The Performances Of Monocrystalline, Polycrystalline And Amorphous Thin Film In Different Temperatures At Different Locations In Egypt", Alexandria University, Alexandria, Egypt.
47. Raza M., Amin R., Malik A., Kası M., Muhammad F., (2017), "Analysis Of The Impact Of Environmental Factors On Efficiency Of Different Types Of Solar Cells", Balochistan University Of Information Technology Engineering And Management Sciences, Sibi, Pakistan.
48. Anıl Akar, "Bir Güneş Enerji Santralının Kurulumu Ve Performansının Analizi", Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mayıs-2016
49. Bozkaya, U. Güneş Enerji Santrallerinin Kurulum Ve Üretim Maliyetleri 15 Haziran 2022 [Https://Sehatek.Com.Tr/Blog/Gunes-Enerji-Santrali-Maliyetleri](https://sehatek.com.tr/blog/gunes-enerji-santrali-maliyetleri)

50. Cakmak, O. (1.10.2017) Güneş Enerji Santrallerinde Karşılaşılan Arızalar, Bakım Ve Onarım Önerileri15.06.2022 <https://www.hangesenerji.com/Gesde-Karsilasilan-Arizalar-Ve-Bakim>
51. Dağlı A., Karaköse E., Durmuş A. (2019) Solar Panellerde Arıza Analizi 3rd International Symposium On Innovative Approaches In Scientific Studies, Ankara www.set-science.com/Manage/Uploads/Isas2019-Ens_0042/Setsci_Isas2019-Ens_0042_0088.Pdf
52. Emo Enerji Verimliliği Komisyonu. Inverter Seçimi 18 Haziran 2022 https://www.emo.org.tr/Ekler/1a039a2adc22875_Ek.Pdf
53. K. Osmani, A. Haddad, T. Lemanond, B. Castainer Ve M. Ramadan, A Review On Maintenancestrategiesfo Pv Systems Science Of The Total Environemn, No. 746, 2020.
54. N. W. Alnaser, M. J. Al Othman, A. A. Dakhel, I. Batarseh, J. K. Lee, S. Najmaii, A. Alothman, H. Al Shawaikh Ve W. E. Alnaser, Comparisonbetweenperformance Of Manmadeandnaturallycleaned Pv Panels İn A Middle Of A Desert. Renewableandsustainableenergyreviews, No. 82, Pp. 1048-1055, 2018.
55. A. Mohamed Ve A. Hasan, Effect Of Dust accumulation On Performance Of Photovoltaic Solar Modules İn Sharaenvironment. Journal Of Basicandappliedscientificresearch, Pp. 11030-11036, 2012.
56. A. El-Nashar, Effect Of Dustaccumulation On Theperformance Of Evacuatedtubecollectors, Solar Energy, No. 53, Pp. 105-115, 1994.
57. R. Tejwani Ve C. Solanki, 360° Sun Trackingwithautomatedcleaningsystemfor Solar Pv Modules, %1 İçinde 35th Ieee Photovoltaicspecialistsconference, 2010.
58. S. Masuda, K. Fujibayashi, K. Ishida Ve H. Inaba, Confinement And Transportation Of Charged Aerosol Clouds Via Electric Curtain, Electrical Engineering, Pp. 43-52, 1972.
59. M. K. Mazumder, R. Sharm, A. S. Biris, J. Zhang, C. Calle Ve M. Zahn, Self Cleaningtransparentdustshieldsforprotectingsolarpanelsandotherdevices, Partscientific Technologies, No. 25, Pp. 5-20, 2007.
60. M. Mazumder, M. Horenstein, J. W. Stark, P. Girouard, R. Summer Ve O. Sad, Characterization Of Electrodynamicscreenperformancefordustremovalfrom Solar Panels Solar Hydrogengenerators, Ieee Transactionsindustrialaplications, No. 49, Pp. 1793-1800, 2013.
61. F. Ju Ve X. Fu, Research On İmpact Of Dust On Solar Photovoltaic (Pv) Performance, Internationalconference On Electricalandcontrolengineering (Icece), Yichang, China, 2011.
62. [B. Marion, R. Schaefer, H. Caine Ve G. Sanchez, Measured and modeled photovoltaic system energy loses from snow for colerado and Wisconsin Locations, Solar Energy, No. 97, Pp. 112-121, 2013.
