

TİCARİ BİR YAT LİMANININ ELEKTRİK İHTİYACININ FOTOVOLTAİK (PV) TEKNOLOJİ İLE KARŞILANMASINA YÖNELİK BİR İNCELEME

Ali Rıza DAL *^{ID}
Fatih YILMAZ *^{ID}

Alınma: 24.06.2020; düzeltme: 01.10.2020; kabul: 08.10.2020

Öz: Güneş enerjisinden elektrik üretimi ve farklı alanlarda kullanımı, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de yaygınlaşmaktadır. Elektrik, yat limanları da dahil olmak üzere ticari işletmeler için önemli bir ihtiyaç ve maliyet bileşenidir. Bu çalışmanın amacı; ticari amaçlı bir yat limanının (marina) elektrik ihtiyacının güneş enerjisi ile tedarik edilebilirliğinin incelenmesidir. Bu amaçla, Fethiye (Muğla) bölgesinde bulunan orta ölçekli ticari bir yat limanı seçilmiş ve yıllık elektrik ihtiyacı belirlenmiştir. Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) kullanılarak yapılan bir simülasyon ile yat limanının bulunduğu konumdaki uygun PV sistem gücü tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda; söz konusu yat limanına 31,7°’lik eğim açısı ile 1500 kW kurulu güce sahip PV sistemi kurulması halinde yılda 2.462.118 kWh elektrik üretilerek yıllık elektrik talebinin karşılanmasının mümkün olduğu tespit edilmiştir. Yat limanlarında PV sisteminden hem turizm sezonun da hem de diğer aylarda faydalanılabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Elektrik Üretimi, Fotovoltaik Teknoloji, Ticari Yat, Yat Limanı.

An Investigation on Supplying Electricity Demand of a Commercial Marina via Photovoltaic (PV) Technology

Abstract: Solar energy-based electricity generation and its use in different fields has become widespread in Turkey as well as in the world. Electricity is a need and a component of costs for commercial enterprises including marinas. The aim of this study is to carry out an investigation on supplying availability the electricity demand of a commercial marina via solar energy system. With this aim, a medium-sized commercial marina, where is in the region of Fethiye (Muğla), has been selected and its annual electricity demand has been determined. With a simulation using Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), the appropriate PV system power for location of the marina have been determined. As a result of the calculations, it has been concluded that the annual electricity demand of the marina can be supplied by a PV system-based electricity production of 2.462.118 kWh/year, capacity of PV system is 1500 kW and panel inclination angel of PV modules is 31.7°. It has been considered that PV system can be used in yacht marinas both in the months of tourism season and other months.

Keywords: Solar Energy, Electricity Generation, Photovoltaic Technology, Commercial Yacht, Yacht Marina.

* Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 06520 Çankaya/Ankara, Türkiye.
İletişim Yazarı: Ali Rıza DAL (ardal1969@gmail.com)

1. GİRİŞ

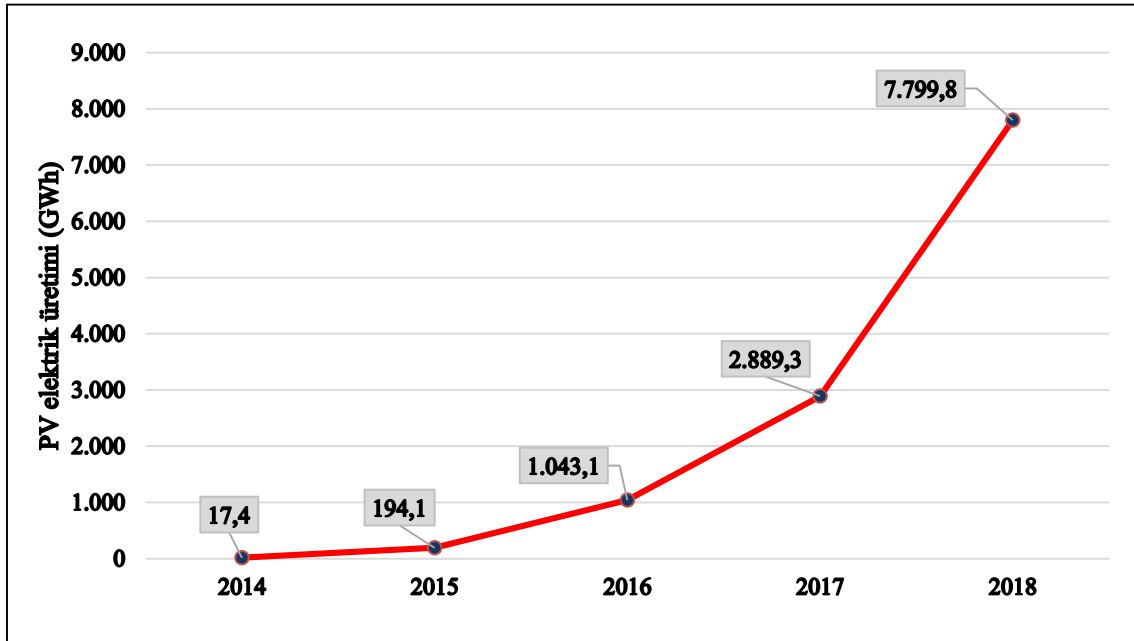
Yat turizmi, turizm sektörünün bir parçasıdır. Yat limanları ise yatların barınması için inşa edilen kıyı yapılarıdır. Yat turizmi faaliyetleri, özellikle denize kıyısı olan ülkelerde ülke tanıtımına katkı sağladığı gibi aynı zamanda ülke ekonomileri için önemli bir gelir kaynağıdır.

Yat limanları; yat sahiplerine profesyonel hizmet anlayışı içerisinde konaklama hizmetleri sunmaktadır. Yat limanlarının kendi idari ve sosyal binalarının yanısıra limanda barınan yatlara sunulan hizmetlerde sıcak su ve elektrik enerjisine sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Yat limanlarının elektrik ihtiyacı ise genellikle şehir şebekesinden karşılanmaktadır.

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar her geçen gün artmakta olup, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi daha da önem kazanmaktadır. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıt kaynaklardan elektrik üretimi sırasında meydana gelen çevre kirliliği ve yüksek maliyetler gibi sebepler, elektrik üretiminde alternatif/yenilenebilir enerji kaynaklarının ve çevre dostu teknolojilerin yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte artan enerji ihtiyacına paralel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin arttığı günümüzde güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Güneş enerjisinin etkin kullanımı, tüm dünyada olduğu gibi ülkemiz ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Günümüzde güneş enerjisinden; ısıtma, kurutma, sıcak su ve elektrik üretimi gibi farklı alanlarda faydalanılmaktadır.

