



Güneş Enerjisi Sistemlerinde Yenilikçi ve Akıllı Bakım Onarım

Serkan SAVAŞ^{*,a,d}, Kazım DURAKLAR^b, Oğuzhan Alaattin ÇINAR^b,
 Mustafa KOÇ^c, Ali TURAN^c, Uğur ULSU^c, Abdullah Said DOĞANAY^c,
 Orhan Gazi ÖZCEYHAN^c, Muhammed Yasin DESTAN^c, Hüseyin DUŐBUDAK^a

^{a,*} Sincan İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü, ANKARA, 06930, TÜRKİYE

^b Özel Ankara Sanayi Odası (ASO) Teknik Koleji Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, ANKARA, 06930, TÜRKİYE

^c Yenikent Ahmet Çiçek Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, ANKARA, 06930, TÜRKİYE

^d Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, KIRIKKALE, 71451, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 27.11.2022
Kabul: 26.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi sistemleri,
Yapay zeka ve güneş enerjisi,
Akıllı bakım onarım,
Yenilikçi bakım onarım,
Önleyici bakım onarım

*Sorumlu Yazar

e-posta:
serkansavas@kku.edu.tr

ÖZET

Enerji günümüzde dünyanın önemli temel ihtiyaçlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise sürekli kendini yenileyen, yaşam içerisindeki doğal süreçlerden meydana gelen ve bu doğrultuda doğal yaşama zarar vermeyen enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Güneş enerjisi pek çok önemli özelliği ile birlikte diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaktadır. Özellikle son on yıllık süreçteki hızlı teknolojik gelişmelerle doğru orantılı olarak güneş enerjisi alanı da gelişmiştir. Sanayi bölgelerinde bulunan işletmelerin arazileri ve fabrikaların çatılarının üzerine kurulan güneş enerjisi sistemleri artık çok sık rastlanan santrallerdir. Aynı şekilde elektrik enerjisinin hatlar ile taşınmadığı yerlere kurulan güneş enerjisi sistemleri ile enerji üretimi oldukça yaygınlaşmıştır. Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan paneller fotovoltaik etki prensibine göre çalışmaktadır. Bu sistemlerin bakım onarımı genel olarak, planlı ve planlanmamış olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Planlı bakım onarımında, önceden planlanmış ve arıza önlemeyi hedeflemenin yanı sıra tesisin optimum seviyede çalışmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Planlanmamış bakım onarım ise arızalara yanıt olarak gerçekleştirilir. Güneş enerjisi sistemlerinin sürdürülebilirliği için bakım onarım prosedürleri önem arz etmektedir. Planlı ve planlanmamış bakım onarım faaliyetlerine ek olarak günümüzde yenilikçi ve akıllı bakım onarım teknikleriyle bu sistemlerin performansları artırılabilir ve böylece verimliliklerine katkı sağlanabilir. Yapay zeka teknolojileri bu konuda önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle algoritmalar sayesinde veri analizi yapılarak öngörücü ve önleyici bakım onarım faaliyetleri, güneş enerjisi sistemlerinde verimlilik, performans ve maliyet olarak önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada güneş enerjisi sistemleri, çalışma prensibi, arızalar, bakım onarım prosedürleri ve yapay zekayı bu sistemlerde kullanmanın potansiyelleri açıklanmıştır.

* Bu çalışma, Avrupa Birliği'nin Erasmus+ (Avrupa Dayanışma) Programı (KA202 - Mesleki Eğitimde Stratejik Ortaklıklar) tarafından 2020-1-TR01-KA202-093257 (Proje adı: Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy Systems) hibe numarası ile desteklenmiştir. Burada yer alan içerik yazarların görüşlerini yansıtmaktadır ve bu görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz.

Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy Systems

ARTICLE INFO

Received: 27.11.2022
Accepted: 26.12.2022

Keywords:

Solar energy systems,
Artificial intelligence
and solar energy,
Smart maintenance,
Innovative maintenance,
Preventive maintenance
***Corresponding Authors**
e-mail:
serkansavas@kku.edu.tr

ABSTRACT

Today, energy is one of the most important basic needs of the world. Renewable energy sources, on the other hand, are defined as energy sources that constantly renew themselves, occur from natural processes in life, and do not harm natural life in this direction. Solar energy stands out among other renewable energy sources with its many important features. Especially in the last ten years, the field of solar energy has developed in direct proportion to the rapid technological developments. Solar energy systems installed on the lands of enterprises in industrial zones and on the roofs of factories are now very common power plants. Likewise, energy production has become widespread with solar energy systems installed in places where electrical energy cannot be transported by lines. The panels used in solar energy systems work according to the photovoltaic effect principle. Maintenance and repair of these systems are generally classified in two ways as planned and unplanned. In planned maintenance and repair, it is aimed to ensure that the facility operates at the optimum level, as well as aiming at pre-planned and failure prevention. Unscheduled maintenance is performed in response to faults. Maintenance and repair procedures are important for the sustainability of solar energy systems. In addition to planned and unplanned maintenance and repair activities, the performance of these systems can be increased with innovative and smart maintenance and repair techniques, thus contributing to their productivity. Artificial intelligence technologies offer important opportunities in this regard. Predictive and preventive maintenance and repair activities will make significant contributions in terms of productivity, performance, and cost in solar energy systems, especially by making data analysis thanks to algorithms. In this study, solar energy systems, working principle, faults, maintenance and repair procedures, and the potentials of using artificial intelligence in these systems are explained.

* This work was supported by the European Union's Erasmus+ (European Solidarity) Program (KA202 - Strategic Partnerships in Vocational Education) with grant number 2020-1-TR01-KA202-093257 (Project name: Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy Systems). The content contained herein reflects the views of the authors and the European Commission and the Turkish National Agency can not be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji günümüzde dünyanın 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 gibi hayatın tüm alanlarında enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. 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 kaynakların da kendi içerisinde kullanılabilecekleri alanlarda etüt çalışmaları, maliyet çalışmaları vb. durumların sürekli değerlendirilmesine bağlı olarak sınırlılıkları ve verimlilikleri değişmektedir.

Gelişmiş birçok ülkede elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtlar yerine kullanılan nükleer enerjideki temel problem, atıkların yok edilememesi ve 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, hidro enerji, biyolojik yakıt enerjisi, deniz suyunun gel-git gücü ve dalga enerjisi, jeotermal enerji gibi birbirinin alternatifi olabilecek enerji kaynaklarından elektrik üretimi tekniklerini geliştirme yoluna gitmiştir. Bu enerji çeşitlerinin kullanımıyla çevreye zarar veren karbon salınımı azaltılmaktadır.

1839 yılında Alexandre Edmond Becquerel tarafından Fotovoltaik etkinin keşfedilmesiyle güneş ışınlarından elektrik akımı üretilebileceği keşfedilmiştir. Russell Ohl 1941'de günün teknolojisiyle ilk güneş paneli hücrelerini üretmeyi başarmış ve ilk ticari güneş paneli 1954'te Bell Laboratories tarafından yapılmıştır. 2000'li yıllarda 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 tespit edilmiştir. Ancak tüm bunların

yanı sıra verimlilik zamana bağlı olarak düşüşe geçmektedir. Bir panel 10 yılda ortalama %2'lik verim kaybına uğramakta ve bu paneller ortalama 50 yıllık kullanım ömrüne sahip olmaktadır [1], [2]. Güneş Enerji Sistemleri (GES) için günümüzdeki en önemli husus bu sistemlerin verimliliğine yönelik araştırmalardır.