63. R. Andrews, A. Pollard Ve J. M. Pearce, «Theeffects Of Snowfall On Solar Photovoltaicperformance, Solar Energy, No. 92, Pp. 84-97, 2013.
64. M. Ross, Snowandiceaccumulation On Photovotaicarrays, Golden Colerado United States: Energydiversificationresearchlaboratory, Canmet, Naturalresourcescanada, Canada, 1995.
65. P. Chaudhary Ve M. Rizwan, Voltageregulationmitigationtechniques İn Distributionsystemwithhigh Pv Penetration: A Review, Renew. Sust. Energ. Rev. No. 82, Pp. 3279-3287, 2018.
66. N. Takehra, N. Manabe Ve C. Kaisha, Photovoltaicpowergeneratingsystem, 2000, Pp. 210-258.
67. P. Garvison Ve D. Warfield, Photovoltaicmodulemountingunitandsystem, 2005.
68. R. Pawluk, Y. Chen Ve Y. She, Photovoltaicelectricitygenerationlllossduetosnow- A Literaturereview On Influncefactors, Estimationandmitigation, Renew.,Sust. Energ. Rev, No. 107, Pp. 171-182, 2019.

69. [R. Pawluk, Y. Chen Ve Y. She, Photovoltaicelectricitygenerationllossduetosnow- A Literaturereview On Influncefactors, Estimationandmitigation, Renew., Sust. Energ. Rev, No. 107, Pp. 171-182, 2019.
70. P. Borrebeak, B. Jelle Ve Z. Zhang, Aavoidingsnowıceaccretion On Buildingintegratedphotovoltaics- Channleges, Strategies, Andopportunities, Solar Energymaterialand Solar Cells,, No. 206, Pp. 7-8, 2020.
71. Trafo Bakımı Ve Testleri 23.01.2022 <https://Www.Topraklamaolcumu.Net/Trafo-Bakimi>
72. Güneş Enerjisi Santrallerinin Iec 62446 Ve Iec 60891 Kapsamında Denetlenmesi 18.06.2022 <https://Www.Solardoktor.Com.Tr/Hizmetlerimiz/Gunes-Enerjisi-Santrallerinin-Iec-62446-Ve-Iec-60891-Kapsaminda-Denetlenmesi/>
73. Akım Gerilim IV Testleri 18.06.2022 <https://Www.Solardoktor.Com.Tr/Hizmetlerimiz/Akim-Gerilim-Iv-Testleri/>
74. Denetim Test Ve Ölçüm Hizmeti 18.06.2022 <https://Www.Proerk.Com/Ges-Denetim-Hizmetleri.Html>
75. I Ve V Curve Ölçümü 18.06.2022 <https://Www.Solarbakim.Com/Services/I-V-Curve-Olcumu/>
76. Ergin A.,E., Emo Enerji Verimliliği Komisyonu 18.06.2022 https://Www.Emo.Org.Tr/Ekler/1a039a2adc22875_Ek.Pdf
77. Havadan Arıza Tespiti 18.06.2022 Www.Teblegirisim.Com/Girisimdetay/Ges%20havadan%20ar%C4%B1za%20tespit%20/42
78. Güneş Panellerinin Ömür Ne Kadardır? 20.06.2022 <https://Www.Solarenerjin.Com/Gunes-Panellerin-Omru-Ne-Kadardir/>
79. Ges İşletme Ve Bakım Neden Gereklidir? 15.02.2021 <https://Fixente.Com/Ges-İsletme-Bakimi-Neden-Gereklidir/>
80. Ges Bakım Onarım 20.06.2022 Www.Solarenerjin.Com/Gunes-Enerji-Santrali-Ges-Bakim-Onarim-Detayli-Aciklama/
81. Güneş Paneli Temizliği Nasıl Yapılır? 20.06.2022 Www.İncitas.Com.Tr/Bilgi-Merkezi/Blog/Gunes-Paneli-Temizligi-Nasil-Yapilir
82. Güneş Paneli Temizliği Nasıl Yapılır? 20.06.2022 Www.İncitas.Com.Tr/Bilgi-Merkezi/Blog/Gunes-Paneli-Temizligi-Nasil-Yapilir