Varınca ve Gönüllü (2006) tarafından yapılan bir çalışmada; yenilenebilir enerji kaynakları arasında mevcut potansiyel ve üretim teknolojileri bakımından yakıt ve işletme masrafları bulunmayan, çevre ile uyumlu bir enerji kaynağı olduğu ifade edilerek, güneş kaynaklı enerji üretim sistemleri için uzun vadeli finansman imkânı sağlandığı takdirde, enerji darboğazlarının konuşulduğu ülkemizde güneş enerjisinden en üst seviyede faydalanılacağını belirtmişlerdir.

2018 yılında güneş enerjisine dayalı elektrik üretimindeki artış bir önceki yıla göre dünya genelinde %28,9 iken, ülkemizde %170'tir (<https://www.teias.gov.tr>; <https://www.bp.com>). Başka bir ifadeyle, ülkemizde güneş enerjisine dayalı elektrik üretimindeki yaygınlaşma dünyadakine göre 5,9 kat daha fazladır. Şekil 1'de; 2014-2018 yılları arasında Türkiye'deki güneş enerjisinden elektrik üretiminin yıllara artışı görülmektedir.



Şekil 1:

Türkiye'nin güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi (GWh) (<https://www.teias.gov.tr>).

Limanlarda enerji maliyetlerinin azaltılması ve emisyonların düşürülmesi için enerji yönetim planı uygulamaktadır. Yat limanlarında tüketilen elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması sürdürülebilirlik açısından önemlidir (Fedai ve Madran, 2015). Yat limanlarda kullanılan elektriğin güneş enerjisinden faydalanılarak elde edilmesi önem arz etmektedir.

1.1. Türkiye’de Yat Limanlarının Durumu

Dünya yat turizminin odak noktası konumunda olan bölgelerden biri de Akdeniz Bölgesi’dir. Dünya genelinde 19.000 adet yat limanı mevcut olduğu belirtilmekte, sadece Avrupa genelinde 5.000 adet yat limanı olduğu ifade edilmektedir. Akdeniz’de dolaşan toplam yat sayısı günümüzde 1 milyona ulaşmıştır. Türkiye, Akdeniz’deki en önemli yedi yat rotası üzerinde yer almakta olup, güney sahillerimizdeki yat turizminde Bodrum, Marmaris, Fethiye ve Antalya öne çıkmaktadır. Ülkemiz, coğrafi konumu, tarihi ve kültürel zenginlikleri ve yat limanı hizmet kalitesi gibi sebeplerle yat turizminde tercih edilen ülkelerden biridir (<https://www.denizticaretodasi.org.tr>).

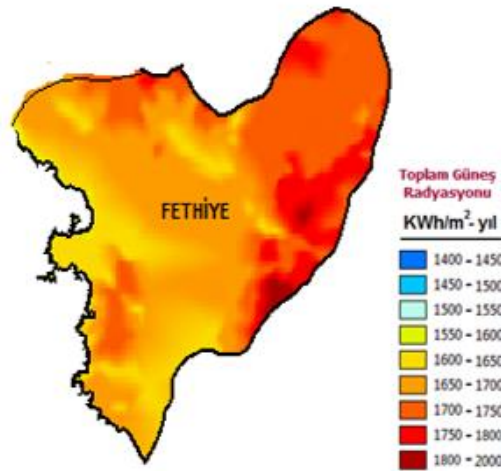
Ülkemiz kıyılarında toplamda 24.728 adet yat bağlama kapasitesine sahip 60’tan fazla yat limanı mevcuttur. Sadece Fethiye bölgesinde toplamda 2.101 adet yat bağlama kapasitesine sahip 9 adet yat limanı mevcuttur (<https://tkygm.uab.gov.tr>). Başka bir ifadeyle, ülkemizdeki toplam yat bağlama kapasitesinin %8,5’lik kısmı Fethiye ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır.

1.2. Fethiye İlçesinin Güneş Potansiyeli

Güneş enerjisinden faydalanma imkânı coğrafi şartlara ve mevsimlere göre değişkenlik gösterse de teminindeki kolaylık kullanımını avantajlı yapmaktadır.

Ülkemiz coğrafi konumu itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli açısından dünyada ön sıralarda yer almaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli açısından Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri başta olmak üzere, Karadeniz Bölgesi haricindeki tüm bölgeler yatırım yapılabilir niteliktedir (Şen 2004; Varınca ve Gönüllü, 2006; Onat, 2018).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından hazırlanan Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) incelendiğinde (<http://www.yegm.gov.tr>); Karadeniz ve Marmara Bölgelerinde ormanlık alanların fazla olması ve nem nedeniyle güneş enerjisi potansiyelinin görece düşük olduğu, Ege Bölgesinin güneyi, Akdeniz Bölgesi, Orta Anadolu Bölgesi ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinin ise güneş enerjisi potansiyeli bakımından çok daha avantajlı bölgeler olduğu görülmektedir. Şekil 2’de; Muğla’nın Fethiye ilçesine ait güneş ışınımı dağılımı görülmektedir.



Şekil 2:

Muğla ili Fethiye ilçesine ait güneş ışınımı dağılımı (<http://www.yegm.gov.tr>).

Literatürdeki bazı çalışmalarda, Marmaris, Antalya ve Burdur gibi yerleşim yerlerinde eğimli yüzeylerde birim alana düşen güneş ışımının 1800 kWh/m²-yıl değerine kadar çıkabildiği ve üretilen elektrik enerjisinin maliyetinin [TL/kWh] düşük olduğu belirtilmiştir (Eke, 2013; Kırbas ve diğ., 2013).

Dünyada güneş enerjisi potansiyelinin ölçülmesi ve maksimum verimin elde edilebilmesine yönelik PV sistemleri hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Büyükalaca ve Karaçorlu, 1996; Abdullah ve diğ., 2002; Chang, 2009). Ülkemizde de güneş enerjisinden elektrik elde edebilmek için güneş paneli kullanımı, sistemlerin kurulumu ve performans ölçümü ile ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur (Yeşilata ve Aktacir, 2001; Çelebi, 2002; Güven ve Şenol, 2005; Öztürk ve Dursun, 2011; Çubukçu ve Çolak, 2013; Güven, 2016; Ceylan ve Taşdelen, 2018). Türkiye, Avrupa ülkelerine göre daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve güneş enerjisinden elektrik üretmek için en yaygın yöntem binaların çatısında yer alan güneş panelleridir (Dikmen ve Gültekin, 2011).

1.3. Fotovoltaik (PV) Sistemler

Güneş enerjisinden elektrik elde etmek için yapılan en önemli uygulamalardan biri, güneş pili fotovoltaik uygulamalarıdır.

