

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve İskenderun için Örnek Üretim Projeksiyonu

Levent Cenk KUMRUOĞLU¹ ORCID 0000-0001-6420-3761
Salih Berkan ATEŞ^{*2} ORCID 0000-0002-8601-8927

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, Hatay

²İskenderun Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Hatay

Geliş tarihi: 22.03.2021

Kabul tarihi: 21.03.2022

Atıf şekli/ How to cite: KUMRUOĞLU, L.C., ATEŞ, S.B., (2022). Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve İskenderun için Örnek Üretim Projeksiyonu. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(1), 293-305.

Öz

Kişi başına düşen enerji tüketiminin artmasıyla beraber, arz-talep dengesinin sağlıklı bir şekilde devam ettirebilmesi için enerji santrallerine olan yatırımlar devam etmektedir. Oluşan temiz enerji bilinci, çevreci ve uzun ömürlü Güneş Enerji Santrallerine (GES) olan yatırımları gün geçtikçe artırmaktadır. Yaşanan Covid-19 pandemisi süresince, enerji tüketimlerinin çoğu yenilenebilir santrallerinden karşılanmış ve GES'den üretilen elektrik, büyük paya sahip olmuştur. Yapılan bu çalışmada, özellikle Türkçe kaynaklar içerisinde GES'in hammadde kaynağı olan güneş ışınimleri ve ülkemizin güneş potansiyeline dair yapılan araştırmalar incelenmiştir. Güneş potansiyelinin, üretim potansiyeline dönüştürülmesinde oluşan kayıplar ve üretim potansiyelin artırılmasına yönelik konular araştırılmıştır. Ayrıca İskenderun Teknik Üniversitesi Kampüsü içinde bulunan bina çatısına 60 kWp GES tasarlanarak, PVGIS, PVsyst, SMA Web Desing yazılımları ile tahmini elektrik üretimleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş potansiyeli, Çatı GES elektrik üretimi, Simülasyon yazılımları

Turkey's Solar Energy Potential and Sample Production Projection for Iskenderun

Abstract

With the increase in energy consumption per capita, investments in power plants continue in order to maintain the supply-demand balance in a healthy way. With the awareness of clean energy, investments in Solar Power Plants (SPP) are increasing day by day due to its environmentally friendly, longevity. During the Covid-19 pandemic, renewable power plants supplied most of the energy consumption, and electricity generated from SPP had a large share. In this study, especially in Turkish sources, the researches on solar radiations, which are the raw material source of SPP, and the solar potential of our country were examined. The losses in transforming solar potential into production potential and increasing production potential has been investigated. Besides, 60 kWp SPP was designed on the building roof within Iskenderun Technical University Campus and average electricity generations calculated by PVGIS, PVsyst, SMA Web Desing software were calculated.

Keywords: Solar potential, Rooftop SPP electricity generation, Simulation software

*Sorumlu (Corresponding author) yazar: S. Berkan ATEŞ, salihates.ee20@iste.edu.tr

1. GİRİŞ

Kovid-19 pandemisi sonucu ülkelerin aldığı önlemler neticesinde insanlar ticari-sosyal faaliyetlerine büyük oranda ara vermiş ve uzaktan çalışma kolaylığı sayesinde işlerin yürütülmesine ev-ofislerde (ya da e-ofis/elektronik ofis) devam etmiştir. Bu etkinin sonucu olarak mesken elektrik tüketiminde artış, ticarethane elektrik tüketiminde azalış gerçekleşmiştir. Enerjideki üretim ve tüketim verilerini açık kaynak olarak sunan "EPIAŞ ŞEFFAFLIK PLATFORMU"ndan takip etmek mümkündür. Bu platform ile Kovid-19 dönemindeki Aydınlatma, Mesken, Sanayi, Tarımsal Sulama, Ticarethane tüketimleri incelendiğinde "Mesken ve Sanayi" elektrik tüketiminde toplamda yaklaşık %4 oranında artış, "Ticarethane" elektrik tüketiminde %4,1 oranda bir azalış görülmektedir. Bu verilerle beraber toplam enerji talebine bakıldığında; enerji talebinde azalma meydana gelmiştir. Kovid-19 dönemi boyunca arzı oluşturan kaynaklar açısından değerlendirildiğinde; doğalgaz, kömür santrallerinde azaldığı, hidroelektrik santrallerinde rezervlerinden dolayı üretimde aktif rol almadığı, rüzgâr santrallerinde meteorolojik fenomenler etkisiyle üretimde düşüş olduğu, güneş santrallerinde etkilenme olmadığı ve hatta bir önceki yıla göre üretimdeki payının arttığı görülmektedir [1]. Diğer taraftan ABD, Çin, Almanya ve Avrupa Birliği Ülke'lerine bakıldığında Kovid-19 dönemindeki kısıtlamalarda elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı artmıştır. Almanya, İspanya, İtalya rüzgâr ve özellikle güneş enerjisinden faydalanarak yeni rekorlar kırmıştır. Sonuçta, rüzgârın mevsimsel etkilerinden dolayı güneş enerjisinden az elektrik ürettiğini söylemek hatalı bir yaklaşım olmayacaktır [2-5].

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Güneş Potansiyelinin Araştırılması

Güneşlenme potansiyelinin araştırılmasında uydu tabanlı modeller kullanılmaktadır. Ülkemizdeki

güneşlenme potansiyelinin araştırıldığı çalışmaların çoğunda Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) haritası referans alınmıştır. GEPA haritası oluşturulurken 1985-2006 arasındaki veriler kullanılmış olup, günümüzde veriler yenilenmediği için güncelliğini yitirmiştir. Kılıç ve arkadaşları, Dicle Üniversitesi DÜPTAM (Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) binası çatısına kurulan meteorolojik standartlara uygun güneş ölçüm istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak maksimum global ışınım değeri 7,63 kWh/m²-gün ölçümlerken GEPA'da bu değer 6,57 kWh/m²-gün olarak belirtmiştir [6]. Emrahoğlu ve arkadaşları, Adana ili için 1978-1982 yılı verileri ile 2017 yılına ait meteoroloji istasyonu verilerini karşılaştırmıştır. 1978-1982 yıllarında günlük ortalama 15,74 MJ/ m²-gün iken 2017 yılında 17,75 MJ/ m²-gün olarak hesaplamıştır [7]. Bu durum, güneş potansiyeli haritalarının statik haritalar yerine dinamik ve online olarak meteorolojik verilerle (sıcaklık, rüzgâr, nem, bulutluluk vb parametreler) güncellenebilir altyapıya sahip olması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ülkemiz güneşlenme süresi ve toplam güneş ışınımı açısından güneş sektöründe lider olan ülkeler içinden Almanya'dan daha iyi durumdadır. Sinop ili güneş ışınımı bakımından alt seviyelerde (1400-1500 kWh/m²) olmasına rağmen, Almanya'nın güneş potansiyeli bakımından en yüksek bölgesi Bavyera Eyaletinden daha yüksektir [8]. Ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelinin Avrupa Birliği ülkeleriyle karşılaştırıldığında: Potansiyelin en yüksek olduğu bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve ardından Akdeniz Bölgesinin olduğu görülmektedir [9]. Taşova yaptığı çalışmada: SPSS17 istatistik programı ile ülkemizdeki yedi ayrı bölge için ortalama ışınım şiddeti, en fazla ışınım şiddeti, en az ışınım şiddeti, ortalama güneşlenme süresi, en fazla güneşlenme süresi, en az güneşlenme sürelerini incelemiştir. Ayrıca mevsimsel ortalama güneş enerjisi ve mevsimsel ortalama güneşlenme süresini hesaplamıştır [10].