83. Güneş Paneli Temizliği Nedir? Nasıl Yapılır? 21.06.2022 Www.Myenerjisolar.Com/Gunes-Enerjisi-Panel-Temizligi/
84. Güneş Paneli Temizliği Nedir? Nasıl Yapılır? 21.06.2022 Www.Myenerjisolar.Com/Gunes-Enerjisi-Panel-Temizligi/
85. Sıkça Sorulan Sorular 21.06.2022 www.solardoktor.com.tr/Sss/
86. Ges Bakım Onarım 21.06.2022 Www.Solarenerjin.Com/Gunes-Enerji-Santrali-Ges-Bakim-Onarim-Detayli-Aciklama/
87. Ktemb Üyeleri. Ges Kurum Rehberi. 21.06.2022 Www.Ktemb.Org/Download-Forms/Ktemb-Ges-Kurulum-Rehberi-1.Pdf
88. Avşaroğlu M. K., Güneş Panellerinde Topraklama Ve Yıldırımdan Korunma Sistemleri 21.06.2022 Www.Emo.Org.Tr/Ekler/0caa3a57b0b9aeb_Ek.Pdf
89. Iec Standartlarına Göre Güneş Enerjisi Santralleri Denetimi Ve Ölçüm Hizmetleri 21.06.2022 Www.Solarian.Com.Tr/Gunes-Enerjisi-Santralleri-Ges-Denetimi-Ve-Olcum-Hizmetleri/
90. İnvörtör (İnverter) Nedir? Solar Panel Güneş Enerjisi Elektrik Üretimi 21.06.2022 Www.Powerenerji.Com/İnvortor-İnverter-Nedir-Solar-Panel-Gunes-Enerjisi-Elektrik-Uretimi.Html
91. İnverter Tipleri. 21.06.2022 Www.Fisjenerator.Com/Blog/117/İnvortor-Tipleri.Html

92. Ay, S., (1996), "Alçak Gerilim Tesislerindeki Gerilim Harmonikleri Ve Filtre Tasarımı", Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı: 95.
93. Aydın M., İverter Arıza – Çözüm Ve Öneri Kılavuzu |Sürücü Hata Giderme 21.06.2022 Www.Derstagram.Com/İnvertor-Ariza-Cozum-Ve-Oneri-Kilavuzu/
94. Iec Standartlarına Göre Güneş Enerjisi Santralleri Denetimi Ve Ölçüm Hizmetleri 21.06.2022 Www.Solarian.Com.Tr/Gunes-Enerjisi-Santralleri-Ges-Denetimi-Ve-Olcum-Hizmetleri/
95. Güneş Enerjisi Santralleri Denetimi Ve Ölçüm Hizmetleri 21.06.2022 [Www. Csgenerji.Com/Solar-Testler/](http://Www.Csgenerji.Com/Solar-Testler/)
96. Avşaroğlu M. K., Güneş Panellerinde Topraklama Ve Yıldırımdan Korunma Sistemleri 21.06.2022 Www.Emo.Org.Tr/Ekler/0caa3a57b0b9aeb_Ek.Pdf
97. Ges Çelik Konstrüksiyon Üretimi 21.06.2022 Www.Emci.Com.Tr/Urun/Detay/38/Ges-Celik-Konstruksiyon-Uretimi
98. Üstündağ E. B., Ges'lerde Ag'den Bağlantı Nedir, Og'den Bağlantı Nedir? 21.06.2022 Www.Entegro.Com.Tr/Geslerde-Ag-Den-Baglanti-Nedir-Og-Den-Baglanti-Nedir/
99. Ges Bakım Onarım 21.06.2022 Www.Solarenerjin.Com/Gunes-Enerji-Santrali-Ges-Bakim-Onarim-Detayli-Aciklama/
- 100.Üstündağ E. B., Ges'lerde Ag'den Bağlantı Nedir, Og'den Bağlantı Nedir? 21.06.2022 Www.Entegro.Com.Tr/Geslerde-Ag-Den-Baglanti-Nedir-Og-Den-Baglanti-Nedir/
- 101.Ges Bakım Onarım 21.06.2022 Www.Solarenerjin.Com/Gunes-Enerji-Santrali-Ges-Bakim-Onarim-Detayli-Aciklama/
- 102.Trafo Periyodik Bakımı Ve Kontrolü 21.06.2022 Www.Dogansoy.Com/Trafo-Periyodik-Bakimi-Ve-Kontrolu/