Enerjinin bir şekli olan ışık; fotovoltaik hücrenin içine girerek elektronları harekete geçiren enerjiyi ortaya çıkarır. Bu enerji ise elektronların bir elektrik akımı oluşturabilecekleri kadar voltajı üretmelerini sağlar (Sick ve Erge,1996). Güneş enerjisinden; yarı iletken malzemelerden yapılan fotovoltaikler tarafından güneş ışığını kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bunlar güneş pili olarak da ifade edilmektedir. Fotovoltaik ışık anlamına gelen “photo” ve elektriksel voltaj anlamına gelen “voltaic” kelimelerinden oluşur. Fotovoltaikler; güneş ışınlarından doğrudan elektrik enerjisini üretebilme yeteneğine sahip cihazlardır (Yeşilata ve Aktacir, 2001; Messenger ve Ventre, 2005). Fotovoltaikler; güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren yenilenebilir enerji teknolojilerinde yüksek yatırım maliyetleri ve düşük işletme giderleri söz konusu olmaktadır (Messenger ve Ventre, 2005).



Şekil 3:

PV panel görünümü (www.businessday.ng)

Fotovoltaikler; depolamalı ve şebeke bağlantılı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Depolamalı sistemler, elektrik şebekesinden bağımsız olarak kurulan, güneş panelinden üretilen elektriğin akülerde depolanarak inverterler ile kullanılan elektrik enerjisine dönüştüren

sistemlerdir. Şebeke bağlantılı sistemler ise; ihtiyaç olunan elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilir, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir (Güven, 2016).

Fotovoltaik sistemle üretilen elektrik kullanımdayken, hava karardığında şebeke elektriğinin devreye girmesiyle kesintisiz enerji sağlanır. Elektrik tüketiminin gün içerisinde en yoğun kullanım değerlerine ulaştığı göz önüne alınırsa, şebekeye bağlı sistemlerin kullanımının yaygınlaşması, hem şebeke elektriğine binen yükü azaltacak hem de üretilen fazla enerji şebekeye satıldığında, şebeke elektriğinin dağıtımını rahatlatacaktır (<http://www.soe-townsville.org>). Fotovoltaik teknolojisinin, diğer enerji kaynakları arasında, avantajlar nedeniyle ilgi çekmeye ve gelişmeye devam edeceği, Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli ile fotovoltaik teknolojisi yatırımları ve kullanımını artacaktır. Ayrıca fotovoltaik teknolojisinin, pek çok uygulama alanı olabileceği, fotovoltaik teknolojisindeki yeni gelişmeler sayesinde, önümüzdeki yıllarda, mevcut ticari fotovoltaik ürünlerin maliyetleri düşmekte ve kullanımlarının yaygınlaşacağı görülmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretim sürecinde herhangi bir fosil yakıtı ihtiyacın olmaması, bakım ve işletme maliyetlerinin düşük olması, tesislerinin kurulumunun yaklaşık 1 ila 9 ay gibi kısa bir sürede gerçekleştirilmesi, dayanıklı malzeme yapısı sayesinde, zor hava koşullarına karşı koyabilmesi en önemli avantajlarıdır (enerjibes.com, 2020). Ayrıca, trafik ışıklarında, tarım makinelerinde, karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu araçlarında ile yu du sistemleri gibi birçok sektörde enerji ihtiyacı güneş panelleri aracılığıyla karşılanmaktadır (Yaman ve diğ., 2019). Kullanım alanı açısından şehirden uzak elektrik şebekelerinin olmadığı ve ulaşım sorunu olan yerleşim ve tarım alanlarında daha çok tercih nedeni olmaktadır.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından yayımlanan “Güneş Enerjisinin Geleceği” konulu raporuna (<https://www.irena.org>) göre; 2050 yılına kadar dünya çapındaki küresel elektriğin dörtte birinin güneş enerjisinden karşılanacağı, bu sayede düşük karbonlu teknoloji seçenekleri arasında yer alacağı belirtilmiştir. Fotovoltaik teknolojinin tek başına hızla kullanımı ile 2050 yılında 4,9 Gigaton Karbondioksit (CO₂) emisyonunda azalma sağlayacağı ve sanayideki yenilikler sayesinde güneş enerjisinin hızla gelişen bir endüstri olmaya devam edeceği ifade edilmektedir.

Ayrıca, güneş enerjisinden elektrik üretimi, dünyada birçok yolcu ve yük elleçlemesi yapan limanların depolarının çatılarına ve deniz yüzeyine güneş panellerinin kurulumu yapılarak kullanılarak uygulanmaya başlamıştır (<https://sustainableworldports.org>; <https://www.portofrotterdam.com>). Sdoukopoulos ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada; Avrupa limanlarında enerji verimliliği ve dünyadaki limanlarda yenilenebilir enerji uygulamalarını incelenmiştir. Avrupa'daki limanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Avrupa Liman Yönetim Trendleri 2016 Raporuna (<https://www.espo.be>) göre; limanların güneş enerjisinden elektrik üretim payı %31'ni oluşturmaktadır. Ülkemizde Samsunport Limanı 23.500 metrekaarelik depo ve antrepo çatıları üzerine; 2 MW üretim Türkiye'nin ilk mono kristal tip kurulan güneş enerjisi santrali elektrik üretimine başlamış bulunmakta olup, 30 yılda yaklaşık 32.000 ton CO₂ emisyon azalmasını hedeflenmektedir (<http://www.ceynak.com.tr>).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Araştırmanın Konusu ve Önemi

Güneş enerjisinden elektrik üretimi ve farklı alanlarda kullanımı, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yaygınlaşmaktadır. Elektrik, yat limanları da dahil olmak üzere ticari işletmeler için önemli bir ihtiyaç ve maliyet bileşenidir. Bu çalışma kapsamında yapılan saha ve literatür incelemesinde, ülkemiz yat limanlarında güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi ve kullanımının bulunmadığı, sadece güneş enerjisinden su ısıtmak amacıyla faydalandığı tespit edilmiştir.

Dolayısıyla, bu alanda yapılacak bilimsel çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, bu çalışma ile orta ölçekli ticari bir yat limanının (marina) elektrik ihtiyacının güneş enerjisi ile tedarik edilebilirliğinin incelenmesi ve literatürdeki boşluğun giderilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ülkemizdeki toplam yat bağlama kapasitesinin %8,5'lik kısmını bünyesinde barındıran Fethiye (Muğla) ilçesi ve orta ölçekli ticari bir yat limanı seçilmiştir.

2.2. Araştırmada Veri Toplama Yöntemi

Çalışmada, öncelikle orta ölçekli ticari bir yat limanının 2018 yılına ait aylık elektrik tüketim miktarlarına ilişkin veriler elde edilmiştir. PVGIS kullanılarak yapılan bir simülasyon ile yat limanının bulunduğu konumdaki uygun PV sistemi gücü tespit edilmiştir. Akabinde, güneş ışınımı ve güneş paneli kurulu gücüne bağlı olarak yat limanında tüketilen enerjinin aylara göre dağılımları incelenmiştir. Seçilen kurulu güç, eğim açısı, azimut açısı, sistem verimliliği, kullanılan panel malzeme ve yerin koordinatlarına bağlı olarak yat limanın bulunduğu Fethiye ilçesindeki güneş enerji panelinden üretilecek olan tahmini elektrik enerjisi [kWh] miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca, çalışmada Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Güneş Enerji Potansiyel Atlası (GEPA) ile Türkiye elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) verileri esas alınmıştır.