Coğrafi bölgeler içindeki illere bakıldığında: Karadeniz Bölgesinde Karabük [11], Akdeniz Bölgesinde Antalya, Burdur [12], Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Şanlıurfa, Adıyaman illeri [13] buldukları bölge içinde en yüksek güneşlenme potansiyeline sahiptir.

Güneş potansiyelinin değerlendirilmesinde farklı öneriler bulunmaktadır. Sak ve arkadaşları yaptığı çalışmada, Niğde ili için gerekli olacak elektrik tüketimlerini, tarımsal ve orman vasfını yitirmiş (marjinal arazi) arazinin % 3,4'üne 1670 MW kurulu güce sahip GES kurularak karşılanabileceğini hesaplamıştır [14]. Diğer bir çalışmada Kırbaş ve arkadaşları Burdur Gölü çevresi için 1220 MW kurulu güce sahip GES ile 2013000 GWh elektrik üretebilmesini ve her yıl

ülke ekonomisine yaklaşık 1,5 milyar TL katkı sağlayacağını hesaplamıştır [15].

2.2. Güneş Potansiyelinin Işınım İlişkisi

Güneş potansiyelinin doğru tahmini için global güneş ışınımının gerçeğe yakın tahmin edilebilir olması gerekmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde veri bilimindeki yapay sinir ağları, makine öğrenimi, algoritmalar ve çeşitli denklemler önem kazanmaktadır. Veri biliminde aktif kullanılan method ve yöntemler güneş ışınım tahminleri içinde kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı uyu tabanlı modeller verinin kalitesini artmasını, bu durum tahminin yüksek doğrulukta yapılmasını sağlamaktadır. Bunun sağladığı fayda ile saatlik ve 15 güne kadar üretim tahminleri günümüzde yapılabilmektedir.

Çizelge 1. Güneş ışınımıyla ilgili literatür taraması [16-28]

Güneş Işınımı Tahmini ile İlgili Yapılan Çalışmalar				
Çalışma Grubu	Çalışmanın Yapıldığı İl/Bölge	Veri Kaynağı	Kullanılan Yöntem/Algoritma/Denklem	Elde Edilen Sonuçlar
Kılıç ve ark. (2016)	Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Batman, Mardin	Her il için farklı yıl aralıklarına ait meteorolojik veri	Üstel ağırlıklı hareketli ortalama ve üstel ağırlıklı hareketli ortalama bazlı gaussian dağılımı	Her iki istatistik modeli ile kısa ve uzun vadeli tahminlerde kabul edilebilir sonuçlar elde etmiştir.
Şahan ve ark. (2016)	Akdeniz Bölgesi / 6 il 8 ilçe	1993-2010 yıllarına ait meteorolojik veri	Yapay Sinir Ağları (YSA) - Levenberg Marquand geri yayılım eğitim algoritması	YSA modeliyle hesaplanan değerler ile meteorolojik veriler uyumludur.
Arsıanoğlu (2016)	Kocaeli	1973-2006 yıllarına ait meteorolojik veri	30 farklı regresyon modeli	En iyi modellerin Lewis modeli (Model 23), Jin ve arkadaşları (Model-18) ve Bahel ve arkadaşları (Model 8) tarafından geliştirilen modellerin olduğu tespit etmiştir.
Kallioğlu ve ark. (2017)	Adıyaman	1985-2015 yıllarına ait meteorolojik veri	Geliştirilmiş bölgeye özgün beş farklı model	Adıyaman ili toplam güneş ışınımı tahmini için tüm modeller başarılı olmakla birlikte polinom modelin tercih edilmesi önermiştir.
Koşunalp (2018)	Elizabeth City State Üniversitesi Kampüsü	2015 yılına ait gerçek bir güneş panelinden elde edilen veriler	Geliştirilmiş-EWMA(Exponential Weighted Moving-Average) algoritması	Önerilen algoritma yüksek doğrulukta tahmin etmiştir.
Gök ve ark. (2019)	Kahramanmaraş / Elbistan	2018 yılına ait güneş enerji santraline ait aylık üretim değerleri	Yapay Sinir Ağları (YSA) - Levenberg-Marquardt (LM) algoritması	Gerçekçi elektrik üretimine ulaşmada başarılı olmuştur.
Kara (2019)	Çorum	1983-2018 yıllarına ait POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resource) veri seti	Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory - LSTM) ağı	Önerilen model ile dört farklı algoritma (Rastgele ağaçlar, K-En yakın komşu, Gradyan güçlendirme ve Karar ağaçları) modelleri karşılaştırıldığında önerilen modelin daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.
Arsılan ve ark. (2019)	Mersin	Nisan 2017 – Mart 2018 tarihleri arasındaki gerçek ölçüm verisi (Kipp&Zonen marka CMP-11 model piranometre)	Yapay Sinir Ağları (YSA)	Model 37 (Zhang ve Huang) en iyi performansı göstermiştir
Külçü (2019)	Çankırı	Meteorolojik veri	Bünlülük katsayısı ve saat açılı logaritmik fonksiyon yaklaşımı	Önerilen modelin literatürde yer alan 8 farklı modelden daha başarılı tahmin etmiştir.
Karakaya ve ark. (2019)	Şanlıurfa	1985-2006 yıllarına ait meteorolojik veri	Beş farklı model ve dokuz farklı istatistik yöntemi	Şanlıurfa ili toplam güneş ışınımı tahmini için polinom modelin tercih etmiştir.
Gabralı ve ark. (2020)	İstanbul	2016 yılına ait meteorolojik veri	Yapay Sinir Ağları (YSA)	Yapay Sinir Ağları modellerinin Çoklu Lineer Regresyon modellerinden daha başarılı olduğunu göstermektedir.
Eğlik ve ark. (2021)	Afyonkarahisar	01 Ocak 2013 ve 16 Aralık 2013 tarihleri arasındaki gerçek ölçüm bilgisi (Kipp&Zonen marka CMP-6 model piranometre)	Ayrıştırma-birleştirme öğrenme yaklaşımı	17 Aralık 2013 ve 31 Aralık 2013 tarihleri arasında bulunan 15 günün saatlik olarak tahmini makul bir hata oranı ile tahmin etmiştir.

Güneş ışınımıyla ilgili literatürde yapılan çalışmalara ait özet Çizelge 1'de görülmektedir.

