

Fotovoltaik Enerji Üretimini Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği

Özgün UZ^{1*}, Tuğba ÖZDEMİR², Özge TÜZÜN ÖZMEN³

¹İzmir Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir

²Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce

³İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 08.01.2022, Kabul Tarihi (Accepted): 11.02.2022

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): 6016009@bakircay.edu.tr

☎ +90 232 2493000/11233 📠 +90 232 8447122

ÖZ

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir coğrafi bölgede yer almaktadır. Güneş potansiyelini yüksek kılan meteorolojik faktörler, elektrik üretimini doğrudan etkilemektedir. Mevcut üreticiler için öngörülen meteorolojik şartlardaki elektrik üretimi tahmin etmek üretim planlaması yapmaya yardımcı olacaktır. Aynı zamanda yatırımcılar için farklı bölgelerde yapılacak yatırımlarda güç çıkışını önceden tahmin etmek teşvik edici olacaktır. Bu çalışmada İzmir Bakırçay Üniversitesi bünyesinde bulunan 400kW güce sahip güneş enerji santralinin 2020 yılına ait üretim verileri, İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen meteorolojik verilerle birlikte analiz edilmiş ve aylık periyotlarda karşılaştırılması yapılmıştır. Üretilen elektrik enerjisindeki değişimin meteorolojik faktörlerle ilişkilendirilerek açıklanmasıyla birlikte ilerde yapılacak üretimde ve yatırımlarda yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik enerji, meteorolojik faktörler, İzmir

Associating Photovoltaic Energy Production with Meteorological Conditions: The Example of İzmir Bakırçay University

ABSTRACT

Turkey is located in a geographical region with high solar energy potential. Meteorological factors, which make the solar potential high, directly affect electricity production. Forecasting electricity production under predicted meteorological conditions for current generators will help to make production planning. At the same time, it will be encouraging for investors to predict power output in investments to be made in different regions. In this study, the production data of the 400kW solar power plant within the body of İzmir Bakırçay University for the year 2020 were analyzed together with the meteorological data obtained from the İzmir Regional Directorate of Meteorology and they were compared in monthly periods. It is aimed to guide the production and investments to be made in the future with the explanation of the change in the electricity produced by associating it with meteorological factors.

Keywords: Photovoltaic energy, meteorological factors, İzmir

GİRİŞ

Son yıllarda hızlı nüfus artışı ve küresel ekonomik talepler teknolojinin gelişmesine sebep olmuştur. Gelişen teknoloji beraberinde günlük ihtiyaçların ve gereksinimlerin farklılaşmasına yol açmıştır. Sanayi devriminden önce iş gücü, tarım ve hayvancılık yeterli gelirken, sanayi devrimiyle insan gücü yerini makinelere bırakmıştır. Bu noktada, makinelerin her alanda çoğaltılması ve günlük hayatımızın vazgeçilmezleri olması elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artmasına neden olmuştur (Koç ve ark., 2018).

İnsanoğlunun enerji ihtiyacını yüzyıllardır karşılamak için kullandığı fosil yakıtlardan elde edilen enerji, günümüz makineleri için yeterli gelmemekle birlikte maliyetli de olması alternatif enerji kaynakları arayışını gündeme getirmiştir. Bu bağlamda, çevre dostu ve sürdürülebilir olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyoenerji gibi alternatif enerji kaynakları akademik çalışmalarda oldukça önemli hale gelmiştir (Koç ve Kaya, 2015).

Alternatif enerji kaynakları arasında ise güneş enerjisi yani fotovoltaik enerji (PV), enerji kapasitesi en yüksek enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Bu sebepten özellikle 21. yüzyılda üzerinde en çok yatırım yapılan kaynak olarak öne çıkmaktadır. Özellikle 20. yüzyılın sonlarından itibaren büyük devletler güneş enerjisine yatırım yapmaya başlamışlardır (Kannan ve Vakeesan, 2016).

Hatta gelişmiş ülkeler tarafından güneş enerjisi için, 2015 yılı sonuna kadar dünya çapında 223 GW gücünde PV panel tesisleri kurulmuştur (Zeng ve Wen, 2016). Amerika, Almanya, Çin, Japonya ve İtalya gibi ülkelerin kurduğu bu PV sistem tesisleri, güneş enerjisinin önemini vurgulamış ve PV sistemlerin dünya çapında etkili bir ekonomik pazar olduğunun en güzel şekilde göstermiştir (Zeng ve Wen, 2016; Ishii ve Masuda, 2017).

Bunun yanı sıra, PV sistemlere bu derece önem verilmesi elektrik üretimindeki güvenilirliklerindedir (Ishii ve Masuda, 2017). Çünkü silisyum, germanyum, selenyum, bakır, arsenik, tellür gibi elementlerin saf ya da katkılı şekilde kullanılması sonucu elde edilen yarıiletken teknolojisidir. Bunun fiziki nedeni ise; yarıiletkenlerin çalışma prensibi güneş ışığından doğrudan elektrik enerjisi üretimine uygun olmasıdır (Szabo, 2017).

PV sistemler olarak adlandırılan yarıiletkenlerden elektrik elde etmek için; gelen güneş ışığının yoğunluğu, güneşlenme süresi, güneşin geliş açısı, kullanı-

lan yarıiletkenin cinsi, PV panellerinin teknolojisi, ortam sıcaklığı, nem vb. birçok parametreye dikkat etmek gerekmektedir (URL-1, 2021). PV panelleri oluşturan yarı iletkenler malzemelerin yanı sıra meteorolojik çevre şartları panellerin çalışma prensibini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden, güneşten elektrik enerjisi üretirken PV paneller için en uygun çevresel koşulların olduğu bölgeleri seçmek, verim ve performansları açısından oldukça önemlidir (Said ve ark., 2018).

Ülkemizin çevresel koşullar ve meteorolojik açıdan PV enerji için çok şanslı konumda oluşu güneş enerjisi kullanımını için büyük bir avantajdır. Türkiye bu avantajı kullanmakta gelişmiş ülkelerin biraz gerisinde kalmış olsa da son yıllardaki devlet teşvikleri bir hayli etkili çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda günümüzde, Türkiye'nin güneş enerjisindeki kurulu gücü 2021 yılının ilk üç ayında 296,6 MW artarak toplamda 6964 MW'lık güce ulaştığı Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) verileriyle açıklanmıştır (GENSED, 2021). Bu kapsamda yapılan çalışma, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için çevre ve doğa dostu güneş enerjisine yönelik yeni çalışmalar yaparak, ülkemizin enerji sektörüne katkı sağlamayı amaçlamış bulunmaktadır.