Orta ölçekli ticari bir yat limanının aylık elektrik tüketimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yat limanının 2018 yılı aylık elektrik tüketimi (kWh)

Aylar	Elektrik Tüketimi (kWh)
Ocak	104.315
Şubat	91.042
Mart	108.589
Nisan	145.558
Mayıs	223.785
Haziran	267.778
Temmuz	285.190
Ağustos	320.010
Eylül	308.634
Ekim	245.700
Kasım	146.529
Aralık	107.332
Toplam	2.354.462

2.3. PVGIS Hesaplama Metodu

Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından desteklenen PVGIS; güneş radyasyon haritalarına göre 2005-2016 yılları arasındaki meteorolojik verileri kullanarak güneş ışınımından elde edilebilecek enerjiyi hesaplamak için ücretsiz olarak kullanılabilen simülasyon programıdır. PVGIS veri tabanından coğrafi konuma göre; istenilen panel açı değerine bağlı olarak ortalama günlük, aylık ve yıllık ışınım değerleri hesaplanabilmektedir. Ayrıca, fotovoltaik sistemin güç kapasitesi; panelin cinsi, sistemin verimlilik oranı, azimut açısı ve eğim açısı değerleri belirlenerek tahmin edilebilmektedir. PVGIS, ışınım ve panel sıcaklığının etkilerini aşağıda belirtilen eşitliklerle hesaplamaktadır (<https://ec.europa.eu>; Huld ve diğ., 2011).

$$P(G', T') = G'(P_{STC,m} + k_1 \ln(G') + k_2 \ln(G')^2 + k_3 T' + k_4 T' \ln(G') + k_5 T' \ln(G')^2 + k_6 T'^2) \quad (1)$$

$$G' \equiv G/G_{STC} \quad (2)$$

$$T' \equiv T_{mod} - T_{STC} \quad (3)$$

$$\eta_{rel}(G', T') \equiv \frac{P(G', T')}{P_{STC,m} G'} \quad (4)$$

Eşitlik (1)'de belirtilen; $P(G, T)$ anlık panel gücü [W], $P_{STC,m}$ standart test koşullarındaki maksimum gücü [W] ifade etmektedir. k_1 'den k_6 'ya kadar olan katsayılar Avrupa Güneş Test Kurulumu (ESTI) tarafından ölçülen verilere bağlıdır.

Eşitlik (2) ve (3)'de, G güneş ışınımı [W/m^2] olup G' güneş ışınımının normalize edilmiş boyutsuz değeri, T_{mod} panel sıcaklığı [$^{\circ}C$] ve STC ise standart test koşullarında G ve T' 'ye bağlı güç değerini içerir. η_{rel} , verimdir.

Azimut açısı; fotovoltaik güneş panellerin güneye yönelmesini belirtmekte olup, güneye yönlendirilmiş panellerde azimut açısı 0° , doğu için -90° ve batı için 90° 'dir (Yıldırım ve Aktacir, 2019). İzmir için güney yönlü panellerin yıllık optimum eğim açısının; optimum eğim açısının kışın $55,7^{\circ}$, ilkbaharda $18,3^{\circ}$, yazın $4,3^{\circ}$ ve sonbaharda 43° , yıllık ortalaması $30,3^{\circ}$ bulunmuştur (Ülgen, 2006).

Isparta'da bulunan bir güneş enerjisi santralin PV*SOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS farklı simülasyon programları ile enerji analizini yapılmıştır. Bu kapsamda Isparta güneş enerjisi santralin toplam enerji üretimi değerine göre %1,3 sapma oranı ile PVGIS simülasyon programı olduğu bulunmuştur (Ceylan ve Taşdelen, 2018). Gökçeada'da yerleşik ve şebekeden bağımsız güç sistemin gerçek değerlerinin, PVGIS ışınım verileri ile uyumlu olduğunu belirtilmiştir. Sistemin izleme döneminde, ortalama toplam ışınım değeri ölçüm sonuçlarının $5,15$ [$kWh/(m^2.d)$] ve PVGIS veri tabanında $5,35$ [$kWh/(m^2.d)$] olmaktadır. Aynı şekilde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen gerçek zamanlı sıcaklık ölçümleriyle, Bu kapsamda, PVGIS veri tabanının tutarlılığı teyit edilmiştir (Çubukçu ve Çolak, 2013). Bursa/Orhaneli ilçesinde PVGIS simülasyon programında yapılan çalışmada panel eğim açısının her ay ayarlanabilmesinin zor olacağı belirtilmiş ve yıllık optimum eğim açısı $\alpha=32^{\circ}$ olarak belirlenmiştir (Başay ve diğ., 2019).

Fotovoltaik sistemlerde panel yüzeyine gelen güneş ışınım şiddeti panelin gücünü belirleyen bir unsurdur (Fıratoğlu ve Yeşilata, 2004).

PVGIS harita tabanından güneş paneli olarak kristal silikon malzeme teknolojisi, kablo, inventer vs. sistem kaybı %14 olarak kabul edilmiştir (<https://ec.europa.eu>). Optimum şartlarda PVGIS programında yat limanının bulunduğu mevkideki koordinatlar programda seçilerek uygun güç seçimi için simülasyon PVGIS-SARAH modülünde hesaplanmıştır. Tablo 2'de verilen değerler incelendiğinde, optimum şartlarda yat limanı yıllık elektrik tüketim değerinin PV sistemi gücü olarak 1431 kW'ye karşılık geldiği bulunmuştur. Ancak normal çalışma koşullarının dışında istem dışı sistemin çalışma verimini düşürücü kayıplarında olabileceği dikkate alınarak, PVGIS programında yapılan çalışmada PV sistemi gücü 1500 kW olarak %5 fazlası kabul edilmiştir.

