

BURSA VE KARAMAN İLLERİNDE KONUTLARDA GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Melike YALILI KILIÇ * 

Tarık DÖNMEZ * 

Sümeyye ADALI * 

Alınma: 17.06.2021; düzeltme: 06.07.2021; kabul: 07.07.2021

Öz: Gelişmişlik düzeyine paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması noktasında fosil yakıtlara alternatif olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında sahip olduğu avantajlarla geniş kullanım alanı bulan güneş enerjisi, geleceğin enerji sektörünün önemli bir kaynağı olma yolunda ilerlemektedir. Bu çalışmada, güneş panelleri ve bu panelleri etkileyen faktörlerden bahsedilmiş, güneşlenme süreleri farklı olan Bursa ve Karaman’da güneş panelleri kullanılarak üretilen elektrik miktarları Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) programı ile belirlenmiştir. İlave olarak, dört kişilik bir ailenin yaşadığı konutun ortalama elektrik faturası dikkate alınarak, kurulacak güneş paneli sisteminin amortisman süresi hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, yıllık elektrik üretim kapasitesi Bursa için 6187,5 kWh, Karaman için 7575,7 kWh olarak hesaplanmış ve güneş paneli sistemlerinin her iki ilde de kurulması uygun bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş panelleri, Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi, Yenilenebilir enerji

Investigation of the Applicability of Solar Energy Potential in Houses in Bursa and Karaman Cities

Abstract: Solar energy, which finds a wide area of use with its advantages among renewable energy sources, which is an alternative to fossil fuels at the point of meeting the increasing energy need in parallel with the level of development, is on its way to becoming an important source of the energy sector of the future. In this study, solar panels and the factors affecting these panels were mentioned, and the amount of electricity to be produced by using solar panels in Bursa and Karaman, which has different sunshine periods, was determined by the Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) program. In addition, the depreciation period of the solar panel system to be installed has been calculated, taking into account the average electricity bill of the house where a family of four lives. As a result of the study, the annual electricity generation capacity was calculated as 6187.5 kWh for Bursa and 7575.7 kWh for Karaman, and it was found appropriate to install solar panel systems in both cities.

Keywords: Solar energy, Solar panels, Photovoltaic Geographic Information System, Renewable energy

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/Bursa
İletişim Yazarı: Melike YALILI KILIÇ (myalili@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden itibaren teknolojik gelişmelerin artmasıyla birlikte, fosil yakıtların kullanımları yüksek seviyelere ulaşmıştır. Kömür ve petrol gibi yakıtların kullanılması atmosferde hava kirliliğine neden olmuş ve çevreyi olumsuz yönde etkilemiştir. Fosil yakıtların yakılmasıyla beraber ortaya çıkan sorunlar günden güne etkisini arttırmış ve insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmiştir (Maheshwari ve diğ., 2017).

Maliyetlerinin düşük olması ve çevreye olumsuz etkilerinin çok az olmasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle enerjisidir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji kaynaklarına katkısı yaklaşık %10,6 dolaylarındadır (URL-1).

Türkiye’de 2015 yılı verilerine göre, 129,3 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) birincil enerji kaynağı tüketilmektedir. Bu petrolün yaklaşık %87’sini fosil yakıtlardan elde edilen enerji, kalan %13’lük kısmını ise yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Türkiye, 48 milyar m³ doğalgaz dış alımıyla dünya ülkeleri arasında 5., 35 milyon ton petrol dış alımıyla 13., 30 milyon ton kömür dış alımıyla 8. sırada yer almaktadır. 2015 yılındaki verilere göre, birincil enerji ihtiyacının %75,9’luk kısmını ithal etmiştir. İthal edilmesi gereken petrol için 2016 yılında 30 milyar dolar ödenmiştir. Bu verilere bakıldığında ülkemizin enerji ihtiyacını ithal etmek yerine, kendi kaynaklarını kullanacağı başta yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını baz alan birçok proje geliştirmesinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Özellikle son yıllarda fosil kaynaklı yakıtların azalma sürecine girmesi ve bir süre sonra tükenecek olmasından dolayı, güneş, su, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmıştır (Maheshwari ve diğ., 2017).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından en yaygın olarak kullanılan güneş enerjisidir. Güneş enerji sistemlerinde kurulum maliyeti haricinde başka bir maliyet bulunmamaktadır. Çalışması için sadece güneşe ihtiyacı olan bu sistemlerde atık oluşmadığından doğaya zarar verilmemektedir. Bu sistemlerin yaygınlaşması durumunda enerji konusunda dışa bağımlılık azalacak ve bu sayede ekonomik fayda sağlanmış olacaktır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021).