Bu çalışmada kendi elektriğini temiz enerji kaynaklarından elde etmeyi hedefleyen İzmir Bakırçay Üniversitesi'nin Seyrek Kampüsü üzerinde yer alan 400 kW gücündeki güneş enerji santralinin 2020 yılına ait üretim verileri, aylık periyotlarla analiz edilmiş ve İzmir ilinin meteorolojik verileriyle karşılaştırılması yapılmıştır. İlerleyen zamanlarda farklı coğrafi bölgelerde yapılacak olan yatırımlarda güneş panellerinden elde edilecek elektrik enerjisi miktarının meteorolojik faktörlerle ilişkilendirilerek kılavuzluk etmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

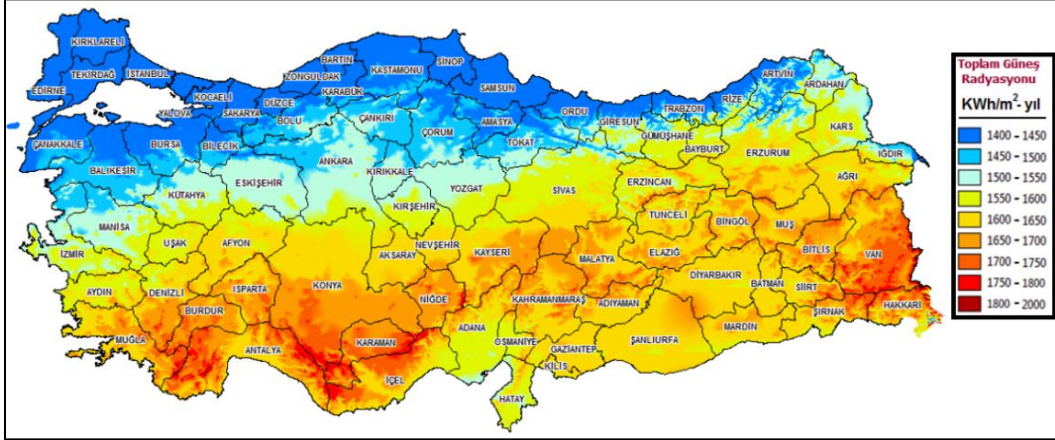
İzmir Bakırçay Üniversitesi

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat ve ortalama yıllık toplam ışınım değeri de 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Türkiye'nin yer aldığı coğrafya güneş enerjisi için iyi bir potansiyele sahiptir (ETKB, 2017).

Anadolu'nun en batısında ve Ege denizine kıyısı olan İzmir bir sahil şehridir. Akdeniz iklimi etkisi altında olan İzmir'de yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçer (Öztürk ve ark., 2017). Bununla birlikte Şekil 1'de görüldüğü üzere İzmir ili 1500-1600 kWh/m² yıllık gü-

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği

neş radyasyonuna sahip olmasıyla birlikte güneş potansiyeli açısından verimli bir bölgededir (ETKB, 2017).

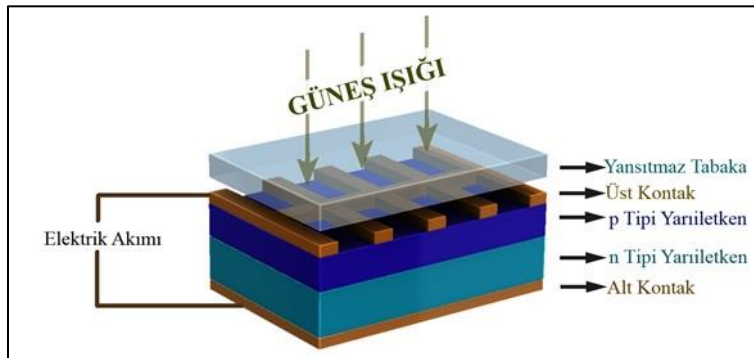


Şekil 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) (ETKB, 2017)

Bu makalede İzmir Bakırçay Üniversitesi'nde kurulu olan PV paneller kullanılmıştır. Üniversitenin ana yerleşkesi İzmir ilinin Menemen ilçesinin Seyrek köyü yakınlarında bulunmaktadır. “*Kendi Kendine Yeten Kampüs*” sloganıyla kendi enerjisini kendi üretebilmeyi hedeflemiştir. Bu yüzden kendi güneş enerjisi santraline (GES) ve rüzgar santraline sahiptir. GES içinde bulunan 1600 adet fotovoltaik panel ile elektrik üretimine devam etmektedir. Çalışmada kullanılan meteorolojik faktörlerin verileri ve enerji üretim verileri ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve açıklanmıştır.

Fotovoltaik Panel Teknolojisi

Bazı yarıiletken malzemeler güneş ışınlarındaki fotonların taşıdığı enerjiyi elektrik enerjisine çevirebilmektedir. Güneş ışığındaki enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bu sistemlere fotovoltaik sistemler denmektedir. Fotovoltaik (PV) sistemler temel olarak PV paneller ve invertörlerden meydana gelmektedir (Sayın ve Koç., 2011). PV paneller, PV enerjiyi üreten güneş hücrelerinden oluşur. Güneş hücresi, Şekil 2’de gösterildiği gibi; yansıtıcı tabaka, üst kontak, “n” ve “p” tipi yarıiletken malzemeler ve alt kontak tabakalarının katmanlar halinde birbirine kenetlenmesi ile oluşur (Ranabhat ve ark., 2016).



Şekil 2. Güneş hücresi yapısı

Şekil 2’de gösterilen yapıya sahip olan güneş hücreleri, yansıtıcı yüzeyden geçen güneş ışığının p tipi malzeme üzerinde elektron yoğunlaştırmasıyla birlikte

oluşan gerilim sebebiyle, elektronların n tipi malzemeye hareket etmesiyle doğru akım oluşturur. Alt ve üst kontaklar ise hücreleri birbirine bağlayacak iletken kontak yüzeylerdir. Birden fazla sayıda güneş hücresi

seri ya da paralel bağlanarak PV panelleri oluşturmaktadır.

PV paneller yapılarına göre kristal silisyum piller, ince film piller, amorf-silikon piller, bakır indiyum diselenit piller ve piyasada yaygınlaşmamış diğer malzemeler olarak 5 grupta incelenebilir. Kristal silisyum piller ise monokristal silisyum ve polikristal silisyum olmak üzere ikiye ayrılır. Monokristal silisyum piller daha yüksek verimliliğe sahipken, polikristal silisyum piller daha düşük maliyet avantajına sahiptir. Maliyet avantajından ötürü büyük ölçekte üretim yapan GES'lerde polikristal silisyum paneller sıklıkla kullanılmaktadır (Gerbinet ve ark., 2014).

Kullanılan Fotovoltaik (PV) Panellerin Özellikleri

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Seyrek Yerleşkesinin batısında bitişik olarak bulunan 6 dönümlük öğrenci otoparkında 6 sıra çelik konstrüksiyon üzerine kurulu olan 400kW gücündeki tesiste tek tipte, toplamda 1600 adet Şekil 3'te görseli yer verilen PERLIGHT SOLAR marka PLM250P-60 model 250W, 30V polikristal silisyum PV panel kullanılmıştır. Kullanılan panellerin teknik özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. 2018 yılında inşaatı bitirilen GES, 2019 yılının mayıs ayında tüm soket ve kablolarının değiştirilerek yenilenmesi ve panellerin yıkanmasıyla birlikte aktif olarak faaliyete girmiştir.