Tablo 2. Yat limanının bulunduğu bölgede optimum şartlarda elde edilen güç miktarı tespiti (https://ec.europa.eu)

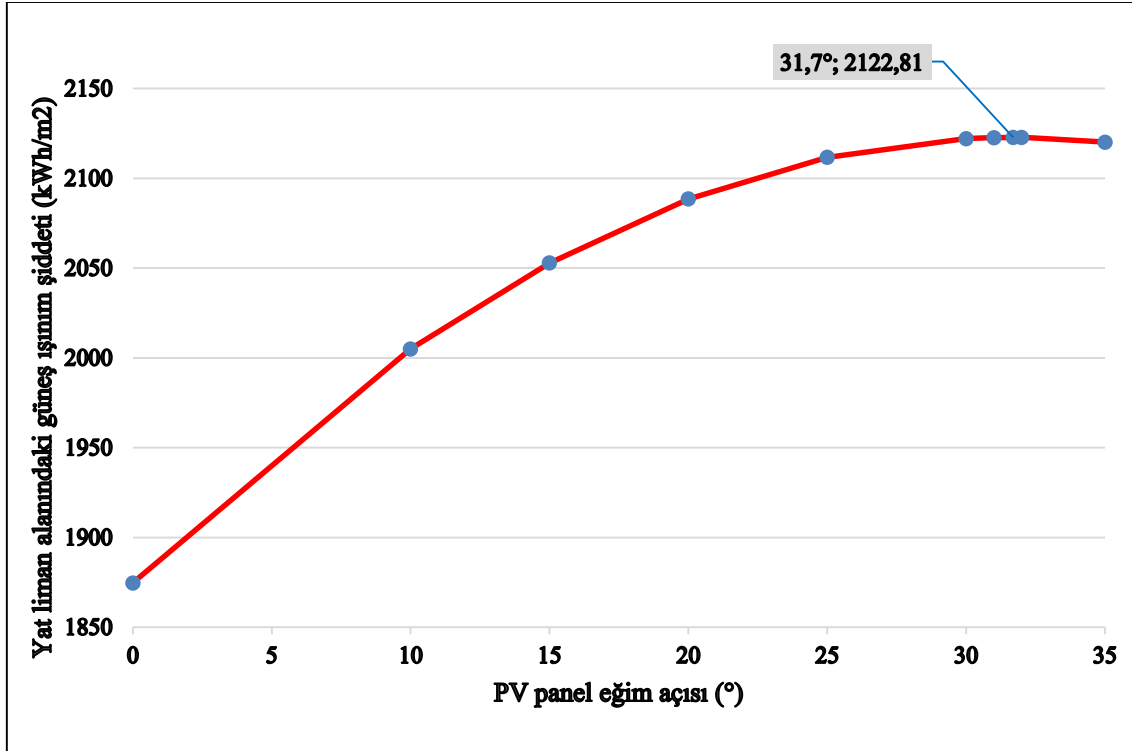
PV sistemi gücü (kW)	1300	1400	1431	1450	1500	1550	1600
PV sisteminin üreteceği elektrik enerjisi ($PV_{\tilde{u}}$) (MWh)	2.139	2.303	2.354	2.386	2.468	2.550	2.633
Yat limanı yıllık tüketimi (Y_t) (MWh)	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354
Oran ($Y_t/PV_{\tilde{u}}$)	0,91	0,98	1,00	1,01	1,05	1,08	1,12

3. BULGULAR

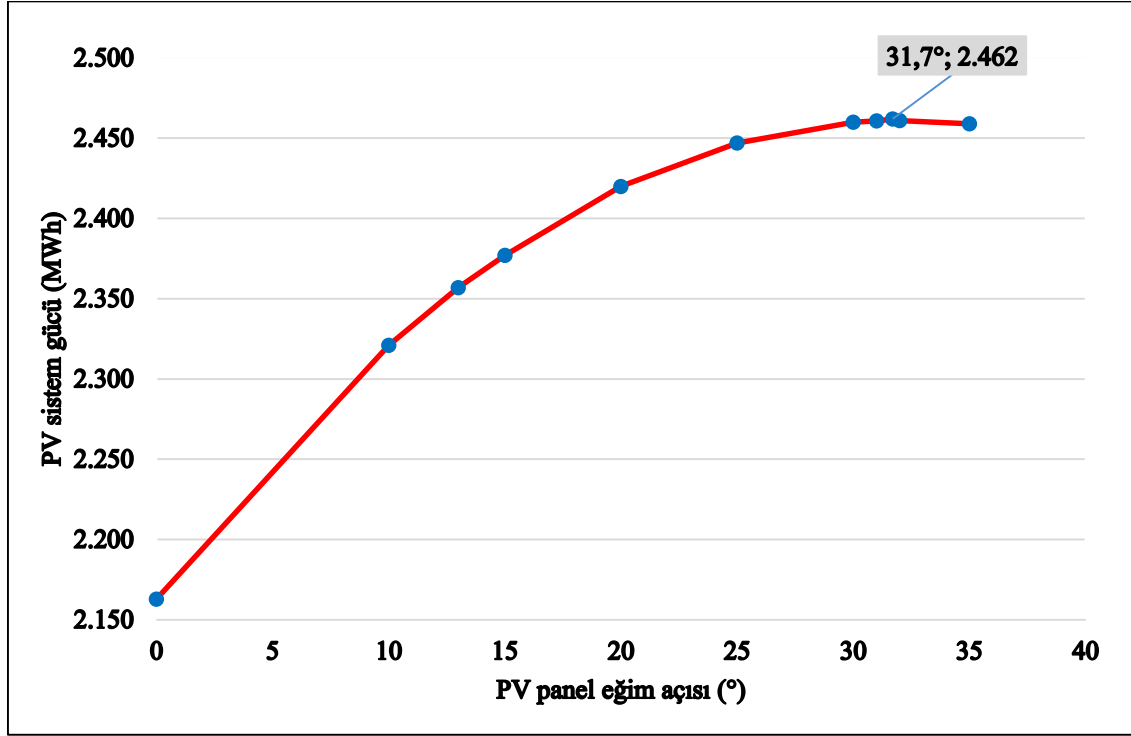
3.1. PV Sistemi Panel Eğim Açısı Tespiti

Çalışmada, güneş panellerinin güneşe yönlendirilmiş PV sistemi panellerinde azimut açısı 0° , güneş enerjisi panel eğim açısı 0° , 10° , 13° , 15° , 20° , 25° , 30° , 31° , $31,7^\circ$, 32° ve 35° sabit eğim açılarında ve PV sistemi panel toplam gücü 1500 kW olarak kabul edilmiştir. PV sisteminin kurulması öngörülen alanda herhangi bir kısıt bulunmamaktadır. Güneş ışınımı ve PV sistemi panel gücü değerleri PVGIS ile hesaplanmıştır.