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için güneş panelleri kullanılmaktadır. Güneş paneli, üzerinde güneş enerjisini soğurmaya yarayan birçok güneş hücresi bulunduran bir enerji kaynağıdır. Paneller, iklim şartlarına ve güneş ışınlarının geliş açısına göre yönlendirilerek her durumda maksimum verim alınması mümkün olmaktadır. Güneş panellerinin garantileri 10-12 sene devam etmektedir. Bu garanti süreleri üretici firmalar tarafından belirlenmektedir. Güneş panellerinin kullanılmasının fosil yakıtların kullanılmasına oranla birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar; hava ve su kirliliğinin engellenmesi, biyoçeşitliliğin azalmasının önüne geçilmesi, hava kirliliğine bağlı sağlık sorunlarının (astım, bronşit, baş ağrısı, kanser vb.) azaltılması, kullanılan panellerin geri dönüştürülebilir olması ve sera etkisinin azalması olarak sıralanabilir. Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından yapılan bir çalışmada, kömür santrallerinin 100 GW güneş enerjisi ile değiştirilmesinin her yıl 100 milyon tondan fazla CO₂ salınımını ortadan kaldıracak kadar olduğunu öngörülmüştür (Grover, 2007).

Literatür incelendiğinde, güneş enerjisinin kullanılması ile ilgili pek çok çalışmanın olduğu görülmektedir. Köse (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, 1-10 kW arasında 10 adet şebekeden bağımsız, 15-45 kW arasında 6 adet şebekeye bağlı sistem için ekonomik analiz yapılmıştır. Girgin (2011), 36 farklı fotovoltaik sistemin enerji üretim değerlendirmesini PVsyst programını kullanarak gerçekleştirmiş ve en verimli olanı belirlemiştir. Gülten ve Ekici (2015) Elazığ’da teras çatısında kurdukları şebeke bağlantılı 27 kWp gücündeki fotovoltaik sistemin PVsyst 6.2.2 paket programında benzetimini yapmışlar ve yıllık üretim değerlerini 16 farklı eğim açısı ile tasarlamışlardır. Çalışmalarının sonucunda Elazığ ili için uygun eğim açısının 320° olduğunu belirlemişlerdir. Biter (2019) büyükşehir ve ilçe belediyelerinde karbon azaltımı

için fotovoltaik güneş enerjisi üretim projelerinin geliştirilmesini araştırdığı çalışmada, PVGIS programını kullanarak üç binanın toplam 380 kWp gücünde fotovoltaik güneş enerji potansiyeli olduğunu ve üreteceği enerji ile yılda yaklaşık 316 ton CO₂ emisyonunun atmosfere ulaşmasını engelleyeceğini ortaya koymuştur. Dal ve Yılmaz (2020) Muğla'da yer alan orta ölçekli bir marinanın ihtiyaç duyduğu elektriğin güneş enerjisi ile karşılanabilirliğini inceledikleri çalışmada, PVGIS yardımıyla yaptıkları hesaplamalar sonucunda marinaya 31,7°'lik eğim açısı ile 1500 kW kurulu güçteki fotovoltaik sistemle yılda 2.462.118 kWh elektrik üretilerek marinanın elektrik ihtiyacının karşılanacağı belirlenmiştir. Sharma ve Chandel (2013) Hindistan'da kurulu bulunan şebekeye bağlı 190 kWp'lik güneş enerji santralinin performans analizini PVsyst benzetim programıyla inceledikleri çalışmada, aylık olarak yaptıkları ölçümlerde en fazla güneş radyasyonu alan ayın 105,95 kWh/m² ile eylül ayı, en az güneş radyasyonu alan ayın ise 71,28 kWh/m² değeriyle ocak ayı olduğunu ve kurulu santralin ortalama performansının %74'lük bir değere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, Bursa ve Karaman illerinin güneş enerjisi potansiyelleri, sıcaklık ve bağıl nem değerleri göz önüne alınarak, PVGIS programı yardımıyla Marmara Bölgesi'nde yer alan Bursa ili ile İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Karaman ilinin güneş panellerinin kullanılabilirliği açısından karşılaştırması yapılarak, güneş panellerinin hangi ilde kurulmasının daha verimli olacağına dair kapsamlı bir analiz yapılmıştır. İlave olarak, kurulacak bu sistemlerin amortisman süreleri hesaplanmış ve sistemin ne kadar süre sonunda yatırımcıya fayda sağlayacağı belirlenmiştir.

2. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Dünya'da Güneş Enerjisi

Dünya geneline bakıldığında, 2010 yılı itibarıyla toplam fotovoltaik kurulu gücün yaklaşık %80'i Avrupa ülkelerinde iken, güneş enerjisi yatırımlarına yapılan teşviklerin azaltılmasıyla beraber yıllık fotovoltaik kurulu güç artışlarında yavaşlama gözlenmiştir. Bunun sonucunda Avrupa ülkelerinde fotovoltaik güç kapasitesi 2013 yılının sonlarında %80'den %59'a gerilemiştir. Diğer taraftan, güneş ışınım değeri yüksek olan Asya Pasifik bölgesindeki bazı ülkeler ile Kuzey Amerika'da, fotovoltaik sistemlerin maliyetleri azaltılmış ve bu konuda teşvikler yapılmıştır. Böylece bu ülkelerin toplam fotovoltaik kurulu gücündeki payı 2013 yılında %30'lara gelmiştir (IEA, 2014).

Fotovoltaik kurulu güç açısından 2014 yılındaki verilere göre, en yüksek güce sahip ilk 10 ülkenin 3'ü Asya-Pasifik bölgesinde (Çin, Japonya, Avustralya), 6'sı ise Avrupa'da (Almanya, İtalya, Fransa, İspanya, Belçika, Birleşik Krallık) yer almıştır. Aynı yılda Almanya, 1,9 GW'lık kapasite artışı yaparak toplam 38,2 GW kurulu kapasiteye ulaşmış ve dünya toplam fotovoltaik kurulu kapasitenin yaklaşık %21,6'sına sahip olarak bu konuda lider ülke olmuştur. Çin, 10,6 GW'lık kapasite artışı ile toplam 28,1 GW kapasiteye ulaşmış ve 2014 yılında ikinci sırada yer almıştır (REN21, 2014). Ülkelerin fotovoltaik kurulu güç sıralamaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ülkelerin fotovoltaik kurulu güç sıralaması (IEA, 2015)

Sıra	Ülkeler	Toplam Fotovoltaik Kurulu Güç (GW)	Toplam Kurulu Güç İçindeki Payı (%)
1	Almanya	38,2	21,6
2	Çin	28,1	15,9
3	Japonya	23,3	13,2
4	İtalya	18,5	10,5
5	ABD	18,3	10,3
6	Fransa	5,7	3,2
7	İspanya	5,4	3,1
8	Birleşik Krallık	5,1	2,9
9	Avustralya	4,1	2,3
10	Belçika	3,1	1,8

2.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Coğrafi konumundan dolayı güneş enerjisi potansiyeli bakımından zengin ülkeler sınıfında yer alan Türkiye’de, güneş enerjisi kullanımı oldukça sınırlıdır (Kılıç, 2011; Altıntop ve Erdemir, 2012). Türkiye’de güneyden kuzeye doğru gidildikçe güneşlenme potansiyeli azalmaktadır. Karadeniz Bölgesi, ikliminin yağışlı olmasının da etkisiyle en az ışınım alan bölgedir. Ege ve Marmara Bölgelerinin ışınım değerleri orta seviyelerde ve birbirine yakındır. Diğer bölgeler ise, daha yüksek değerlerde ışınım almaktadır. Fazla ışınım alan bölgelerde güneş enerjisine yatırım yapmak daha mantıklı olup, yatırım maliyetlerinin geri dönüş süreleri diğer bölgelere kıyasla daha kısa olacaktır (URL-2).

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre, Türkiye’nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat, yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m²’dir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021). Yıllık 110 günlük güneşlenme süresi olan Türkiye, yeterli destek ve yeni yatırımlarla, yılda ortalama 1100 kWh/m²’lik güneş enerjisi üretebilecek hale gelebilir (Anonim, 2014).

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Türkiye’nin kuzeybatısında yer alan Bursa ili ile güneyinde yer alan Karaman ilinde güneş panellerinden yararlanılarak üretilebilecek elektrik potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Bu illere yapılacak olan güneş paneli sistemlerinin elektrik üretim kapasiteleri PVGIS (URL-3) programı ile hesaplanmıştır. Programa ek olarak şehirlerin bağıl nem, güneş ışınımı, rüzgar hızı değerlerinden de yararlanılmıştır. Şekil 1’de Bursa ve Karaman illerinin PVGIS programındaki görüntüleri verilmiştir.

Legal notice | Cookies | Contact | English (en)

PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

Cursor: Selected: 40.184, 29.059 Elevation (m): 241

Use terrain shadows: Calculated horizon Upload horizon file

↓ csv ↓ json Dosya Seç Dosya seçilmedi

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

TRACKING PV Solar radiation database* PVGIS-SARAH

OFF-GRID PV technology* Crystalline silicon

MONTHLY DATA Installed peak PV power [kWp]

DAILY DATA System loss [%]

HOURLY DATA Fixed mounting options

Mounting position* Building integrated

Slope [°] 35 Optimize slope

Azimuth [°] Optimize slope and azimuth

PV electricity price

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

Visualize results ↓ csv ↓ json

Address: bursa Gol Lat/Lon: Eg. 45.815 Eg. 8.611 Gol

a.