2.3. Güneş Potansiyelinin Üretime Dönüşmesi

2.1 ve 2.2 bölümlerinde güneş potansiyelinin araştırılması ve bu potansiyelin ışınımıyla olan ilişkisini konu alan makaleler incelenmiştir. Bu bölümde ise potansiyelin üretime dönüştürme elamanları, verimlilik ve uygulamadaki GES'lerin üretim örnekleri incelenecektir. Şebekeye bağlı Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) temel elemanları: Güneş panelleri, evirici, ac-dc kablolar, 0,4 kV/31,5kV transformator ve koruma elemanları olarak sıralanabilir. Güneş ışınımının elektrik enerjisine dönüştürülmesine kadar: Güneş paneli kayıpları, sıcaklığa bağlı kayıplar, kablo kayıpları, evirici verim kayıpları vb. kayıplar oluşmaktadır. Sarı ve arkadaşları, 1748 kWh/m² toplam güneş ışınımına sahip bir yerde 310 Wp 72 hücreli ve 16,14 verimlilik oranına sahip 3224 adet güneş panellerinden oluşan GES'de yaklaşık 10834 MWh enerji kapasitesine sahip olacağını, güneş panellerinin verimlilikleri ile enerji dönüşümü sonrası 1749 MWh enerji üretebileceğini PVsyst yazılımı ile hesaplamıştır. Diğer kayıplarda gözönüne alındığında şebekeye ancak 1553 MWh güç verilebilmektedir.

Güneş Paneli: 1883 yılında üretilen, güneş panellerinin atası olan selenyum güneş hücresinin verimliliği için yaklaşık %1 değerindeydi. 1950 yılına kadar güneş hücresi için malzeme değişikliği denemeleri, patetentleme süreçleri devam etmiştir. 1955 yılında Hoffman Electronics-Semiconductor Division şirketi %2 verimli, watt başına \$1785 ticari güneş panellerini piyasaya sürmüştür. 1960 yılına gelindiğinde Hoffman Electronics %14 verimli güneş panellerini duyurmuştur. 1969-1999 yılları güneş hücrelerinin yarıiletken malzemelerinde farklı teknoloji ve hammadde denemeleri, yol haritalarının oluşturulması, ABD-Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarının faaliyete geçmesi, uydu ve uzay programlarında aktif kullanımı, enerji krizlerine karşı çözüm önerisi olarak sunulması, tüketici elektroniğinde kullanımı, akademi çalışmaları ve ticari kullanım için GES kuruluşları vb. gelişmeler gerçekleşmiştir [29]. Günümüze gelindiğinde

güneş hücresi verimliliği yarışı devam etmektedir. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından üretilen güneş hücresinde verimlilik %47,1 değerine ulaşmıştır. Fakat ticari olarak kullanımda Sunpower şirketine ait 400 W Maxison 3 modeli %22,6 verimlilikle ticari kullanım için en üst sıradaki panellerden birisi olarak yerini almaktadır [30-31].

Çizelge 2. Güneş paneli üretici firmaları [31-40]

Üretici	Model	Güç (Wp)	Hücre Tipi	Verim
SunPower	Maxison 3	400 W	N Tipi IBC	22,6 %
LG	Neon R	380 W	N Tipi IBC	22,0 %
REC	Alpha	380 W	N Tipi Hetero bağlantı H/C	21,7 %
FuturaSun	FU M Zebra	360 W	N Tipi IBC Half-cut	21,3 %
Trina Solar	Vertex S	400 W	P Tipi Mono Half-cut	20,8 %
Jinko Solar	Tiger Pro 6R13	390 W	N Tipi Mono Half-cut	20,7 %
Q cells	Q.Peak DUO G9	360 W	P Tipi Mono Half-cut	20,6 %
Winaico	WST-375MG	375 W	P Tipi Mono Half-cut	20,6 %
Longi Solar	Hi-Mo 4	375 W	P Tipi Mono Half-cut	20,6 %
Solaria	Power XT	370 W	P Tipi Mono Half-cut	20,5 %

2014 yılında ilk lisanssız GES yatırımlarının yapılmasıyla beraber, ülkemiz güneş potansiyelini kullanarak elektrik enerjisi üretimine 1,4 GWh ile katkı sağlamıştır. Oluşan temiz enerji bilinci ve temiz enerjiden elde edilen üretimlerin devlet alım garantili olması durumu, yatırımcıları bu alana çekmiştir. Bu durumla beraber yerli, yerli-yabancı ortaklı güneş paneli fabrikalarının açılması sağlanmıştır.

Çizelge 3. Yerli güneş paneli üretici firmaları [41-54]

Üretici	Model	Güç (Wp)	Hücre Tipi	Verim
Alfa Solar	A3S72M	385 W	Monokristal	19,61%
Ankara Solar	AS-M72 370-400W	400 W	Monokristal PERC	20,60%
CW Enerji	CWT405-144PM	405 W	Monokristal PERC Half-cut	20,28%
Elin Enerji	ELNSM72M-HC-HV	445 W	Monokristal PERC Half-cut	20,47%
Gazioglu Solar	GSE 400 MP	400 W	Monokristal	20,14%
Gest Enerji	G-M335	335 W	Monokristal	20,30%
GTC	MONO PERC+ BIFI GG1H-72	425 W	Çift Yüzlü Mono PERC	23,70%
2H Enerji	Winasol Solar Module-M2	400 W	Monokristal	20,13 %
HT Solar	HT60-18X-465W	600 W	Monokristal PERC Half-cut	21,40%
Mirsolar	Jaguar Serisi	440 W	Monokristal Tri-Cut Cell	20,58 %
Ödül Enerji	OSMp72	400 W	Monokristal PERC	20,07%
Parla Solar	A-MO370	370W	Monokristal PERC	20,17%
Schmid-Pekintaş	SPE 390 / 395	395 W	Monokristal PERC	19,85%
Solartürk	Anatolia Mono 72	405 W	Monokristal	20,25 %

Stantec tarafından hazırlanan raporda Eylül 2020 tarihi itibarıyla 16 adet panel üretici firma bulunmaktadır. Firma ortaklık yapılarına bakıldığında: Schmid-Pekintaş; Türk-Yabancı ortaklık ve HT Solar; yabancı ortaklı yatırım olması dışında geri kalan 14 firma Türk ortaklı yapıya sahiptir. Ürün bilgilerine web sitelerinden ulaşılan yerli üreticiler Çizelge 3'de yer verilmiştir.

2020 yılı için 375-395 W panellerin aktif bir şekilde GES kurulumlarında kullanıldığı düşünüldüğünde 2021 yılı için 400-445W güç aralığında yaklaşık %20 verimli güneş panellerin yaygın bir şekilde kullanılacağı öngörülmektedir. Ankara Solar, Gazioğlu Solar, 2H Enerji, Ödül Enerji, Solartürk firmalarının ürettiği 400 W güneş paneli ile SunPower firmasının ürettiği 400 W güneş paneli arasında yaklaşık %2 verim farkı görülmektedir. Aradaki verim kaybı, güneş potansiyelinden elde edemediğimiz bir kayıp olarak değerlendirildiğinde: 10000 MWh'lik güneş enerjisi potansiyelinin yaklaşık 200 MWh'lık kısmı elektrik enerjisine kazandırılmayacağını göstermektedir.