PVGIS'te yapılan simülasyonda; açı değerlerine bağlı olarak elde edilen $2122,81 \text{ kWh/m}^2$ 'lik güneş ışınımı değeri ile 2462 MWh 'lik PV sistemi panel gücü değerinin $31,7^\circ$ eğim açısında maksimum değere ulaştığı görülmüştür (Bkz. Şekil 4, 5). Bulunan $31,7^\circ$ eğim açısı ve $2122,81 \text{ kWh/m}^2$ 'lik güneş ışınımı değerlerinin literatürdeki diğer bazı çalışmalar (Ülgen, 2006; Ceylan ve Taşdelen 2018; Başay ve diğ., 2019) ile de uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4:
Eğim açısına bağlı güneş ışınımı şiddeti ilişkisi



Şekil 5:
Panel eğim açısına bağlı PV sistem gücü ilişkisi

3.2. PV Sistem Gücünün Aylık Olarak Karşılaştırması

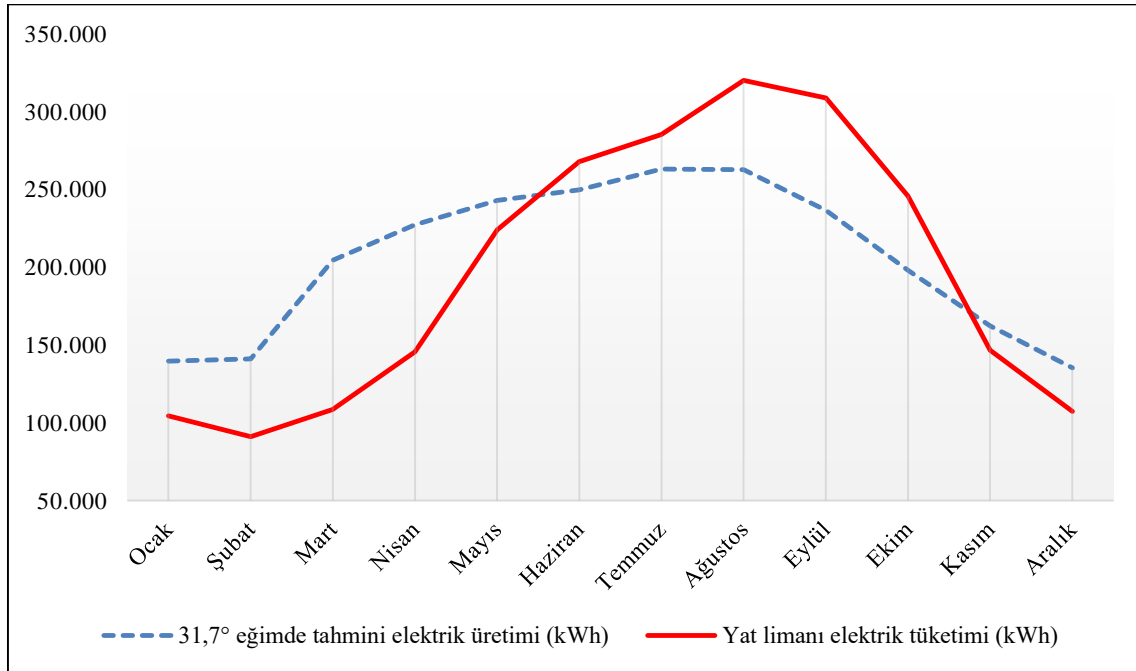
PVGIS simülasyonunda, 1500 kW güç kapasiteli PV sisteminden farklı panel eğim açıları ve aylar itibariyle üretilen elektrik miktarı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. PV sistemi panel eğim açıları ve aylar itibariyle üretilen elektrik miktarı (MWh)

Panel eğim açısı	0°	10°	13°	15°	20°	30°	31°	31,7°	32°	35°
Ocak	86	107	112	116	124	138	139	140	140	143
Şubat	103	118	122	125	131	140	141	141	141	143
Mart	169	185	189	192	197	204	204	204	205	205
Nisan	214	224	226	227	228	228	227	227	227	226
Mayıs	252	255	255	254	252	245	244	243	243	239
Haziran	273	272	271	269	265	252	251	250	249	244
Temmuz	282	283	282	281	277	266	264	263	263	257
Ağustos	256	264	266	266	267	263	262	263	261	259
Eylül	202	219	223	225	230	236	236	236	237	237
Ekim	146	168	173	177	185	196	198	198	198	200
Kasım	102	126	132	136	145	160	161	162	163	166
Aralık	78	100	106	110	118	133	134	135	136	139
Toplam	2163	2321	2357	2377	2420	2460	2461	2462	2461	2459
Üretimin tüketime oranı	0,92	0,99	1,00	1,01	1,03	1,04	1,05	1,05	1,05	1,04

Tablo 3 incelendiğinde, yat limanının elektrik tüketim miktarı ile PV sistemi ile üretilen elektriğin aylık dağılımındaki artış ve azalışta paralellik olduğu görülmektedir. PV sisteminden en yüksek elektrik üretimi 0°de Temmuz ayında 282 MWh olarak gerçekleşirken, en düşük elektrik üretimi 0°de Ocak ayında 86 MWh olarak gerçekleşmektedir. Ancak yıllık ortalama üretilen elektriğin tüketimi karşılama oranı açısından bakıldığında 13°nin üzerindeki bütün eğim açılarında PV sisteminde üretilen elektriğin yıllık olarak tüketilen elektriği yeterli miktarda karşıladığı görülmektedir. Ayrıca, 13°lik eğim açısında, Mayıs ve Ağustos ayları için maksimum elektrik enerjisi üretildiği, bu aylarda 13°lik açının altındaki ve üstündeki bütün açı değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Temmuz ve Haziran aylarında PV sistemi panel eğim açısı arttıkça elde edilen elektrik enerjisi değerinde düşüş olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, genel olarak Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Aralık aylarında PV sisteminde üretilen elektrik enerjisi tüketimi karşılamaktadır. Ancak Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında ise PV sisteminde üretilen elektriğin tüketimi karşılamadığı da tespit edilmiştir.

Tablo 3 ve Şekil 6 da görüldüğü gibi, yat limanındaki aylık elektrik tüketimi ile PV sisteminde üretilmesi öngörülen elektrik miktarı arasındaki paralelliğin, daha az sayıda güneş paneli ve ekipman kullanımını sağlayacağı, PV sisteminin ilk yatırım maliyetini düşüreceği, sistemin verimli kullanılmasını olumlu yönde etkileyeceği, kurulması öngörülen PV sisteminden hem turizm sezonun da hem de diğer aylarda azami ölçüde faydalanılabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, PV sistemi ile üretilmesi öngörülen elektriğin 2.462 MWh olarak 31,7° eğim açısında maksimum değere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 6:

Yat Limanı elektrik tüketimi ile PV sisteminin elektrik üretimi ilişkisi

3.3. Yat Limanının Elektrik Tüketimi ile PV Sisteminin Elektrik Üretimi Arasındaki İlişki

Şebekeye bağlı sistemlerde akü gerekli olmayıp üretilen enerji uygun inverter yardımı ile doğrudan ihtiyaca yönelik elektrik enerjisi üretilmektedir. Şebekeye bağlı sistemlerin avantajı işletmeler tarafından fazla üretilen elektrik enerjisinin şebekeye satılması söz konusudur. Güneşin

yetersiz kaldığı durumlarda ihtiyaç olunan eksik elektrik enerjisi miktarı şebekeden satın alınmaktadır. Bu durumda aküye ihtiyaç olmadığı için sistemin kurulum maliyeti düşmektedir.