Panellerin verimliliğini ve ömrünü arttırmak ise akıllı ve yenilikçi bakım yöntemleri ile mümkün olacaktır. Bu doğrultuda panellerin bakımlarının daha verimli yapılabilmesi amacıyla yeni algoritmaların ortaya çıkarılabilmesi ve toplanan verilerin analizlerinin yapılması amacıyla yapay zekâdan yararlanılması faydalı olacaktır. Bu çalışmada GES bakım onarımının yapay zekâ tabanlı yenilikçi ve akıllı teknolojilerle gerçekleştirilme potansiyelleri ve aşamaları belirtilmiştir. Çalışmanın akışı şöyledir. Araştırmanın ikinci bölümünde yenilenebilir enerji kaynakları açıklanmış ve bunlara örnekler sunulmuştur. Üçüncü bölümde bu kaynaklar arasından GES ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde fotovoltaik sistemlerin performansları, arızaları ve verimlilikleri açıklanmıştır. Beşinci bölümde fotovoltaik güneş enerjisi santralının yenilikçi ve akıllı bakım onarım faaliyetleri anlatılmıştır. Altıncı bölümde ise tartışmalarla birlikte çalışma sonuçlandırılmıştır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI (RENEWABLE ENERGY SOURCES)

Yenilenebilir enerji kaynakları için sürekli kendini yenileyen, yaşam içerisindeki doğal süreçlerden meydana gelen ve bu doğrultuda doğal yaşama zarar vermeyen tanımlamaları yapılmaktadır. Bu özellikleri sağlayan tüm kaynaklar yenilenebilir olarak tanımlanabilir. Paris merkezli Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency - IEA) kuruluşunun 2021 yılı raporuna göre, özellikle güneş fotovoltaikleri ve rüzgâr enerjisi için politika desteği ve maliyetlerdeki yüksek düşüşler sayesinde son yıllarda hızla büyümüşür. 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 etmektedir. Ancak halen elektrik, küresel enerji tüketiminin yalnızca beşte birini oluşturmaktadır. Ulaşım ve ısıtma sektörlerinde yenilenebilir kaynakların rolü, enerji geçişi için kritikliğini korumaya devam etmektedir [3].

Üretileme yöntemi (kaynağı) değerlendirilerek yenilenebilir enerji kaynakları 7 ana başlıkta sıralanmıştır.

2.1. Güneş Enerjisi (Solar Energy)

Güneş enerjisi, Dünya'da ve özellikle de ülkemizin hemen her yerinde rahatlıkla ulaşılabilen bir kaynaktır [4]. Güneşin çekirdeğinde sürekli bir füzyon reaktörü gerçekleşmektedir. Bu reaksiyon sırasında güneşin çekirdeğindeki hidrojen gazı, helyuma dönüşür ve dönüşme sırasında da ışıma enerjisi açığa çıkar [5]. Güneşten yayılan bu ışınlar dünyaya ulaşır ve ulaştığında da güneş (fotovoltaik) pilleri, güneş santralleri ve toplayıcıları (kollektör) vasıtasıyla enerji sektöründe kullanılır. Isı enerjisi olarak kullanabilen bu enerji aynı zamanda elektrik enerjisine de dönüştürülebilmekte ve kullanılmaktadır [6].

2.2. Rüzgâr Enerjisi (Wind Power)

Güneş enerjisinin dolaylı etkilerinden birisi de rüzgâr enerjisidir ve bitmek bilmeyen bir enerji kaynağıdır. Güneş ışınları dünyanın her yerine aynı oranda gelmez ve dolayısıyla her yer aynı oranda ısınmaz. Bununla beraber dünyanın eksenin eğri olması, kara ve denizlerin dağılımı, yeryüzü şekilleri (dağ, ova, vadi vb.) gibi farklı nedenlerden ötürü dünyada alçak basınç ve yüksek basınç merkezleri oluşarak etkileşime girer. Bu etkileşim, yüksek basınçtan alçak basınca doğru rüzgâr hareketi olup dünyanın her yerinde eşit bulunmamaktadır. Bu hareket, enerji olarak kullanılır ve insanlığın ilk kullandığı (yelkenli, değirmen, vb.) enerji kaynaklarından biridir. Dağlık bölgeler, sahiller ve etrafı çok açık olan alanlar, rüzgâr enerjisi için önemli potansiyel alanlardır [7], [8]. 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.

2.3. Jeotermal Enerjisi (Geothermal Energy)

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde biriken suların, yerkabuğunun etkisinde kalarak bölgesel atmosferik sıcaklığa göre daha yüksek bir değere ulaşması jeotermal kaynaklarını oluşturur. Bu sıcak su ve buhar kaynağında diğer sulara nazaran fazla miktarda gaz, tuz ve mineral bulunabilmektedir. Bir diğer enerji kaynağı olarak bazı bölgelerdeki sıcak kuru kayalar da sayılabilir. Ancak bunlar akışkan içermeyebilirler. Jeotermal suların devamlılığı, atmosferik koşullara bağlıdır çünkü bu sular genelde meteorik kökenlidir. Bu ortamın devamlılığı jeotermal kaynakların da yenilenmesini sağlamaktadır. Jeotermal enerji farklı sıcaklıklarda elde edilecek

sağlık, ısıtma, elektrik enerjisi üretimi, turizm, ziraat ve endüstri gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Eğer jeotermal akışkanının sıcaklığı yüksek derecelerde olursa, bütünlük olarak pek çok farklı alanda bu enerjiden yararlanılması mümkün olmaktadır [9].

2.4. Hidro Enerjisi (Hydro Energy)

Hidro enerjinin ana hedefi, akan suyun hareketindeki kinetiği kullanarak elektrik elde etmektir. Elde edilecek enerji miktarı bu hareketteki akış hızı ile belirlenir. Eğer akan suyun debisi yüksek ise elde edilecek enerji de çok olur. Bu enerji türü genellikle barajlarda yüksek bir noktadan düşürülen suyun türbinleri çevirmesi ile sağlanır. Su eğer yüksek bir yerden düşürülür ve kullanılan türbin de buna uygun olursa çok miktarda enerji üretimi sağlanabilir. Benzer şekilde kanal ya da borular içerisindeki su türbinlere doğru aktarılıp türbinlerin dönmesini de sağlayabilir. Burada türbinlerin görevi mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir [10].

2.5. Biyokütle Enerjisi (Biomass Energy)

Biyokütle, yaşamış ya da yaşayan organizmaların birim zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarıdır. Organik çöpler veya sanayi atıkları, hayvan dışkıları veya gübre, doğadaki otlar veya yetiştirilen (buğday, mısır vb.) bitkiler ya da yosunlar veya ağaçlar biyokütle için örnek verilebilir. Biyokütle enerjisi ise bitkisel, hayvansal, kentsel atıklar gibi kullanılamayacak türdeki atıklardan çeşitli yöntemlerle elde edilen enerji türüdür. Bu enerji türünün farklı çeşitleri bulunmaktadır. Biyogaz, biyodizel veya biyoetanol, bunlara örnek olarak sayılabilecek enerjilerdir [4], [6], [11].

2.6. Dalga Enerjisi (Wave Energy)

Deniz dalgalarının uygun yerlere konulan türbinleri döndürmesiyle üretilen yenilenebilir ve temiz enerji kaynağına dalga enerjisi denir. Gelgit genliğinin yüksek olduğu kıyılarda deniz girişine veya ırmak önüne bir baraj yapılarak içine tünel açılır. Sular yükseldiğinde bu tünelden içeriye doğru, sular alçaldığında ise ters yönlü (dışa doğru) akış gerçekleşir. Tünelin içine yerleştirilen türbinlerin, suyun akış hızıyla dönerek bağlı oldukları jeneratörü döndürmesiyle elektrik enerjisi üretimi gerçekleşir [4].