- 103.Yüksek Gerilim İşletme Sorumluluğu 21.06.2022 Www.Trafobakimi.Com.Tr/Hizmetlerimiz-Detay/Yuksek-Gerilim-İsletme-Sorumlulugu-3022
- 104.Elhan C. M., Mart 2019 Güneş Santralleri Ve Çatısında Ges Bulunduran Tesislerde Kompanzasyon 21.06.2022 Www.Emo.Org.Tr/Ekler/0b864201f934179_Ek.Pdf?Dergi=1181
- 105.Güneş Enerjisinden Elektrik Üretmek Ve Faturanızdan Kurtulmak Ekim, 2019 21.06.2022 Www.Komhedos.Com/Gunes-Enerjisinden-Elektrik-Uretmek-Ve-Faturanizdan-Kurtulmak/
- 106.Güneş Enerjisinden Elektrik Üretmek Ve Faturanızdan Kurtulmak Ekim, 2019 21.06.2022 Www.Komhedos.Com/Gunes-Enerjisinden-Elektrik-Uretmek-Ve-Faturanizdan-Kurtulmak/
- 107.Artıları Ve Eksileri İle Güneş Enerjisi Eylül, 2019 21.06.2022 Www.Afaenerji.Com/Blog/2019/09/13/Artilari-Ve-Eksileri-İle-Gunes-Enerjisi/
- 108.Ges Güvenlik Kamera Sistemi 21.06.2022 Www.Antalya-Kamera.Com/Ges-Guvenlik-Kamera-Sistemi/
- 109.Ges'lerde Scada Nedir Ne İşe Yarar Neden Gereklidir? 21.06.2022 Www.Fixente.Com/Geslerde-Scada-Nedir-Ne-İse-Yarar-Neden-Gereklidir/
- 110.Solar Monitoring Sistemi Mayıs, 2021 21.06.2022 Www.Fixente.Com/Solar-Monitoring/
- 111.Ges Scada-Üretim Limitleme-Solar Dizi İzleme 21.06.2022 Www.Sge.Com.Tr/Hizmetlerimiz-Ges-Scada-Uretim-Limitleme-Solar-Dizi-İzleme-143.Html
- 112.Ges Bakım Onarım 21.06.2022 Www.Solarenerjin.Com/Gunes-Enerji-Santrali-Ges-Bakim-Onarim-Detayli-Aciklama/
- 113.N. Singh, "How to get started as a developer in AI," Intel Software Developer Zone, 28 Dec. 2017. [Online]. Available: <https://software.intel.com/en-us/articles/how-to-get-started-as-a-developer-in-ai>. [Accessed: Jan. 01, 2021].
- 114.Doç. Dr. Oktay YILDIZ, Makine Öğrenmesi Ders Notları, Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi.

- 115.Savaş S., (2019), "Karotis Arter Intima Media Kalınlığının Derin Öğrenme ile Sınıflandırılması", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.
- 116.Savaş, S. (2021). Artificial Intelligence And Innovative Applications In Education: The Case Of Turkey. *Journal of Information Systems and Management Research*, 3(1), 14-26.
- 117.Savaş, S., Güler, O., Kaya, K., Çoban, G. & Güzel, M. S. (2022). Eğitimde Dijital Oyunlar ve Oyun ile Öğrenme. *International Journal of Active Learning*, 6(2), 117-140.
118. Çakır Ö., (2020), Yapay Zeka ve Kullanım Alanları, <https://www.yapayzekatr.com/2020/01/06/yapay-zeka-ve-kullanim-alanlari/>
119. Khaled, A., (2019), The Future of Jobs in Artificial Intelligence Era, <https://medium.com/analytics-vidhya/the-future-of-jobs-in-artificial-intelligence-era-93e34c33c25f>
- 120.Özgen, F. "Yenilenebilir Enerjide Yapay Zeka Uygulamaları", Haliç Üniversitesi Ders Notu.