Tablo 4’de görüldüğü üzere, orta ölçekli ticari bir yat limanının 2018 yılındaki elektrik tüketimi 2.354.462 kWh’dır. Yat limanının elektrik tüketim miktarının, turizm sezonunun açılışı ile beraber Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında arttığı, turizm sezonunun kapanmasıyla birlikte diğer aylarda nispeten elektrik tüketim miktarının daha az olduğu görülmektedir. Yaz aylarında orantılı bir şekilde elektrik tüketiminde artışın en fazla olduğu Ağustos ayında 320.010 kWh, havaların soğumasıyla turizm yoğunluğundaki azalma ile beraber elektrik tüketiminde kademeli düşüşle birlikte en düşük Şubat ayında 91.042 kWh olarak gerçekleşmiş olup, her iki ay arasındaki elektrik tüketim miktarı arasındaki farkın 228.968 kWh olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Yat limanının 2018 yılı aylık elektrik tüketimi ile PV sisteminin elektrik üretim değerlerinin karşılaştırması (kWh)

Aylar	31,7° eğimde tahmini elektrik üretimi (kWh)	Yat limanı elektrik tüketimi (kWh)	Fark (kWh)
Ocak	139.633	104.315	35.318
Şubat	141.057	91.042	50.015
Mart	204.406	108.589	95.817
Nisan	227.165	145.558	81.607
Mayıs	242.895	223.785	19.110
Haziran	249.621	267.778	-18.157
Temmuz	262.990	285.190	-22.200
Ağustos	262.507	320.010	-57.503
Eylül	236.491	308.634	-72.143
Ekim	197.918	245.700	-47.782
Kasım	162.241	146.529	15.712
Aralık	135.193	107.332	27.861
Toplam	2.462.118	2.354.462	107.656

31,7° PV panel eğim açısında 1500 kW kurulu güce sahip PV sisteminden üretilen elektrik enerjisi, yat limanı tarafından tüketilen elektrik enerjisi ve üretim ile tüketim arasındaki fark Tablo 4’de verilmiştir. Yat limanının 2.354.462 kWh/yıl elektrik ihtiyacı mevcut durumda şebekeden sağlanmaktadır. Yılın her ayında elektrik üretimi söz konusu olup, toplam 2.462.118 kWh elektrik üretileceği öngörülmektedir. PV sisteminde en yüksek miktardaki elektrik üretiminin, güneşin en yoğun olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 262.990 kWh ve 262.507 kWh olduğu görülmektedir. En düşük elektrik miktarları ise; Ocak ayında 139.633 kWh ve Aralık ayında 135.193 kWh’dir. Üretilen elektrik enerjisinden 217.785 kWh şehir şebekesine satılırken, 325.441 kWh şehir şebekesinden satın alınmaktadır. PV sisteminde üretilen elektrik ile yat limanının tüketimi arasında yıllık toplamda 107.656 kWh’lik bir fark mevcuttur. Dolayısıyla, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Kasım ve Aralık aylarında şebekeye elektrik satışı yapılabilir, diğer aylarda ise yat limanının kendi ihtiyaç duyacağı elektrik şebekeden alınabilir. Ayrıca, yat limanı PV sistemi ile üreteceği 2.136.677 kWh/yıl elektrik enerjisini doğrudan kendisi kullanacaktır.

4. SONUÇ

Bu çalışma ile Muğla ili Fethiye ilçesinde, orta ölçekli ticari bir yat limanının (marina) elektrik ihtiyacının güneş enerjisi ile tedarik edilebilirliği incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar

sonucunda; yat limanına kurulması öngörülen, belirtilen özelliklerde kurulu gücü 1500 kW olan PV sistemi ile yılda 2.462.118 kWh elektrik üretiminin 31,7°'lik panel eğim açısında maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir.

Yat limanında kurulması öngörülen PV sistemi ile Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Aralık aylarında üretilen elektriğin tüketimi yeterli düzeyde karşılayabileceği ancak, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında yeterince karşılayamayabileceği görülmüştür. Dolayısıyla, üretimin tüketimi karşılayamadığı aylarda belli ölçüde şebekeden elektrik alınması, üretim fazlası olan aylarda ise şebekeye elektrik verilmesi (satılması) gerekeceği anlaşılmaktadır.

Yat limanının en fazla ve en az elektrik tükettiği aylar ile PV sisteminin en fazla ve en az elektrik üreteceği ayların büyük ölçüde örtüşüyor olması (Bkz. Şekil 6), yat limanlarında şebeke ile bağlantılı PV sistemlerinin kullanılmasını avantajlı kılmaktadır. Öyle ki, bu durumun daha az sayıda güneş paneli ve ekipman kullanımını sağlayacağı, PV sisteminin ilk yatırım maliyetini düşüreceği, sistemin verimli kullanılmasını olumlu yönde etkileyeceği, kurulması öngörülen PV sisteminden hem turizm sezonun da hem de diğer aylarda azami ölçüde faydalanılabileceği değerlendirilmektedir.

Sonuç itibarıyla; orta ölçekli ticari amaçlı yat limanının elektrik ihtiyacının PV sistemi ile sağlanabileceği, genel olarak yat limanlarında PV sistemi kullanımının hem çevresel hem de ekonomik açıdan olumlu etkileri bulunduğu ve dolayısıyla “Yeşil/Eko-Marina” konsepti çerçevesinde genel olarak ülkemizdeki yat limanlarında PV sistemi kullanımının teşvik edilmesine yönelik gerekli mevzuat düzenlemelerinin yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Ayrıca, ülkemiz yat limanlarında PV sistemi ile elektrik üretimi ve kullanımının henüz bulunmayışı ve sadece güneş enerjisinden su ısıtmak amacıyla faydalandığı düşünüldüğünde, bu çalışmanın literatüre belli ölçüde katkı sağlayacağı değerlendirilmekle birlikte, yat limanlarında PV sistemi kullanımı konusunda daha fazla bilimsel çalışma yapılmasına ihtiyaç olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Abdullah, A. H. Ghoneim, A. A. Al-Hasan, A. Y. (2002) Assessment of grid-connected photovoltaic systems in the Kuwaiti climate, *Renewable Energy*, 26(2), 189–199. doi:10.1016/S0960-1481(01)00115-X
2. Başay, V. Akyüz, C. Yılmaz, G. (2019) Uludağ çevresinde ormanlık ve orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralının verimliliğini belirleyen etkenler, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24 (1), 181-192. doi:10.17482/uumfd.444536
3. Büyükalaca, O. ve Karaçorlu, M. (1996) Çukurova bölgesinde güneş pili ile elektrik üretiminin denemesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2), 255-267.
4. Ceylan, O. ve Taşdelen, K. (2018) Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 895-903. doi:10.5578/fmbd.67547
5. Chang, T. P. (2009) Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system, *Applied Energy*, 86(10), 2071–2078. doi:10.1016/j.apenergy.2009.02.006
6. Çelebi, G. (2002) Bina düşey kabuğunda fotovoltaik panellerinin kullanım ilkeleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (3), 17-33.
7. Çubukçu, M. ve Çolak, M. (2013) Gökçeada’da Şebekeden Bağımsız Bir Fotovoltaik Güç Sistemi Benzetimi ve Karşılaştırmalı Gerçek Performans İncelemesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(5), 201-208. doi:10.5505/pajes.2013.08108