Legal notice | Cookies | Contact | English (en)

PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

Cursor: Selected: 37.181, 33.224 Elevation (m): 1042

Use terrain shadows: Calculated horizon Upload horizon file

↓ csv ↓ json Dosya Seç Dosya seçilmedi

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

TRACKING PV Solar radiation database* PVGIS-SARAH

OFF-GRID PV technology* Crystalline silicon

MONTHLY DATA Installed peak PV power [kWp]

DAILY DATA System loss [%]

HOURLY DATA Fixed mounting options

Mounting position* Building integrated

Slope [°] 35 Optimize slope

Azimuth [°] Optimize slope and azimuth

PV electricity price

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

Visualize results ↓ csv ↓ json

Address: Eg. Ispra, Italy Gol Lat/Lon: Eg. 45.815 Eg. 8.611 Gol

b.

Şekil 1:

PVGIS hesaplama programı'nda illere ait güneş paneli performans verileri;
a. Bursa ili güneş paneli performans verileri **b.** Karaman ili güneş paneli performans verileri

Güneş panelleri performansları hesaplanırken; fotovoltaik teknoloji, kurulu en yüksek fotovoltaik güç, sistem kayıpları varsayılan seçimler olarak bırakılmış, farklı bir seçim yapılmamıştır ve iki şehir içinde aynı güneş radyasyonu veritabanı kullanılmıştır. Montaj konumu binalara entegre olarak, panellerin açıları ise optimizasyon değeri seçilerek gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yıllık ve aylık olarak verilen sonuçlardan hareketle günlük verilere ulaşılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. PVGIS hesaplama programına göre, Bursa ve Karaman illerinin iklimsel verileri ve yıllık güneş alma süreleri güneş panellerinin performanslarını etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir.

PVGIS programında ışınım ve panel sıcaklığının etkilerini hesaplamak için 1-4 numaralı eşitlikler kullanılmaktadır.

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

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

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

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

Eşitlik (1)'de verilen (G' , T') anlık panel gücü [W], P_{STC} , standart test koşullarındaki maksimum gücü [W] belirtmektedir. k_1 - k_6 aralığındaki katsayılar Avrupa Güneş Test Kurulumu (ESTI) tarafından ölçülen verilere bağlı değerlerdir. Eşitlik (2) ve (3)'de, G güneş ışınımı [W/m^2] olup G' güneş ışınımının normalize edilmiş boyutsuz değeri, T_{mod} panel sıcaklığı [$^{\circ}C$], STC ise standart test koşullarında G ve T' 'ye bağlı güç değerini içermektedir. Eşitlik (4)'te verilen η_{rel} ise sistemin verim değerini ifade etmektedir (Dal ve Yılmaz, 2020).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bursa İli İklim Koşullarının Güneş Panellerine Etkisi

Güney Marmara Bölgesi'nde yer alan Bursa, 29,02 E ve 40,15 N coğrafi konumundadır. Bursa ilinin güneş ışınması ortalaması yaklaşık 1400-1550 kWh/m² değerlerindedir. Bu değerler bir yılda kWh/m² olarak alınabilecek toplam enerjiyi belirtmektedir. Bursa ilinin yıllık güneşlenme süresi 2515 saat olup, bu değer yılda yaklaşık 105 güne tekabül etmektedir (URL-2).

Bir evin günlük ortalama elektrik tüketimi 6-7 kW'dır (URL-4). Eğer tüm evin elektrik tüketimi güneş panellerinden sağlanacak olursa, elektrik üretiminin 6-7 kW'dan daha fazla olması gerekmektedir. Bu çalışmada, güneş paneli sistemi 6 adet panel olacak şekilde tasarlanmıştır. Bursa için PVGIS programı ile hesaplanan değerler Tablo 2'de verilmiştir. Günlük ortalama elektrik üretimi 8,70 kWh değeri ile en düşük aralık ayında, 25,32 kWh değeri ile en yüksek temmuz ayında bulunmuştur. Ortalama günlük elektrik üretimi ise 16,95 kWh'tir. Bu veriler ışığında evin tüm elektrik tüketiminin güneş panelleri ile karşılanması mümkün olabilecektir. Ortalama elektrik üretimi baz alınırsa 16,95 kWh'lik değer ile, iki evin günlük ortalama elektrik tüketimi olan 12-14 kW'lık tüketim miktarı karşılanabilir.