DC Kayıplar: Güneş panellerinde üretilen güçler Standart Test Koşullarında (STC) elde edilmektedir. STC koşulları, hücre veya panele dikey 1000 W / m² ışınım değerinde, 25°C güneş hücre sıcaklığı ve AM 1,5 güneş spektrumunda şartlarını oluşturmaktadır. Diğer yarıiletken malzemelerde de olduğu gibi güneş hücrelerinde sıcaklık artmasıyla beraber verimde düşüş yaşanmaktadır. Buradaki hücre verimindeki azalma güç çevriminde yaklaşık %7 kayıba sebep olmaktadır. Ayrıca güneş hücreleri güneşle ilk buluştuğunda üreticiden üreticiye fark etmekle beraber yaklaşık %1,5-4 arasında verim kaybı yaşanmaktadır. Eviriciye kadar giden kablolarda %2'ye kadar gerilim düşümüne müsaade edilmektedir. SAM ve PVsyst yazılımları incelendiğinde; çevresel koşullar, güneş paneli-dizi uyumsuzluğu, konnektör geçirgenlik direnç kayıpları vb. diğer kayıplarda dikkate alındığında %14-15,6 arasında üretim kaybı yaşanmaktadır [56].

Evirici: GES'lerde Doğru Akım (DC) elektrik enerjisinin Alternatif Akım (AC) elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan cihazlara evirici denilmektedir. Şebekeden bağımsız, şebekeye bağlı ve hibrit modelleri mevcuttur. Güneş potansiyelinin üretime dönüştürülmesinde kayıpların yaşandığı faktörlerden birisidir. DC gücün AC güce çevrilmesi esnasında yaklaşık %2,6 verim kaybı yaşanmaktadır. PV-SOL

yazılımı kullanılarak yapılan çalışmada: transformatör, AC kablo, DC kablo, azimuth, eğim, evirici gücü kayıpları, koruyucu ekipman geçiş dirençleri vb. diğer kayıplar dikkate alındığında bu kayıp %6,2'ye kadar çıkmaktadır.

Potansiyeldeki Verimliliğinin Artırılması: Güneş panellerinin daha verimli çalışması için güneş hücresi sıcaklığının optimum koşullarda tutulmasına yönelik çalışmalar literatürde yer almaktadır. Dikdörtgen mini kanallardan oluşan ve soğutucu akışkan olarak suyun kullanıldığı sistemde Erkan ve arkadaşları, 57 °C'ye kadar ısınan güneş paneli hücresi yüzey sıcaklığını, mini-kanal soğutma yöntemi kullanılarak 25 °C'ye kadar soğutmuştur [57]. Erol, su soğutmalı güneş paneli sisteminin, soğutmasız güneş panelinden %5,9 daha iyi olduğunu göstermiştir [58].

Diğer bir verimlik artırma yöntemi olarak optimal açıda sabitlenmiş kontrüksiyon yada çift-tek eksenli güneş takip sistemleri önerilmektedir. Bu yöntemlerin esas amacı güneş ışınımını daha fazla toplayıp daha fazla elektrik enerjisi üretmektir. Tolyan ve arkadaşları, Kırklareli Üniversitesi Pınarhisar Meslek Yüksek okulunda yaptığı çalışmada uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım uygulaması ile güneş takip sistemi (GTS) çalışmıştır. GTS, zenit ve azimut açılarını kontrol eden iki motora sahip çift eksenli olarak tasarlanmıştır. 120 W monokristal panelin kullanıldığı çalışmada, düşük ışınımda sabit sisteme göre çift eksen takip sistemi daha fazla enerji üretmiştir. 16 Eylül 2015'de yapılan ölçümde GTS'nin günlük enerji üretiminde sabit sisteme göre %47,76 daha fazla enerji ürettiği ölçülmüştür [59]. Muğla Üniversitesi Merkez kampüsünde toplam 7,9 kWp gücünde monokristal güneş panellerden oluşan sistem, PVsyst yazılımı kullanılarak çift eksen takip sistemi GES ve sabit açılı sistem GES tasarlanmıştır. Her iki GES karşılaştırıldığında çift eksen takip sistemin %30,79 daha verimli olduğunu hesaplayan Eke ve arkadaşları, hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki farkın %5'ten daha küçük olduğu sonucuna ulaşmıştır [60].

Simülasyon Yazılımı ve Enerji Üretim Tahmini: Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi

santralleri, üretim tahmini ve gerçekleşen üretim arasındaki sapmalar kabul edilebilir seviyededir. Santrallerin modellenmesinde kullanılan yazılımlarda kayıplara (evirici, kablo kayıpları vb.) yönelik düzenlemeler doğru yapıldığı takdirde güvenilir üretim değerleri hesaplanabilmektedir.

Dicle Üniversitesi Kampüsünde 250 kWp kurulu gücünde GES için PVGIS, Sunny Web Desing yazılımında simülasyonu yapan Haydaroglu ve arkadaşları, simülasyon değerlerini gerçek üretim değerleriyle karşılaştırmıştır. Bir yıllık gerçek üretim değerleri, Sunny Web Desing yazılımında +%3,9, PVGIS yazılımında -%4,85 üretim farklılığı hesaplamıştır. Yazar, üretim verilerine daha yakın olan Sunny Web Desing yazılımını önermiştir [61].

Bayrakçı ve arkadaşları yaptığı çalışmada, Aydın ili Çine ilçesinde 1 MW kurulu güce sahip GES için PVSol yazılımı ile tahmini değerler hesaplamıştır. Tahmini değerler ile üretim değerleri karşılaştırıldığında eylül ayı için 180000 kWh tahmine karşılık 192438 kWh, ekim ayı için 160000 kWh tahmine değere karşılık 167308 kWh üretim, şubat ayı için yaklaşık 120000 kWh tahmine karşılık 137453 kWh, mart ayı için yaklaşık 160000 kWh karşılık 184630 kWh üretim gerçekleşmiştir [62].

Atlım ve arkadaşları, Aydın ilinde bulunan 40 kW kurulu güce sahip Albatur Enerji GES ve 40 kW kurulu güce sahip Dülger GES verimlerini gerçek üretim değerleri ve PVsyst yazılımında tasarlanan verilerle karşılaştırmıştır. Rüzgar, sıcaklık, gölgeleme faktörleri yazılımda işlenmediği için gerçek değerler ve simülasyon değerleri arasında negatif/pozitif farklar bulunmuştur [63].