8. Dikmen, Ç. B. ve Gültekin, A. B. (2011) Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapılarda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(3), 96-100.
9. Eke, R. (2013) Güneş-Elektrik Dönüşümleri, Enerji Hasadı ve Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'ndeki Uygulamalar, 2. *Güneş Sempozyumu*, Antalya.
10. Fedai, A. ve Madran, C. (2015) Sürdürülebilir Liman Yönetimi ve Antalya'da İki Yat Limanında Vaka İncelemesi, 2. *Ulusal Liman Kongresi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir. doi:10.18872/DEU.b.ULK.2015.0028
11. Fıratoglu, Z. A. ve Yeşilata, B. (2004) New approaches on the optimization of directly-coupled photovoltaic water-pumping systems, *Solar Energy*, 77(1), 81-93. doi:10.1016/j.solener.2004.02.006
12. Güven, A. F. (2016) Afyon Oruçoğlu Termal Otelinin Enerji İhtiyacını Karşılacak Güneş Enerji Sisteminin Tasarlanması, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi, *Uluslararası Sosyal Bilimler ve Eğitimde Stratejik Araştırma Konferansı (ICoSReSSE)*, 1-18.
13. Güven, Ş. Y. ve Şenol, R. (2005) Güneş pili destekli çevre aydınlatma ve sulama sisteminin örnek bir uygulaması, *Mühendis ve Makina*, 46 (548),13-20.
14. <https://businessday.ng/companies/article/nomap-integrates-five-paygo-solar-companies-into-swiftas-agency-network/> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Solar companies into SWIFTA's agency network*, Businessday.
15. <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods> Erişim tarihi: 15.03.2020, *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*, European Commission.
16. <https://sustainableworldports.org/project/tenerife-ports-e-island-sustainable-electric-mobility-plan/> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Sustainable Electric Mobility Plan*, Tenerife Ports.
17. <https://tkygm.uab.gov.tr/uploads/pages/limanlar-ve-kiyi-yapilari/3-yat-limanlari-bilgileri.pdf> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Yat Limanı Bilgileri*, Tersaneler ve Kıyı Yapıları Genel Müdürlüğü.
18. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *BP Statistical Review of World Energy*, British Petroleum.
19. <http://www.ceynak.com.tr/uploads/20180517101833255.pdf> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Yeşil Dönüşüm Projesi*, Cey Group.
20. https://www.denizticaretodasi.org.tr/Media/SharedDocuments/DenizTicaretDergisi/agustos_ek_2019.pdf Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Türkiye'de Deniz Turizmi*, İMEAK Deniz Ticaret Odası.
21. <https://www.enerjibes.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-dezavantajlari-nelerdir/> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Güneş Enerjisinin Faydaları ve Zararları*, Enerji Beş Temiz Enerji Portal.
22. https://www.espo.be/media/Trends_in_EU_ports_governance_2016_FINAL_VERSION.pdf Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *European Sea Ports Organization (ESPO). (2016) Trends in EU Ports Governance 2016, 6th ed.; ESPO's Fact-Finding Report*, European Sea Ports Organization.
23. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summar

- [y_2019.pdf?la=en&hash=A626155A0775CC50427E23E7BE49B1AD2DD31073](#) Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Future of Solar Photovoltaic*, International Renewable Energy Agency.
24. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/solar-power-in-the-port> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Solar Power in the Port*, Port of Rotterdam Authority.
25. http://www.soe-townsville.org/data/Gridconnected_photovoltaic_systems.pdf Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Grid Connected Photovoltaic Systems*, Queensland Government Environmental Protection Agency.
26. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Türkiye Elektrik Üretim İletim 2018 Yılı İstatistikleri*, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
27. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> Erişim tarihi: 15.06.2020, Konu: *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası* (GEPA), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
28. Huld T., Friesen G., Skoczek A., Kenny R.P., Sample T., Field M., Dunlop E.D. (2011) A power-rating model for crystalline silicon PV modules, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95, 3359-3369. doi:10.1016 / j.solmat.2011.07.026
29. Kırbaş, İ., Çifci, A., İşyarlar, B. (2013) Burdur İli Güneşlenme Oranı ve Güneş Enerjisi Potansiyeli, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2), 20-23.
30. Messenger R.A. ve Ventre, J. (2005) *Photovoltaic Systems Engineering*, 2. Baskı, Taylor & Francis e-Library, Florida.
31. Onat, N. (2018) Türkiye’de Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimi: Mevcut Durum ve Gelecek Beklentileri, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1 (2), 8-15.
32. Öztürk, A. ve Dursun, M. (2011) 2, 10 ve 20 KVA’lık Fotovoltaik Sistem Tasarımı, 6. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’11)*, Elazığ, Türkiye.
33. Sdoukopoulos, E., Boile, M., Tromaras, A., Anastasiadis, N. (2019) Energy Efficiency in European Ports: State-Of-Practice and Insights on the Way Forward, *Sustainability*, 11, 1-25. doi:10.3390/su11184952
34. Sick, F. ve Erge, T. (1996) *Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers*, James & James Ltd, London.
35. Şen, Z. (2004) Türkiye’nin Temiz Enerji İmkânları, *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33, 6-12.
36. Ülgen K. (2006) Optimum tilt angle for solar collectors, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 28(13), 1171-1180. doi:10.1080/00908310600584524
37. Varınca, K. B. ve Gönüllü, T. (2006) Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK)*, Eskişehir.
38. Yeşilata, B. ve Aktacir, M. A. (2001) Fotovoltaik güç sistemli su pompalarının dizayn esaslarının araştırılması, *Mühendis ve Makina*, 42(493), 29-34.
39. Yaman, A., Yakın, A., Behçet, R. (2019) Van İli Güneş ve Hidroelektrik Enerji Potansiyelleri ve İl Ekonomisine Katkıları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 243-250. doi: 10.17798/bitlisfen.456554

- 40.** Yıldırım, E., Aktacir, M. A. (2019) Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerde Azimut Ve Eğim Açısı Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 609-619. doi:10.17341/gazimmfd.416413