Şekil 3. PERLIGHT SOLAR 250P-60 PV panel

Tablo 1. PERLIGHT SOLAR 250P-60 PV panel teknik özellikleri

Üretici	PERLIGHT SOLAR
Model Numarası	PLM-250P-60
Hücre Tipi	Polikristal Silisyum
Maksimum Güç (W)	250
Maksimum Gerilim (V)	31,73
Maksimum Akım (A)	7,88
Açık Devre Gerilimi (V)	37,58
Kısa Devre Akımı (A)	8,49
Maksimum Sistem Voltajı (V)	1000
Hücre Boyutu (mm)	156 × 156
Modül Boyutu (mm)	1650 × 992 × 40

Yerleşkenin kuzeybatısında bulunan otoparkta, çelik konstrüksiyonlar üzerine yerleştirilmiş olan güneş panelleri Şekil 4a'da görülmektedir ve Şekil 4b'de görüldüğü üzere çelik konstrüksiyon üzerinde sıralı olarak kurulan paneller araçlara gölgelik görevi görürken aynı zamanda elektrik üretimi sağlamaktadır. 6 Çelik konstrüksiyon sırasından Şekil 3'te gösterilen PV panellerden, 4 sırada 265'er adet, 2 sırada ise 270'er adet, toplam 1600 adet panel bulunmaktadır

Şekil 5a'da 6 sırada dizilmiş PV gruplarını barındıran otopark alanı uydudan fotoğraflanmıştır. Güneş ışığını daha iyi yakalayabilmek ve eğimi sayesinde yağmur sularını kullanarak doğal yollarla temizlenmesi sağlanması amaçlanarak, eğimli olarak kurulan panellerin konstrüksiyon açısı Şekil 5b'de gösterilmiştir.

GES bünyesinde bulunan 1600 adet panelden elde edilen doğru akımı şebeke standartlarındaki alternatif akıma dönüştürmek için toplam 24 adet SMA Marka FLX PRO 17 model invertör kullanılmaktadır. Tablo 2'de kullanılan invertörlerin teknik özelliklerine ve Şekil 6'da görseline yer verilmiştir.



Şekil 4. a. Kampüs ve kuzey batısında bulunan otoparkın uydu görüntüsü, b. Otopark üzerine kurulu GES



Şekil 5.a. PV panellerin dizilişi, b. Konstrüksiyon üzerinde yerleşim açısı

Tablo 2. Kullanılan invertörlerin teknik özellikleri

Üretici	SMA SOLAR TECHNOLOGY
Model Numarası	FLX PRO 17
Nominal Güç (kVA)	17
Faz Sayısı	3
Çıkış Gerilimi (V) (Tolerans)	230-400 (+/- 20%)
Maksimum Akım (Faz-A)	3-21,7A
Nominal DC Giriş Gerilimi (V)	715
Maksimum DC Giriş Gerilimi (V)	1000
Maksimum Verim (%)	98
Invertör Boyutu (mm)	500 × 667 × 233



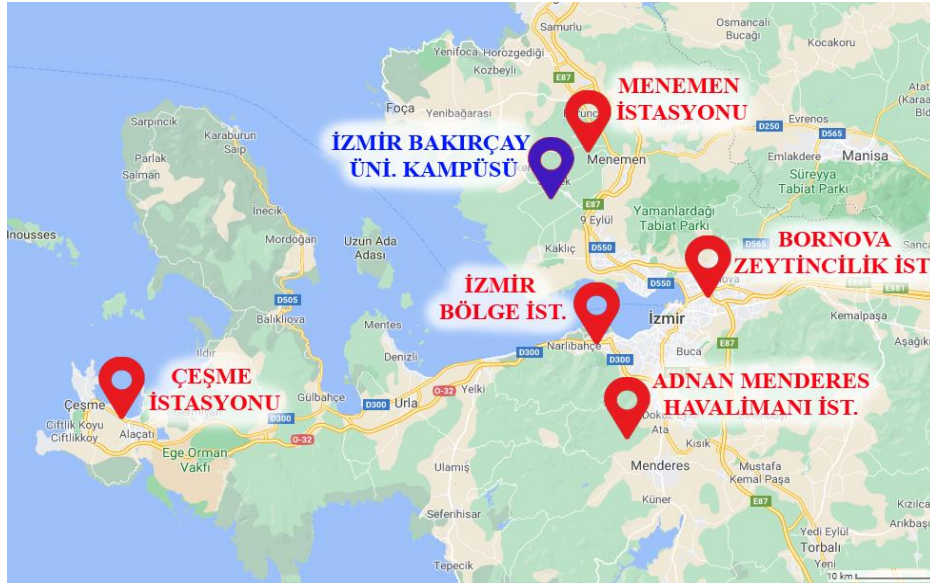
Şekil 6. PV altında konumlandırılmış invertör kabinleri

Meteorolojik Ölçüm İstasyonlarının Coğrafi Konumları

Bu çalışmada ayrıca İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden elde edilen meteorolojik verilerden faydalanılmıştır. Veriler için gerekli ölçümler İzmir ilinin farklı bölgelerinde konumlandırılmış meteoroloji istasyonlarında yapılmıştır. Bu istasyonların İzmir ili içindeki yerleşimi Şekil 7'deki haritada gösterildiği gibidir

Şekil 7'de görüldüğü üzere, Ege Denizi'ne daha gömülü olan ve İzmir ilinin en batısında bulunan Çeşme Meteorolojik Ölçüm İstasyonu (K38.30408°, D26.37264°) ile birlikte, İzmir Bakırçay Üniversitesi'ne (38.58208, 26.96403) en yakın ölçüm istasyonu olan Menemen İstasyonu (K38.62539°, D27.04255°), ana yerleşkeye göre daha güneyde yer alan İzmir Bölge İstasyonu (K38.39438°, D27.08137°), Bornova Zeytincilik Araştırma Merkezi İstasyonu (K38.45174°, D27.19827°) ve Adnan Menderes Havalimanı İstasyonu (K38.29378°, D27.15173°) olmak üzere toplam 5 farklı meteoroloji istasyonundan elde edilen ölçüm verileri kullanılmıştır.

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği



Şekil 7. İzmir Bakırçay Üniversitesi Seyrek Yerleşkesi ve bazı meteoroloji istasyonların coğrafi konumları

Meteorolojik Verilerin Analizi

Güneşlenme Süresi

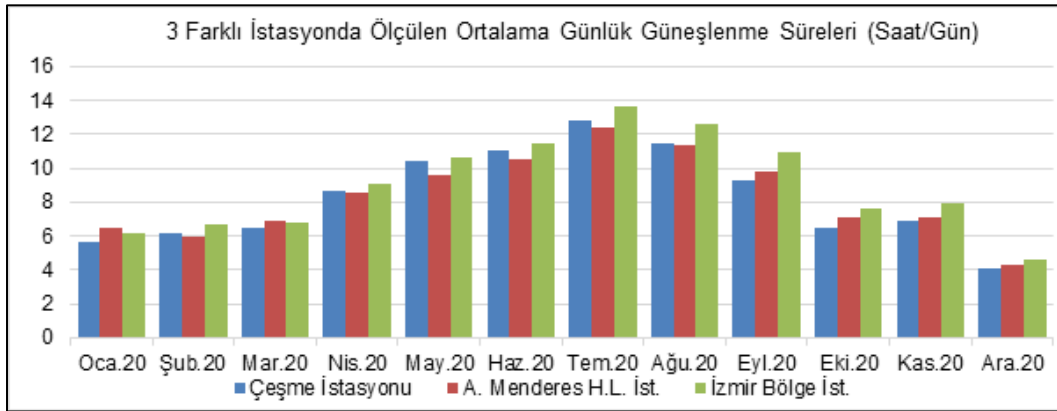
Güneşlenme süresi, panellerin enerji üretebilmeleri için ihtiyaç duyduğu ışık kaynağına sahip olduğu süreyi belirtmektedir. Güneşlenme süresi, ilgili meteoroloji istasyonları tarafından helyograf cihazı ile birlikte extrapolasyon ve interpolasyon teknikleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplama sonunda meteoroloji istasyonları verileri saatlik olarak analiz etmektedir. (Zateroğlu ve Kandırmaz, 2018) Bu çalışmada, aylık enerji üretiminin meteorolojik verilerle kıyaslanabilmesi için aylık güneşlenme süresi baz alınmıştır. Aylık güneşlenme süresi, 2020 yılı içerisindeki ayların tüm günle-

rinin saatlik güneşlenme sürelerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık güneşlenme sürelerinin hesaplanması Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$S_A = \frac{\sum_{i=0}^{G_A} (S_{Gi})}{G_A} \quad (1)$$

S_A değeri ortalama aylık güneşlenme süresini, S_G değeri günlük güneşlenme süresini ve G_A değeri, ilgili ayın gün sayısını temsil etmektedir.