Tablo 2. Bursa ili için bina ile bütünleşik fotovoltaik panellerin çatıda ürettiği elektrik verileri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Günlük Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)	9,31	11,16	14,43	18,67	20,72	22,95	25,32	24,80	19,92	14,70	12,69	8,70
Aylık Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)	279,35	312,35	447,4	559,95	642,2	688,5	785	768,95	597,5	455,85	380,8	269,65

Güneş ışınması ortalamasının yanı sıra sıcaklık, nem, rüzgar ve yağmurlu günler güneş panellerinde elektrik üretim verimlerini etkilemektedir. Eğer sıcaklık aşırı artarsa, güneş panellerinin verimliliği düşer. Örneğin hava sıcaklığı 45 °C olursa, panelde 90 °C'lik etki olmaktadır. Böyle durumlarla karşılaşılmasını engellemek amacıyla, güneş panellerinde hava akımı sağlanmalı veya panellerin rüzgar yönüne çevrilerek doğal havalandırma etkisi yaratılmalıdır. Bu bağlamda illerin iklim değerleri de önem arz etmektedir (Uçar, 2018). Bursa'nın yıllık ortalama sıcaklığı 14,6 °C iken, Karaman'ın yıllık ortalama sıcaklığı 12°C'dir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Güneş panellerinin verimini etkileyen bir diğer husus ise bağıl nem değerleridir. Bağıl nemin artışı güneş panellerinin verimini düşürmektedir. Bağıl nem artışı durumunda güneş ışınları panellere dik şekilde ulaşamamaktadır. Mekhilef ve diğ., (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, bağıl nem değerinin artırılmasıyla güneş panelinin verimi incelenmiştir. Bağıl nemin %17'den %25'e çıkması durumunda, güneş ışınımıları 950 W/m² değerinden 500 W/m² değerine düşmüştür. Bursa'da yıllık ortalama bağıl nem değeri %66,9 iken, Karaman'ın yıllık ortalama bağıl nem değeri %61,3'tür (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Bursa ve Karaman illerini ele alan bu çalışmanın sonucunda bağıl nem artışının güneş panellerini olumsuz yönde etkilediği kanısına varılmıştır.

4.2. Karaman İli İklim Koşullarının Güneş Panellerine Etkisi

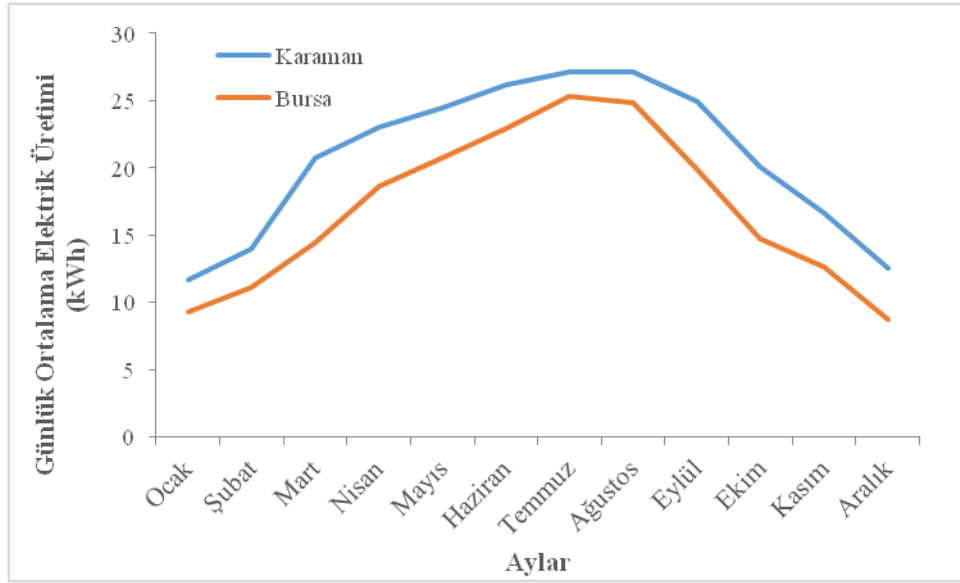
Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Karaman, 33,09 E 37,02 N coğrafi konumundadır. Güneş ışınması ortalaması yaklaşık 1600-1800 kWh/m² değerleri arasında olan Karaman ilinin yıllık güneşlenme süresi 3007 saat olup, bu değer yılda yaklaşık 125 güne tekabül etmektedir (URL-2).