2.7. Hidrojen Enerjisi (Hydrogen Energy)

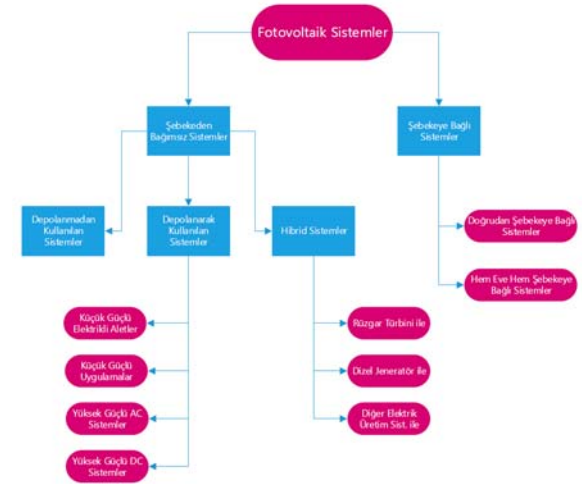
Hidrojen, renksiz, kokusuz, tatsız ve bol miktarda bulunan hafif bir gaz olarak bilinir ve yakıt hücreleri üzerinde çalışır. Hidrojen, rahat ve güvenli bir şekilde taşınabilen ayrıca taşındığında kaybı da az olan bir

enerji kaynağı olarak elektrik, mekanik ya da ısı enerjilerine dönüştürülebilir ancak diğer yakıtlara nazaran daha pahalıdır. Hidrojen, farklı enerji türlerine kolay dönüşümü nedeniyle geleceğin enerji kaynağı olarak da adlandırılır [4].

3. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ (SOLAR ENERGY SYSTEMS)

Günümüzde fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmakta ve bunlara alternatifler aranmaktadır. Güneş pili teknolojisi ise 1950'li yıllardan itibaren geliştirilerek bu alternatifler arasında yerini almıştır. Güneş pili teknolojilerindeki gelişmelere en önemli katkılardan biri 1960'lar içerisindeki uzay araştırmaları olmuştur. 1970'lerin başında ise dünyada yaşanan petrol krizi, güneş pillerinin öneminin gittikçe artmasını sağlamıştır. Başlangıçta gündelik hayatta çeşitli küçük uygulamalarda (saat, hesap makinesi, vb.) kullanılan güneş pilleri gittikçe yaygınlaşan araştırma destekleri sayesinde 1980'lerin ortasında %20 verimliliğe ulaşarak atılım gerçekleştirmiştir. Bu verimlilik, güneş pillerinin üretim pazarını artırmış ve özellikle son dönemde bu enerji sistemlerine yapılan yatırımlar gittikçe çoğalmıştır [12], [13].

Günümüzde güneş hücreleri kullanılarak yapılan güneş pillerinin (fotovoltaik modüllerin) temelde, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki farklı uygulaması vardır (Şekil 1).



Şekil 1. Fotovoltaik sistemlerin kullanım alanları
(Usage areas of photovoltaic systems)

3.1. Gelecekte Güneş Enerjisi Sistemleri (Solar Energy Systems in the Future)

Özellikle son on yıllık süreçteki hızlı teknolojik gelişmelerle doğru orantılı olarak güneş enerjisi alanı da gelişmiştir. 2010-2019 döneminden itibaren dünyada 638 gigawatt kapasitesinde GES kurulmuştur. Bu oran diğer tüm kurulu enerji

kaynaklarının (ki bunlara kömür, doğalgaz ve petrol da dahil) kapasitesini geride bırakmasını sağlamıştır. Bu oranda büyümenin ana nedeni yapılan yatırımlardır. Yenilenebilir enerji alanında gelecek vadeden bir yatırım aracı olarak GES öne çıkmıştır. Bu nedenle 2010 yılından bu yana GES maliyetleri de çok büyük oranda (%80'den fazla) düşmüştür [14].

Dünyadaki elektrik ihtiyacının 2050 yılına kadar dörtte birinin GES ile sağlanacağı öngörülmektedir. GES'in verimliliğini artırmak için hala pek çok araştırma alanı bulunmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine ve hedeflerine bakıldığında 2050 yılında CO2 salınımını sıfıra indirmek ve talebin çok 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 hayata 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 güneş enerjisi en büyük arz kaynağı olacaktır. Bu daha temiz ve daha sağlıklı bir geleceğe ulaşabilmek için tek seçenek haline gelecektir [3].

3.2. Avantajları ve Dezavantajları (*Advantages and Disadvantages*)

Güneş enerjisinin en önemli avantajı yenilenebilir enerji kaynağı olması ve dünyanın her yerinde kullanılabilmesidir. GES ile enerji faturası tutarlarında değişme (azalma) olması da bir diğer avantaj sayılabilir. Kullanılan enerjinin yanı sıra kullanımdan fazla üretilen enerji, çeşitli kurumlara satılarak bir gelir getirisi olarak da fayda sağlamaktadır. Ayrıca araştırmaların başladığı ilk yıllara nazaran gün geçtikçe GES yatırım maliyetleri de azalmakta bununla ters orantılı olarak verimlilik de artmaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte GES teknolojilerinde de yenilikler sağlanmış ve üretim, depolama, dağıtım vb. sistemler kısmen kolaylaştırılmıştır. Böylece GES, günümüzde baskın bir temiz enerji kaynağı haline gelmiştir [15].

Elektrik dağıtım sistemleri bulunmayan bölgelerde GES sayesinde elektrik üretmek, ısınmak ve çeşitli temel ihtiyaç araçlarının kullanılmasına imkân sağlamak mümkündür ve önemli avantajlarından birisidir. Uzayda uyduları çalıştırmak için de yine güneş enerjisinden faydalanılmaktadır.

GES, fazla bakım maliyeti çıkarmamakta ve nispeten temiz tutulması bakım maliyetlerini de düşürmektedir. Bu sebeple diğer enerji

kaynaklarından öne çıkmaktadır. Hareketli parça barındırmayan güneş panellerinde yıpranma ve aşınmanın az olması, bunların garantisini 20-25 yıl bandına çekmektedir. Sistem içerisinde kullanılan çevirici ve kablolar gibi diğer elemanlar da sık sık değişime tabii olmadığından yıllar bazında oranlandığında maliyet oldukça düşmektedir [15].

Güneş enerjisinin dezavantajları arasında ilk sırada kurulum maliyetleri gelir. Güneş panelleri, çevirici, 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 GES'in diğer bir dezavantajıdır.

Güneş enerjisi hava durumundan etkilenir ve bulutlu ya da yağmurlu günlerde enerji üretimi etkilenir. Benzer şekilde gece de güneş enerjisi toplanamamaktadır. Hava durumunun güneş enerjisi üzerinde bu şekilde olumsuz etkileri bulunmaktadır.

GES'de enerji üretimi kolay olmasına karşılık verimli depolanması oldukça pahalıdır. Üretilen enerji ya 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 teknoloji akülerin GES'e 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. GES'in dezavantajlarına son olarak çevresel kirlilik eklenebilir. Güneş panellerinin üretimi sırasında canlı yaşamını riske atmayacak kadar da olsa çevreyi dolaylı olarak etkileyecek bazı toksik ve tehlikeli maddeler kullanılmaktadır [15].

3.3. Kullanım Alanları (*Usage Areas*)

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

Güneşlenme süresinin uzun, iklimin ılıman olduğu bölgelerde güneş panelleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilip, yetiştirilen meyve ve sebzeleri uygun sıcaklıkta tutmak üzere seraları ısıtmak için kullanılmaktadır. Pek çok trafik işareti ve

lambalarının gece çalıştırılabilmesi için güneş panelleri ile sistemde bulunan aküler gün boyu şarj edilir. Böylece hava karardıktan sonra trafiği rahatlatmak ve kaza riskini en aza indirmek için yardımcı eleman olarak kullanılabilir.