Çevredeki 3 farklı ölçüm istasyonundan alınan verilerin analizinin karşılaştırılması Şekil 8'de gösterildiği gibidir.



Şekil 8. 3 farklı istasyonda ölçülen ortalama günlük güneşlenme süreleri (saat/gün)

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği

Şekil 8’de görüldüğü gibi, günlük güneşlenme süreleri karşılaştırıldığında aylık ortalama 13,62 Sa/Gün (Temmuz) ile 4,06 Sa/Gün (Aralık) arasında değişmektedir. Yaz aylarında daha çok güneşlenme süresine sahipken, kış aylarına doğru %70 oranında düşüş yaşanmaktadır.

Ortalama Sıcaklık

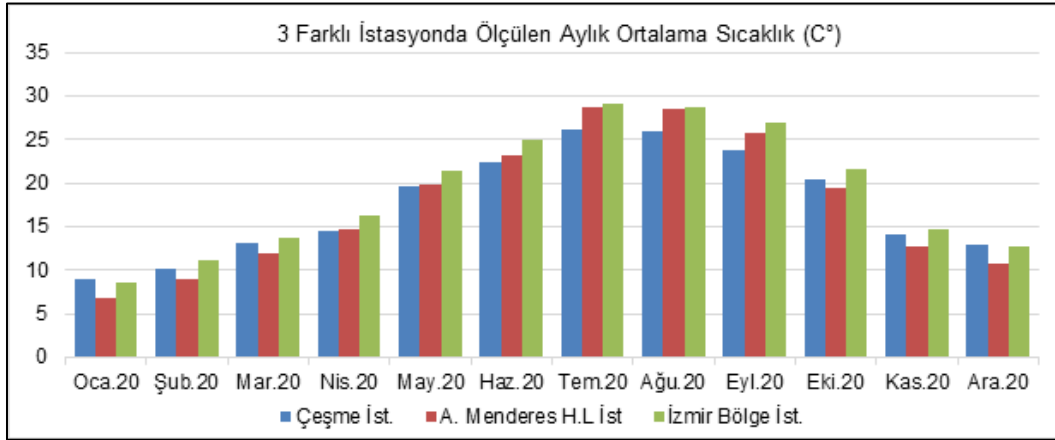
Panellerin arkasında oluşan sıcaklığın yükselmesi panellerin verimlerinin düşmesine sebep olabilir. Ortam sıcaklığı ise bu ısının yayılmasına ve panellerin soğumasına dolaylı olarak etki etmektedir (Turhan ve Çetiner, 2012). Hatta yapılan bazı çalışmalarda panellerin soğutulması için su soğutma teknikleri uygulanmıştır (Nižetić ve ark, 2016; Çakır ve Onay, 2021). 2020 yılı-

nin aylık ortalama ortam sıcaklığı, meteoroloji istasyonları tarafından günün her saatlerinin arasında ölçülen ortam sıcaklıklarının, aylık ortalamasının alınmasıyla hesaplanmıştır. Aylık ortalama sıcaklığın hesaplanması, Eşitlik 2 üzerinde gösterilmiştir.

$$T_A = \frac{\sum_{i=0}^{24} (T_{Si})}{G_A} \quad (2)$$

T_A değeri, ortalama aylık sıcaklığı ve T_S değeri ortalama saatlik sıcaklığı ve G_A değeri, ilgili ayın gün sayısını temsil etmektedir.

Aylık ortalama ortam sıcaklığı 3 farklı istasyondan analiz edilen verilere göre Şekil 9’daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 9. 3 farklı istasyonda ölçülen aylık ortalama sıcaklık (C°)

Yakın bölgelerden 3 istasyonun ortalama sıcaklık verilerini Şekil 9’da karşılaştırdığımızda, ortalama sıcaklığın birbirine yakın oranlarda değiştiği açıkça görülmektedir. Temmuz ayında 28,7 C° ile en yüksek ortalama sıcaklık yaşanırken 8,7 C° ile ocak ayında en düşük ortalama sıcaklık görülmüştür. Ocak ayıyla düşük başlayan ortalama sıcaklık, düzenli olarak yükselerek temmuz ayında zirveye ulaşmış ve eylül ayından itibaren tekrar hızla düşmeye başlamıştır.

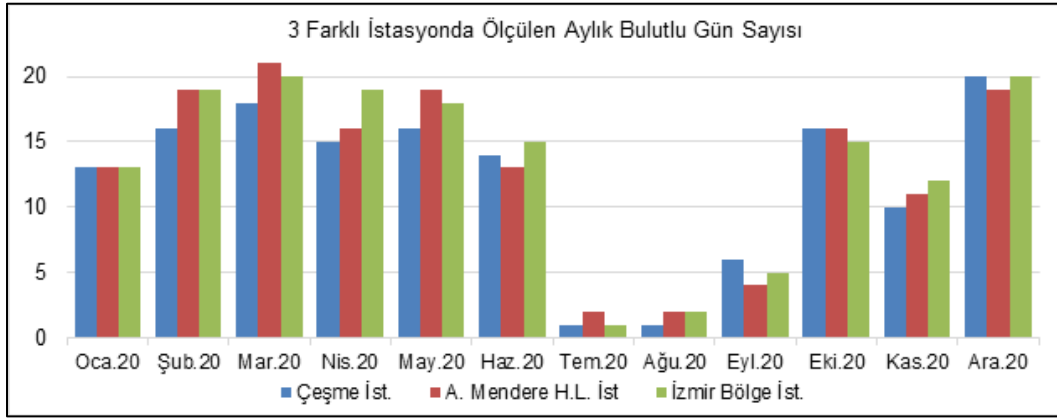
Bulutlu Gün Sayısı

Açık alanlara kurulu olan ve büyük ölçekte üretim yapan güneş enerjisi sistemlerinde enerji üretimini etkileyecek olan en doğal faktör bulutlardır. Güneş ile panel-

ler arasındaki ışığı engelleyerek ya da dağıtarak panellerin daha az ışık almasına sebep olarak panellerin aldığı ışık miktarını azaltacaktır (Kahveci, 2018).