Güneş paneli sistemi Bursa'da olduğu gibi, Karaman'da da 6 adet panel olacak şekilde tasarlanmıştır. Karaman'ın PVGIS programı ile hesaplanan değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Günlük ortalama elektrik üretimi 11,69 kWh değeri ile en düşük ocak ayında, 27,18 kWh değeri ile en yüksek ağustos ayında bulunmuştur. Ortalama günlük elektrik üretimi ise 20,76 kWh'tır. Bu veriler ışığında evin tüm elektrik tüketiminin güneş panelleri ile karşılanması mümkündür. Ortalama elektrik üretimi baz alınır 20,76 kWh'lik değer ile, üç evin günlük ortalama elektrik tüketimi olan 18-21 kW'lık tüketim miktarı karşılanabilir.

Tablo 3. Karaman ili için bina ile bütünleşik fotovoltaik panellerin çatıda ürettiği elektrik verileri

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Günlük Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)	11,69	14,02	20,77	23,05	24,46	26,22	27,10	27,18	24,97	20,04	16,66	12,53
Aylık Ortalama Elektrik Üretimi (kWh)	362,35	392,55	643,8	691,4	758,25	786,45	839,8	842,5	749,1	621,2	499,85	388,4

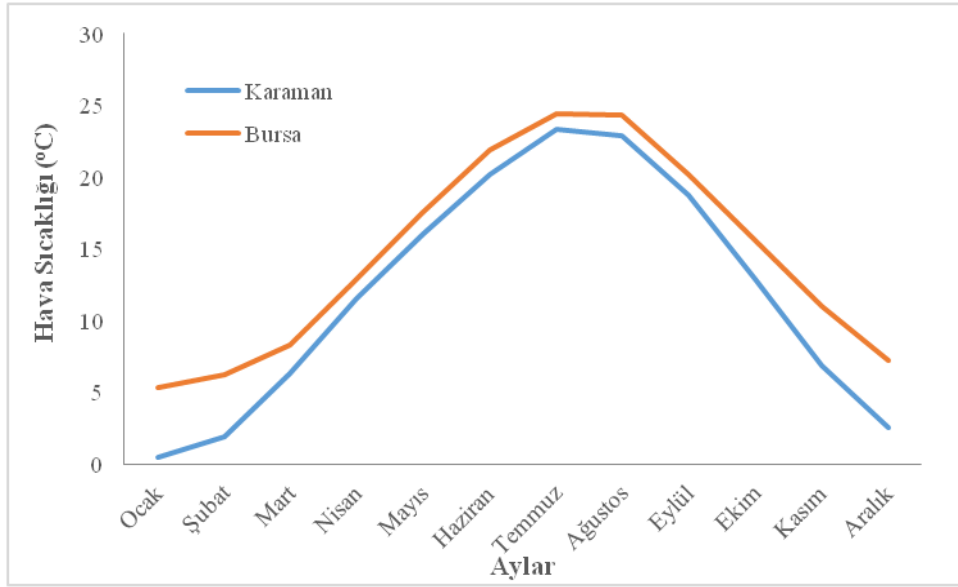
Tablo 2 ve 3 baz alınarak iki il arasında elektrik üretimi yönünden karşılaştırma yapıldığında, Karaman ilinin elektrik üretim potansiyelinin Bursa iline göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 2).



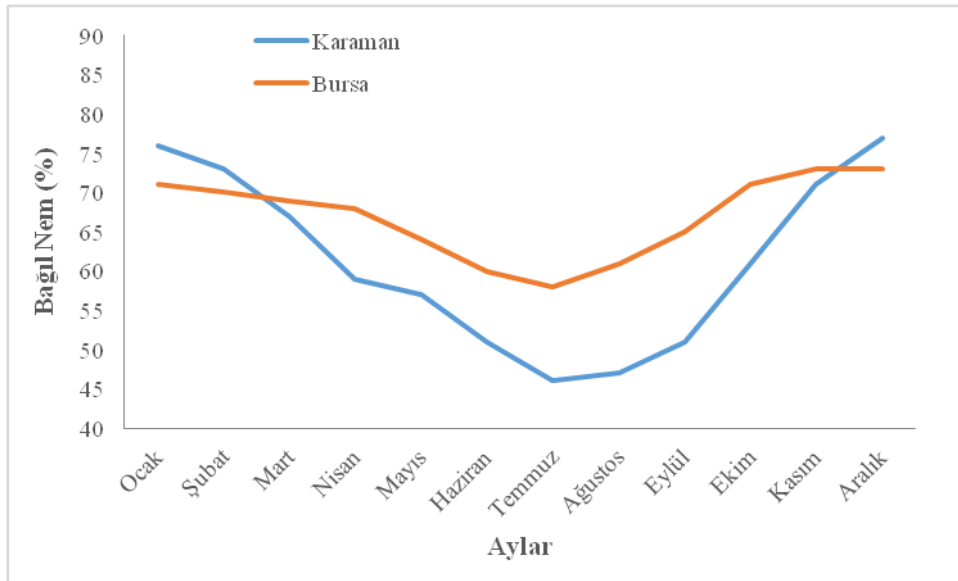
Şekil 2:

Bursa ve Karaman illerinin elektrik üretimi yönünden karşılaştırılması

Elektrik üretimi yönünden yapılan karşılaştırmaya ek olarak, her iki ilin iklimsel verilerinin de karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Aylık olarak verilen değerler incelendiğinde, Bursa ilinin yıllık sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin Karaman iline göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu verilere göre Bursa'da kurulacak olan bir sistemin ömrünün Karaman'a kurulacak sisteme kıyasla daha kısa olacağı öngörülmektedir (Şekil 3 ve Şekil 4).



Şekil 3:
Bursa ve Karaman illerinin hava sıcaklığı değerleri



Şekil 4:
Bursa ve Karaman illerinin bağıl nem değerleri

Kütahya'da bir parkın elektrik ihtiyacının karşılanması için güneş enerjisi santrali kurulmasının uygun olup olmadığı üzerine yapılan bir çalışmada, güneşlenme süresi yıllık 2191 saat olan Kütahya ili için böyle bir tesisin kurulması uygun bulunmuştur (Ayran, 2019). İstanbul Bahçelievler Belediyesi başkanlık binasının enerji ihtiyacının güneş ve rüzgar enerjisi ile karşılanması üzerine yapılan bir çalışmada, rüzgâr gücünden elde edilecek enerjinin maliyetinin yüksek olması nedeniyle vazgeçilmiş ve sistemin enerji ihtiyacının güneş panelleri ile karşılanması öngörülmüştür. Paneller için gerekli alan kısıtlı olduğundan yıllık enerji ihtiyacının %16'sını karşılayabilecek bir güneş paneli sistemi kurulması uygun görülmüş ve sistemin amortisman süresi 5,9 yıl olarak bulunmuştur (Güven, 2017). Güneşlenme süresi 2446 saat olan

İstanbul'daki bu sistemin, güneşlenme süreleri sırasıyla yıllık 3007 saat olan Karaman ve 2515 saat olan Bursa illerinde kurulması halinde, hem enerji ihtiyacının %16'sından fazlasının karşılanabileceği, hem de sistemin amortisman süresinin azalacağı öngörülmektedir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından 2011 yılında gerçekleştirilen çalışmada, kent merkezinde yaşayan orta gelirli dört kişilik bir ailenin elektrik tüketimi incelenmiştir. Günlük yaşamda sıkça kullanılan elektrikli aletler ve aydınlatmanın tüketimindeki payları hesaplanmış ve bir rapor hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda, iki çocuklu dört kişilik ailenin aylık elektrik tüketimi 253 kWh (günlük 8,433 kWh), yıllık elektrik tüketimi 3036 kWh olarak belirlenmiştir (TEİAŞ, 2021). Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş (TEDAŞ) tarafından 2021 yılı Ocak ayında açıklanan elektrik tarifesinde, bir evin 1 kWh elektrik için ödemesi gereken tutar 0,797539 TL olarak verilmiştir (TEDAŞ, 2021). Yapılan çalışma ve güncel fiyat tarifesine göre aylık hesaplama yapılırsa;

Evin aylık elektrik gideri = $0,797539 \times 253 = 201,78$ TL olarak bulunur.

Bursa ve Karaman illerinde yapılan çalışmadaki günlük değerün üstünde üretim yapabilmek mümkündür. Piyasada günlük 9-10 kW enerji üretebilen güneş enerjisi paket sistemlerinin fiyatları 16000-18000 TL arasında değişmektedir (URL-5). Böyle bir sistemin kendisini amorti etme süresi;

$17000 \text{ TL} / 201,78 \text{ TL} = 84 \text{ ay} = 7 \text{ yıl}$ olarak bulunur.

5. SONUÇ

Güneş panellerinin çatılara monte edilip kullanılması en yaygın kullanım şeklidir. Çatıya kurulan paneller yağmur sularıyla kendi kendilerini temizleyebilirler. Çatıya kurulmasının bir başka avantajı ise, panellerin açılarının kolay bir şekilde ayarlanabilir olmasıdır. Güneş panelleri kullanılırken en çok dikkat edilmesi gereken parametreler şehirlerin güneşlenme süreleri, güneş enerjisi potansiyelleri ve bağıl nem değerleridir.

Bu çalışmada, güneş enerjisi potansiyeli atlasından ve PVGIS programından yararlanılarak Bursa ve Karaman illerinde güneş panellerinden üretilebilecek elektrik üretim miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda her iki ilde de güneş panellerinin kurulması uygun görülmüştür. Kurulacak olan güneş panellerinin dört kişilik çekirdek bir ailenin oturduğu bir evin ihtiyacını karşılayacağı öngörülmüştür. Kurulacak güneş paneli sistemlerinin amorti süresi 7 yıl olarak belirlenmiştir. Güneş paneli sistemlerinin özenli kullanılması, bakımlarının düzenli olarak yaptırılması, iklimsel şartlardan dolayı oluşacak aşınmaların minimum oranda tutulması ile 10-12 senelik garanti süreleri de dikkate alındığında her iki ilde de güneş enerjisinden faydalanarak uzun vadede kar edileceği sonucuna varılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

YAZAR KATKISI

Melike YALILI KILIÇ, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, fikrinsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk, Tarık DÖNMEZ, veri toplama, fikrinsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk, Sümeyye ADALI, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk kısımlarına katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Altuntop, N. ve Erdemir, D. (2012) Investigating the development of solar energy systems market in turkey, *International 100 % Renewable Energy Conference and Exhibition - IRENEC*, 28-30 June, İstanbul.
2. Anonim. (2014) Türkiye'nin enerji görünümü, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No: MMO/2014/616, Ankara.
3. Ayran, A.Z. (2019) Kütahya ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santralinin ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
4. Biter, M. (2019) Yerel yönetimler örneğinde sera gazı salım envanterinin çıkarılması ve fotovoltaik güneş enerjisi üretimi ile azaltımı stratejilerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
5. Dal, A.R. ve Yılmaz F. (2020) Ticari bir yat limanının elektrik ihtiyacının fotovoltaik (PV) teknoloji ile karşılanmasına yönelik bir inceleme, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1189-1204. doi: 10.17482/uumfd.757392
6. Girgin, M.H. (2011) Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
7. Grover S. (2007) Energy, economic, and environmental benefits of the solar america initiative, National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), No. ADJ-7-77253-01.
8. Gülten, A ve Ekici, B.B. (2015) Elazığ ili için şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin performans analizi, *2nd. International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2015)*, 28-30 Mayıs, Ankara.
9. Güven, F.A. (2017) Bahçelievler belediye başkanlık binasının enerji ihtiyacının güneş ve rüzgar sistemi ile karşılanması, optimizasyonu ve maliyet analizi, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 24-36.
10. IEA, 2014. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program. Trends 2014 in Photovoltaic Applications.
11. IEA, 2015. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program. Snapshot of Global PV Markets.
12. Kılıç, Ç.F. (2011) Türkiye'deki yenilenebilir enerjilerde mevcut durum ve teşviklerindeki son gelişmeler, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 52(614), 103-115.
13. Köse, G. (2010) Hibrit (güneş+rüzgâr) enerji sisteminden elektrik üretimi Kütahya örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
14. Maheshwari S, Chauhan P, Tandon S. ve Sagar, S. (2017) A review study on net zero energy building, *International Research Journal of Engineering & Technology (IRJET)*, 4(4), 1567-1570.
15. Mekhilef, S., Saidur, R. ve Kamalisarvestani, M. (2012) Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2920-2925. doi: 10.1016/j.rser.2012.02.012
16. REN21, 2014. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2014 Global Status Report, Paris.

17. Sharma, V and Chandel, S.S. (2013) Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India, *Energy*, 55, 476-485. doi: 10.1016/j.energy.2013.03.075
18. TEDAŞ, 2021. <https://www.tedas.gov.tr>, Erişim Tarihi: 12.03.2021
19. TEİAŞ, 2021. <https://www.teias.gov.tr>, Erişim Tarihi: 12.03.2021
20. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021. <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar>, Erişim Tarihi: 06.04.2021.
21. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?> Erişim Tarihi: 10.02.2021. Konu: *Resmi İstatistikler*.
22. Uçar, S. (2018) Çatı ve cephelerde fotovoltaik panel uygulamaları üzerine bir çalışma: Burdur örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
23. URL-1. <https://www.baka.gov.tr/uploads/1349952570BiYOKUTLESEKTOR-RAPORU-11EYLUL.pdf>, Erişim Tarihi: 15.03.2021, Konu: *Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı Biyokütle Sektör Raporu*.
24. URL-2. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default>, Erişim Tarihi: 12.04.2021, Konu: *Güneş Enerjisi Potansiyeli Hesaplama*.
25. URL-3. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>, Erişim Tarihi: 10.05.2021, Konu: *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) Versiyon 4*.
26. URL-4. <http://www.azimuthproject.org/azimuth/show/Photovoltaic+solar+power>, Erişim Tarihi: 10.05.2021, Konu: *Photovoltaic Solar Power*.
27. URL-5. <https://www.solarfirsat.com>, Erişim Tarihi: 08.03.2021, Konu: *Güneş Paneli Satışı*.