Genel olarak günümüzde, güneş ısı uygulamalarında kullanılan düzeneklerden bazıları; güneş toplayıcıları (düzlemsel, parabolik ve silindirik), pişiricileri, fırınları, santralleri, güneş ile su damıtma sistemleri, güneş ile kurutma sistemleri, güneş evleri ve seraları, güneş havuzları, ısı depolama sistemleri olarak sıralanabilir. Bu sistem ve cihazlar yardımıyla güneş ısı uygulamaları yapılmaktadır. Başlıca uygulamalar arasında; su ısıtma (ev ve sanayi amaçlı), hacim ısıtma (ev, iş merkezi gibi benzeri yapıların ısıtılması), soğutma, ısıl-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 gibi uygulamalar sayılabilir [16].

3.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi (Solar Energy in Türkiye)

Tablo 1’de görüldüğü gibi, Yenilenebilir Enerji Yatırımcıları Derneğinin (GÜYAD) yayınladığı 2020 ve 2021 Mart sonu verileri kıyaslandığında birincil kaynaklara göre elektrik üretim yüzdelere arasında ithal kömür kaynaklı ve hidro kaynaklı üretimlerin yüzdeleri azalmıştır. Yenilenebilir kaynaklar, linyit ve doğal gaz üretim yüzdeleri ise artmıştır.

Tablo 1. GÜYAD Elektrik Enerjisi Üretimi (Birincil Kaynaklar) [17]

(GUYAD Electric Power Generation (Primary Resources))

Kaynaklar	Mart Sonu Üretimler (Gwh) (%)	
	2020	2021
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	3.3
Rüzgâr	8.95	9.64
Güneş	2.67	3.61
Atık ve Çöp	1.66	2.07
Diğer	0.73	0.03

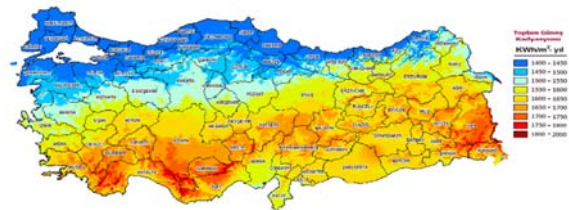
Tablo 2’de ise Türkiye’nin birincil kaynaklara göre elektrik enerjisi üretimi ve kurulu güç gelişimi verileri sunulmuştur [17].

Tablo 2. Türkiye’nin Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kurulu Güç Gelişimi (Birincil Kaynaklar) [17]
(Türkiye’s Electricity Production and Installed Power Development (Primary Resources))

Kaynaklar	Mart Sonu Üretimler (Gwh)		Artış (%)	Mart Sonu Kurulu Güç (Gwh)		Artış (%)
	2020	2021		2020	2021	
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

Tablo 2’de sunulan verilere göre Türkiye’de 2020 ile 2021 yılları arasında üretim yüzdesi olarak en fazla artış taşkömürü üzerinden gerçekleştirilmiştir (%74.2). Sonrasında ise %55.31 ile doğalgaz kullanılarak gerçekleştirilen üretimdeki artış ikinci sırada yer almıştır. Güneş enerjisi ile üretimdeki artış ise %39.98 ile üçüncü sırada yer almıştır. Tablo 2’de göze çarpan bir diğer husus, hidro ile üretim, ithal kömür ile üretim ve asfaltit ile üretimdeki azalmalardır. Burada en fazla üretim azalması %34.99 ile hidroda gerçekleşmiştir.

Tablo 2’deki kurulu güç verileri yüzdelik olarak incelendiğinde ve 2020 verileri ile kıyaslandığında pek çok kaynaktaki değişimin çok az olduğu görülmektedir. 2020 ile 2021 yılları kıyaslandığında en fazla artış, atık ve çöp kaynağında gerçekleşmiştir (%28.37). Sonrasında ise sırasıyla rüzgâr (%18.42) ve güneş (%13.12) kaynaklarındaki artış yer almıştır. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli, farklı pek çok ülkeye göre daha yüksektir çünkü Türkiye konum olarak, güneş kuşağında yer almaktadır. Bu kuşak -40°/40° enlemlerinin arasında bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye’nin Güneş Haritası [18]

(Solar Map of Türkiye)

Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon megawatt enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji tüketimi 100 milyon megawatt-yıl olarak hesaplandığında bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.7 katına denk gelmektedir. Türkiye üzerine bir yılda düşen güneş enerjisi ise yaklaşık $3,517 \times 10^{15}$ megajoule kadardır ($1,527 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$) [18], [19]. Araştırmalara göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2,640 saat (günlük ortalama 7.2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti $1,311 \text{ kW/m}^2\text{-yıl}$ (günlük ortalama $3.6 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$) olduğu tespit edilmiştir [20], [21]. Bir başka veriye göre ise yıllık toplam güneşlenme süresi 2,741 saat (günlük ortalama 7.5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi $1,527 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük ortalama $4.18 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$) olduğu tespit edilmiştir [18]. Bu veriler dikkate alındığında, Türkiye'nin günlük 7 saatten fazla güneşlenme süresi ve $3.5 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ 'den fazla güneş enerjisi potansiyeli bulunduğu ortaya çıkmaktadır.

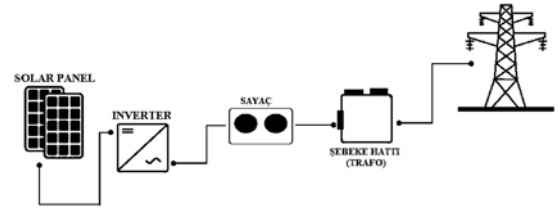
Türkiye'de çatı ve cephe uygulamalı güneş potansiyeli de araştırılmış ve gelecek 10 yıl içinde toplam 2000 – 4000 megawatt seviyelerinde güneş modülü sistemlerinin çatılarda kurulabileceği öngörülmüştür [22].

3.5. Güneş Enerjisi Sistemlerinin Çalışma Prensibi (Operating Principle of Solar Energy Systems)

GES'de kullanılan paneller fotovoltaik (elektron hareketi) etki prensibine göre çalışmaktadır. Fotovoltaik piller (güneş panelleri), yarı iletken malzemeden yapılmışlardır. Bu paneller, üzerine düşen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Panellerde, koruma ve sabitleme çerçevesi, cam koruma (saklama) birimi ve silikon hücreler bulunmaktadır. Ayrıca üretilen elektriği aktarmak için doğru ve alternatif akım kabloları da vardır.

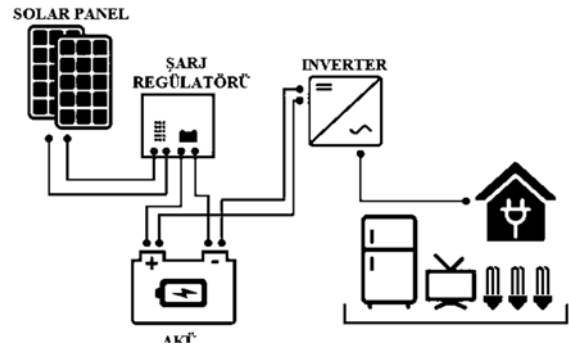
Silikon, bir metaloid ve iletkenidir. Bu madde güneş ışığını emerek kullanılabilir elektriğe dönüştürür. Silikondaki hücrelere çarpan ışık, buradaki elektronları hareket ettirir ve elektrik akımının başlamasını sağlar. İşte bu etkiye fotovoltaik etki denir. Bu etki sayesinde güneş ışınlarının panele çarpmasından doğru akım elektronları elde edilebilir. Doğru akım elektronları ise inverter olarak bilinen bir donanıma yönlendirilerek şebekelerde kullanılan alternatif akıma dönüştürülür.