Psomopoulos ve arkadaşları, yaptığı çalışmada PVGIS, PVWatts ve RETScreen yazılımlarını üç farklı santral tipi için karşılaştırmıştır. Yunanistan başkenti Atina'da 9,6 kWp gücündeki Çatı Üzeri GES, Asopos'da 105,6 kWp Arazi GES ve Soroviç'de 98,4 kWp Çift Eksen Güneş Takipli GES santallarına ait gerçek üretim verileri ile simülasyon verileri karşılaştırmıştır. Veriler karşılaştırıldığında yıllık bazda sapma oranları

sırasıyla -%2,0 [PVGIS], -%9,2 [PVWatts], -%13,8 [RETScreen] hesaplanmıştır. İkinci santral için sapma oranları sırasıyla +%3,0, -%8,0, -%2,0 ve üçüncü santral için sapma oranları -%4,0, -%6,5, -%12,6 çıkmıştır. Bu sapma oranları değerlendirildiğinde PVGIS yazılımı, gerçek üretim değerlerine en yakın sonuçları vermektedir [64].

Kınalı, Karaman ilinde 1000 kW, Konya 500 kW ve 250 kW kurulu güçlere sahip GES'lerin PVGIS, PVSOL, PVSyst yazılımlarındaki simülasyon değerleri ile gerçek üretim değerlerini karşılaştırmıştır. Sırasıyla tesislerin yıllık gerçek üretim ile simülasyon değerleri arasında oluşan performans parametrelerindeki sapma oranlarını +%0,1, +%0,3 ve +%0,2 bulmuştur [65].

Yalçın, Antalya, Karaman ve Aksaray illerinde bulunan GES'lerin üç farklı iklim bölgesindeki çevresel koşulların, enerji üretimine etkisini incelemiştir. PVGIS yazılımıyla hesaplanan üretim değerleri, gerçek üretim değerleri ile karşılaştırıldığında Antalya ilinde bulunan GES için aylık bazda üretim sapması olurken, yıllık bazda %99 doğruluk oranıyla tahmin yapmıştır [66].

Isparta ilinde kurulan 1 MW kurulu güce sahip GES için gerçek üretim değerleri ile Helioscope, PVGIS, Polysun ve PVSol veri tabanlarından elde edilen üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Gerçek üretim değerleri ile simülasyon değerleri arasındaki sapmalar sırasıyla; +%1,2, +%1,3, -%3,6 ve -%7,5 hesaplanmıştır [67].

Yapılan literatür araştırmasında: PVGIS, Sunny Web Desing, PVSol, PVsyst, PVWatts, RETScreen, SAM, HOMER gibi yazılımlar yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Ücretsiz ve web tabanlı olmasından dolayı PVGIS yazılımı (SARAH veri tabanı) ile deneme sürümü PVsyst V7.16 (Meteonorm 7.3 veri tabanı) kullanarak tahmini enerji üretim değerleri hesaplanmıştır. PVGIS ve PVsyst veri tabanı güncel ve kabul edilebilir hata payına sahip olmasından dolayı bu çalışmanın öncelikli veri seti olarak kabul edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE SAHA UYGULAMASI

3.1. İskenderun Teknik Üniversitesi İçin Çatı GES Üretim Potansiyeli

Örnek Tasarım ve Üretim Verileri: İskenderun Teknik Üniversitesi (İSTE) 36,576008, 36,150566 koordinatlarında bulunan bina üzerine $\alpha=30^\circ$ eğimli güneş panellerinden oluşan 60 kWp kurulu güneş panelleri, Sunpower marka %22,6 verime sahip Monoperc 400 W tercih edilmiştir. Ayrıca DC elektriği AC elektriğe çevirecek olan evirici %98,3 verime sahip SMA 60 kW seçilmiştir. Yerleşimin yapılacağı binanın azimut açısı $\beta=23^\circ$ ve panellerin binaya paralel yerleşiminden dolayı; güneş panelleri açısı, bina açısıyla aynı seçilmiştir. Bina çatısına yerleştirilmiş örnek yerleşim Şekil 1’de ve Çatı Üzeri GES’ne ait özet Çizelge 4 görülmektedir.

Çizelge 4. Çatı GES sistem özeti

Çatı GES Teknik Özellikler Tablosu			
Hücre Tipi	MONO PERC	İnvertör Tipi	Trafosuz / On-Grid
Panel Markası	Sunpower Maxeon 3	İnvertör Markası	SMA
Panel Gücü	400W	İnvertör Gücü	60000W
Panel Verimliliği	22.6%	İnvertör Verimliliği	98.3%
Güç Sıcaklık Katsayısı	-0.29% / °C	MPTT Çalışma Aralığı	685 V - 800 V
Panel Eğim Açısı	30°	MPPT Sayısı	1 DC Box Girişi
Panel Azimutlu Açısı	23°	İnvertör Yerleşim Yeri	Elektrik Odası
Panel Adedi	150 adet	İnvertör Adedi	1 adet