- 121.creaticle.com, (2021), Geleceğin Enerji Sektöründe Yapay Zekanın Rolü, <https://www.entec.com.tr/gelecegin-enerji-sektorunde-yapay-zekanin-rolu/>
- 122.Ayan, İ., & Mehtap, S. (2018). Fotovoltaik sistemin yapay zeka algoritması ile güç tahmini (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 123.Geçmez, A., & Gençer, Ç. Güneş Enerji Santrali Üretim Verilerinin Meteorolojik Verilere Bağlı olarak Yapay Zeka Yöntemleri ile Tahmini. Edt. Doç. Dr. Aydın Ruşen Doç. Dr. Sadık Alper Yıldızel. *International Studies on Natural and Engineering Sciences*, 39. 2020.
- 124.Kayabaşı, A., Yıldız, B., & Balcı, S. Güneş Paneli Uygulamalarında Hava Şartlarının Verimliliğe Etkilerinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi. VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu-KOPBKS 26-28 Ekim 2018. Konya.
- 125.Güzel, B., Okatan, E., & Kırbaş, İ. Yapay zekâ yaklaşımlarıyla gün öncesi Güneş ışınımı tahmini. 3rd International Young Researchers Student Congress, 09-11 December 2021 Burdur/TURKEY. 364-373.
- 126.Turgut, A., Temir, A., Aksoy, B., & Özsoy, K. (2019). Yapay Zekâ Yöntemleri İle Hava Sıcaklığı Tahmini İçin Sistem Tasarımı Ve Uygulaması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(3), 244-253.
- 127.Dandıl, E. Ve Gürgen, E., 2019. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıktılarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar ile Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*.16,146-158.
- 128.Su, Y., Chan, L., Shu, L. ve Tsui, K., 2012. Real-time prediction models for output power and efficiency of grid-connected solar photovoltaic Systems. *Applied Energy*. 93, 319-326.
129. Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D. ve Beyer, H., 2009. Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems. *IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2(1), 2-10.
130. Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., 2004. Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini. *Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 19, 227-233.
- 131.Kurukuru, V.S.B.; Haque, A.; Khan, M.A.; Sahoo, S.; Malik, A.; Blaabjerg, F. A Review on Artificial Intelligence Applications for Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems. *Energies* 2021, 14, 4690. <https://doi.org/10.3390/en14154690>
- 132.Sundaram, K.M., Padmanaban, S., Holm-Nielsen, J.B., & Pandiyan, P. (Eds.). (2022). *Photovoltaic Systems: Artificial Intelligence-Based Fault Diagnosis and Predictive Maintenance* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003202288>, Book Chapter 4: Challenges and Opportunities for Predictive Maintenance of Solar Plants Suresh K. P., et al.,

133. Abubakar, A.; Almeida, C.F.M.; Gemignani, M. Review of Artificial Intelligence-Based Failure, Detection and Diagnosis Methods for Solar PV Systems. *Machines* 2021, 9, 328. <https://doi.org/10.3390/machines9120328>
134. Ramón Fernando Colmenares-Quintero, Eyberth R. Rojas-Martinez, Fernando Macho-Hernantes, Kim E. Stansfield & Juan Carlos Colmenares-Quintero I, [Ahmed Haj Darwish (Reviewing editor) (2021) Methodology for automatic fault detection in photovoltaic arrays from artificial neural networks, *Cogent Engineering*, 8:1, DOI: 10.1080/23311916.2021.1981520
135. Photovoltaic Systems: Artificial Intelligence-based Fault Diagnosis and Predictive Maintenance, K.Mohana Sundaram, KPR Institute of Engineering and Technology, P. Pandiyan, KPR Institute of Engineering and Technology, CRC Press, Inc., 2022, ISBN: 9781032064260, DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003202288> "
136. Apache Kafka, (2022), <https://kafka.apache.org/>
137. Elasticsearch B.V., (2022), <https://www.elastic.co/>
138. Elasticsearch B.V., (2022), <https://www.elastic.co/kibana/>
139. Ktemb Üyeleri. Ges Kurum Rehberi. 21.06.2022 [Www.Ktemb.Org/Download-Forms/Ktemb-Ges-Kurulum-Rehberi-1.Pdf](http://www.Ktemb.Org/Download-Forms/Ktemb-Ges-Kurulum-Rehberi-1.Pdf)
140. Elektrik Elektronik Esasları Ders Kitabı Meb
141. Scada, Protection And Synchronization System 21.06.2022 Www.Mam.Tubitak.Gov.Tr/En/Teknoloji-Transfer-Ofisi/Scada-Protection-And-Synchronization-System
142. Scada 21.06.2022 [Https://Tr.Wikipedia.Org/Wiki/Scada\)](https://Tr.Wikipedia.Org/Wiki/Scada)
143. 2015 Türkiye Geneli Elektrik Kesintisi 21.06.2022 Tr.Wikipedia.Org/Wiki/2015_T%C3%Bcrkiye_Geneli_Elektrik_Kesintisi
144. Akkamaş M. F., Mikro Şebekelerde Hiyerarşik Kontrol
145. Mikro Şebeke Sistemleri 21.06.2022 Www.Aselsan.Com.Tr/Tr/Cozumlerimiz/Enerji-Sistemleri/Enerji-Yonetimi-Ve-Akilli-Sebeke-Sistemleri/Mikro-Sebeke-Sistemleri
146. Erkal, B., "Dağıtım Sistemlerinde Otomatik Sayaç Okuma Sistemleri Ve Uygulamaları", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük ,1-4 (2009).