Fotovoltaik sistem çeşitleri içerdiği yapılandırmalara göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar; şebekeye bağlı (On-Grid) sistemler, şebekeden bağımsız (Off-Grid) sistemler ve fotovoltaik hibrit sistemlerdir. Bu üç sistem içerdiği ekipmanlar vasıtasıyla birbirlerinden ayrılır. Şebekeye bağlı sistemlerin yapısı Şekil 3'te sunulmuştur.



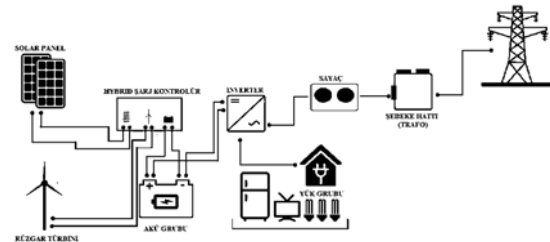
Şekil 3. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler [23]
(On-Grid photovoltaic systems)

Şekil 3'te gösterildiği gibi şebekeye bağlı bir güneş fotovoltaik sistemi, modüller kullanarak elektrik üreten ve ürettiği elektriği şebekede elektrik olması koşulu ile şebekeye veren sistemlerdir. Bu tür güç sisteminin temel bileşenleri, güneş fotovoltaik modülleri, inverterler, bağlantı kutusu (doğru akım (DC)/alternatif akım (AC)), güç koşullandırma ünitesi, alternatif akım dağıtım panosu ve transformatör, şalt ve şalt sahasıdır. Şebekeye bağlı bir sistemde gündüz saatlerinde üretilen güneş enerjisi, herhangi bir enerji depolamadan şebekeye verilir. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem yapısı ise Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem [23]
(Off-Grid photovoltaic systems)

Şekil 4'teki şebekeden bağımsız sistemler kısaca bağımsız sistemler olarak da bilinir. Bu sistemler, solar fotovoltaik modülleri tarafından üretilen elektrik enerjisini aküler gibi depolama cihazlarında depolar. Akülerde depolanan enerji, güç kaynağı talebi olduğunda veya güneş ışığının olmadığı gece saatlerinde kullanılabilir. Bu sistemler elektrik kaynağı olmayan, enerji sıkıntısı olan veya şebekeye erişimin olmadığı uzak yerlerde de kullanılır. Hibrit fotovoltaik sistem yapısı ise Şekil 5'te sunulmuştur.



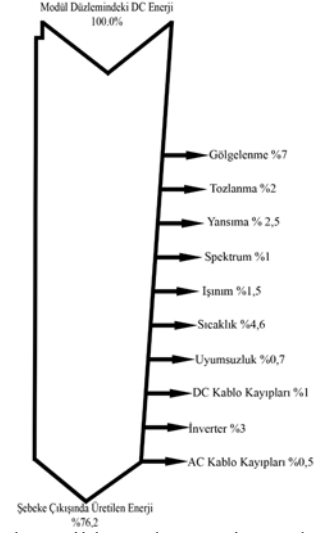
Şekil 5. Hibrit fotovoltaik sistem [23]
(Hybrid photovoltaic system)

Şekil 5'teki fotovoltaik güneş panellerinin ve küçük rüzgâr türbinlerinin elektrik enerjisi üretimi iklim koşullarına göre değişir. Bu yüzden tek başlarına çok zengin bir enerji üretim kaynağı değildir. 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 [24].

4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE PERFORMANS, VERİMLİLİK VE ARIZALAR (PERFORMANCE, PRODUCTIVITY, AND FAULTS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS)

4.1. Fotovoltaik Sistemin Performansına Etki Eden Faktörler (Factors Affecting Performance of Photovoltaic System)

Güneş enerjisi santrallerinde üretilebilecek maksimum elektrik enerjisi, yapılan fizibilite çalışmaları sırasında belirlenir. Santral kurulum devreye alındıktan sonra önceden hesaplanan ve maksimum üretilmesi gereken elektrik enerjisinin altında bir değer ortaya 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 enerjisi santrallerinde kullanılan meteorolojik istasyonlar bazı veriler sunar. İstasyonlardan alınan sıcaklık, ışınım, rüzgâr değeri gibi meteorolojik verilerin anlamlı hale getirilip analizlerinin yapılması, 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 gölgeleme, 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 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Modül enerji kayıplarına ait yüzdeler [25]
(Percentages of module energy losses)

Bunlara ek olarak konum, yönlendirme ve yüzey açısı, panel tipi, modüller arası sıcaklık ve panel temizliği unsurları da güneş enerjisi performansına etki eden faktörlerdendir.

4.2. Fotovoltaik Sistemlerde Verimi Etkileyen Faktörler (Factors Affecting Productivity in Photovoltaic Systems)

Bir GES'de verimi etkileyen temelde dört neden vardır. Bunlar iklimsel etkiler, çevresel etkiler, sistemde kullanılacak güneş panellerinin 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 bu parametreler önceden iyice irdelenmeli ve tüm etkileşimler göz önüne alınmalıdır. Böylece belirlenen bir günde sistemin üretebileceği güç daha doğru oranda tahmin edilebilir [26].

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 şöyledir [27].

- İklimsel Etkiler
 - Panel yüzey sıcaklığını (çalışma sıcaklığını) etkileyen parametreler
 - Hava sıcaklığı
 - Rüzgâr hızı
 - Nem

- Işınım miktarı
- Panel yüzeyine düşen ışınım miktarını etkileyen parametreler
 - Yağmur yağış süresi
 - Kar yağış süresi, kar yoğunluğu
 - Bulut yoğunluğu
 - Güneşlenme süresi
- Çevresel Etkiler
- Güneş Panellerinin Karakteristik ve Yapısal Özellikleri
 - Panel yüzey sıcaklığı
 - Panel üzerine gelen ışınım miktarı
 - Yüzey Alanı ve V_{mpp} değeri
- Kurulum Kayıpları

4.3. Karşılaşılan Arızalar (Faults Encountered)

Güneş enerjisi 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.

Güneş enerji santrallerinde en sık görülen hata, yalıtım sorunudur. Yalıtım sorunları genel olarak kurulum aşamasındaki insan hatalarından (hatalı veya gevşek bağlantı, yanlış tesisat, kabloların zarar görmesi) veya çeşitli hayvanların kabloları kemirerek zarar vermesi gibi nedenlerden oluşabilir. Kabloardaki yüksek veya düşük sıcaklıklar da yine yalıtımın zarar görmesine bir diğer etken olarak sayılabilir.

Kurulum aşamasında sahada kullanılan panel sayısına göre ve bu panellerin oluşturacağı dizi sayısına göre inverter seçimi yapılmalıdır. Seçilen inverterin kullanılan diğer malzemelerle uyumu enerji üretimi için çok önemlidir. Çünkü kapasitesi ve teknolojisi yetersiz inverterlerin, teknik sorunlara sebep olması mümkündür [28].

Güneş panellerinde sık rastlanan bir diğer arıza grubu, cam, hücre ve bağlantı kırıkları, kaplama hataları, korozyon gibi hatalardır. Üretim hataları da yine bunlar arasına eklenebilir. Bu hatalara ek olarak, çizikler, çatlaklar, kuş dışkıları vb. nedenler de eklenebilir ve bunlar, panel üzerinde hotspot adı verilen bazı sıcak noktalar oluşturabilir. Bu bölgeler üretim kapasitesini olumsuz etkiler. Gerek bu bölgelerde gerekse de bu bölgelere komşu alanlarda enerji üretimi kaybı yaşanabilir.