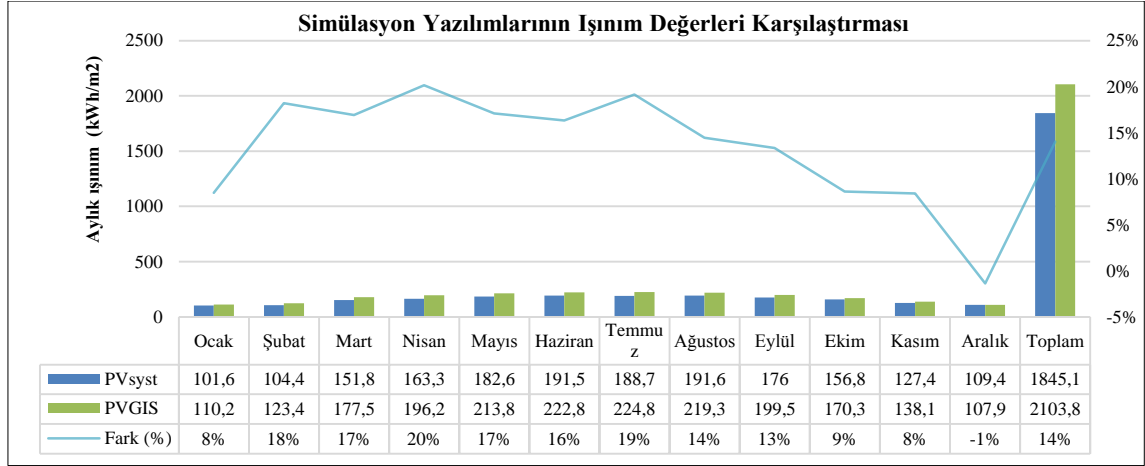


Şekil 1. 60 kWp Çatı GES Yerleşimi

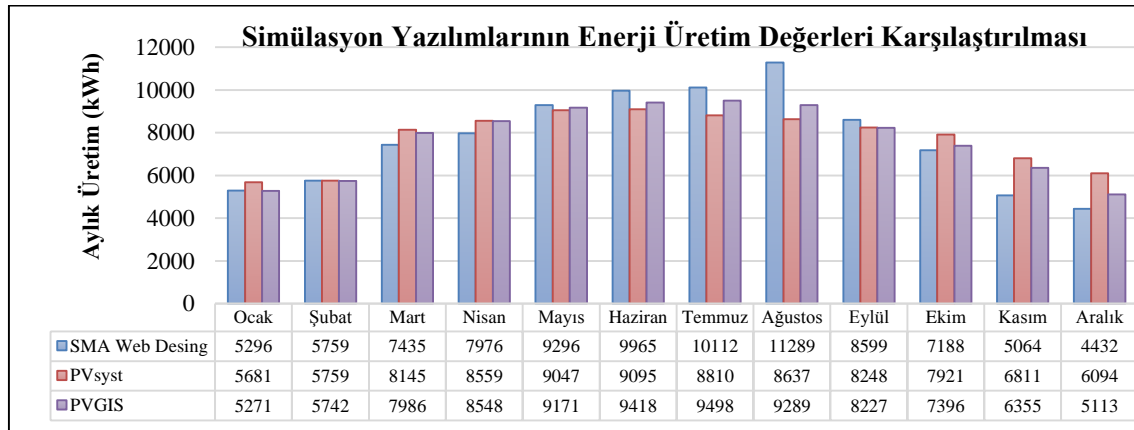
Şekil 2’deki PVGIS ve PVsyst yazılımları aylık bazda ışınım değerleri incelendiğinde: PVGIS veri tabanı Aralık ayı hariç diğer tüm aylarda daha yüksek ışınım olacağını tahmin etmiştir. 12 aylık toplam ışınım değerinde ise +%14 daha fazla ışınım öngörmektedir. SMA Web Desing yazılımı, ışınım değerlerini vermediği için Şekil-2 de yer verilmemiştir.

Şekil 3 ve Şekil 4’deki aylık tahmini veriler incelendiğinde SMA Web Desing yazılımı, yıllık 92411 kWh elektrik üretimine karşılık, PVGIS yazılımı yıllık 92012 kWh üretim hesaplamıştır. Hesaplanan yıllık üretim değerleri %0,43 fark ile birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Fakat ay bazlı grafikler incelendiğinde modeller arası farklar, önemli derecede ayrılmaktadır. Ağustos ayında SMA Web Desing daha fazla üretim öngörürken, aradaki fark %18 hesaplanmıştır. Benzer bir şekilde Kasım ayında PVGIS yazılımında %25 daha fazla üretim öngörülmüştür. Buradaki hata: SMA Web Desing yazılımı hava durumu verilerini, seçilen konuma 89 km uzakta olan Adana meteorolojik verilerinden alması sebep olmaktadır. Elektrik üretimindeki doğru tahminlemede güneş ışınım değerleri ve meteorolojik veriler (ortam sıcaklığı, nem, bulutluluk, rüzgar hızı vb.) önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden SMA Web Desing yazılımı ile üretim verisi oluşturulurken, seçilen konumun meteorolojik veri istasyonuna yakınlığı dikkate alınmalıdır.

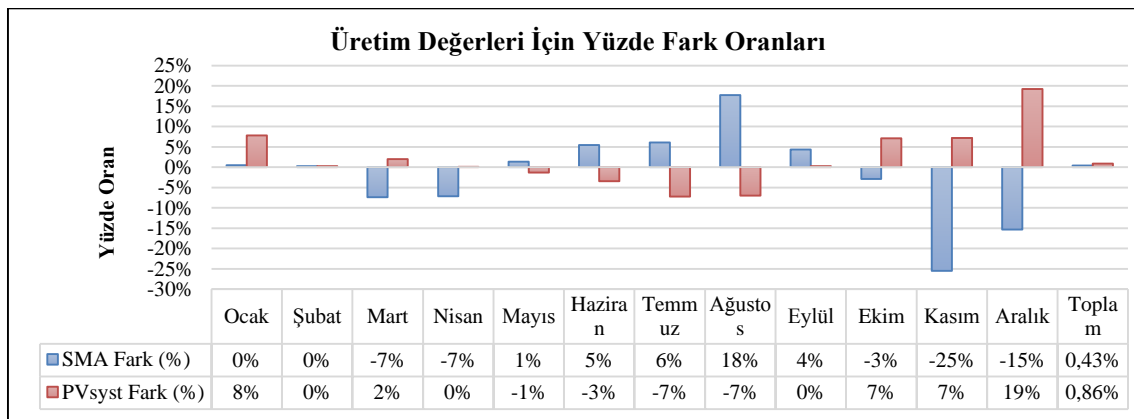
PVGIS ve PVsyst yazılımlarına ait veriler kıyaslandığında, yıllık üretim tahminleri sırasıyla 92012 kWh ve 92807 kWh olarak hesaplanmıştır. PVsyst yazılımı, yıllık üretimde +%0,84 farkla PVGIS’den fazla üretim yapacağını öngörmüştür. Fakat ay bazında karşılaştırıldığında: Nisan-Ağustos arası aylarda PVGIS’den daha az enerji üretileceği, buna karşılık Ocak, Ekim, Kasım, Aralık aylarında ise pozitif ayrılarak daha çok enerji üretileceği hesaplanmıştır.



Şekil 2. PVGIS ve PVsyst aylık tahmini ışınım değerleri



Şekil 3. SMA web desing, PVsyst ve PVGIS aylık tahmini enerji üretim değerleri



Şekil 4. PVGIS üretim değerleri referans alındığında: SMA web desing ve PVsyst aylık tahmini enerji üretim farkı

Yaklaşık Maliyet Hesabı: Tasarlanan Çatı Üzeri GES için maliyet hesabı yapıldığında toplam 50950\$ bedel çıkmaktadır. Bu maliyete ait kalemler Çizelge 5’de özetlenmiştir. Yatırım bedelinin geri dönüş süresi ayrıca hesaplanmıştır. Hesaplama verileri; özsermaye ile yapıldığı (fon-kredi-hibe kullanılmadığı durum), proje ömrünün 20 yıl, panellerde yıllık %0,5 verimin düşümü, yıllık enflasyon oranı %14,6, TCMB iskonto oranı %15,75, şebeke enerji birim fiyatı (OG Ticarethane) 0,113 \$/kWh kullanılmıştır.

Çizelge 5. Çatı üzeri GES maliyet tablosu

	İçerik	Bedeller
Güneş Paneli	150 adet 400W	30.000,00 \$
İnvertör	1 Adet 60 kW	7.200,00 \$
Konstrüksiyon ve Kurulum Maliyeti	1 set	4.750,00 \$
Pano, Kablo, Sayaç vb. diğer aksesuar malzemeler	1 set	5.500,00 \$
Mühendislik ve Resmi Harç Bedeli	1 set	3.500,00 \$
	Toplam:	50.950,00 \$

Hesaplama sonucunda yatırımın 4,9 yılda geri döndüğü ve yılda ortalama 10000\$ gelir elde edileceği hesaplanmıştır. Çevreci bir yaklaşıma örnek olan bu tesis ile yılda yaklaşık 38-ton karbon emisyonunun önüne geçilebilecektir. Üçgöl ve arkadaşları, SMA Web Desing yazılımını kullanarak Süleyman Demirel Üniversitesi bina çatıları için GES’in elektriksel hesaplamalarını, fayda maliyet analizi ve karbon salınımlarını incelediği çalışmada, özsermaye ile yatırımın 14 yılda geri döneceğini hesaplamıştır [8]. Aradan geçen yaklaşık 7 yıl içinde, güneş paneli fiyatlarındaki düşüş, yatırımların daha hızlı dönmesini sağlamıştır.