Aylık bulutlu gün sayısını analiz ettiğimizde, Şekil 10’daki grafikte görüldüğü gibi, ocak ayından haziran ayına kadar ayda 13 ila 18 gün arasında bulutlu günler değişmektedir. Temmuz ve ağustos aylarında ise 1 ila 2 bulutlu gün gözlenmiştir. Eylül ayında 6 güne yükselen bulutlu gün sayısı, güz aylarından sonra tekrar ayda 10 ila 20 gün aralığında seyretmeye devam etmiştir. En yüksek bulutlu gün sayısı aralık ayında görülürken, en düşük bulutlu gün sayısı temmuz ve ağustos aylarında görülmüştür.

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği



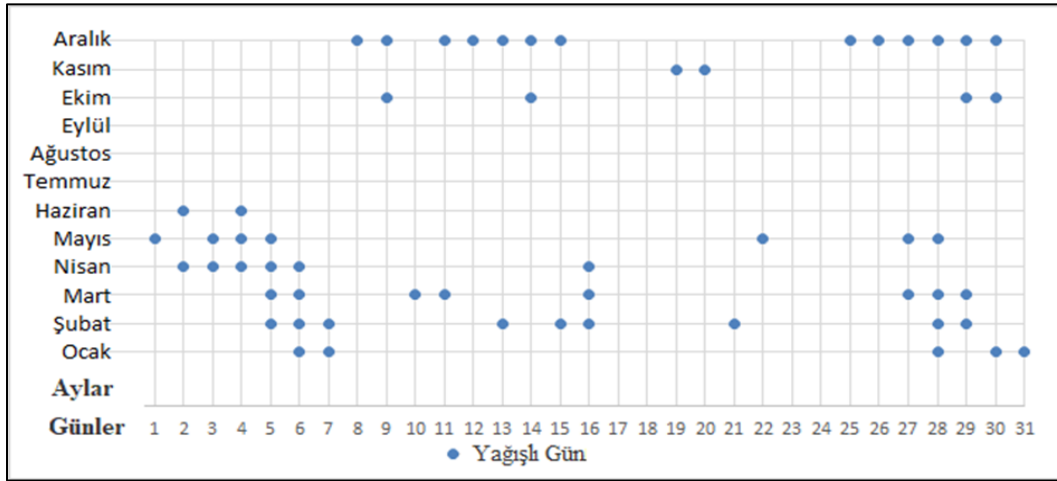
Şekil 10. 3 farklı istasyonda ölçülen aylık bulutlu gün sayısı

Aylık Yağışlı Günler

Uzun günler süren yağışlar, bulutlu gün sayısını ve havadaki nispi nem oranını arttırmaktadır. Bu faktörler panellerin aldığı ışığı düşüreceğinden dolayı, üretilen enerjinin düşmesine sebep olabilir. Uzun süre yağış olmadığı durumlarda ise PV panellerin yüzeyinde tozlanma meydana gelebilir (Chaichan ve ark., 2015; Genç, 2018). Yapılan çalışmalara göre tozlanma sonucunda PV hücrelerin aldığı ışığın azaldığı ve bu yüzden enerji üretiminin düştüğü bilinmektedir (Chaichan ve ark., 2015). Tozlanmaya karşı panellerin temizlenmesi gerekmektedir (Gürbüz, 2018).

Büyük üretim hacmine sahip GES'lerde çok fazla panel olduğundan, paneller genellikle el ile temizlenmez. Bunun yerine yağışlar sayesinde doğal yoldan temizlenmesi beklenmektedir. Yağışlar güneş panellerinin temizlenmesine yardımcı olabilir. Ancak yağışlar uzun süreli devam ederse, bu da panellerin aldığı ışığı düşüreceğinden dolayı, üretilen enerjinin düşmesine sebep olabilir.

Panellerin verimlerini daha kapsamlı analiz edebilmek için yıllık yağışlı günlerin haritasına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 11'de İzmir ilinin yıllık yağışlı günler haritası verilmektedir.



Şekil 11. İzmir ilinin yağışlı günler haritası

Şekil 11'de verilen 2020 yılı için İzmir'in yağışlı günler haritasına bakıldığında, mart ayında 4 defa, mayıs ve ekim aylarında kısa süreli yağışlar sayesinde panellerin 3'er defa yağışlar sayesinde temizlendiği görülmektedir. Ancak ekim ayındaki yüksek bulutlu gün sayısı ve güneş ışınlarının düşüş açısı, panel temizliğini sağ-

lasa da panellerin aldığı ışığın azalmasına sebep olmuştur. Ağustos, temmuz ve eylül aylarında yağış görülmediğinden dolayı paneller doğal yollarla temizlenmemiştir. Panellerin temizlenmesinin yanı sıra, yağışlı günlerin bulutluluktan kaynaklanması da panellerin aldığı ışığı etkilemektedir. Bu yüzden daha doğru bir

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği

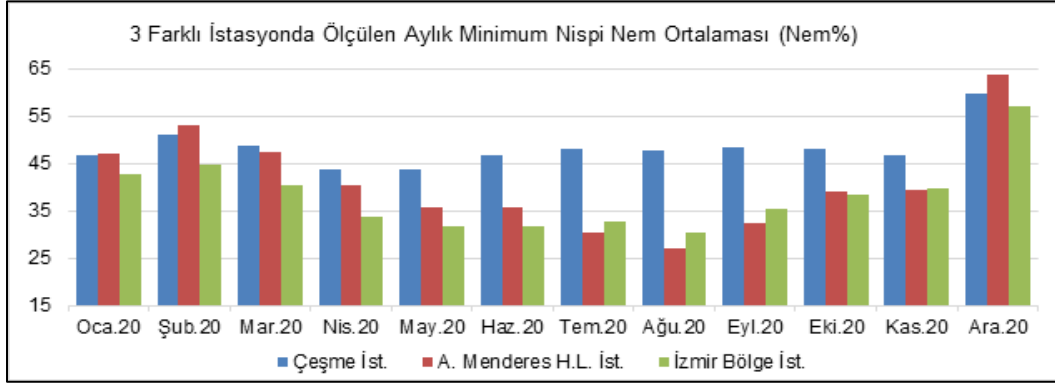
analiz için bulutlu gün sayısının da göz önüne alınması gerekir.

Minimum Nispi Nem Ortalaması

PV panel yüzeyinde oluşan nem tabakası güneş ışınlarının açısını değiştirmekte ve panele düşen ışık veri-

mini azaltmaktadır. Bu nedenle diğer şartlar ihmal edildiğinde nem miktarı ile enerji üretiminin ters orantılı olması beklenmektedir (Biçek ve Çelik, 2020).

Bu çalışmada günlük olarak ölçülen minimum nispi nem oranlarının (%Nem) aylık ortalaması alınarak hesaplanan aylık minimum nispi nem ortalamaları, Şekil 12'e ait grafikte karşılaştırılmıştır.