GES ile üretilen enerjinin şebekeye dağıtımında kullanılan trafoların arızası da yine GES için önemli risk alanlarıdır. Buraların tamir süreleri bazen günler, haftalar veya ayları bulmaktadır. Benzer şekilde röleler de enerji sistemleri için önemli ekipmanlar olup, buralardaki hatalar enerji kalitesine veya

sistemdeki enerji toleranslarının bozulmasına neden olabilmektedir.

5. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNİN YENİLİKÇİ VE AKILLI BAKIM ONARIM FAALİYETLERİ (INNOVATIVE AND SMART MAINTENANCE AND REPAIR ACTIVITIES OF PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER PLANT)

Bu sistemlerde genel olarak bakım onarım, planlı ve planlanmamış bakım onarım olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Planlı (Önleyici/Periyodik) bakım onarımında, önceden planlanmış ve arıza önlemeyi hedeflemenin yanı sıra tesisin optimum seviyede çalışmasını sağlamak amaçlanmaktadır. Planlanmamış (arıza) bakım onarım ise arızalara yanıt olarak gerçekleştirilir.

5.1. Planlı (Önleyici/Periyodik) Bakım Onarım (Planned (Preventive/Periodic) Maintenance and Repair)

Planlı bakım onarımın ana amacı, arıza kaynaklı bakım onarım ihtiyaçlarını en aza indirmektir. Önleyici bakım onarım olarak da adlandırılabilir. Önleyici bakımın planlanması, seçilen teknoloji, sistemin çevre koşulları, garanti koşulları ve mevsimsel farklılıklar gibi çeşitli şartlara bağlı gerçekleşmektedir. Planlı bakım genellikle üreticinin tavsiyelerine göre planlanan, aralıklarla ve ekipman garantilerinin gerektirdiği şekilde gerçekleştirilmektedir.

5.1.1. Panel temizliği (Panel cleaning)

Fotovoltaik 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.

5.1.2. Modül bağlantı bütünlüğü (Module link integrity)

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 yüklenicisinin her dizideki modüller arasındaki bağlantıları en

azından periyodik olarak (örn. yıllık) kontrol etmesi gerekmektedir.

5.1.3. Dizi birleştirici kutusu (*String combiner box*)

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, GES'in 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 yüklenicisinin bağlantı kutularındaki, birleştirici kutulardaki ve bazı durumlarda modül bağlantı kutusundaki sigortaların bütünlüğünün periyodik kontrollerini en azından yıllık olarak yapması gerekmektedir.

5.1.4. Sıcak noktalar (*Hot-spots*)

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 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.

5.1.5. İnverter bakımı (*Inverter maintenance*)

Bu arıza türü, fotovoltaik enerji santralleri için en yaygın sistem kesintilerinin sebebi olarak gösterilebilir. Mümkün olan en yüksek düzeyde verim almak için düzenli aralıklarla inverter bakımı yapılmalıdır. Bu sayede plansız bakım onarım maliyetleri de azaltılmış olacaktır. Düzenli kontroller sayesinde inverterlerin çalışmaları takip edilebilir ve anında müdahale gerçekleştirilebilir. Bu ekipmanda aşırı ısınma veya akım, düşük veya aşırı gerilim, yalıtım sorunu, fan arızası vb. sorunlar meydana gelebilir. Düzenli kontroller sayesinde bunlar tespit edilerek uzman kişiler tarafından giderilebilir.

5.1.6. Trafo bakımı (*Transformer maintenance*)

Trafo bakımı önemlidir ve bu bakım işleminden önce iş güvenliği tedbirleri alınmalıdır, aksi takdirde ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Trafonun beslediği şebeke başta olmak üzere sistem ve tesis verimliliği, güvenlik, etkililik ve maliyetler açısından düzenli ve planlı bakım onarım faaliyetleri önemlidir. Trafonun boyutu, ürettiği güç ile doğru orantılı olarak artar. Bu nedenle kuruluma ve bakıma etki eden tüm faktörler bu oran ile belirlenerek dikkate alınır.

5.1.7. Yapısal bütünlük (*Structural integrity*)

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

5.1.8. Sistemin genel uyum kontrolü (*General compliance check of the system*)

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 enerjisi santralindeki geriye kalan tüm sistemler düzenli olarak kontrol edilmeli ve bakımının yapılması gerekmektedir.

5.1.9. Bitki örtüsü kontrolü (*Vegetation control*)

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.

5.2. Planlanmamış (Arıza) Bakım Onarım (*Unscheduled (Failure) Maintenance Repair*)

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 tesisin konumuna ve insanlı olup olmamasına göre planlanarak 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 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,
- Merkezi denetim ve veri toplama (Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA) hatalarını gidermek,
- Montaj yapısı hatalarının onarılması.

5.3. Performans İzleme, Değerlendirme ve Optimizasyon (Performance Monitoring, Evaluation, and Optimization)

Sistem performansını optimize etmek için, tesisin ömrü boyunca tüm bileşenlerin verimli bir şekilde çalışmasını sağlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin kullanılabilirliğini ve verimini en üst düzeye çıkarmak için GES'in sürekli izlenmesi önemlidir. Bir SCADA sistemi, GES'in 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.

5.4. Arıza Tespiti ve Onarımı (Troubleshooting and Repair)

Periyodik bakım, sistem verimini en üst seviyede tutarken yüksek maliyetli arızaların oluşumunu engelleyerek güneş enerjisi santralının ömrünü uzatmaktadır. Sistemlerin güvenli ve verimli çalışması için bakım - onarım zamanında, uluslararası standartlar ve normlara uygun testler uygulanması gereklidir. Güneş santralleri için aşağıda belirtilen bakımlar uygulanmaktadır [29].

- Topraklama ve Süreklilik Testleri,
- Polarite Testleri,
- Açık Devre Gerilimi (VOC) ve Kısa Devre Akımı (ISC) Ölçümleri,
- Fonksiyon Testleri
- İzolasyon (Hipot) Testleri-IEC 62446
- Fotovoltaik Modüllerinde Oluşan Hot-Spot Etkisi ile Tüm Panoların Drone ve El Termali ile Ölçümü IEC 62446/IEC61215,

- Fotovoltaik Modüller ve Dizileri için I-V Eğrisi Ölçümleri (IEC 60891),
- Güneş Panellerini EL (Elektrolüminesans) Görüntüleme Testi-IEC 61215/IEC61646,
- Gerçek Değerler Kullanılarak Fotovoltaik SYST Simülasyonu,
- Güvenlik Etiketleri.

5.5. Yapay Zekâ ve GES Alanında Kullanımı (Artificial Intelligence and Use in SES)

Günümüzde yapay zekâ çalışmaları eğitimden sağlığa, tarımdan sanayiye kadar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır [30–38]. Yapay zekânın merkezinde bir problemin çözümü için gereken adım dizileri olan algoritma vardır. Algoritmalar, veriler üzerinde çalıştırılır ve problemler çözülür. Diğer tüm alanlarda olduğu gibi, teknolojik gelişmeler sayesinde enerji alanında da çok miktarda veri üretilmektedir. Bu verilerin yönetimi, klasik yöntemlerle artık pek de mümkün olmamaktadır. Ayrıca performans ve verimlilik için verilerin akıllı ve otomatik yöntemlerle analiz edilmesi de gerekmektedir. Makine öğrenmesi teknikleri sayesinde bu veriler daha anlaşılabilir, daha kolay, daha verimli ve daha etkili çözümlenebilir ve kullanılabilir. Yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı sayesinde enerji sektöründe ortaya çıkabilecek faydalar şöyle açıklanabilir.