Kurulması planlanan tesisin, Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti (LCOE) 0,079\$/kWh hesaplanmıştır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) LCOE tablosuna bakıldığında, ülkemiz 2019 yılı için 0,0776\$/kWh görülmektedir. Bu durum, yapılan hesaplamaların tutarlılığını göstermektedir [68].

4. SONUÇLAR

Güneş potansiyelinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda; ülkeler arası karşılaştırma, illerin potansiyellerine dair araştırmalar, uydu tabanlı modelleme, meteorolojiden alınan verilerden; makine öğrenimi yöntemleri ve istatistik hesaplama yöntemleri kullanılarak tahminleme ve doğrulama çalışmaları yer almaktadır. Güneş ışınımının doğru tahminlenmesi, güneş potansiyelinin oluşturulması açısından önem arz etmektedir. Işınım miktarının belirlenmesinde; Astronomik Faktörler (güneş deklinasyonu, güneş saati, güneş-yeryüzü mesafesi vb.), Coğrafik Faktörler (enlem, boylam, yükselti vb.), Fiziksel Koşullar (hava moleküllerinin serpinti yoğunluğu, su buharı, kirlilik, O₂, N₂, CO₂, O vb. atmosfer elementlerinin yoğunlukları) ve Meteorolojik Koşullar (güneş ışınımı, güneşlenme süresi, sıcaklık, yağış, bağıl nem, bulutluluk, buharlaşma, toprak sıcaklığı, çevreden gelen yansımalar vb.) dikkate alınarak modellemeler yapılmaktadır [69]. Bu koşulları oluşturan verilerin oluşturduğu hazır veri setleri (SARAH ve Meteororm 7.3) kullanılarak elektrik enerjisi üretim projeksiyonu oluşturulmuştur.

“Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği” kapsamında Öztüketim modeli düşünülerek, İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi çatısına için 60 kWp/60 kW Çatı GES tasarımı yapılmıştır. Piyasada aktif olarak kullanılan üç farklı simülasyon yazılımı kullanılarak Çatı Üzeri GES için üretim projeksiyonları hesaplanarak üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Tasarımda kullanılan ürünler, güncel fiyatlarıyla beraber piyasada rahatlıkla bulunabilecek şekilde seçilmiştir. Hesaplanan sonuçlara göre, yatırımın 4,9 yılda geri döndüğü ve yıllık 38-ton karbon salınımının önüne geçileceği sonucuna ulaşılmıştır. Hesap sonuçları, uluslararası enerji ajans kaynakları ile karşılaştırılarak yapılan çalışmanın tutarlılığı ispatlanmıştır. Tasarımın, İskenderun ilçesi ve yakın coğrafyada yatırım yapmayı düşünenler için örnek teşkil edecektir.

5. KAYNAKLAR

1. Bulut, M., 2020. Analysis of the Covid-19 Impact on Electricity Consumption and Production. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, 3(3), 283-295.
2. IEA 2021, Covid-19 impact on electricity, <https://www.iea.org/reports/covid-19-impact-on-electricity>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
3. IEA, VRE Share in Electricity Demand in Germany January-December 2020, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/vre-share-in-electricity-demand-in-germany-january-december-2020> (Erişim Tarihi: 07.03.2021).
4. IEA, VRE Share in Electricity Demand in Spain January-December 2020, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/vre-share-in-electricity-demand-in-spain-january-december-2020>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
5. IEA, VRE Share in Electricity Demand in Italy January-December 2020, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/vre-share-in-electricity-demand-in-italy-january-december-2020>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
6. Kılıç, H., Gümüş, B., Yılmaz, M., 2016. Diyarbakır İli için Güneş Enerjisi Verilerinin Meteorolojik Standartlarda Ölçülmesi ve Analizi. EMO Bilimsel Dergi, 5(10), 15-19.
7. Emrahoğlu, N., Yeğingil, İ., 2019. Çukurova Üniversitesi'nde Ölçülen Güneş Işınım Verileri Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(2), 87-96.
8. Alcan, Y., Demir, M., Duman, S., 2018. Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz ve Almanya İle Karşılaştırarak İncelenmesi. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(1), 35-44.
9. Dinçer, F., 2011. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, 14(1).
10. Taşova, M., 2018. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri ve Güneş Enerjisinden Faydalanma Olanakları. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 7(3), 10-17.
11. Oral, M., 2020. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Pv Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği. International Journal of Geography and Geography Education, (42), 482-503.
12. Çiftçi, A., Altundağ, E., 2017. Burdur Bölgesi Güneş Enerjisi Potansiyelinin Elektrik Üretiminde Kullanılabilirliği. Mesleki Bilimler Dergisi (MBD), 6(2), 111-120.
13. Behçet, R., Oral, H., Gül, H., 2013. Adıyaman İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı. Batman Üniversitesi, Yaşam Bilimleri Dergisi, 3(2), 52-67.
14. Sak, T., Gönen, Ç., Kara, E., 2019. Niğde İlinde Güneş Enerjisi Santrallerinin Yaygınlaştırılması ve Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasının Potansiyeli. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(2), 327-335.
15. Kırbaş, İ., Çifci, A., 2019. Feasibility Study of a Solar Power Plant Installation: A Case Study of Lake Burdur, Turkey. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 6 (3), 830-835.
16. Kılıç, H., Gümüş, B., Yılmaz, M., 2016. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Global Güneş Işımasının ve Güneşlenme Süresinin İstatiksel Metodlar ile Tahmin Edilmesi ve Karşılaştırılması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(1), 73-83.
17. Şahan, M., Okur, Y., 2016. Akdeniz Bölgesine Ait Meteorolojik Veriler Kullanılarak Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Güneş Enerjisinin Tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fen Dergisi, 11(1), 61-71.
18. Arslanoğlu, N., 2016. Kocaeli İçin Mevcut Global Güneş Işınımı Tahmin Modellerinin Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 21(1), 217-226.
19. Kallioğlu, M.A., Ercan, U., Karakaya, H., Durmuş, A., 2017. Adıyaman İlinde Yatay Düzleme Gelen Global Güneş Işınım Değerlerinin Ampirik Modeller ile Geliştirilmesi. Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(1), 151-159.