Şekil 12. 3 farklı istasyonda ölçülen aylık minimum nispi nem ortalaması (Nem%)

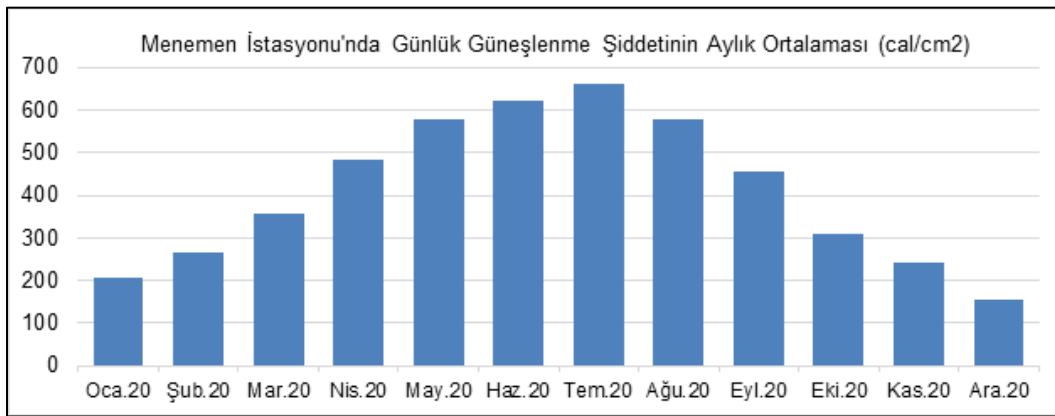
Güneşlenme Şiddeti

PV paneller enerji üretebilmek için, fotonlara ihtiyaç duymaktadır. Gelen ışığın taşıdığı enerji, PV panellerde elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu yüzden üretilen enerjinin miktarı için en önemli faktör güneşlenme şiddetidir. Güneşlenme şiddeti cm^2 'e düşen enerjinin kalori (cal) birimiyle günlük ölçülmesiyle, ilgili ay içerisinde aylık ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama güneşlenme sürelerinin hesaplanması Eşitlik 3'te gösterilmiştir.

$$I_A = \frac{\sum_{i=0}^{G_A} (I_{Gi})}{G_A} \quad (3)$$

I_A değeri ortalama aylık güneşlenme süresini, I_G değeri günlük güneşlenme şiddetini ve G_A değeri, ilgili ayın gün sayısını temsil etmektedir.

Şekil 13'te güneşlenme süresinin temmuz ayında en yüksek seviyede ve aralık ayında en düşük seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Menemen istasyonunda ölçülen ortalama günlük güneşlenme şiddetinin aylık ortalaması

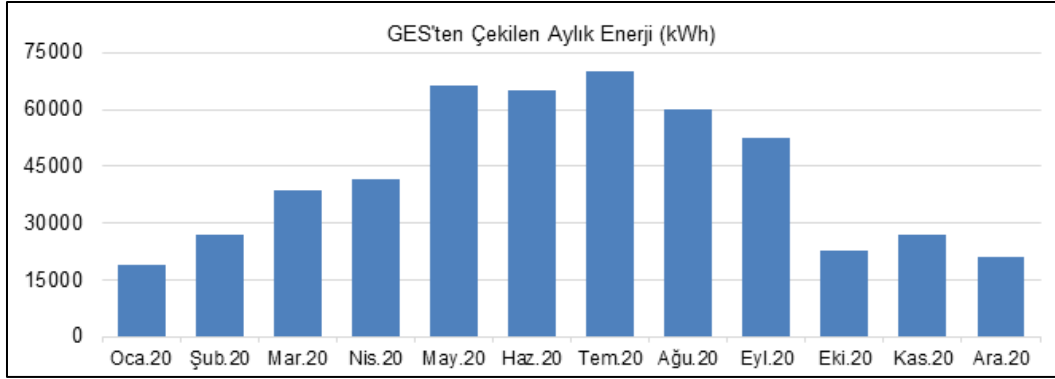
Güneş Enerji Santralinden Elde Edilen Aylık Enerji

PV panellerden elde edilen güç doğru akım (DC) olarak elde edilir. Bu yüzden bir faz açısı ya da frekans söz konusu olmayıp, doğrudan aktif güç birimi olan, watt birimiyle ölçülmektedir. 2020 yılına ait aylık üretilen elektrik miktarı Tablo 3'te aylık değerlerle ve Şekil 14'te grafik halinde gösterilmiştir.

Şekil 14'te yer alan grafiğe göre, 18,8 MWh ile ocak ayında başlamış ve nisan ayına kadar yükselerek 41,521 MWh seviyesine ulaşmıştır. Mayıs ayında 66,5 MWh enerji elde edilmiştir. En yüksek enerji 70,3 MWh ile temmuz ayında yaşanmıştır. Ekim ayında büyük bir düşüş gözlemlenmiş 22,5 MWh enerji elde edilmiştir. Aralık ayında ise 20,9 MWh enerji üretilmiştir.

Tablo 3. GES'ten 2020 yılı boyunca elde edilen aylık enerji miktarları (kWh/ay)

Ocak	18946,71	Temmuz	70239,24
Şubat	27068,7	Ağustos	60191,46
Mart	38439,21	Eylül	52394,46
Nisan	41521,44	Ekim	22500,9
Mayıs	66457,35	Kasım	27096,3
Haziran	65145,66	Aralık	20929,08



Şekil 14. GES'ten elde edilen toplam aylık enerji (kWh)

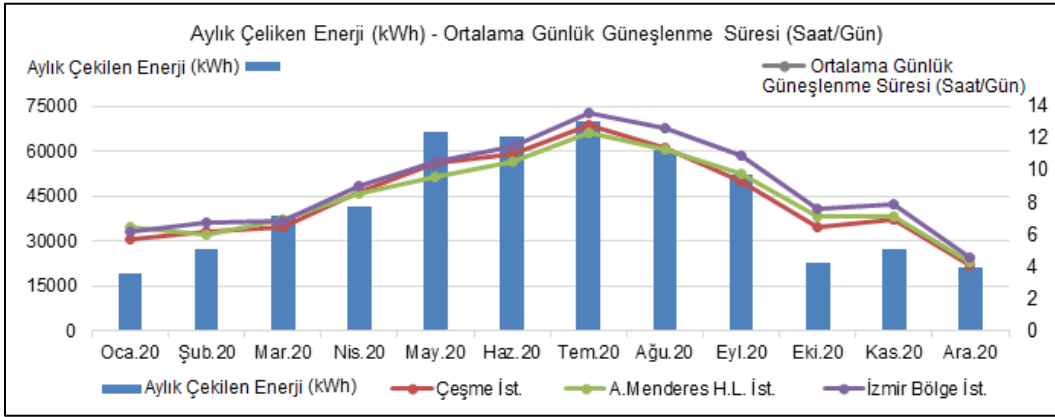
BULGULAR VE TARTIŞMA

Güneşlenme Süresi ile Kıyaslama

Üretilen enerji verileri ile 3 istasyondan ölçülen günlük güneşlenme süreleri ortalamaları Şekil 15'te karşılaştırılmıştır. Şekil 15'te görüldüğü üzere güneşlenme süresinin yüksek olduğu aylarda üretilen enerjinin de aynı oranda yükseldiği görülmektedir.

Mayıs ayında istisnai olarak, güneşlenme süresine oranla daha fazla enerji üretildiği dikkat çekmektedir. Bunun sebebi olarak, mayıs ayındaki günlük güneşlenme şiddeti ortalamasının yüksek olması gösterilebilir. Aynı zamanda mayıs ayındaki yağış verilerine bakıldığında, mayıs ayındaki yağışın, panelleri temizleyerek verimlerini artırması sebep olarak gösterilebilir.