5.5.1. Tahmine dayalı analiz (Predictive analysis)

Enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Çünkü modern endüstri ve insan hayatı bu ihtiyacı artıracak şekilde gelişmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için yenilikçi ve akıllı teknolojilerin kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Enerji sektöründeki maliyetler, güç tasarrufu sorunu, hizmetlerin iyileştirilmesi, koşullardaki değişim ve bu değişime ayak uydurma ile tüm bunlar için oluşturulan veri sistemlerinin analizi problemleri bulunmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları, pek çok farklı disiplinde yüksek başarımlı veri analizleri gerçekleştirdiği gibi, enerji sektöründeki bu verilerin analizi için de önemli çözümler sunma potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisi için ihtiyaç analizi, pazar payı, üretim kapasiteleri, yüklenme analizleri vb. pek çok akıllı analizler gerçekleştirilerek tahmine dayalı kararlar alınabilir. Benzer şekilde arıza tespiti ve olası arızaların öncede tahmini (öngörücü analiz) işlemleri de yapay zekâ teknikleri ile mümkün hale gelmiştir. Arıza tahmini işlemlerinin GES'e katkısı özellikle maliyet açısından çok önemlidir. Olası kesintilerin önüne geçilmesi ve zamanında müdahale, sistemin kritik hatalardan kurtarılmasına katkı sağlayabilir. Bu nedenle yapay zekânın işlediği veriler neticesinde ulaşacağı tahminler, bu sorunların üstesinden gelmek için çözümler üretebilecektir [39].

5.5.2. Kaynak yönetimi (Resource management)

Yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleriyle elde edilen tahminlerden sonraki aşama ise sistem kaynakları ve şirket kaynaklarının yönetimi olacaktır. Yenilikçi ve akıllı tekniklerle yapılan tahminler ve analizler sayesinde şirketler, güneş enerjisi kaynaklarına yönelik talepleri öngörebilecek ve bu doğrultuda kaynak dağıtımını gerçekleştirebileceklerdir. Tasarruf ve verimlilik ile performans da yine doğru kaynak kullanımı sayesinde mümkün hale gelecektir. Kullanıcılar, yapay zekânın sunduğu bu imkânlar sayesinde daha özel hizmetler alabilecek, faturalarında da daha düşük meblağlar görebilecektir [39].

5.5.3. Enerjinin depolanması (Storage of energy)

GES için baş edilmesi gereken konuların başında gelenlerden biri de enerjinin verimli depolanması sorunudur. Yüksek miktarda enerji üretmek, bu enerjinin verimli depolanmasını ve dağıtılmasını sağlamak, GES için kapasite yönetimi çalışmaları anlamına gelmektedir. Yapay zeka destekli karar destek mekanizmaları hazırlanarak GES depolamaları optimize edilebilir. Depolama yönetimi için istatistiksel çıkarımlar yapmak, geleceğe dair planlamalar yapmak ve ihtiyaç analitiği için yapay zeka teknolojileri oldukça yenilikçi ve akıllı çözümler sunmaktadır [39].

5.5.4. Önleme hizmetleri (Prevention services)

Yapay zekâ destekli sistemler sayesinde aşırı sistem yüklenmeleri tahmin edilebilir ve operatörler, potansiyel trafo arızaları hakkında önceden bilgi sahibi olarak tehlikeli kullanımların önüne geçebilir [39].

5.6. Enerji sektöründe yapay zekâ uygulamasının olası zorlukları (Possible challenges of artificial intelligence application in the energy sector)

Enerji sektöründe yapay zekâ uygulamalarını sınırlayan bazı unsurlar bulunmaktadır. Bu unsurlar şöyle açıklanabilir [39]:

- Teorik Bilgi Eksikliği: Sektör yöneticileri ve karar vericiler, yapay zeka çalışmalarına tam hakim değiller.
- Pratik Uzmanlık Eksikliği: Pek çok farklı alanda çalışmalar gerçekleştirildiği için GES alanında henüz yeterli sayıda yapay zeka uzmanı bulunmamaktadır.

- Eski Altyapılar: GES altyapısının tamamı henüz yenilikçi teknolojiler için adapte edilmiş durumda değildir.
- Mali Baskı: Yapay zeka teknolojileri deneyim, yazılım sistemleri, uzman ve zaman gerektirir. Bunların her biri ise şirketler için maliyet anlamına gelmektedir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND CONCLUSION)

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. Ancak bu kaynaklar her ne kadar temiz enerji olarak nitelense de doğaya farklı şekillerde zarar vermektedirler. 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 enerjisi 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 aygıtların yapımı esnasında ortama yüksek oranda sera gazları çıkmaktadır.

Doğada insanoğlu tarafından yapılan her türlü değişim, enerji üretmek ve bunun transferini sağlamak için kullanılan teknolojik aygıtlar doğaya bir şekilde zarar vermektedir. Bu durumda en önemli konu ise mümkün olduğunca tasarruflu davranarak enerji tüketimini azaltmak ve ihtiyaç duyulan enerjiyi de farklı kaynaklardan doğaya en az hasar vererek üretmektir. Böylelikle hem süreklilik sağlanırken hem de doğaya daha az zarar verilecektir.

GES, gelişen teknoloji ile hayatımızın pek çok alanında bulunan ve yakın gelecekte de neredeyse tüm

yüzeyle kaplanabilecek güneş enerjisi panelleriyle hayatımızın her alanında yer alacaktır. Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan teknolojilerden biri 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.

GES'in sürdürülebilirliği için bakım onarım prosedürleri önem arz etmektedir. Planlı ve planlanmamış bakım onarım faaliyetlerine ek olarak yenilikçi ve akıllı bakım onarım teknikleriyle bu sistemlerin performansları artırılabilir ve böylece verimliliklerine katkı sağlanabilir.

Fotovoltaik sistemleri geniş verimli tarlalara kurmaktansa atıl olarak nitelendirilen 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 güneş bakması gibi kısıtlamalar/düzenlemeler getirilmelidir. Sonuç olarak kullanım olarak özellikle bina çatı ve verimsiz boş arazilere uygulanabilirliği ve sürekli artan verimliliği sayesinde ve kaynağının yaşam içinde vazgeçilmez bir kaynak olan güneş olması dolayısıyla GES, yenilenebilir kaynaklar arasında öne çıkmaktadır. Bu çalışmada GES'de karşılaşılabilecek sorunlar ve bu sorunlara alınacak önlemler detaylı olarak aktarılmıştır. Ayrıca yapay zekâ sistemlerinin akıllı bakım onarım için potansiyelleri de açıklanmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, Avrupa Birliği'nin Erasmus+ (Avrupa Dayanışma) Programı (KA202 - Mesleki Eğitimde Stratejik Ortaklıklar) tarafından 2020-1-TR01-KA202-093257 (Proje adı: Innovative and Smart Maintenance in Solar Energy Systems) hibe numarası ile desteklenmiştir. Burada yer alan içerik yazarların görüşlerini yansıtmaktadır ve bu görüşlerden Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Y. Atakan, "Güneş ışığını elektrige çevirmeyi kimler, nasıl akıllı edip başardılar?", HBT, c. 205, 2020.

[2] U.S. Department of Energy, "The History of Solar", Energy Efficiency and Renewable Energy, 2020.

https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeli ne.pdf (erişim Kas. 25, 2022).

[3] IEA, "Renewables - Fuels & Technologies - IEA", Renewables, 2022. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables> (Erişim Kas. 24, 2022).

[4] A. Durak, A. Aktaş, A. Güneroğlu, N. S. B. Kuşçu, ve Y. Kuşçu, Meslek Elektrik – Elektronik. Ankara: MEB, 2021.

[5] F. Çanka Kılıç, "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri", Mühendis ve Makina, c. 56, sy 671, ss. 28-40, Eki. 2015.

[6] E. Koç ve K. Kaya, "Enerji Kaynakları - Yenilenebilir Enerji Durumu", Mühendis ve Makina, c. 56, ss. 36-47, 2015.

[7] İ. Aydın, "Balıkesir'de Rüzgar Enerjisi", Eastern Geographical Review, c. 18, sy 29, ss. 29-50, Oca. 2014.

[8] H. Doğanay, Ekonomik Coğrafya 2, Enerji Kaynakları. Erzurum: Şafak Yayınevi, 1998.

[9] S. Arslan, M. Darıcı, ve Ç. Karahan, "Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli", içinde Jeotermal Enerji Semineri, 2001, ss. 21-27.

[10] H. Bayındır, H. Deviren, ve F. Akbalık, "Şırnak İli ve Çevresi Hidro Enerji Potansiyeli", içinde Şırnak Enerji ve Maden Potansiyeli, 1. Baskı., Ö. Bilgin ve D. Alp, Ed. Konya: Eğitim Yayınevi, 2018.

[11] M. Topal ve E. I. Arslan, "Biyokütle Enerjisi ve Türkiye", içinde VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 2008, ss. 241-248.

[12] M. A. Green, "High Efficiency Silicon Solar Cells", içinde Seventh E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, 1987, ss. 681-687.

[13] G. Gül, "Güneş Gözellerinin Üretilmesinde Son Gelişmelerin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.

[14] Dünya Enerji Konseyi Türkiye, "Güneş Enerjisi Devrimi Geliyor", 2020.

[15] AFA Enerji, “Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları”, Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları, 2019.
<https://www.afaenerji.com/blog/2019/09/13/artilari-ve-eksileri-ile-gunes-enerjisi/> (erişim Kas. 26, 2022).

[16] Anadolu AOF, Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, 2022.

[17] GÜYAD, “Ülkemizin Birincil Kaynaklara göre Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Grafikleri”, Ülkemizin Birincil Kaynaklara göre Elektrik Enerjisi Kurulu Güç Grafikleri, 2022.
<http://www.guyad.org/TR,1061/ulkemizin-birincil-kaynaklara-gore-elektrik-enerjisi-ku-.html> (erişim Kas. 24, 2022).

[18] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Güneş - Enerji İşleri Genel Müdürlüğü”, Güneş, 2022. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (erişim Kas. 24, 2022).

[19] G. Gamow, Güneş Diye Bir Yıldız. İstanbul: Say Yayınları, 1991.

[20] E. Arslan, H. Topal, ve M. U. Yıldırım, “Güneşlenme Şiddetini Ölçen Aletlerin Verilerinin İğdır İlinde Gösterdiği Değişkenlikler ve Bunların Nedenlerinin İncelenmesi”, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, c. 2, sy 1, ss. 41-51, 2016.

[21] S. O. Topkaya, “A discussion on recent developments in Turkey’s emerging solar power market”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, c. 16, sy 6, ss. 3754-3765, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.019>.

[22] Resmi Gazete, “Cumhurbaşkanı Kararı”, Resmi Gazete, sy 30770, 2019.

[23] M. Doğan, “Güneş Enerjisi Santrallerinin İncelenmesi ve Verimlilik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019.

[24] C. Güneş, “Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniv. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Adıyaman, 2021.

[25] E. Deniz, “Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar”, EMO, Erişim: Kas. 24, 2022. [Çevrimiçi]. Available: www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf

[26] M. H. Karabul, “Türkiye’de Fotovoltaik Ve Rüzgar Enerjisi Uygulamalarının Ülke Verileri Ve Mevcut Teknolojiler Kapsamında İstatistiksel Olarak Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2019.

[27] I. Ay, M. Kademli, S. Karabulut, ve S. Savaş, “Affecting Factors of Efficiency in Photovoltaic Energy Systems and Productivity-Enhancing Suggestions”, 2022 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), ss. 1-6, Eyl. 2022, doi: 10.1109/ASYU56188.2022.9925271.

[28] U. Bozkaya, “Güneş Enerji Santrallerinin Kurulum ve Üretim Maliyetleri”, Güneş Enerji Santrallerinin Kurulum ve Üretim Maliyetleri, 2022. <https://sehatek.com.tr/blog/gunes-enerji-santrali-maliyetleri> (erişim Kas. 24, 2022).

[29] Invest Enerji, “Invest Solar Enerji”, Invest Solar Enerji, 2022. <http://www.investenerji.com/> (erişim Kas. 26, 2022).

[30] S. Buyrukoğlu, “Improvement of Machine Learning Models’ Performances based on Ensemble Learning for the detection of Alzheimer Disease”, içinde 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), 2021, ss. 102-106. doi: 10.1109/UBMK52708.2021.9558994.

[31] S. Buyrukoğlu ve A. Akbaş, “Machine Learning based Early Prediction of Type 2 Diabetes: A New Hybrid Feature Selection Approach using Correlation Matrix with Heatmap and SFS”, Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering, c. 10, sy 2, ss. 110-117, Nis. 2022, doi: 10.17694/bajeece.973129.

[32] İ. Yücedağ ve O. Güler, “Mesleki Ortaöğretim Öğrencilerinin Alan Seçimi Problemine Bulanık Mantık Temelli Yaklaşım”, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 32 (1), ss. 111-122, 2017.

[33] M. H. Calp, R. Butuner, U. Kose, A. Alamri, ve D. Camacho, “IoHT-based deep learning controlled robot vehicle for paralyzed patients of smart cities”, Journal of Supercomputing, ss. 1-36, Şub. 2022, doi: 10.1007/S11227-021-04292-4/TABLES/13.

[34] M. J. Nodeh, M. H. Calp, ve İ. Şahin, “A Novel Hybrid Model for Vendor Selection in a Supply Chain by Using Artificial Intelligence Techniques Case Study: Petroleum Companies”, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, c. 43, ss. 226-251, Nis. 2019, doi: 10.1007/978-3-030-36178-5_19.

[35] S. Buyrukoğlu ve S. Savaş, “Stacked-Based Ensemble Machine Learning Model for Positioning Footballer”, *Arabian Journal for Science and Engineering* 2022, ss. 1-13, Nis. 2022, doi: 10.1007/S13369-022-06857-8.

[36] Y. Yılmaz ve S. Buyrukoğlu, “Hybrid Machine Learning Model Coupled with School Closure For Forecasting COVID-19 Cases in the Most Affected Countries”, *Hittite Journal of Science and Engineering*, c. 8, sy 2, ss. 123-131, Haz. 2021, doi: 10.17350/HJSE19030000222.

[37] S. Savaş ve N. Topaloğlu, (2015). “Sosyal Medya Verileri Üzerinden Siber İstihbarat Faaliyetleri”. VIII. Uluslararası Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı, (s. 1-7). Ankara.

[38] S. Savaş, N. Topaloğlu, Ö. Kazıcı, P. N. Koşar. “Performance comparison of carotid artery intima media thickness classification by deep learning methods”. In *SETSCI Conference Proceedings*, volume 4(5), pp. 125–131. International Congress on Human–Computer Interaction, Optimization, and Robotic Applications (2019). <https://doi.org/10.36287/setsoci.4.5.025>.

[39] crearticle.com, “Geleceğin Enerji Sektöründe Yapay Zekanın Rolü”, *Geleceğin Enerji Sektöründe Yapay Zekanın Rolü*, 2021. <https://www.entec.com.tr/gelecegin-enerji-sektorunde-yapay-zekanin-rolu/> (erişim Kas. 24, 2022).