20. Koşunalp, S., 2018. Güneş Enerjisi Kullanan Sistemler için Yeni Bir Enerji Tahmin Algoritması. Uludağ University, Journal of the Faculty of Engineering, 23(1), 369-378.
21. Gök, A.O., Yıldız, C., Şekkeli, M., 2019. Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kısa Dönem Güneş Enerjisi Santrali Üretim Tahmini: Kahramanmaraş Örnek Çalışması. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 1(2), 186-195.
22. Kara, A., 2019. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Global Güneş Işınımı Zaman Serileri Tahmini. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 7(4), 882-892.
23. Arslan, G., Bayhan, B., Yaman, K., 2019. Mersin/Türkiye için Ölçülen Global Güneş Işınımının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi ve Yaygın Işınım Modelleri ile Karşılaştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 7(1), 80-96.
24. Külcü, R., 2019. Global Güneş Radyasyonunun Ampirik Modellenmesinde Kullanılabilecek Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Çankırı İlinde Uygulanması. SDÜ Yekarum e-Dergi, 4(2), 1-8.
25. Karakaya, H., Avcı, A., Ercan, U., Kallioğlu, M., 2019. Şanlıurfa İlinde Yatay Yüzeye Gelen Anlık Global Güneş Işınımının Modellenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10 (1), 147-155.
26. Gabralı, D., Aslan, Z., 2020. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Çoklu Lineer Regresyon ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 4(1), 23-36.
27. Eşlik, A., Akarşlan, E., Hocaoğlu, F., 2021. Güneş Işınımı Tahmininde Ayrıştırma-Birleştirme Öğrenme Yaklaşımı. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(1), 132-144.
28. Sarı, V., Özyiğit, F., 2020. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 22 (65), 517-526.
29. Wikipedia, Timeline Of Solar Cells, https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_solar_cells, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
30. NREL, Best Research-Cell Efficiency Chart, <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
31. Sunpower, Solar Panels, <https://sunpower.maxeon.com/int/solar-panel-products/sunpower-maxeon-solar-panels>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
32. LG, Solar Panels, <https://www.lg.com/global/business/neon-r>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
33. REC, Solar Panels, <https://www.recgroup.com/en/alpha>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
34. Futurasun, Solar Panels, <https://www.futurasun.com/wpcontent/uploads/2020/03/2020>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
35. Trinasolar, Solar Panels, <https://www.trinasolar.com/englb/product/VERTEX-DE09>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
36. Jinko Solar, Solar Panels, <https://www.jinkosolar.com/en/site/tigerpro>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
37. Q-cells, Solar Panels, <https://www.q-cells.eu/products/solar-panels/qpeak-duo-ml-g9.html>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
38. Winaico, Solar Panels, <https://www.winaico.com.au/products/wst-mg>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
39. Longisolar, Solar Panels, https://en.longisolar.com/home/products/Hi_MO4.html, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
40. Solaria, Solar Panels, <https://www.solaria.com/powerxt-overview>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
41. Alfa Solar Enerji, Monokristal Paneller, <https://www.alfasolarenerji.com/a3s72m/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
42. Ankara Solar, Mono Perc Solar Panel <http://www.ankarasolar.com.tr/urun-detay/as-m72-370-400w-mono-perc-solar-panel/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
43. CW Enerji, Half-cut Solar Panel, <https://cw-enerji.com/urun/cwt-144pm-390-405-wp-half-cut-big-cell/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
44. Elin Enerji, Monokristal Paneller, <http://elinenerji.com.tr/tr/urunler/hizmetler/foto-voltaik-moduller/elinsemi/monokristalin-paneller/elns72m-hc>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.

45. Gazioğlu Solar, Güneş Panelleri, <http://www.gazioglusolar.com.tr/urunlerimiz>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
46. GEST Enerji, Güneş Panelleri, <http://www.gestenergy.com/ustmenu.asp?id=70&euid=2&sid=70>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
47. GTC, Cam-Cam Güneş Panelleri, <http://gtctrade.com/tr/urunler/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
48. Daxler Enerji, Güneş Panelleri, <https://www.2henerji.com/#urunler>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
49. HT Solar, Güneş Panelleri <https://htsolar.com.tr/tr/service/gunespanelleri/mono-prec/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
50. Mirsolar, Güneş Panelleri, <https://www.mirsolar.net/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
51. Ödül Solar, Monokristal Güneş Paneli, <https://odulsolar.com/product/72-hucre-monokristal-gunes-paneli-385w-400w/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
52. Parla Solar, Güneş Paneli, <http://www.parlasolar.com/gunes-paneli-uretimi/>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
53. Schmid-Pekintas, Monokristal Güneş Paneli, <https://www.schmid-pekintas.com/fotovoltaik-gunes-paneli.html>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.
54. Solartürk Enerji, Mono Panel Serisi, <https://www.solarturk.com.tr/mono-panel-serisi.html> Erişim Tarihi: 07.03.2021.
55. Stantec., 2020. Türkiye'deki PV Panel Üretimi Pazar Araştırması Raporu. Erişim Tarihi: 07.03.2021.
56. Malvoni, M., Leggieri, A., Maggiotto, G., Congedo, P. M., De Giorgi, M. G., 2017. Long Term Performance, Losses and Efficiency Analysis of a 960 kWp Photovoltaic System in the Mediterranean Climate. *Energy Conversion and Management*, 145, 169-181.
57. Erkan, O., Özkan, M., Arslan, O., 2018. Mini Kanal İle Fotovoltaik Hücre Soğutma. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2(2), 34-38.
58. Erol, H., 2021. Su Soğutmalı Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2), 142-148.
59. Toylan, H., Hüner, E., 2017. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım (ANFIS) Tabanlı Güneş Takip Sistemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 546-554.
60. Eke, R., Senturk, A., 2012. Performance Comparison of a Double-Axis Sun Tracking Versus Fixed PV System. *Solar Energy*, 86(9), 2665-2672.
61. Haydaroglu, C., Gümüş, B., 2017. Examination of Web-Based PVGIS and SUNNY Design Web Photovoltaic System Simulation Programs and Assessment of Reliability of the Results. *Journal of Engineering and Technology*, 1(1), 32-38.
62. Bayrakçı, H.C., Gezer, T., 2019. Bir Güneş Enerjisi Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9(2), 46-54.
63. Atım, F., Esen, B., Demirtaş, M., 2019. Balıkesir İlinde Farklı İki GES Tesisinin Panel Yerleşimi Açısından Verimliliklerinin Karşılaştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 679-696.
64. Psofopoulos, C.S., Ioannidis, G.Ch., Kaminaris, S.D., Mardikis, K.D., Katsikas, N.G., 2015. A Comparative Evaluation of Photovoltaic Electricity Production Assessment Software (PVGIS, PVWatts and RETScreen). *Environmental Processes*, 2(S1), 175-189.
65. Kınalı, M.Y., 2019. Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya.
66. Yalçın, Ö., 2019. Kazımkarabekir, Korkuteli ve Aksaray Bölgelerindeki Güneş Enerji Santrallerinin İklim Koşullarına Göre Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı, Karaman.
67. Ceylan, O., Taşdelen, K., 2018. Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 895-903.
68. IRENA, Solar Cost, <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs>, Erişim Tarihi: 07.03.2021.

69. Besharat, F., Dehghan, A. A., Faghih, A. R., 2013. Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 798-821.