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği

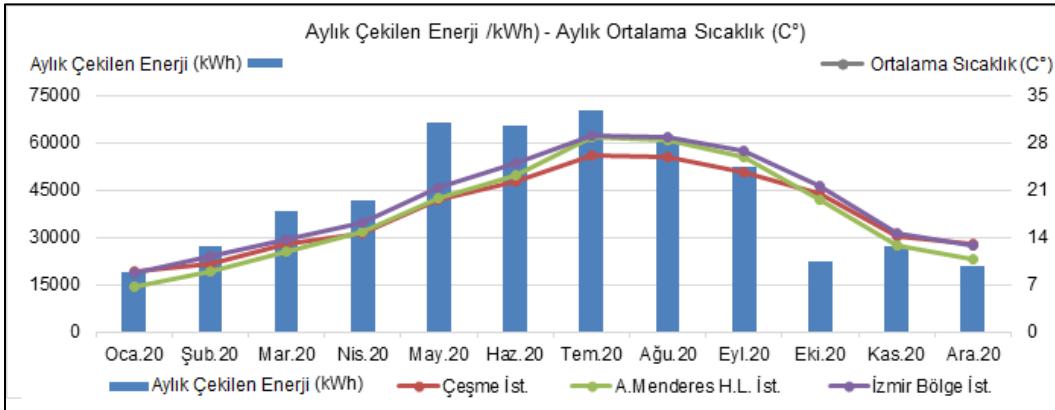


Şekil 15. GES'ten elde edilen enerji ve güneşlenme süresi kıyaslaması

Ortalama Sıcaklık ile Kıyaslama

Meteorolojik ölçüm istasyonları tarafından saatlik olarak ölçülen sıcaklıkların aylık ortalamasının alınması

ile aylık sıcaklık ortalamasına ulaşılmıştır. Şekil 16'da üretilen enerji ile kıyaslanması gösterilmiştir.



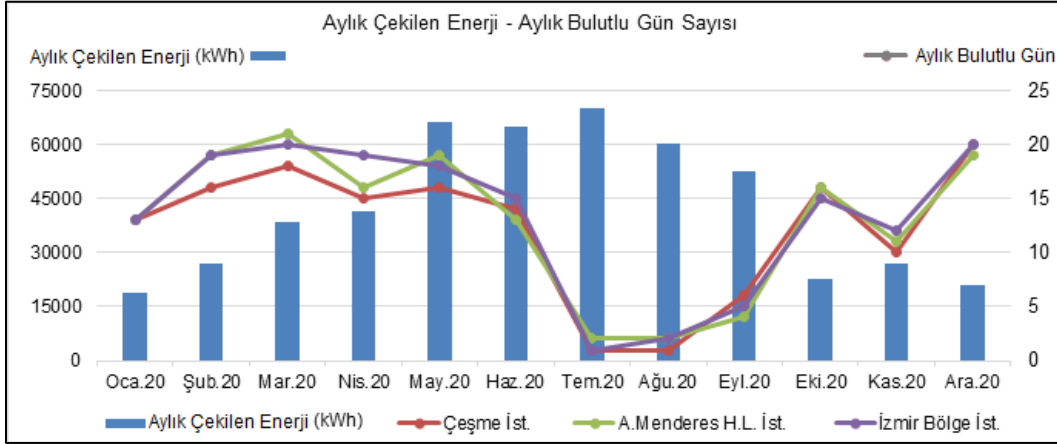
Şekil 16. GES'ten elde edilen enerji ve aylık ortalama sıcaklık kıyaslaması

Şekil 16'da görüldüğü üzere aylık ortalama sıcaklık ile üretilen enerji karşılaştırıldığında genel olarak sıcaklığın yüksek olduğu günlerde üretilen enerjinin arttığı görülmüştür. Ekim ayında, sıcaklık yüksek olmasına rağmen üretilen enerji düşüktür. Bunun sebebi, ekim ayında bulutlu gün sayısının daha fazla olmasıdır.

Aylık Bulutlu Gün Sayısı ile Kıyaslama

Şekil 17'de aylık bulutlu gün sayısı, üretilen enerji ile karşılaştırıldığında, üretilen enerjiyi en yüksek oranda etkileyen etmenlerden biri olduğu görülmektedir.

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği



Şekil 17. GES'ten elde edilen enerji ve aylık bulutlu gün kıyaslaması

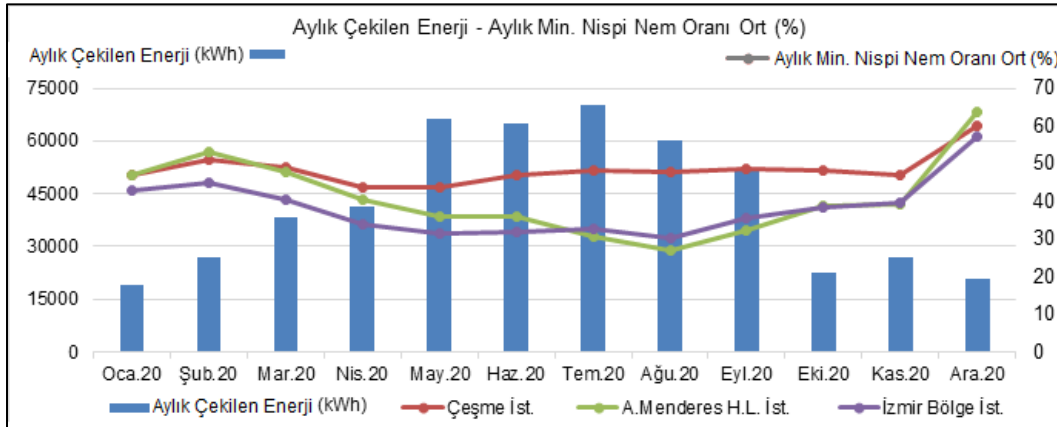
Şekil 17'e göre bulutlu gün sayısının düşük olduğu temmuz ayında en yüksek enerji üretimi gerçekleşmiştir. Bulutlu gün sayısının yüksek olduğu aylarda ise üretilen enerjinin daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle ekim ayındaki enerji üretiminin düşük olmasının en etkili sebebi, ekim ayındaki bulutlu gün sayısının yüksek olması olarak gösterilebilir.

Mayıs ayındaki enerji yüksekliği ise, Mayıs ayındaki bulutlu ve yağışlı günlerin birbirinden uzak ve kısa süreli olması, panellerin temizlenmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Aylık Minimum Nispi Nem Oranı ile Kıyaslama

Şekil 18'de minimum nispi nem oranı ile aylık enerji üretimi karşılaştırıldığında, nem oranının enerji üretimini az da olsa etkilediği görülmektedir.

Şekil 18'deki grafiğe göre, minimum nem oranının yüksek olduğu aylarda aylık enerji üretimi bir miktar düşüş göstermiştir. Diğer meteorolojik etmenlerin etkisi olsa da nispi nem oranı yükseldiğinde, güneş ışınları panellere ulaşırken havada asılı bulunan nemden dolayı verimini kaybedebilir.



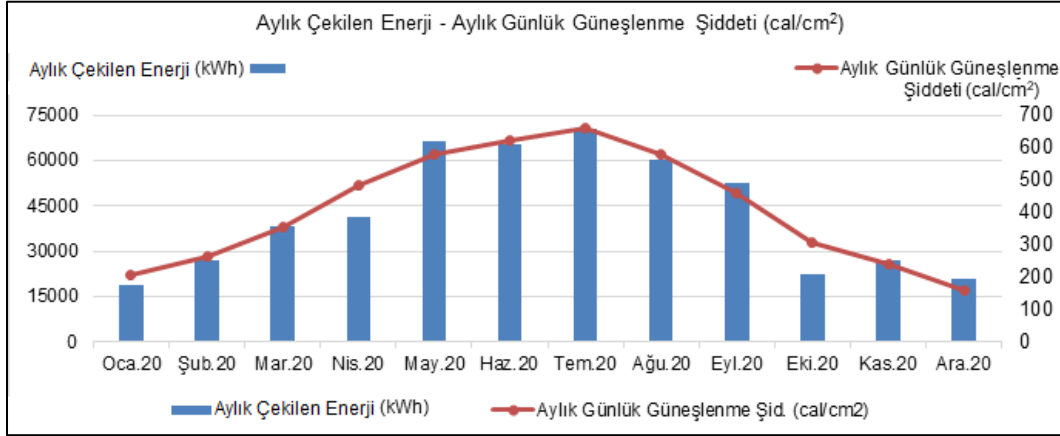
Şekil 18. GES'ten elde edilen enerji ve aylık minimum nispi nem oranı kıyaslaması

Aylık Güneşlenme Şiddeti ile Kıyaslama

Şekil 19'da aylık ortalama günlük güneşlenme şiddeti ile üretilen enerji karşılaştırıldığında, güneşlenme şiddeti ile üretilen enerji arasında bir doğru orantı açıkça görülmektedir.

Şekil 19'da yer alan karşılaştırmada nisan, Mayıs ve ekim ayında oluşan sapmalar ise bulutlu gün sayısı ve yağışlı günlerden (panellerin temizlenmesinden) kaynaklıdır.

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği



Şekil 19. GES'ten elde edilen enerji ve aylık güneşlenme şiddeti kıyaslaması

SONUÇ

Bu makalede, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Seyrek Kampüsünde bulunan GES'in ürettiği enerjinin meteorolojik verilerle kıyaslanması ve analizleri yapılmıştır. Bir güneş enerji santralının üretimindeki zamana bağlı değişimler, bölgenin meteorolojik verilerindeki değişimle açıklanabilmektedir. İzmir Bakırçay Üniversitesi GES'te üretilen enerji miktarının, güneşlenme süresi, sıcaklık, yağışlı günler, bulutluluk, nispi nem, güneşlenme şiddeti gibi meteorolojik faktörlerle ilişkisi incelenmiş ve analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda her bir meteorolojik faktörün üretime olan etkisi bilimsel olarak açıklanmıştır.

Üretilen enerjinin miktarını en fazla oranda etkileyen meteorolojik faktörlerin sırasıyla güneşlenme şiddeti, bulutluluk ve yağışlı günler olduğu görülmüştür.

Güneşlenme miktarının en yüksek olduğu temmuz ayında, güneşlenme miktarı 660,532 cal/cm² iken üretilen enerji ise 70 MWh olarak hesaplanmıştır. Temmuz ve ağustos aylarında yağışın olmamasıyla birlikte panellerin yüzeyi kirlenmeye devam etmektedir. Üretilen enerjiler de güneşlenme şiddeti ile paralel olarak değişmektedir.

Güneşlenme süresi de bulutluluk ve güneşlenme şiddeti ile ilgili bir faktör olduğundan, güneşlenme süresinin üretilen enerjiyi etkilediği yine açıkça görülmektedir. Güneşlenme sürelerinin düşük olduğu ocak ve aralık ayları incelendiğinde, 18,9 MWh elektrik ile ocak ayı ve 20,9 MWh elektrik ile aralık aylarında en düşük elektrik üretimleri gözlenmiştir.

İzmir ilinin meteorolojik verilerinin kullanılarak yapılan bu çalışmanın, mevcut santraller için üretim planlamasında ve gelecek yatırımlarda elektrik üretim miktarı tahminlerinde faydalı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan verilerin elde edilmesinde büyük yardımı olan ve aramızdan ayrılan merhum Doç. Dr. Selçuk Özmen'e sonsuz teşekkürlerimizi sunarız. Mekanı cennet olsun.

KAYNAKLAR

- Bicek, E., Çelik, H.E. (2020). Fotovoltaik sistemin güç üretiminin meteorolojik değişkenler ile modellenmesi: Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi örneği. *Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3): 135-146.
- Chaichan, M.T., Basher, M., Kazem, H. (2015). Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(4): 594-601.
- Çakır, A., Onay, E. (2021). Fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılmasında su soğutmalı otomasyon sistemi uygulaması: Antalya örneği. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 13(1): 22-23.
- ETKB (2017). Yenilenebilir enerji kaynakları, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklari-gunes> (Erişim Tarihi: 01.08.2021)
- Genç, G. (2018). Fotovoltaik panellerde gölge ve toz etkisinin analizi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- GENSED (2021). Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücü, <https://www.gensed.org> (Erişim Tarihi: 29.07.2021)
- Gerbinet, S., Belboom, S., and Léonard, A. (2014). Life cycle analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38: 747-753.
- Gürbüz, D. (2018). Kir ve tozlanmanın fotovoltaik sistem verimi üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği

- Ishii, T., Masuda, İ., (2017). Annual degradation rates of recent crystalline silicon photovoltaic modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(12): 953-967.
- Kahveci, U.B. (2018). Dalgacık analizi kullanılarak optik fotoğraflardan bulutluluk oranı tayini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Kannan, N., Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62:1092-1105.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye'de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 59(692): 86-114.
- Koç, E., Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları - Yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668):36-47.
- Nižetić, S., Čoko, D., Yadav, A., Grubišić-Čabo, F. (2016). Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response. *Energy Conversion and Management*, 108: 287-296.
- Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G., Aydın, S.H. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Journal of Geography*, 35: 17-27.
- Ranabhat, K., Patrikeev L., Revina, A.A., Andrianov K., Lapshinsky, V., Sofronova, E. (2016). An introduction to solar cell technology. *Istrazivanja I Projektovanja Za Privredu*, 14(4): 481-491.
- Said, S. A.M., Hassan, G., Walwil, H.M., Al-Aqeeli, N. (2018). The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust-accumulation mitigation strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:743-760.
- Sayın, S., Koç, İ. (2011). güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3): 89-106.
- Szabo, L. (2017). The history of using solar energy. International Conference on Modern Power Systems (MPS). Cluj-Napoca, 6-9 June, Cluj Napoca, Romania, Book of Proceedings, 1-8.
- Turhan, S., Çetiner, İ. (2012). Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi. 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu: 12-13 Nisan, 2012, Bursa, Türkiye, Sempozyum Bildirileri, 26.
- URL-1 (2021). Güneş elektriğinde veri kaydı, http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=1091 (Erişim Tarihi: 29.07.2021)
- Zateroğlu, M.T., Kandırılmaz, H.M. (2018). Türkiye için güneşlenme süresi değişiminin izlenmesi, değerlendirilmesi ve bazı meteorolojik verilerle ilişkisinin belirlenmesi. *ÇÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(3): 105-114.
- Zeng, P, Wen, J. (2016). Foreword for the special section on sustainable power network planning. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 2(1): 1-2.