147. Erkal, B., Automatic Meter Reading (Amr) İn Distribution Systems, Yüksek Lisans Tezi, Odtü Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 8-21 (2001).
148. Frequency Plans. 21.06.2022 Www.Thethingsnetwork.Org/Docs/Lorawan/Frequency-Plans/].
149. Internet Of Things. 21.06.2022 [Http://Www.Wikizero.Net/Index.Php?Q=Ahr0chm6ly9lbi53awtpcgvkaweub3jnl3dpa2kvsw50zxjuZxrfb2zfdghpbmdzi2npdgvfmb90zs0ymg](http://Www.Wikizero.Net/Index.Php?Q=Ahr0chm6ly9lbi53awtpcgvkaweub3jnl3dpa2kvsw50zxjuZxrfb2zfdghpbmdzi2npdgvfmb90zs0ymg). (Mayıs 2018)
150. Weyrich, M., Ebert, C., Reference Architectures For The Internet Of Things, Ieee Software, Vol. 33, No. 1, Pp. 112-116, 2016
151. Thames Ve Schaefer, 2016, 13
152. Kılıç, F. Ç. 2015. "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu Ve Üretim Teknolojileri" *Mühendis Ve Makina*, Cilt 56, Sayı 671, S. 28-40.
153. Enerji Görünümü Ekonomik Araştırmalar Escarus (Tskb Sürdürülebilirlik Danışmanlığı A.Ş.) Kalkınma Finansmanı Kurumları Kredi Analiz Mühendislik Ve Teknik Danışmanlık Proje Finansmanı. Kasım 2020
154. Güneş Enerji Potansiyelimiz. 21.06.2022 [Https://Enerji.Gov.Tr/Eigm-Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklar-Gunes#:~:Text=%C3%9clkemiz%2c%20co%C4%9fraci%20konumu%20nedeniyle%20y%C3%Bcksek,Kwh%2fm%20olarak%20hesaplanm%C4%B1%C5%9ft%C4%B1r](https://Enerji.Gov.Tr/Eigm-Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklar-Gunes#:~:Text=%C3%9clkemiz%2c%20co%C4%9fraci%20konumu%20nedeniyle%20y%C3%Bcksek,Kwh%2fm%20olarak%20hesaplanm%C4%B1%C5%9ft%C4%B1r).

155. Elektrik Piyasası 2020 Yılı Piyasa Gelişim Raporu. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Ankara, 2021
156. Solar Thermal Markets In Europe – Trends And Market Statistics 2021 Solar Heat Europe – ESTIF, 2021
157. Hellenic Association of Photovoltaic Companies – HELEPCO [helapco.gr]
158. Grundy, A, Solar Power Portal, 2020
159. https://www.solarpowerportal.co.uk/news/solar_smashes_peak_generation_records_as_it_soars_to_9.68gw
160. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/911817/electricity-generation-cost-report-2020.pdf
161. <https://www.statista.com/statistics/555697/solar-electricity-load-factor-uk/>



"Erasmus+ (Avrupa Dayanışma) Programı kapsamında Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmektedir. Burada yer alan içerik yazarın görüşlerini yansıtmaktadır ve bu görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz."