

To Cite This Article: Oral, M. (2020). Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 482-503.

Submitted: May 27, 2020

Revised: June 16, 2020

Accepted: June 28, 2020

SOLAR ENERGY POTENTIAL OF TURKEY AND EVALUATION OF PV¹ APPLICATIONS IN LOCAL SCALE: CASE OF KARABÜK PROVINCE

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve PV² Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği

Muhammed ORAL³

Öz

Bu araştırma, güneş enerjisi açısından güçlü bir potansiyele sahip olan Türkiye'nin bu kaynağı enerji portföyü içinde değerlendirme sürecini ve yerel bir örnek olarak Karabük ilinde güneş enerjisi uygulamalarını fırsatlar ve riskler bağlamında analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu araştırma bir durum çalışmasıdır (case study). Araştırmada nitelikli ve derinlemesine bilgilerin sektördeki yetkililerden alınacağı düşünülmüş ve amaçsal örneklem yöntemlerinden olan ölçüt örneklem yöntemi kullanılmıştır. Bu doğrultuda; küresel enerji portföyü içinde güneş enerjisinin geleceği, Türkiye açısından güneş enerjisinin avantajları, dezavantajları ve geleceği, güneş enerjisi santrali (GES) açısından Karabük ilinin avantajları, dezavantajları ve Karabük ilinde GES uygulamaları şeklinde üç tema ortaya çıkmıştır. Araştırmada, arazi GES'leri ile çatı ve yan yüzey (cephe) uygulamalarının Türkiye genelinde ve Karabük özelinde daha fazla yaygınlaşmasının yalnızca ışınım değerlerine bağlı olmayıp ulusal enerji politikalarının seyri, enerji teknolojileri üretimi, ilk yatırım maliyetleri, ilgili mevzuatlar, teşvikler, sübvansiyonlar, iletim ve dağıtım altyapısı, prosedür süreçleri ile söz konusu kaynağa yatırım yapılmasına yönelik çeşitli coğrafi kriterlere bağlı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak güneş enerjisi, yatırımlar kapsamında büyümekle birlikte projeksiyonlar bazında küresel ve ulusal ölçekte enerji politikalarında; fosil yakıtlar, nükleer enerji, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi de etkin bir rol üstlenecektir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Yatırımları, Güneş Enerjisi, Türkiye, Karabük

Abstract

This study aims to analyze the evaluation process of this source in the energy portfolio by Turkey which has a strong potential in terms of solar energy as well as examine solar energy applications, opportunities and risks in the context of Karabük as a local sample. Qualitative research method was used in the study. This research is a case study. In the research, it was thought that qualified and in-depth information would be obtained from the authorities in the sector and from one of the purposeful sampling methods, the criterion sampling method was used. In this direction three themes emerged as the future of solar energy in global energy portfolio, advantages, disadvantages and future of solar energy in terms of Turkey, the advantages of Karabük province in terms of solar power plant (SPP) and SPP applications in Karabük province. In the study, it was found that the reason of more widespread of the application of SPP lands with roof and the side surface (front) in the general practice of Karabük and Turkey does not depend only on radiation values but also depends on the course of national energy policies, production of energy technologies, initial investment costs, related legislation, incentives, subsidies, transmission and distribution infrastructure, procedure processes and various geographical criteria for investing in the resource in question. As a result, although solar energy has been growing within the scope of investments, in energy policies on a global and national scale based on projections; fossil fuels, nuclear energy, hydraulic energy, wind energy, hydrogen energy will also play an active role.

Keywords: Renewable Energy Investments, Solar Energy, Turkey, Karabük

¹ Photovoltaic Batteries / Solar Cells.

² Fotovoltaik Piller / Güneş Pilleri.

³ Assist. Prof., Karabük University, Faculty of Literature, Department of Geography, 78050, Merkez/Karabük, TURKEY., <https://orcid.org/0000-0001-8608-4054>, muhammedoral@karabuk.edu.tr

GİRİŞ

Güneş enerjisi her yıl önemli düzeyde yatırımlar almakta ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en hızlı büyüyen kaynak olarak öne çıkmaktadır. Buna göre dünyaya en yakın yıldız konumunda bulunan güneşin kendisi güneş sistemi içerisinde orta büyüklükte bir yıldızdır. Yapılan çeşitli hesaplamalara göre güneşin çevresine yaydığı enerjinin milyarda biri veya iki milyarda birlik kısmı dünyaya ulaşmaktadır. Buna rağmen dünya için devasa bir enerji kaynağı niteliğindedir. Güneş enerjisi füzyon reaksiyonu/tepkimleri (çekirdek birleşmesi) sonucu ortaya çıkar. Güneşteki bu füzyon tepkimeleriyle hidrojen çekirdekleri helyum çekirdeklerine dönüşür ve bu esnada çok büyük bir ışıma enerjisi açığa çıkar. Dünyaya ortalama 150 milyon km (günberi ve günöte dönemlerinde değişmektedir) uzaklıkta bulunan güneşin yüzeyinde 5500 °C olan sıcaklık, merkezinde 15,6 milyon °C'ye ulaşmaktadır. Güneşin sahip olduğu çap dünyanın çapının 109 katına karşılık gelirken hacmi ise dünyanın 1,3 milyon katına eşittir. Dünyanın kendi eksenini etrafındaki dönüş hızı saatte 1670 km iken, güneşin etrafındaki dönüş hızı saatte 108 bin km'dir. Güneşin kendi eksenini etrafındaki dönüş hızı ise saatte 66 bin km'dir (Live Science, 2016; Universe Today, 2016; Solar System Scope, 2018; Howell, 2018; NASA, 2019; The Nine Planets, 2020).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) verilerine göre, güneş ışınlarının tamamı yeryüzüne ulaşamaz. Güneş ışınlarının ancak %50'lik bir bölümü dünyaya ulaşır. %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Bu enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün hale gelir. Rüzgâr hareketlerine ve seizma sonucu oluşan dalgalar ya da tsunami haricindeki okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınımının %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur (EİGM, 2018). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) verilerine göre, dünyaya güneşten gelen bir günlük enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katına karşılık gelmektedir. 20 milyon km² tutarındaki çöl alanlarına gelen toplam yıllık güneş radyasyonunun günümüzde tüketilen her türden enerjinin dört yüz katı olduğu ileri sürülmektedir (Tümertekin ve Özgüç, 2007: 384). Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisi; güneşin en tepede olduğu sürede, bulutsuz net görünümlü bir günde ve 25°C sıcaklıkta 1000 Wp/m² olarak ölçülmüştür⁴ (Eldem, 2017: 8). Günlük ve yıllık bazda güneşten yeryüzüne muazzam bir enerji ulaşmasına rağmen bu enerjinin ekonomik olarak değerlendirilebilecek kısmı zannedildiği kadar yüksek bir oran teşkil etmez. Ayrıca güneş enerjisi, yeryüzünün bütün bölgelerine eşit şekilde dağılmaz. Güneş ışınlarının geliş açıları ve aydınlanma süresi, dünyanın günlük hareketinin sıcaklığa etkisi, dünyanın eksen eğiminin ve yıllık hareketinin sıcaklığa etkileri, bakı, yüzey şekilleri, denizlere göre konum, bitki örtüsü, bulutlu gün sayısı gibi coğrafi özellikler yeryüzündeki ışınım değerleri üzerinde belirleyicidir (Doğanay ve Coşkun, 2017: 260-262).

Bunun yanında 25°C ilâ 30°C arasındaki sıcaklık, paneller için verimli ışınım değerini oluşturur. Bir PV hücre laboratuvar koşullarında 0.5 gerilim üretir. 36 adet PV hücresinin seri bağlanması ile 12 volt (V) çalışma geriliminde, en fazla 17 V gerilim sağlayan paneller üretilmektedir. Güneş panelinin ürettiği akım miktarı, panelin büyüklüğü ile orantılıdır. Çapı 7 cm olan dairesel bir PV hücre yaklaşık 7 amper (A) akım üretebilir. PV sistemlerin çalışma gerilimi olarak 12-15 V arasında bir değer kabul edilir. PV hücre üzerine gelen güneş ışınımı miktarı arttıkça akım artar. PV hücrenin sıcaklığının artması, akımı artmasına rağmen sistemin gerilimini azaltır. Bu sebeple PV hücre sıcaklığının artması güç üzerinde bilinenin aksine olumsuz etki yapar (Öztürk, 2013: 145).

Güneş ışınlarından enerji kaynağı olarak yararlanılmasının tarihçesi oldukça eskidir. Güneş enerjisi, MÖ 215'te, Syracuse'yı kuşatan gemilere güneş ışınımını odaklayarak yakan Arşimet yapmıştır (Altıntop ve Erdemir, 2013: 70). Ancak modern anlamda bu alandaki ilk gelişmeler 18. ve 19. yüzyıllarda gerçekleşmiştir. 1767'de İsviçreli bilim adamı Horace de Saussure dünyanın ilk güneş kollektörünü yapmıştır. 1894'te Melvin Seryer güneş hücresini icat etmiştir. 1891'de Aleksandr Stoletov ilk güneş pilini bulmuştur. 1959'da Hoffman Electronics %10 verimlilikte çalışan ilk ticari güneş pilini yapmıştır. 1967'de güneş pilleri uzay aracı Soyuz 1'de kullanılmıştır. 1977'de ABD Başkanı Jimmy Carter Beyaz Saray'da güneş panellerini kullanımını başlatmıştır. 1980'lerde 21 MW olan güneş enerjisinden elektrik üretimi, 2000 yılına gelindiğinde 1000 MW civarına ulaşmıştır (Karabulut, 2003: 137-145; DEKTMK, 2009: 9; Nexten, 2019; Elektrikport, 2012). Güneş enerjisinin sıcak su temini, konutların/binaların ısıtılması ve soğutulması (absorbsiyonlu soğutma sistemleri), seraların ısıtılması, tarım ürünlerinin kurutulması, deniz suyundan tatlı su elde edilmesi ve elektrik enerjisi üretimi gibi geniş bir kullanım sahası mevcuttur (Özdemir, 2019: 77). Buna göre kullanım sınıfı anlamında güneş enerjisinin termal ve soğutma ile elektrik üretimi uygulamaları bulunmaktadır. Ancak güneş enerjisinin yaygın kullanım alanı termal uygulamalar ve elektrik üretimidir.

Bununla birlikte elektrik üretiminde CSP (Concentrated Solar Power/Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi) sistemleri de mevcut olmasına rağmen küresel elektrik enerjisi üretimi açısından önem arz eden güneş enerjisi uygulamaları PV'lerdir. PV üretiminde ise en fazla kullanılan bileşenler; silikon, gümüş, bor, galyum, arsenit, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid, optik yoğunlaştırıcı hücreler gibi malzemelerdir. PV üretiminde kullanılan bu malzemeler, kullanıldığında bir takım zehirli atıklar ortaya çıkardıkları için çevresel açıdan risk taşırlar (Montgomery, 2014: 259). Bu durum PV'lerin

⁴ Wp=Watt Peak anlamına gelmektedir. Wp/m²=panellerin m² cinsinden yüzey alanında ürettiği maksimum gücü ifade eder.

yaygınlaşmasıyla ilgili tartışma alanlarından biridir. Nitekim güneş enerjisinin bu kirli yönüyle ilgili yönetmelikler olmadığından özellikle Çin’de güneş panellerinin üretildiği yerlerde, zehirli kimyasalların toprak ve havadaki tanecikleri insanların sağlığını tehdit ettiği bulgusuna ulaşılmıştır (Herkese Bilim Teknoloji, 2016).

Bunun yanında güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye, matematik konum itibarıyla her ne kadar “dünya güneş kuşağı” sahasının az bir farkla dışında kalsa da Orta Kuşak ülkesi olması ve güneşlenme süreleri esas alındığında bünyesinde yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli barındırmaktadır. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, Türkiye’nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat olup yıllık toplam gelen güneş enerjisi ile m²’den 1527 KW/h’lik enerji üretimi mümkündür (EİEİS, 2008a). Öyle ki Türkiye Avrupa’da yaklaşık 190 TW/h yıllık güneş enerjisi potansiyeli ile İspanya’dan sonra ikinci sırada gelmektedir. Araştırma sahası olan Karabük ili ise Türkiye’nin kuzey kesiminde, Batı Karadeniz bölümünde yer almakta ve 4142 km²’lik bir yüzölçümüne sahiptir.

AMAÇ

Bu çalışma, güneş enerjisi açısından güçlü bir potansiyele sahip olan Türkiye’nin bu kaynağı enerji portföyü içinde değerlendirme sürecini ve yerel bir örnek olarak Karabük ilinde güneş enerjisi uygulamalarını fırsatlar ve riskler bağlamında analiz etmeyi amaçlamaktadır. Güneş enerjisine küresel veya ülkesel ölçekte son derece önemli bir misyon yüklenmektedir. Güneş enerjisi son dönem enerji politikalarında kurtarıcı bir kaynak olarak görülmektedir. Bu yüzden alinyazında güneş enerjisiyle ilgili dezavantajların göz ardı edildiği görülmüştür. Bu kapsamda araştırma soruları şu şekilde dizayn edilmiştir;

- Güneş enerjisi gerçekten tüm yönleriyle eksiksiz bir enerji kaynağı mıdır?
- Güneş enerjisinin değerlendirilebilmesinde yalnızca ilgili ülkenin/sahanın potansiyeli yeterli midir?

YÖNTEM

Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu araştırma bir durum çalışmasıdır (case study). Araştırmada nitelikli ve derinlemesine bilgilerin sektördeki yetkililerden alınacağı düşünülmüş ve amaçsal örneklem yöntemlerinden olan ölçüt örneklem yöntemi uygulanmıştır. Çalışma grubunun seçiminde kullanılan ölçüt, en az beş yıldır sektörde üst düzey görevli pozisyonunda çalışıyor olmaktır. Bu çerçevede yedi yetkiliyle {5 santral işletme şefi, 1 Elektrik Dağıtım İl Müdürü, 1 AVM Yöneticisi (Çatı GES uygulamaları için)} doküman analizi sonucunda bir araştırma sorusu olarak ortaya çıkan, küresel, ulusal ve yerel ölçekte güneş enerjisinin görünümü ve geleceği hususunda yarı yapılandırılmış görüşmeler yüz yüze şekilde gerçekleştirilmiştir. Görüşmede katılımcıların yanıtları ses kaydına alınmıştır. Daha sonra ses kayıtları deşifre edilerek temalar oluşturulmuştur. Ayrıca il genelindeki güneş enerji santralleri de fotoğraflanmıştır. Görüşmeler içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. İçerik analizi içinde ise veri azaltma tekniği kullanılmıştır. Veri toplamada kullanılan sorular alan yazın taramasından sonra yazar tarafından oluşturulmuştur. Bu sorular şu şekildedir;

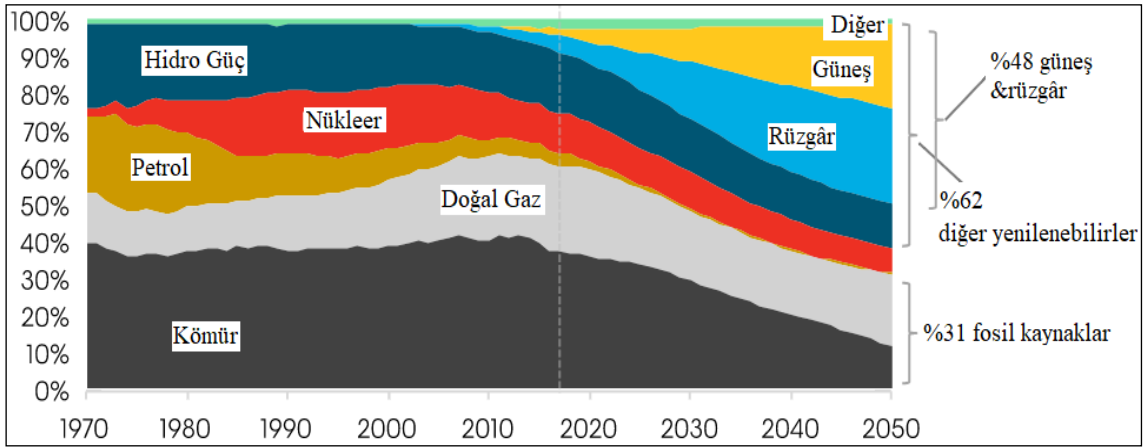
- Küresel enerji politikaları içinde güneş enerjisinin konumu ve geleceği nedir?
- Türkiye’nin enerji politikaları içinde güneş enerjisine nasıl bir misyon yüklenmektedir?
- Karabük ilinde güneş enerjisine dair ulusal enerji politikalarının yansımaları nasıldır?

Araştırmaya dahil olan katılımcılar “K” harfiyle kodlanmıştır. Bunun yanında Karabük ilinde yer alan tüm GES sahaları da yerinde gözlenmiştir. Ayrıca küresel ve ulusal düzeyde öneme sahip çeşitli kuruluşların istatistiklerinden yararlanılmıştır. Araştırmanın geçerliliğini arttırmak için uzun süreli görüşme ve katılımcı teyidi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Buna göre görüşmelerden en sağlıklı veriyi toplamak için görüşme süreleri mümkün olduğunca uzun tutulmuştur. Bu çalışmanın güvenilirliğini sağlamak için tutarlık incelemesi yönteminden yararlanılmıştır. Bu kapsamda araştırmacı grubunda yer almayan bir uzmana (konuyla ilgili çalışmalar yürüten bir akademisyen) araştırma basamakları detaylı olarak açıklanmış ve kendisinden araştırma sonucu ortaya çıkan çalışmayı bir bütün olarak değerlendirmesi ve tutarlılık açısından incelemesi talep edilmiştir. Son olarak aynı uzmanla araştırmanın ham verileri ve bu ham veriler üzerinden üretilen temalar paylaşılmış ve bu sayede araştırmanın güvenilirliğini sağlamak üzere teyit incelemesi yöntemi kullanılmıştır.

⁵ Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) 2011 yılında kapatılarak görev ve yetkileri Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğüne (YEGM) devredilmiştir. YEGM teşkilatı ise 2018 yılında kapatılarak Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) bünyesine alınmıştır. Dolayısıyla güneş enerjisiyle ilgili verilere EİGM web sayfası üzerinden ulaşılmaktadır. EİGM, ETKB’ nin merkez teşkilatında yer alan bir kuruluştur.

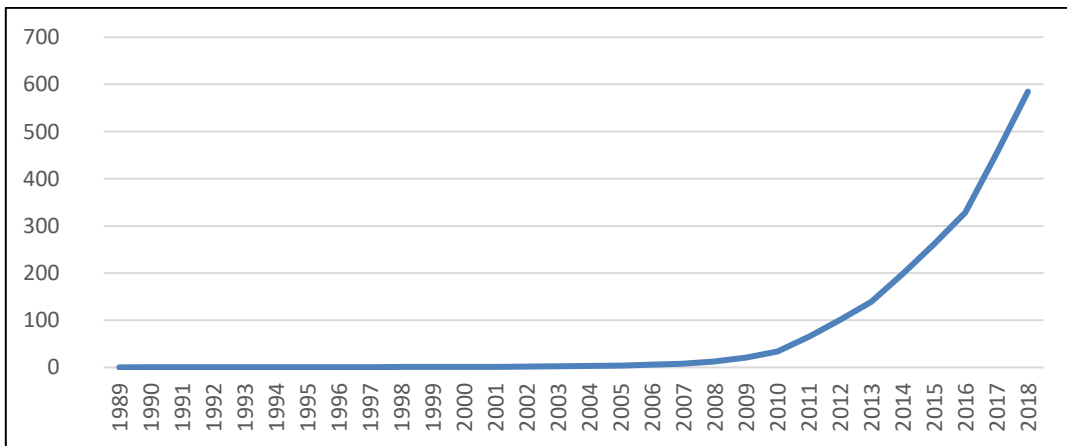
Güneş Enerjisinin Küresel Görünümü

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en fazla paya sahip olan enerji kaynağı hidrolik enerji olmasına karşın özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımları ve kurulu gücü son yıllarda belirgin bir artış göstermektedir. Nitekim International Energy Agency (IEA) verilerine göre, 2030 yılına kadar güneş enerjisinin mevcut politikalar dahilinde 116 milyar dolar, 2031-2040 döneminde 125 milyar dolar, sürdürülebilir politikalar senaryosuna göre ise 2030 yılına kadar yaklaşık 180 milyar dolar, 2031-2040 döneminde 191 milyar dolarlık bir yatırım alması öngörülmektedir (IEA, 2019). Güneş enerjisinden elektrik üretimine yönelik politik kararlar, petrol krizlerinden sonraki dönemde alınmıştır. Dönem içindeki bu kararlar, enerji güvenliği odaklıdır. 1980 ve 1990'lı yıllarda ise artan çevresel bilinç bunun yanında küresel iklim değişiminin mevcut ve olası etkileri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların içinde de güneş enerjisi önemli bir aktör haline gelmeye başlamıştır. Bu anlamda tüm dünyada küresel iklim değişimi kaygılarının getirdiği enerji politikaları uygulanmaya çalışılmaktadır. Gerek ulusal enerji politikalarında gerek küresel enerji politikalarında (Kyoto Anlaşması, Paris İklim Anlaşması) bunu görmek mümkündür. Küresel iklim değişimine ve çevresel sorunlara fosil kaynakların önemli bir etkisinin olduğu kabul edilmektedir. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) raporuna göre 2018 yılında küresel sera gazı emisyonlarının %89'u fosil yakıtlardan ve sanayi sektöründen kaynaklanmıştır (Hausfather, 2018). Bu yüzden tüm dünyada yenilenebilir enerjilere olan talep artış göstermektedir. Projeksiyonlara göre de en fazla yatırım alması beklenen kaynak güneş ve rüzgâr enerjisidir. Dolayısıyla projeksiyonlar dahilinde 2050'ye gelindiğinde güneş ve rüzgâr enerjisinin küresel elektrik enerjisi talebinin %50'sini karşılayacakları öngörülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1: Yıllar Bazında ve Projeksiyonlara Göre Güneş Enerjisi Üretimi (BloombergNEF, 2020)

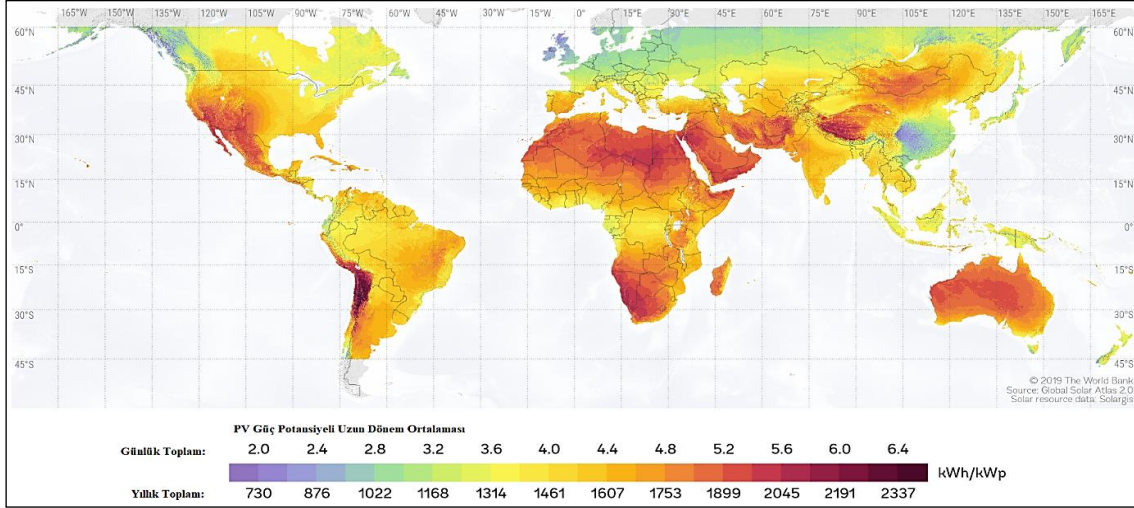
Küresel elektrik üretiminde güneş enerjisi üretimi ve kurulu güç miktarları incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir. Gerek güneş enerjisinden elektrik üretim miktarı gerek kurulu güç oranları bir önceki yıla göre artarak sürmektedir. British Petroleum (BP) verilerine göre, 1980'ler sonunda 1 MW'nin altında olan güneş enerjisi üretimi 2018 itibarıyla 584 milyon MW'ye ulaşmıştır. Kurulu güç değerleri itibarıyla ise BP verilerine göre, 1990'lar sonunda (daha öncesinde kayda değer bir oranda değil) yalnızca 424 MW olan güneş enerjisi kurulu gücü, 2018'de 488 bin MW'ye ulaşmıştır (BP, 2019) (Şekil 2).



Şekil 2: Dünya Güneş Enerjisi Üretimi (1989-2017) (TW/h) (BP, 2019 all data)

Güneş ışığından enerjinin elde edilmesi paneller ya da aynalar yoluyla gerçekleştirilmektedir. Paneller, güneş ışığını ısı enerjisine ya da elektrik enerjisine çevirir. Kollektörler vasıtasıyla güneş enerjisinden termal (sıcak su) amacıyla yararlanılırken fotovoltaik (Photovoltaics/PV) güneş pilleri ve Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi şeklinde olan Concentrated Solar Power (CSP) / Concentrated Solar Thermal (CST) (odaklayıcı aynalar) gibi uygulamalarla güneş enerjisinden önce yüksek ısı ve buhar elde edilmesi daha sonrasında ise elektrik üretimi sağlanması esasına dayanır.

Küresel güneş enerjisi kurulu güç bazında önde gelen ülkeler incelendiğinde International Renewable Energy Agency (IRENA) verilerine göre sıralama şu şekildedir; Çin (175 TW), Japonya (55 TW), ABD (51 TW), Almanya (45 TW), Hindistan (27 TW), İtalya (20 TW), Birleşik Krallık (13 TW), Avustralya (10 TW), Fransa (9 TW), Güney Kore (8 TW) (IRENA, 2019a). Teknolojik boyutu olmakla birlikte güneş enerjisinden her ülkenin yararlanabilecek potansiyeli bulunmaktadır. Ancak PV uygulamaları açısından dünyanın en elverişli coğrafyası ekvatorun 35° kuzey ve 35° güney enlemleri arasında yer alan ve “Dünya Güneş Kuşağı” olarak adlandırılan bölgedir (Şekil 3).



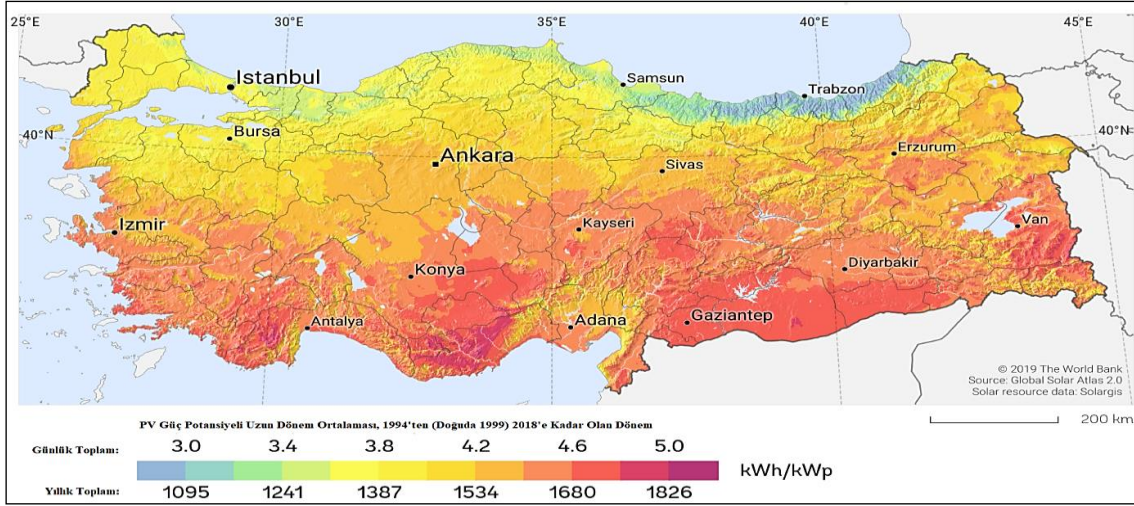
Şekil 3: PV Uygulamaları Açısından Dünya Güneş Enerjisi Potansiyeli (SOLARGIS, 2019)
(kWh/kWp: PV'lerin gün ve yıl bazında saatte maksimum düzeyde üreteceği enerji miktarı)

Güneş Enerjisinin Türkiye'deki Görünümü

Türkiye'de güneş enerjisi uygulamaları 1990'larda yaygınlaşma gösteren güneş kolektörleri vasıtasıyla sıcak su elde edilmesi amacıyla başlamıştır. Güneş enerjisiyle ilgili bilimsel düzeydeki ilk kuruluş ise 1978'de kurulan Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'dür. Bundan yirmi yıl sonra da Türkiye'nin ilk güneş enerji santrali 4,8 KW/p gücünde Didim'de kurulmuştur (Oral, 2017: 220).

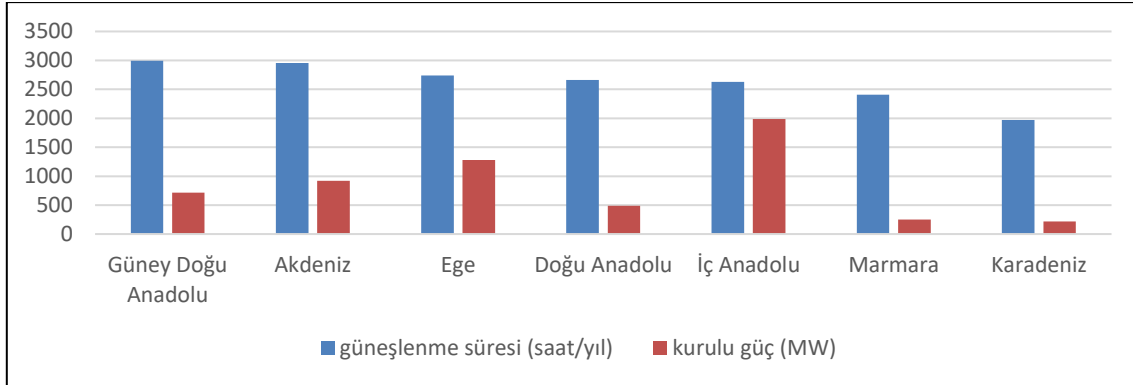
Türkiye'nin coğrafi bölgeler bazında güneş enerjisi potansiyeli farklılık göstermektedir. Bölgelerin güneşlenme süreleri şöyledir; Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2993 saat/yıl, Akdeniz Bölgesi 2956 saat/yıl, Ege Bölgesi 2738 saat/yıl, Doğu Anadolu Bölgesi 2664 saat/yıl, İç Anadolu Bölgesi 2628 saat/yıl, Marmara Bölgesi 2409 saat/yıl, Karadeniz Bölgesi 1971 saat/yıl güneşlenme sürelerine sahiptir. Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 KWh/m²-yıl ve günlük ise toplam 3,6 KWh/m²'dir (EİGM GEPA, 2008a).

Bu sonuçlar (KWh/m²) arazi koşulları dikkate alınmaksızın m²'ye düşen KW/h değeri üzerinden ele alınmaktadır. Dolayısıyla söz konusu ışınım değerleri Türkiye'nin güneşten aldığı doğrudan ışın değerleridir (Direct Normal Irradiation). PV potansiyeli açısından değerlendirildiğinde yani bölgenin güneş enerjisi potansiyeli ormanlık ve yüksek eğimli sahalar hariç tutulup PV'lerin verimli çalışabileceği sahalar dikkate alındığında ise doğrudan ışınım değerlerine benzer şekilde 40. paralelin güney kesimlerinin PV'ler açısından uygun, 38. paralelin güneyinin ise çok uygun alanlar olduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: PV Uygulamaları Açısından Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli (SOLARGIS, 2019)

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) verilerine göre, bölgeler bazında kurulu güç verileri incelendiğinde ise ilk sırada İç Anadolu Bölgesinin geldiği görülmektedir. Daha sonra kurulu güç verilerine göre bölgelerin sıralaması Ege, Akdeniz, Güney Doğu Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara, Karadeniz şeklindedir (EPDK, 2020). GES kurulu güçleri ve bölgelere göre güneşlenme süreleri değerlendirildiğinde söz konusu GES'lerin yalnızca bölgelerin güneşlenme süreleri esasına göre kurulmadığı görülmektedir. Bölgelerin güneşlenme sürelerindeki sıralamaları ve GES kurulu gücündeki sıralamaları sırasıyla parantez içinde gösterildiği üzere şu şekildedir; Güney Doğu Anadolu Bölgesi (1/4), Akdeniz (2/3), Ege (3/2), Doğu Anadolu (4/5), İç Anadolu (5/1), Marmara (6/6), Karadeniz (7/7). Buna göre GES'lerin kurulmasında ışınım değerleriyle birlikte mevzuat uygulamaları ve illere göre verilen yatırım teşvik kalemleri etkili olmaktadır (Şekil 5).



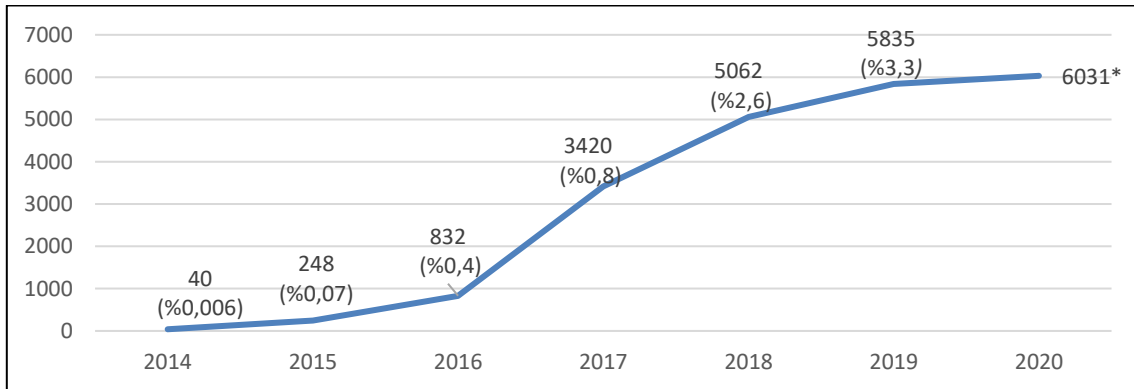
Şekil 5: Güneşlenme Süreleri ve GES Kurulu Gücünün Bölgeler Bazında Dağılışı (EİGM GEPA, 2008a; EPDK, 2020'den yararlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur)

Bununla birlikte GES'lerin kurulması için çeşitli kriterler mevcuttur. Dolayısıyla yalnızca güneş ve düz/düze yakın bir saha PV/GES kurulumu için enerji potansiyeli barındırabilir ancak yeterli değildir. Söz konusu kriterler şu şekilde ele alınabilmektedir (Gül vd., 2017; Kum vd., 2019; Şenlik, 2017: 96):

- Sıcaklık, güneşlenme süresi ve radyasyon, (25 °C düzeyinde sıcaklık ortalaması ve ışınım şiddeti panellerin verimli şekilde çalışmasını sağlar. Dolayısıyla buradaki sıcaklık, hava sıcaklık değeriyle birlikte panellerin aşırı ısınması sonucu ortaya çıkan verimlilik kaybına karşılık gelmektedir)
- Arazi kullanım durumu (arazi yetenek sınırı açısından üst düzeyde yer alan I. II. III. sınıf tarım alanları, mutlak tarım alanları, özel ürün ekiminin yapıldığı tarım alanları, yerleşim alanları, orman alanları ile sulak alanlar GES'lerin kurulması açısından ilgili mevzuat hükümleri uyarınca uygun değildir)
- Şebeke bağlantısına olan mesafe (enterkonnekte sisteme bağlantı maliyetleri ve üretilen elektriğin uzak tüketim coğrafyalarına naklinde verim kayıpları oluşması nedeniyle rasyonel yatırım açısından ulusal şebeke ağına yakın mesafede olunması GES'ler için büyük önem arz eder)

- Ulaşım hatlarına olan mesafe (GES'lerin kurulumu sürecinde teçhizatların taşınması ihtiyacı nedeniyle karayolu veya demiryolu ağlarına olan uzaklık önemlidir)
- Eğim ve bakı (topoğrafik açıdan düz ve düze yakın sahalar ile güneşi diğer yönler göre daha fazla alan sahalar GES'ler için uygun sahalardır)
- Mülkiyet durumu (hazine ve vakıf arazileri-meralar dahil- ile özel araziler GES'lerin kurulumu için hukuki zemine sahipken orman arazileri için böyle bir durum söz konusu değildir)
- Korunan alanlara uzaklık (milli parklara, doğa koruma alanlarına, kuş göç yollarına en az 3-30 km mesafede olunması GES'ler için daha uygundur)
- Jeolojik yapı (deprem ve heyelan bölgeleri ile kaya düşmesi gibi afet risklerinin bulunduğu bölgeler GES'ler için uygun yer tercihi niteliğinde değildir)
- Santral sahasının zemin yapısı, yeraltı su seviyesi, toprak direnci ve zemin mukavemetine ilişkin koşullar da yer seçiminde belirleyici kriterler olarak ele alınmaktadır

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) ve EPDK verilerine göre, Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücü 6 bin MW'yi aşmıştır. Bu oran toplam kurulu güç içinde %6'lık bir bölüme karşılık gelmektedir. Bununla birlikte GES'lerle ilgili en dikkat çeken durumlardan biri bu santrallerin büyük bir kısmının lisanssız olmasıdır (TEİAŞ, 2019; EPDK, 2020). Öyle ki lisanslı GES'lerin Türkiye toplam kurulu gücü içindeki payı %0,21, lisanslı GES'lerin toplam GES içindeki payı %3'tür (174 MW) (EPDK, 2020). Türkiye'de GES'lerin lisanssız kurulumunun tercih edilme sebebi; üretim kapasite zorunluluğunun olmaması, prosedür süreçlerinin daha kısa olması nedeniyle yatırımın seri bir şekilde gerçekleşebilmesi ve bunun yanında lisanssız GES'lerde şirket kurma zorunluluğunun olmamasıdır. Güneş enerjisinin Türkiye elektrik enerjisi portföyü içinde yer almaya başlaması 2014 itibarıyla mümkün olmuştur. Türkiye güneş enerjisi kurulu gücünün gelişimi ve güneş enerjisinin Türkiye elektrik üretimi içindeki payı⁶ için Şekil 6.



Şekil 6: Türkiye Güneş Enerjisi (PV) Kurulu Gücünün Gelişimi (MW) ve Türkiye Elektrik Üretimi İçinde Güneş Enerjisinin Payı (EPDK, 2020; GÜYAD, 2020; ETKB, 2019; TEİAŞ, 2019; EPDK, 2019; TEİAŞ, 2018; Enerji Atlası, 2018)

*2020 Ocak İtibarıyla Güneş Enerjisi Kurulu Gücü

Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini değerlendirebilmesi açısından 2005 yılında uygulamaya konulan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu) kapsamında, YEK Destekleme Mekanizması (YEKDEM) önemli bir dönüş noktası olmuştur. YEKDEM ile yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimine verilen teşvikler (alım garantisi) sayesinde hidrolik enerji haricindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı da artık Türkiye elektrik enerjisi sepeti içinde artış göstermeye başlamıştır. Hidrolik enerji haricindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının 1984-1998 yılları arasında toplam kurulu güç içindeki payı TEİAŞ verilerine göre %0,08 düzeyindedir ki bu dönemde hidrolik enerji haricinde tek yenilenebilir kurulu gücü jeotermal enerjiye aittir. 1998 yılında rüzgâr kurulu gücünün küçük çaplı da olsa eklenmesiyle birlikte hidrolik enerji haricindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye toplam kurulu gücü içindeki payı %0,1 olarak gerçekleşmiş, 5346 sayılı kanunun çıktığı yıl bu oran yine %0,1 olmuştur. Söz konusu kanunun çıkmasından sonra bu oran giderek artış göstermiş ve hidrolik enerji haricindeki yenilenebilir enerjilerin kurulu güç içindeki payı yaklaşık %17 düzeyine erişmiştir. Hidrolik enerji de dahil edildiğinde bu oran neredeyse Türkiye toplam kurulu gücünün yarısına karşılık gelmektedir.

⁶ Herhangi bir enerji kaynağının toplam kurulu güç içindeki oranı ile toplam elektrik üretimindeki oranı benzerlik göstermeyebilir. Bunun sebebi; ülke enerji politikalarının seyri, gün içindeki talep değişkenliğinden dolayı kurulu gücün tam kapasite kullanılmaması ya da yenilenebilir enerjilerdeki kesintili üretim nedeniyle kurulu gücün tam kapasite kullanılmamasıdır. Güneş enerjisinin Türkiye kurulu gücündeki oranı (%) ile Türkiye toplam elektrik üretimindeki oranının benzerlik göstermemesi günlük ve yıllık bazda ortaya çıkan kesintili üretimdir.

Bununla birlikte Türkiye'nin gerek güneş enerjisi gerek diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı noktasında en önemli sorunu teknolojidir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini daha etkin kullanabilmesinin yolu yerli ve milli teknolojiyle bu kaynaklardan faydalanmaktır. Enerji tüm sektörlerin itici gücü, üretimin temel girdisi olması nedeniyle bu alandaki dışa bağımlılık tüm ekonomik gelişimi olumsuz etkilemektedir. Öyle ki bu dışa bağımlılık cari açıktan elektriğin pahalı şekilde kullanımına, dışarıda rekabet gücünün azalmasından istihdam kaybına dek uzanmaktadır (Yeşil, 2017). Türkiye'nin güneş enerjisi teknolojilerinde kendine yeterli hale gelmesi güneş enerji potansiyelinin yerli ve milli imkânlarla kullanılması anlamı taşır. Böylelikle hem elektrik üretiminde hem de elektrik dışı uygulamalarda güneş enerjisinden çok daha etkin bir şekilde yararlanmak mümkün olacaktır. Bu kapsamda devlet desteğiyle özel sektörün çeşitli girişimleri bulunmaktadır. Konya Karapınar'da 1000 MW kapasiteli kurulacak GES için ETKB ihale şartlarına göre 500 MW kapasiteli entegre panel üretim fabrikası da kurulacaktır. İşte bu fabrikanın Çinli bir şirketle ortak şekilde Ankara Başkent Organize Sanayi Bölgesi'nde 2020 ya da 2021'de açılması planlanmaktadır. Fabrika, devreye alındığında "ingot, wafer, hücre ve modül" imalatını tek çatı altında yapabilen Türkiye'nin ilk entegre tesisi olacaktır (Hürriyet, 2019).

Çalışma Alanının Doğal Çevre Özellikleri ve GES Potansiyeli

Türkiye'nin kuzey kesiminde, Batı Karadeniz bölümünde yer alan Karabük ili, 4142 km²lik yüzölçümüne sahiptir. Karabük; kuzeyde Bartın, kuzeydoğu ve doğuda, güneydoğuda Çankırı, güneybatıda Bolu, batıda Zonguldak illeriyle komşudur (Şekil 7).



Şekil 7: Karabük ilinin Lokasyonu

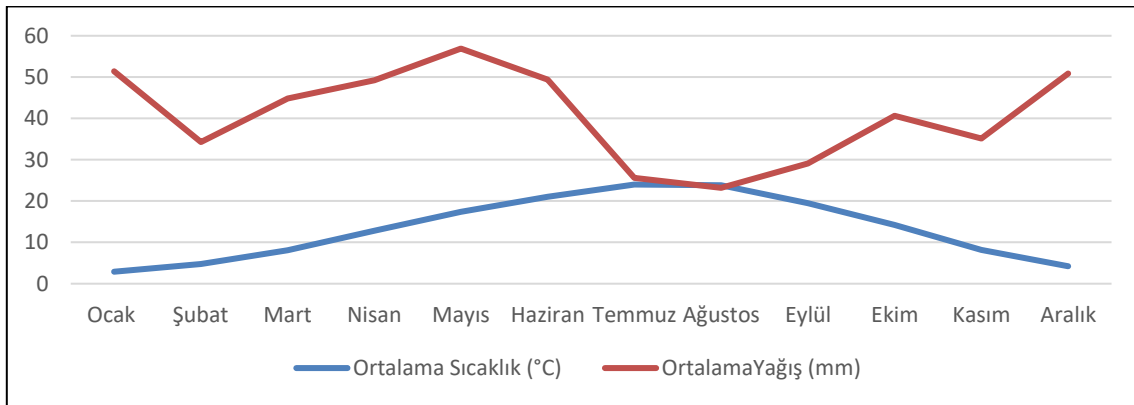
Kuzeyde Küre, güney ve güney doğuda Iğaz ile Köroğlu Dağları ve güney batıda Bolu Dağlarının uzantıları arasında yer alan Karabük, etrafı yüksek tepelerle çevrili bir havza niteliği taşımaktadır. Merkez ilçenin rakımı 278 metre iken merkez ilçeye bitişik konumda bulunan Safranbolu ilçe merkezinde bu değer 500 metreye çıkmaktadır.

Karabük şehrinin kuzeyinde Kodaş, Kirenlikiraz, Çanakçı tepeleri, güneydoğuda Çalyayla, doğuda Esendoğdu belli başlı yükseltiler olarak göze çarpmaktadır. İl geneli esas alındığında merkez ilçenin güneybatısında Keltepe (2000 m.), Eskipazar'da Hodulca Dağı (1700 m.), Eflani'de Tepe Dağ (1043 m.), Ovacık'ta Kırac Tepesi (1400 m.), Safranbolu'da Sarıççek Tepesi (1750 m.) ve Yenice'de Keçikıran Tepesi (1400 m.) yükselti değerlerine sahiptir. Bununla birlikte il geneli

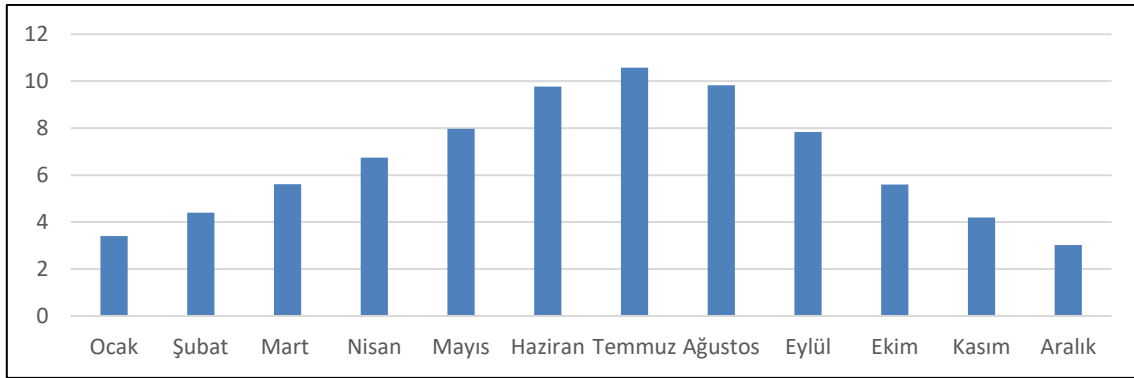
toplam alanının 93.020 hektarını tarım toprakları, 271.403 hektarını ormanlar, kalan kısmını ise mera, yerleşim yeri ve diğer alanlar oluşturmaktadır. Bu verilere göre ilin %65'i ormanlarla kaplıdır (Karabük Belediyesi, 2020).

Üst Mesozoik'e ait formasyonlar bölgedeki Karabük-Safranbolu Tersiyer havzasının oluşumuna zemin hazırlamıştır. Litolojik olarak bölgede, kalker, kumtaşı, marn ve kilitaşı yaygın olarak görülmektedir. Karabük'te III. Jeolojik zamanda oluşan, kalkerli araziler geniş yer kaplamaktadır. Kum ve çakıl bileşiminde meydana gelen alüvyonlar ise Kuaterner döneminin özelliklerini yansıtmaktadır. Karadeniz'e dökülen Araç, Soğanlı ve Filyos akarsuları boyunca geniş bir sahada alüvyonlar görülmektedir (Hacısalıhoğlu, 1995: 13).

Yağış ve sıcaklık ile güneşlenme süresi değerleri güneş enerji santrallerinin kuruluş yerini belirleyen en önemli etkidir. Dolayısıyla ilgili lokasyonun içinde bulunduğu iklim koşulları güneş panellerinin verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu anlamda kış mevsiminde görülen kar yağışlı ve donlu günler sayısı ile yaz mevsiminde yaşanan kuraklıklar Karabük ilinin Karadeniz iklim kuşağı ile İç Anadolu karasal iklim kuşağı arasında bir geçiş özelliğine sahip olduğunu göstermektedir (Özdemir, 2006: 36). Karabük şehrinin yıllık ortalama yağış değeri 490 mm iken yıllık ortalama sıcaklık değeri 13,4 °C'dir. Buna göre Karabük şehrinin yağış ve sıcaklık grafikleri ile aylara göre ortalama güneşlenme süreleri için Şekil 8 ve Şekil 9.



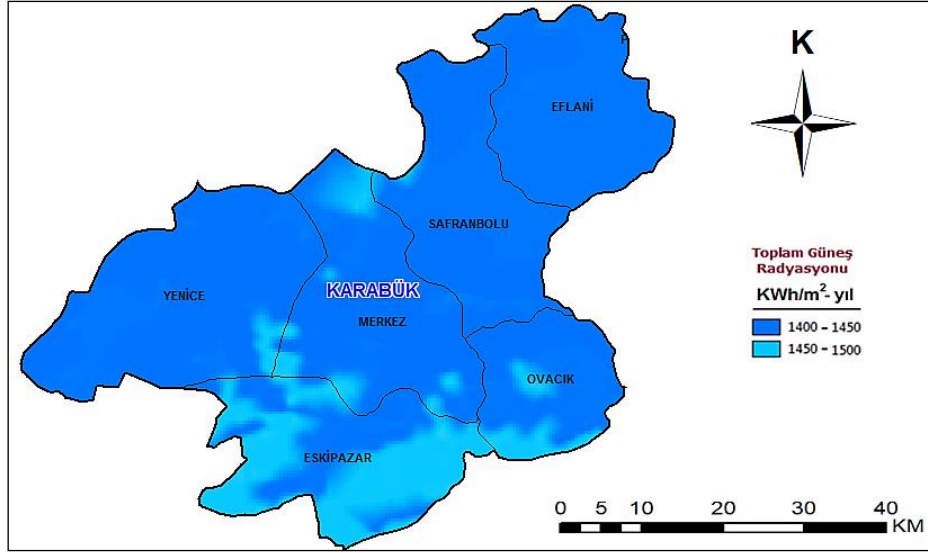
Şekil 8: Karabük Şehri Aylara Göre Ortalama Yağış ve Sıcaklık Değerleri (MGM, 2020)



Şekil 9: Karabük Şehrinin Aylara Göre Ortalama Güneşlenme Süresi* (saat/gün) (EİGM GEPA, 2008b)

* Güneşin gökyüzünde açık bir şekilde görülebildiği süre (kapalı hava/bulutluluk oranları güneşlenme sürelerini doğrudan etkiler)

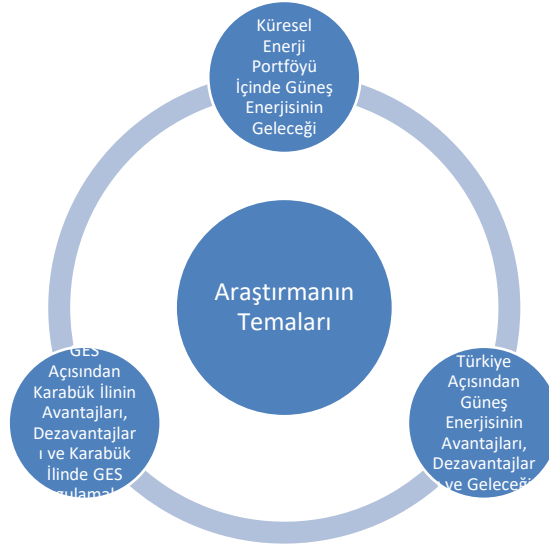
Herhangi bir alanın güneşlenme süresi toplam güneş radyasyonu/ışınımı değerlerini tayin etmekte bu durum ise güneş enerjisi üretimini belirlemektedir. Buna göre yukarıda bahsi edilen değerler güneş enerjisi kapsamında ele alındığında Karabük ilinin güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye ortalamasının altında bir değere sahip olması nedeniyle düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 10). Nitekim Karabük ilinin yer aldığı Karadeniz Bölgesi en az güneş enerjisi potansiyeline sahip olan bölgedir. Ancak Karadeniz Bölgesi özelinde değerlendirildiğinde Karabük ilinin güney kesiminde değerlendirilebilir bir potansiyel bulunmaktadır.



Şekil 10: Karabük İli Güneş Enerjisi Potansiyeli (EİGM GEPA, 2008b)

ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan içerik analizi sonucunda araştırmanın bulguları üç tema altında toplanmıştır. Bunlar; (1) küresel enerji portföyü içinde güneş enerjisinin geleceği, (2) Türkiye açısından güneş enerjisinin avantajları, dezavantajları ve geleceği, GES açısından Karabük ilinin avantajları, (3) dezavantajları ve Karabük ilinde GES uygulamaları biçimindedir (Şekil 11).



Şekil 11: Bulgular Çerçevesinde Araştırmanın Temaları

Küresel Enerji Portföyü İçinde Güneş Enerjisinin Geleceği

Güneş enerjisi bol ve sınırsız bir kaynak olması nedeniyle tüm ülkeler tarafından önem verilen bir enerji kaynağıdır. Petrol krizleri sonrası küresel bazda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Hidrolik enerji haricindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç miktarları ve elektrik enerjisi üretimindeki payları 80'li ve 90'lı yıllarda yükselmiştir. Güneş enerjisi özelinde değerlendirildiğinde 2007 sonrasında önemli miktarlarda artış kaydedilmiştir. Tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim ve bu doğrultuda artan yatırımlar karbonsuz bir geleceğe geçiş anlamında büyük bir öneme sahiptir. Küresel ölçekte hidrolik enerji haricinde diğer yenilenebilir kaynaklara yatırımın arttığı 2004-2018 dönemi esas alındığında yaklaşık 3 trilyon dolarlık bir yatırımın gerçekleştiği görülmektedir. Çin'in söz konusu yatırımların üçte birlik kısmını gerçekleştirdiği düşünüldüğünde başı çeken ülke konumunda olduğu görülmektedir. Çin'in ekonomik büyümesi kömür tüketimini artırsa da Çin yenilenebilir enerjilere geçişte kayda değer bir çaba göstermektedir. Güneş enerjisinde de en fazla yatırım yapan ve kurulu gücünü artıran ülke Çin olmuştur. Ayrıca PV teknolojilerinde de Çin güneş

enerji piyasasının ABD, Almanya, Tayvan, Japonya ve Güney Kore ile birlikte önde gelen ülkelerinden biridir. Bununla birlikte Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) verilerine göre, 2008-2018 arası dönemde Çin'den sonra en fazla güneş enerjisi kurulu gücünü artıran ülkeler sırasıyla ABD, Japonya, Almanya ve Hindistan olmuştur (REN21, 2019: 95). Ülkeler ulusal eylem planlarına göre yenilenebilir kaynakların çeşitli ve daha yüksek oranda kullanılmasına yönelik çeşitli hedefler belirledikleri görülmektedir. Dünyanın en büyük enerji tüketim coğrafyalarından biri olan AB de 20-20-20 olan hedeflerini (sera gazı emisyonlarında %20'lik azalma, enerji verimliliğinde %20'lik artış ve yenilenebilir enerjilerin AB enerji tüketimindeki payını en az %20'ye çıkarmak) 27-27-27 olarak revize etmiştir. Örneğin, İngiltere'nin yeni enerji stratejisi doğrultusunda 2019 yılında termik santraller 2500 saatin üzerinde durdurulmuştur. Bu durmanın sebebi arıza olmayıp, elektrik enerjisini yenilenebilir kaynaklardan üreterek fosil kökenlileri devre dışı bırakma amacıdır. Konvansiyonel kaynaklar yerine yenilenebilir sistemleri hibritleyerek (kesintili olma dezavantajlarını minimize etmek için entegre sistemler geliştirerek) fosil kaynak kullanımını minimum seviyeye çekmeyi planlamaktadırlar. Güneş enerjisi özelinde değerlendirildiğinde, bu enerji kaynağının gelecek açısından büyük bir fırsat sunduğu ortadadır. Ancak bu fırsatın kullanılabilmesi depolama teknolojilerin gelişmesine, panel verimliliklerin ve ömürlerinin artmasına bağlıdır. Dolayısıyla güneş enerji teknolojilerinin gelişim trendi güneş enerjisinden daha fazla yararlanma imkânlarını da belirleyecektir. Mevcut durumda tek başına güneş enerjisini küresel enerji politikalarını belirleyebilecek bir piyasaya ve uygulamaya sahip değildir.

Konuyla ilgili olarak K1, "Güneş enerjisi sonsuz bir enerji kaynağı. En önemli avantajı bu. Dezavantajı ise günlük aylık mevsimsel, radyasyonda değişiklikler olduğu için kesintili bir kaynak. Ama bunun da üstesinden enerji depolama teknikleri ile gelmek üzere. Elektrik enerjisinin depolanması ve ısı enerjisinin depolanması şeklinde. Rüzgârda pompaj depolamalı sistemler var. Mesela bir tane hidroelektrik santral yani HES var. Yanına bir de rüzgâr enerji santrali yani RES kuruluyor. Rüzgâr çokken alt düşüden üst düşüye akışkanı pompalıyor. Rüzgâr az iken bu defa hidroelektrik santral elektrik üretip talebi karşılıyor. Yani entegre sistemler. Ancak artık yapay zeka konusu gittikçe ilerliyor. Ne zaman nerede ne kadar radyasyon olacak, ne kadar elektrik üretir hepsi belli. %3-5 hatayla bunları tahmin edebiliyoruz. Bu anlamda eğer kesikli sistemi depolama teknikleriyle aktif kesiksiz hale getirirsek güneş geleceğin enerjisi olacaktır" şeklinde görüş bildirmiştir. K6 ise "Güneşin ilk yatırım maliyeti haricinde işletme maliyeti çok düşük bu büyük bir avantaj. Doğadan elde edilen enerjiler geleceğin enerjisi olmaya aday. Bu kaçınılmaz bir durum" şeklinde görüş bildirmiştir. Buna karşın K7 farklı bir bakış açısına sahiptir. K7, "Teorik olarak GES ve depolamayla küresel enerji sisteminde çözümler üretebilirsiniz. Büyük çaplı demir çelik gibi çimento gibi bunların yalnızca güneş enerjisiyle beslenmesi ya da yenilenebilirlerle oldukça zor. Eski santrallere her zaman ihtiyaç olacak. En az 30 yıl boyunca bu durum görünüyor. Mevcut durumda en rasyonel tercih baz yük santrallerle birlikte yenilenebilirleri mümkün olduğunca kullanmak. Ne kadar yenilenebilir üretirseniz avantaj çünkü bağımlılığı düşürüyor" şeklinde görüş belirtmiştir.

Türkiye Açısından Güneş Enerjisinin Avantajları, Dezavantajları ve Geleceği

Türkiye'nin güneşlenme süreleri güneş enerjisinden yararlanma konusunda büyük bir fırsat sunmaktadır. Ancak potansiyelin yanında ulusal enerji politikaları, devlet teşvikleri, ilgili yasal mevzuat, teknolojik yeterlilikler, yatırım ve işletme maliyetleri, çeşitli kriterler doğrultusunda gerçekleşen yer seçimi gibi konular GES yatırımlarında belirleyici olmaktadır. Bu nedenle enerji yatırımları yalnızca potansiyel bağlamında ele alınamayacak kadar farklı yatırımlardır.

Buna göre K2, "Ben Türkiye'nin potansiyeline karşın GES yatırımlarının hala pahalı bir yatırım alanı olduğunu düşünüyorum. En basitinden invertörler ortalama 40 bin lira. Panellerin kurulumunu falan eklediğinizde ciddi bir maliyet ortaya çıkıyor. Ancak önümüzdeki 15 yıllık sürede yaygın şekilde konutların çatılarında panelleri göreceğimizi düşünüyorum. Bence mantıklı olan yatırım rüzgâr enerjisi. Örneğin alan bakımından değerlendirildiğinde 1 MW'lık güneş enerji santrali yatırım için şu an 18 dönüm alana ihtiyaç duyuyorsunuz. 3 MW'lık bir rüzgâr santrali kurduğunuzda daha az bir alana bunu kurabiliyorsunuz ve gece de dahil üretim yapabilirsiniz. Yani rüzgâr enerjisinde daha kesintisiz bir üretim mümkün. Diğer yenilenebilirlerle kıyasladığında ise kanımca rüzgârdan sonra güneş enerjisi gelir" şeklinde görüş bildirmiştir. Bu bağlamda katılımcı Türkiye açısından rüzgâr enerjisinin daha avantajlı bir kaynak ve yatırım olduğunu düşünmektedir.

K3 ise "Türkiye'de güneş enerjisi ekipmanları üretimi henüz söz konusu değil. Panel yapımında da yerli üretim olanlar dışarıdan gelen parçaların birleştirilmesi yani kare kare olan hücrelerin tabla haline getirilmesi sonucu yerli üretim olarak satışı yapılanlar. Güneş hücresi konusunda dışa bağımlılığımız var. Güneş hücreleri yani panellerdeki o kare kare olan alanlar panelleri oluşturuyor. Güneş enerjisi yatırımları Türkiye'de 2014'ten sonra önemli bir artış kaydetti. Bunda devlet teşviklerinin rolü oldu. Ancak artık devlet de GES'lerin araziye kurulmasını istemiyor. Örneğin bizim 1 MW kurulu güçlü yatırımımız bittikten sonra üretim izni alabilmek için yaklaşık 8 aylık bir bekleme süreci yaşadık. Yalnızca çatı uygulamalarına önem vermeye başladı. Bu durumun oluşmasında en önemli pay GES'lerin dalgalı bir üretime sahip olmasına ait. Şebekelerde dalgalanma olayı kalkarsa GES'ler daha da yaygınlık kazanır. Almanya'da bu soruna çözüm bulunmuş. Bizde de bulunduğu takdirde ki bu akıllı sistemleri içeriyor, GES'lerin uygulama alanları daha da

yaygınlaşacaktır". Buna göre katılımcı mevzuat gereği artık arazi PV'lerinin kurulmasının özel yatırımcılar açısından mümkün olmadığını ifade etmiştir. Bu durumun ortaya çıkmasındaki en önemli sebep devreye alınmaları kolay olan GES'lerin Türkiye'de 2014'ten beri incelendiğinde kurulu güç bazında en fazla büyüyen enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Yatırım ve elektrik alım teşviklerinin bu kurulu gücün artmasında en temel belirleyici olduğu görülmektedir. Dolayısıyla artık devletin elektrik alım teşvikleri büyük bir mali gider oluşturmaya başlamıştır. Ayrıca Türkiye'nin iletim ve dağıtım altyapısı (trafo merkezi ve kapasite miktarı/güç ve gerilim) dalgalı üretime sahip olan GES'ler için sınırlıdır. Bu sebeplerle de arazi PV'lerinin özel girişimciler tarafından kurulumu sona erdirilmiştir. Artık GES yatırımları özel girişimciler için çatı ve yan yüzey uygulamaları olarak gerçekleşecektir. Ayrıca EPDK teşvik uygulamasında 2020 sonrasında dolar/cent biriminden TL birimine geçecektir. Bu bağlamda güneş enerjisinin yakın dönem Türkiye enerji politikalarını belirleyici bir kaynak olmayacağı ifade edilebilir.

K4 ise "Güneş enerjisinin önemli bir vizyonu var. Güneş enerjisinden elde edilen kazanç yükselir ve ilk yatırım maliyetleri de düşerse efektif bir kaynak. Bununla birlikte Türkiye'nin potansiyeli yüksek ancak ilk yatırım maliyetleri var. Bir meskenin ya da çiftliğin güneş panelleri kurması şu süreçte çok anlamlı değil. Yatırımın geri dönüş maliyetleri Türkiye açısından düşünüldüğünde doların yükselmesiyle 20 yılı bulmuş olabilir. Bu kura bağlı bir durum. Güneş enerjisi elbette önemli ama gelecek açısından düşünüldüğünde Türkiye ve dünya ölçeğinde güneş enerjisinin tüm elektrik ihtiyacını karşılaması potansiyele karşın uygulama anlamında mümkün görünmüyor. Depolama konusundaki gelişmeler herhangi bir enerji kaynağının yaygınlaşmasıyla doğrudan bir bağlantısı var. Bunun yanında nükleer ve hidroelektrik santraller de Türkiye enerji politikalarında çok önemli". Buna göre katılımcı Türkiye için güneş enerjisinin yüksek potansiyel barındırmasının tek yeterli sebep olmadığını ve kaynak çeşitliliğinin zorunlu olduğunu belirtmiştir.

K7, "Yanlış bilinen bir şey var. İşte Türkiye'nin çektiği güç belli. Potansiyel de var. Hepsini GES yapıp Türkiye'nin ihtiyacını sağlayalım. Bu mümkün bir şey değil açıkçası. Konuya uzak olanlar öyle düşünüyor ama böyle değil. Güneşte üretim düştüğü zaman ne yapacaksınız bir şeyle beslemeniz lazım. Rüzgâr veya diğer yenilebilir deseniz onlar da her zaman emre amade olmayabilir. Her yeri güneş panelleriyle doldurmamız mümkün değil. Bazı yük santraller olmak zorunda" şeklindeki görüşüyle Türkiye'nin güneş enerjisi uygulamaları bağlamında başka bir probleme dikkat çekmiş ve Türkiye'nin yüksek potansiyeline rağmen yalnızca güneş enerjisine yönelemeyeceğini ifade etmiştir. Buna göre diğer katılımcılar özelinde de ifade edildiği gibi güneş enerjisi hali hazırda Türkiye için taşınmış olduğu çeşitli dezavantajlar nedeniyle Türkiye'nin enerji politikalarında radikal bir çözüm olarak görünmemektedir.

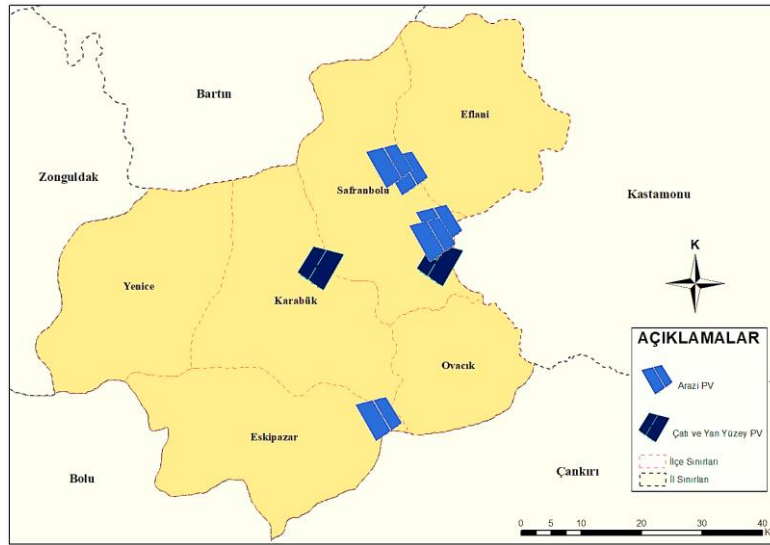
GES Açısından Karabük İlinin Avantajları, Dezavantajları ve Karabük İlinde GES Uygulamaları

Güneş enerji yatırımları açısından son yıllarda dikkat çeken illerden biri olan Karabük ili enlem faktörüne bağlı olarak Türkiye'nin orta kesimleri ile güney kesimlerine göre daha düşük bir güneş enerjisi potansiyeli ihtiva etmesine rağmen Karadeniz Bölgesi özelinde dikkate değer bir potansiyele sahiptir. Hali hazırda yedi GES yatırımının bulunduğu Karabük ili gerek arazi GES'leri için gerekse de çatı ve yan yüzey uygulamaları açısından kayda değer bir fırsat sunmaktadır. EİGM GEPA verilerine göre, Karabük ilinin güneşlenme süresi yıllık 2402 saat iken m²'ye gelen ışınım değeri ile yılda 1369 KW/h'lik bir enerji üretimi mümkündür (EİGM GEPA, 2008b). Buna göre, K3, "Karadeniz bölgesi esas alındığında Karabük'ün güneş enerjisi potansiyeli oldukça iyi. Karadeniz'in geneli düşünüldüğünde en rasyonel yerlerden biri Karabük" şeklinde görüş bildirerek Karabük'e GES yatırımları yapılabileceğini ifade etmektedir.

Mevzuat bağlamında değerlendirildiğinde Karabük ili GES yatırımları açısından avantajlı bir durumda değildir. Buna göre K7, "Almanya gibi bir ülkede yüksek düzeyde güneş enerjisi üretilebiliyorsa siz Türkiye'de bunun daha fazlasını yaparsınız. Almanya Karadeniz'in sahip olduğu güneşlenme sürelerine sahip. Buna göre Karabük ve Karadeniz özelinde düşünürsek arazi PV'lerinden ziyade çatı uygulamalarının daha doğru olacağını düşünüyorum" şeklindeki düşüncesiyle arazi PV'leri bağlamında yüksek bir potansiyel barındırmasa da çatı uygulamalarıyla Karabük ilinde güneş enerjisinden faydalanmanın mümkün olduğunu belirtmiştir. Ancak Türkiye'de çatılarda GES uygulaması henüz yaygın değildir. Bu konuda mevzuatta düzenlemeler yapılmasına rağmen özellikle ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması bu fırsatın kullanılmasının önündeki en büyük engeldir. K2 ise "Enerjisa firması özelinde düşünüldüğünde, Enerjisa il il kota belirlemiş. Buna göre şu an Karabük kotasını doldurmuş durumda. Lisanssızlar doğrudan dağıtım şebekesine bağlandığı için böyle bir kota belirlenmiş" ve K4, "Karabük iline güneş enerjisi anlamında yatırım teşviki yok. Alım garantisi var tabii. O her yerde mevcut ancak GES yatırım teşviki yok" ifadeleriyle mevzuata ve altyapıya vurgu yapmaktadırlar. Karabük ili son teşvik düzenlemesine göre GES yatırımları için teşvik verilen illerden biri değildir. Herhangi bir sahaya GES yatırımının gerçekleştirilmesi yalnızca ışınım kabiliyetine bağlı değildir. Enerji yatırımlarının gerçekleştirilmesinde ilgili mevzuatta belirtilen maddelerin kapsamı son derece belirleyicidir. Ayrıca trafo kapasitelerinin yoğunluk oranları yatırımlarda belirleyici bir unsurdur. Çünkü GES'ler değişken kaynaklı üretim santralleri olduğu için tüm trafo merkezlerine bağlantısı yapılamaz. GES'lerin iletim sistemine bağlanabilecek trafo merkezleri ve toplam bağlanılabilecek kapasite miktarları sınırlıdır.

Bunun yanında K4, "Güneş panellerinin en büyük düşmanı demir tozudur. Bu yüzden Karabük özelinde şehir merkezine, demir çeliğe yakın olan alanlar GES için uygun değil" yaklaşımıyla Karabük şehir merkezine yakın sahaların GES için uygun lokasyonlar olmadığını ifade etmiştir. Bu bağlamda demir tozunun PV'lere zarar vermesi nedeniyle Karabük'te demir-çelik ve haddehanelere yakın alanlarda GES kurulumu imkânı söz konusu değildir. PV'lerin verimliliği yalnızca maksimum ışınımı elde edecek açı değerine ve birbirlerini gölgelemelerinden korunmalarına bağlı değildir. PV'lerin verimlilik, bakım periyodu ve kullanım ömrü düşünüldüğünde GES kurulumu için ışınım değerleri yeterli olsa dahi yer seçimi için ağır sanayinin yaydığı baca gazları, duman, kükürt dioksit, karbon ve azot oksitler ile katran bileşikler etki alanının dışında bir alan belirlenmelidir.

Karabük ilinde 2017 ve 2019'da verilen yatırım teşvikleri nedeniyle çeşitli GES yatırımlarının yapıldığı görülmektedir. Özellikle Safranbolu ilçesi arazi PV ve çatı/yan yüzey PV yatırımlarında dikkat çekmektedir. Bu yatırımlara ek olarak kurumsal girişim ve yatırımla öz tüketim amaçlı Karabük Üniversitesi de GES yatırımı gerçekleştirmiştir. Karabük ilinde mevcut durumda bulunan GES yatırımları haritada da gösterildiği (Şekil 12) üzere şu şekildedir;



Şekil 12: Karabük İlinde Mevcut GES'ler

Karabük Güneş Enerji Santrali (Eskipazar)

2017 yılında devreye alınan ve Eskipazar ilçesi idari sınırları içinde yer alan santral, 7 MW kurulu güce sahiptir. Karabük'ün güneş enerji potansiyeli haritası incelendiğinde söz konusu santralin kuruluş yerini belirlediği görülmektedir. Nitekim ilgili lokasyonun toplam güneş radyasyonu genel itibarıyla 1450-1500 KWh/m²'ye karşılık gelmektedir.

Santral ortalama 11.400.000 KW/h elektrik üretimi ile 3444 kişinin günlük hayatında ihtiyaç duyduğu (konut, sanayi, resmi daire, çevre aydınlatması gibi) tüm elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir. Santral sadece konut elektrik tüketimi dikkate alındığında ise 3619 konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek elektrik üretimi yapmaktadır (Enerji Atlası, 2018).

Karabük Üniversitesi (KBÜ) GES Uygulamaları (Karabük Merkez)

2019 yılında üniversitenin elektrik ihtiyacının karşılanması ve yeşil kampüs hedefiyle KBÜ tarafından devreye alınan bir projedir. KBÜ yerleşkesi içinde binaların çatıları ve yan yüzeylerinin yer aldığı 10 bin m² alan güneş enerjisi kapsamında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda 4 bin fotovoltaik güneş enerji panelleri ile 1 MW'lik kurulu güce ulaşılmıştır. Hali hazırda üniversitenin elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %40'ı güneş enerjisinden elde edilmektedir.

Tema Trend GES (Safranbolu)

2015 yılında Safranbolu şehir merkezinin dışında Kastamonu karayolu üzerinde yer alan bir AVM'nin çatı uygulaması şeklinde devreye aldığı GES, 0,67 MW kurulu güce sahiptir. 12 bin m²'lik çatı alanında 2804 panelin oluşturduğu GES, yıllık 1 milyon KW/h elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Söz konusu GES'ten elde edilen elektrikle AVM'de faaliyet gösteren işletmelerin elektrik ihtiyacı karşılandığı gibi sisteme satış yapmak da mümkün olmaktadır. Ayrıca ilgili firmanın AVM'ye 300 metrelik konumda bulunan 2017'de kurulmuş birer MW'lik iki GES'i de mevcuttur. Dolayısıyla AVM ve arazi PV'leri toplamda 1+1+0,67=2,67 MW kurulu güce sahiptir.

Sine Köyü GES (Safranbolu)

Bölgede iki ayrı firmaya ait iki GES yatırımı bulunmaktadır. 2019 yılında üretime başlayan her iki GES de 1 MW büyüklüğünde olup yaklaşık 20 dönümlük bir arazi üzerine kuruludur. Bölgede tozlanma ve kirlilik minimal düzeyde olduğu için bir yıllık süre zarfında PV'ler henüz bir bakım görmemiştir. Ancak PV'lere altı aylık süre zarfında bir bakım yapılması planlanmaktadır. GES'lerin yer seçim tercihlerinde PV'lerin bakım periyotları farklılık göstermektedir. *Karabük ilinde yer alan GES uygulamalarına (arazi GES ile çatı ve yan yüzey GES) örnekler:*



Fotoğraf 1: Arazi GES (Sine Köyü) ile Çatı ve Yan Yüzey GES (KBÜ) Uygulamalarına Örnek (Yazar ve KBÜ Külliye Gazetesi, 2019)

TARTIŞMA VE SONUÇ

Güneş enerjisi artık küresel enerji politikalarının önemli bir parçasını teşkil etmektedir. Küresel iklim değişimi ve ülkelerin enerji güvenliğini sağlama adına ürettiği politikalar güneş enerjisine yönelik teşvik ve yatırım miktarlarını artırmıştır. Her ülke bulunduğu konum itibarıyla aynı oranda olmasa da güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ancak ışınım değerleri yanında söz konusu ülkenin enerji politikaları, sahip olduğu teknoloji, mevzuat uygulamaları ve GES kurulumu için gerekli kriterler yatırımları belirlemektedir. GES yatırım maliyetlerinin sürekli düşmesi, ülkelerin enerji politikalarında yenilebilir kaynakların ve bu kaynaklar içinde de özellikle güneş enerjisinin daha fazla yer tutması bunun yanında çatı ve yan yüzey uygulamaları, göl, deniz yüzeylerine PV'lerin döşenebilmesi gibi farklı GES uygulamaları projeksiyonlar dahilinde güneş enerjisinin küresel enerji politikaları ve tüketiminde aktif rol alan bir kaynak olacağını göstermektedir. Güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payının, IRENA ReMap senaryosuna göre 2030'da %13 seviyelerinde 2050'de ise %25 düzeyinde olacağı öngörülmektedir (IRENA, 2019b: 10). Ancak söz konusu bu %26'lık oranın gerçekleşme ihtimali oldukça düşük görünmektedir. Çünkü güneş enerjisinin avantajları ve her yıl yaygınlaşan kullanımının yanında bazı dezavantajlı tarafları da bulunmaktadır. Öyle ki güneş enerjisinin kesintili bir kaynak olması ve baz yük olmaması, PV sistemlerin düşük verimlilikleri, PV'lerin üretiminde yarattığı çevresel problemler, depolama olanaklarının kısıtlı olması ve panellerin kullanım ömrünün henüz beklentilerin altında olması (ortalama 20 yıl, diğer ekipmanların ise 10 yıl civarında) bir yatırım sorunu olarak öne çıkmaktadır. Buna göre PV'lerin parlayan güneş ışığını elektriğe dönüştürmesi bir siyaha olayı gibi görülebilir. Ancak dünyanın elektrik enerjisi sisteminin boyutları ve güneş enerjisinin bugünkü maliyeti düşünüldüğünde bunların sihrinden eser kalmamaktadır. Çok uzun yıllar sektörde çalışmış Paul Maycock dahi insanların PV'lerin yeşil seçeneklerden sadece biri değil de tek seçenek olduğuna inanmasının oldukça endişe verici olduğunu ifade etmiştir (Yergin, 2011: 187-188).

Türkiye özelinde incelendiğinde ise GES kurulu gücü toplam kurulu güç içinde %7'lik bir paya ulaşmıştır. Bu sayede Türkiye dünya sıralamasında 12. sırada yer almaktadır. Türkiye için güneş enerjisi büyük bir fırsat olarak görünmektedir. Ancak güneş enerjisinde ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, ekipmanlarda teknolojik bağımlılık, yatırım ve alım teşviklerinin sınırlandırılması ve 2019'da çıkan yönetmeliğin "Güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri ancak çatı ve cephe (yan yüzey) uygulaması olarak gerçekleştirilebilir" maddesi çerçevesinde Türkiye'nin enerji politikaları içinde arazi PV'lerine yönelik özel sektör yatırımlarında 2020 sonrasında düşüş olacağı öngörülebilmektedir. Bunun yanında hali hazırda çatı ve yan yüzey uygulamaları konusundaki yatırım maliyetleri, prosedür süreçlerinin uzunluğu, mahsuplaşma düzenlemeleri konularda güneş enerjisinin yaygın bir şekilde kullanılmasını belirleyecektir. Mahsuplaşma⁷ işlemi, gece GES'lerde üretim olmayacağı için ve gündüz üretilen fazla elektriğin sisteme verilebilmesi açısından büyük bir önem taşımaktadır.

⁷ Belirli bir zaman dilimi içinde gerçekleşen, üretim ve tüketimin birbirinden düşülmesi sonucu KW/h cinsinden net üretim veya net tüketim değerinin bulunması.

Bununla birlikte ışınım şiddeti sebebiyle çok fazla ısınan güneş panellerinde verim düşmesi nedeniyle son yıllarda yüzer PV' lere olan talepte artış vardır. Örneğin açık arazide kurulu bir GES'ten elde edilecek verim, yüzer GES'lere göre %11 düzeyinde daha düşük olmaktadır (Choi, 2014: 75). Çünkü su üzerinde yer alan paneller serin kaldığı için verimi yükselmektedir. Böylelikle yüzer GES'ler daha uzun bir performans ömrüne sahip olmaktadır. Ayrıca yüzer GES'ler su kaynaklarının buharlaşmasını da azaltmakta, su kaynaklarından maksimum fayda sağlanmasına katkı sunmaktadır. Ancak yüzer PV' lerin yapımında panel ve diğer aksamın korozyona karşı dayanıklı ürünlerden imal edilmesi gerekmektedir. Bu anlamda Türkiye'nin yerli ve milli teknoloji üretimi ile birlikte güneş enerjisinde arazi, çatı ve yan yüzey uygulamalarının yanında yüzer PV uygulamaları da değerlendirilebilir.

EPDK verilerine göre Karabük ili elektrik istatistikleri şöyledir; il toplam kurulu gücü 162 MW düzeyindedir. İl toplam elektrik üretimi 65.690 MW/h tüketimi ise 53.813 MW/h'dir. Tüketimin %40'tan fazlası sanayi sektöründe gerçekleşmektedir⁸. Buna göre Karabük ilinde tüketimin önemli bir bölümü demir çelik sektöründen kaynaklanmaktadır. Karabük ilindeki GES (arazi ve çatı/yan yüzey uygulamaları) kurulu gücü ise 12,67 MW' dir. EPDK verilerine göre söz konusu GES'lerin yıllık üretimi 523,15 MW/h'dir. İl genelindeki santral tipleri ve üretim değerleri incelendiğinde öne çıkan santral tiplerinin termik ve hidrolik santraller olduğu görülmektedir. İl toplam kurulu gücü içinde bu santrallerin toplam payı %92 düzeyinde iken GES'lerin payı %8 düzeyindedir. HES+GES'lerin toplam kurulu güç içindeki payı ise yaklaşık %60'tır (EPDK, 2019). Ayrıca Karabük iline 30 MW gücünde RES yatırımı için de EPDK tarafından ön lisans verilmiştir. Bu RES yatırımı Karabük'ün Yenice ilçesine yapılacaktır. Buna göre rasyonel ve enerji teknolojileri üretimine dönük enerji politikalarıyla gerek Karabük yerelinde gerek ulusal ölçekte yenilenebilir enerji potansiyelinin daha fazla değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Bunun yanında Karabük ilinin nüfus artışı ve kentleşme gibi sebeplerle önümüzdeki yıllarda enerji talebinde artış olacağı görülmektedir. Bu doğrultuda yerinde üretim ve dağıtık üretime yönelmek enerjinin verimli yönetilmesine katkı sağlayabilir (Şevik, 2017: 84). Diğer taraftan Karabük il genelinde sıcak su elde etmek amacıyla genellikle çatılarda olmak üzere düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörleri de kullanılmaktadır.

Karabük ilinde GES uygulamaları 2015 yılında AVM çatı uygulaması şeklinde başlamıştır. Son teşvik düzenlemesine göre Karabük iline GES yatırımı teşviki verilmemiştir. Ayrıca 2019 yılında uygulamaya konulan yönetmelik gereği özel sektör için arazi GES'leri yatırımı da söz konusu değildir. Bu durumu ortaya çıkaran en önemli sebeplerden biri, seri kurulum sürecine sahip olan GES'lere verilen alım teşvik maliyetlerinin devlet açısından sürekli yükselmesi ve GES'lerin dalgalı üretime sahip olması nedeniyle elektrik dağıtımında güç kalitesinde sorunlar oluşturmalarıdır. GES'lerin alçak gerilimden verilmesi nedeniyle kayıplar ve arıza ihtimalleri yükselmektedir. Buna göre elektrik iletim ve dağıtım sistemlerimizde ulusal ve yerel altyapının güçlü olması kaçınılmazdır. Çünkü bu durum politikaların seyrinde son derece belirleyicidir.

Karabük ili açısından milli enerji politikaları kapsamında iki durum ortaya çıkmaktadır. İki durumda da çatı ve yan yüzey GES uygulamaları yerel ölçekte rasyonel seçenek olarak görünmektedir. İlk olarak mevzuat, teşvik düzenlemesi, elektrik iletim ve dağıtım altyapısı ile Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli değerlendirildiğinde Karabük ili açısından çatı ve yan yüzey GES uygulamaları öne çıkmaktadır. Yani çatı ve yan yüzey GES uygulamaları arazi GES'lerine göre hali hazırda daha avantajlı ve uygulanabilir görünmektedir. İkinci olarak küresel ve milli enerji politikaları bağlamında değerlendirildiğinde *dağıtık enerji sistemi*, Karabük ili için uygun görünmektedir. Santralden ziyade *yerinde güç üretmek* için kullanılan bir enerji üretim yolu olan dağıtık üretim, iletim ve dağıtım ile ilişkili maliyet, karmaşıklık, bağımlılık ve verimsizlikleri ortadan kaldırır. İletim ve dağıtım hatlarındaki elektrik kayıplarını azaltabilir (Kojen Türk, 2010). Buna göre GES'ler dağıtık enerji sistemi açısından son derece önemli bir role sahiptir. İletim altyapısı da düşünüldüğünde Karabük ili için mevcut durumda arazi GES'leri yerine yine çatı ve yan yüzey GES uygulamaları doğru olacaktır. Bunun yanında Karabük şehrinde demir çelik fabrikasının yakın sahaları güneş panellerinin, demir tozundan ve kirliliğe sebep olan partiküllerden etkilenmesi nedeniyle arazi ile çatı ve yan yüzey GES yatırımları için uygun değildir. Karabük ilinde bahsi edilen yer seçim kriterleri ve mevcut GES'lerin konumları esas alındığında arazi GES'leri açısından en uygun alanların Eskipazar, Ovacık ilçeleri ile Karabük merkez ilçesinin kuzey kesimi ve Safranbolu ilçesinin kuzeybatı bölümü olduğu görülmektedir. Ancak yerel ölçekte daha fazla GES yatırımının gerçekleşmesinde yerli ve milli teknoloji, son derece hayati bir role sahiptir. Aksi halde ilk yatırım maliyetleri ve yatırımın geriye dönüşünün 5 ilâ 10 yıl gibi uzun bir zaman alması nedeniyle milli hedefler başarıya ulaşamayacaktır. Dolayısıyla enerji teknolojilerinde kat edilen mesafe, Türkiye enerji politikalarının seyrini ve yereldeki yenilenebilir potansiyelin harekete geçirilmesinde belirleyicidir. Bu anlamda Türkiye için öncelikli hedef enerji teknolojilerini geliştirmek olmalıdır. Bu sayede Türkiye, yenilenebilir enerji potansiyelini entegre uygulamaları (aynı sahada GES+RES+HES uygulamalarının birlikte kullanılması) da devreye alarak mevcut durumdan çok daha ileri seviyede kullanabilecek ve teknolojiye bağımlılık sorununu çözmüş olacaktır.

⁸ EPDK verilerine göre diğer tüketim alanları sırasıyla; ticarethane (%27), mesken (%25), aydınlatma (%5) şeklindedir (EPDK, 2020).

To Cite This Article: Oral, M. (2020). Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 482-503.

Submitted: May 27, 2020

Revised: June 16, 2020

Accepted: June 28, 2020

EXTENDED ABSTRACT

SOLAR ENERGY POTENTIAL OF TURKEY AND EVALUATION OF PV⁹ APPLICATIONS IN LOCAL SCALE: CASE OF KARABÜK PROVINCE

INTRODUCTION

Solar energy receives significant investments every year and stands out as the fastest growing resource among renewable energy sources. Accordingly, the sun, which is the closest star to the world, is a medium-sized star in the solar system. According to various calculations, one billionth or two billionth of the energy that the sun radiates around reaches the world. Despite this, it is a huge energy source for the world. Solar energy comes out as a result of fusion reaction / reactions (core fusion). With these fusion reactions in the sun, hydrogen nuclei turn into helium nuclei, and during this time a huge radiation energy is released. The temperature on the surface of Sun which is approximately 150 million away (varies during day and afternoon periods) from the Earth, is 5500 °C and reaches 15,6 million °C at the centre. While the diameter of the sun corresponds to 109 times the diameter of the world, its volume is equal to 1.3 million times of the world. While the earth's rotational speed around its axis is 1670 km / h, the rotational speed around the sun is 108 thousand km / h. The rotational speed of the sun around its own axis is 66 thousand km per hour (Live Science, 2016; Universe Today, 2016; Solar System Scope, 2018; Howell, 2018; NASA, 2019; The Nine Planets, 2020).

According to the data of General Directorate of Energy Affairs (EİGM), not all of the sun's rays can reach the earth. Only 50% of the sun's rays reach the world. Up to 30% is reflected back by the atmosphere. With this energy, the temperature of the world rises and life on earth becomes possible. This warming also causes wind movements and ocean fluctuations other than tsunami or waves caused by seismic. 20% of the radiation from the sun is kept in the atmosphere and clouds (EİGM, 2018). According to the data of the Ministry of Energy and Natural Resources (ETKB), one-day energy from the sun corresponds to 20 thousand times the energy used in the world in a year. It is claimed that the total annual solar radiation coming to 20 million km² desert areas is four hundred times the energy consumed today (Tümertekin and Özgüç, 2007: 384). Solar energy falling on the earth's surface was measured as 1000 Wp / m² at 25 °C on a clear cloudless day with the sun at the top¹⁰ (Eldem, 2017: 8). Although the enormous energy reaches the earth from the sun on a daily and annual basis, the part of this energy that can be evaluated economically does not constitute a high rate as it is supposed to be. In addition, solar energy is not distributed equally to all regions of the earth. The geographical features such as the arrival angles of sun rays and the duration of illumination, the effect of the daily movement of the world on the temperature, the effects of the axis inclination and annual movement of the world on the temperature, aspect, surface shapes, location according to the sea, vegetation, and the number of cloudy days are determinant on the radiation values on the earth (Doğanay and Coşkun 2017: 260-262).

In addition, the temperature between 25 °C and 30 °C creates an efficient radiation value for the panels. A PV cell generates 0.5 voltage in laboratory conditions. By connecting 36 PV cells in series, panels providing a maximum voltage of 17 V are produced at 12 volts (V) operating voltage. The amount of current produced by the solar panel is proportional to the size of the panel. A circular PV cell with a diameter of 7 cm can produce a current of about 7 amps (A). A value between 12-15 V is accepted as the operating voltage of PV systems. The current increases as the amount of solar radiation coming on the PV cell increases. Increasing the temperature of the PV cell reduces the voltage of the system, although its current increases. Therefore, the increase in PV cell temperature has a negative effect on power, contrary to what is known (Öztürk, 2013: 145).

⁹ Photovoltaic Batteries / Solar Cells.

¹⁰ Wp = Watt Peak. Wp / m² = It refers to the maximum power produced by the panels in the surface area in m².

The history of using sun rays as an energy source is very old. Solar energy made Archimedes that burned the ships surrounding Syracuse by focusing the solar radiation in 215 BC (Altuntop and Erdemir, 2013: 70). However, in the modern sense, the first developments in this area took place in the 18th and 19th centuries. In 1767, Swiss scientist Horace de Saussure made the world's first solar collector. In 1894, Melvin Servery invented the solar cell. In 1891, Aleksandr Stoletov found the first solar cell. In 1959, Hoffman Electronics made *the first commercial solar cell* to operate at 10% efficiency. In 1967, solar cells were used in the spacecraft Soyuz 1. In 1977, US President Jimmy Carter launched the use of solar panels at the White House. Electricity generation from solar energy, which was 21 MW in the 1980s, reached around 1000 MW in 2000 (Karabulut, 2003: 137-145; DEKTMK, 2009: 9; Nexten, 2019; Elektrikport, 2012). There is a wide range of usage areas such as hot water supply of solar energy, heating and cooling of houses / buildings (absorption cooling systems), heating greenhouses, drying agricultural products, obtaining fresh water from sea water and producing electrical energy (Özdemir, 2019: 77). According to this in terms of usage class, solar energy has thermal and cooling and electricity generation applications. However, the common use of solar energy is thermal applications and electricity generation.

However, although there are CSP (Concentrated Solar Power / Concentrated Solar Energy) systems in electricity production, in terms of global electric energy production PVs are important solar energy applications. In PV production, the most used components are; silicon, silver, boron, gallium, arsenite, copper indium diselenide, cadmium telluride, optical condenser cells. These materials used in PV production are environmentally hazardous as they produce some toxic wastes when used (Montgomery, 2014: 259). This is one of the areas of discussion about the spread of PVs. As a matter of fact, since there are no regulations regarding this dirty aspect of solar energy, it has been found that especially in places where solar panels are produced in China, toxic chemicals threaten the health of people in the soil and air particles (Herkese Bilim Teknoloji, 2016).

Besides in terms of potential solar energy in Turkey, it has a high solar energy potential when it is considered as being a Midrail country and sunbathing periods although as mathematics location it remains out of the "world sun belt" field by a little difference. According to Solar Energy Potential Atlas (GEPA) data, Turkey's total annual duration of sunshine hours is 2741 m² with total annual solar energy coming from 1527 KW / h of energy production is possible (EİEİ¹¹, 2008a). In fact Turkey in Europe, about 190 TW / h ranks second after Spain with an annual potential of solar energy.

AIM

This study, which has a strong potential in terms of solar energy in Turkey aims to the evaluation process of this source of energy portfolio and analysis in solar energy applications, opportunities and risks in the context of Karabük as a local sample. A very important mission is assigned to solar energy on a global or national scale. Solar energy is seen as a liberating resource in recent energy policies. Therefore, it has been observed in the literature that disadvantages related to solar energy are ignored. In this context, research questions are designed as follows;

- Is solar energy really a complete source of energy in all its aspects?
- Is only the potential of the relevant country / location sufficient for evaluating solar energy?

METHOD

Qualitative research method was used in the study. This research is a case study. In the research, it was thought that qualified and in-depth information would be obtained from the authorities in the sector and the criterion sampling method, which is one of the purposeful sampling methods, was applied. The criterion used in the selection of the working group is to have been working as a senior official in the sector for at least five years. In this framework, with seven officials {5 power plant chiefs, 1 Electricity Distribution Provincial Manager, 1 Shopping Center Manager (for Roof SPP applications)} semi-structured interviews were carried out face to face regarding the appearance and future of solar energy on a global, national and local scale which came out as a research question as a result of the document analysis. The answers of the participants were recorded in the voice. Then, the sound recordings were deciphered and themes were created. In addition, solar power plants across the province were also photographed. Interviews were evaluated by content analysis method. Data reduction technique was used in content analysis. The questions used in data collection were created by the author after the literature review. These questions are as follows;

¹¹ The General Directorate of Electrical Affairs Survey Administration (EİEİ) was closed in 2011 and its duties and powers were transferred to the General Directorate of Renewable Energy (YEGM). The YEGM organization was closed in 2018 and was incorporated into the General Directorate of Energy Affairs (EİGM). Therefore, data related to solar energy can be accessed through the EİGM web page. EİGM is an institution located in the central organization of Ministry of Energy and Natural Resources (ETKB).

- What is the position and future of solar energy in global energy policies?
- What kind of mission is solar energy assigned within Turkey's energy policies?
- What are the reflections of national energy policies on solar energy in Karabük province?

Participants included in the study were coded with the letter "K". In addition, all SPP sites in Karabük province were also observed on location. In addition, statistics of various institutions of global and national importance have been used. In order to increase the validity of the research, long-term interview and participant confirmation methods were used. According to this, the interview times were kept as long as possible to collect the healthiest data from the interviews. Consistency review method was used to ensure the reliability of this study. In this context, a specialist who is not in the researcher group (an academician conducting studies on the subject) has been explained in detail and has been asked to evaluate the study resulting from the research as a whole and examine it for consistency. Finally, the raw data of the research and the themes produced from these raw data were shared with the same expert and thus a confirmation review method was used to ensure the reliability of the research.

RESEARCH AREA

Karabük province which is located in the western Black Sea region in the northern part of Turkey has a surface area of 4142 km². It borders Bartın in the north, Çankırı in the northeast and east, southeast, Bolu in the southwest and Zonguldak in the west. Karabük is a basin surrounded by high hills and located between Küre in the north, Ilgaz in the south and south east, and the extensions of Köroğlu Mountains and Bolu Mountains in the south West. While the altitude of the central district is 278 meters, this value rises to 500 meters in the Safranbolu district center, adjacent to the central district.

Rainfall, temperature and sunbathing time values are the most important factors determining the location of solar power plants. Therefore, the climate conditions of the relevant location directly affect the efficiency of solar panels. In this sense, the number of snowy and frosty days seen in the winter season and the drought experienced in the summer season show that Karabük province has a transition feature between the Black Sea climate belt and the Central Anatolia continental climate belt (Özdemir, 2006: 36). While the average annual precipitation value of the city of Karabük is 490 mm, the average annual temperature value is 13.4 °C.

FINDINGS

As a result of the content analysis, the findings of the research were collected under three themes. These are; (1) The future of solar energy in global energy portfolio (2) The advantages, disadvantages and future of solar energy in terms of Turkey and the advantages of Karabük province in terms of SPP, (3) disadvantages and SPP applications in Karabük province.

The Future of Solar Energy in Global Energy Portfolio

Since solar energy is an abundant and unlimited resource, it is an energy source that is considered important by all countries. After the oil crises, the trend towards renewable energy sources increased on a global basis. The installed power amounts of renewable energy sources other than hydraulic energy and their share in electrical energy production increased in the 80s and 90s. As solar energy is considered, a significant increase has been recorded after 2007. The trend towards renewable energy sources all over the world and increasing investments in this direction are of great importance in terms of transition to a carbonless future. When the investment in renewable resources other than hydraulic energy has increased on a global scale, it is seen that an investment of approximately 3 trillion dollars has been realized on the basis of the period of 2004-2018. Considering that China made a third of these investments, it is seen that it is the leading country. Although China's economic growth increases coal consumption, China is making a remarkable effort in transition to renewable energies. China was the country that invested the most in solar energy and increased its installed power. It is also one of the leading countries in the PV technologies of the Chinese solar energy market, along with the USA, Germany, Taiwan, Japan and South Korea. However, according to REN21 data, the countries that increased the installed solar power the most after China in the period 2008-2018 were the USA, Japan, Germany and India, respectively (REN21, 2019). It is seen that countries have set various targets for the use of renewable resources in various and higher rates according to their national action plans. One of the largest energy consumption geographies in the world, the EU that has targets of 20-20-20 (20% decrease in greenhouse gas emissions, 20% increase in energy efficiency and increase the share of renewable energies in EU energy consumption to at least 20%) revises it as 27-27-27. For example, in line with the new energy strategy of England, thermal power plants were stopped over 2500 hours in 2019. The reason for this stop is not

a malfunction, it is the purpose of disabling fossil origin by generating electricity from renewable sources. They plan to minimize the use of fossil resources by hybridizing renewable systems (by developing integrated systems to minimize disadvantages) instead of conventional resources. When evaluated in terms of solar energy, it is obvious that this energy source offers a great opportunity for the future. However, the use of this opportunity depends on the development of storage technologies and the increase in panel efficiency and life. Therefore, the development trend of solar energy technologies will also determine the possibilities of making more use of solar energy. Currently, solar energy alone does not have a market and application that can determine global energy policies.

The Advantages, Disadvantages and the Future of Solar Energy in Terms of Turkey

Sunshine duration in Turkey offers a great opportunity to benefit from solar energy. Turkey's geographical regions vary based on the potential of solar energy. The sunbathing times of the regions are as follows; Southeast Anatolia Region 2993 hours / year, Mediterranean Region 2956 hours / year, Aegean Region 2738 hours / year, Eastern Anatolia Region 2664 hours / year, Central Anatolia Region 2628 hours / year, Marmara Region 2409 hours / year, Black Sea Region 1971 hours / year of sunshine. The average annual sunshine time of 2640 hours Turkey (7.2 hours per day total), average total solar radiation is 1311 kWh / m²-year and the total daily 3.6 kWh / m² (EIGM GEPA, 2008a). These results (kWh / m²) are handled over the KW / h value per m² regardless of the terrain conditions. Thus, the radiation values are the values that get direct rays from the sun Turkey (Direct Normal Irradiation). Considering the PV potential, it is seen that when the solar energy potential of the region is excluded from forests and high slope areas, and the areas where the PVs can operate efficiently, similar to the direct irradiation values, the southern sections of the 40th parallel are suitable for PVs and the south of the 38th parallel are very suitable areas. *However, besides the potential, issues such as national energy policies, government incentives, relevant legal legislation, technological qualifications, investment and operating costs, and the choice of location in line with various criteria are determinant in SPP investments.* Therefore, energy investments are so different investments that they cannot be addressed only in their potential context.

It was stated that it is no longer possible for private investors to establish land PVs in accordance with the legislation put into effect in 2019. This situation is easy for the SPP to be the most important reason for the emergence of the circuit on the basis of installed power in Turkey is examined since 2014 seems to be the fastest growing energy source. Investment and electricity purchase incentives seem to be the main determinant in increasing this installed power. Therefore, the electricity purchase incentives of the state have started to constitute a large financial expense and therefore the installation of land PVs by private entrepreneurs has been terminated. Now SPP investments will be realized as roof and side surface applications for private entrepreneurs. Also, in Energy Market Regulatory Authority (EPDK) incentive implementation, after 2020, it will switch from dollar / cent to TL. This can be expressed in terms of solar energy in the near term will be a decisive source of Turkey's energy policy. Besides solar energy, nuclear and hydroelectric power plants are also very important in Turkey's energy policy. Therefore to host a high potential of solar energy is not the only reason enough for Turkey. Also, since solar energy has an intermittent generation, there must be base power plants in the energy portfolio that can produce 24/7. Accordingly, Turkey is not only directed to solar energy in its energy policy in spite of the high potential of solar energy.

Advantages, Disadvantages and SPP Applications of Karabük Province in Terms of SPP

One of the cities that draw attention in terms of solar energy investments in recent years, Karabük province has a remarkable potential depending on the latitude factor, although Turkey contains a lower solar energy potential according to the central and southern parts. Karabük province, where there are currently seven SPP investments, offers a remarkable opportunity both for land SPP and roof and side surface applications. According to the data of EIGM GEPA, while the sunbathing time of Karabük province is 2402 hours annually, it is possible to generate 1369 KW / h energy per year with the radiation value per m² (EIGM GEPA, 2008b).

When evaluated in terms of legislation, Karabük province is not in an advantageous situation in terms of SPP investments. According to this, although the field does not have a high potential in terms of PVs, it is possible to utilize solar energy in Karabük province with roof applications. However, SPP is not yet common practice in the roof in Turkey. Although regulations have been made in this regard, the high initial investment costs are the biggest obstacle to using this opportunity. According to the latest incentive regulation, the province of Karabük is not one of the provinces where incentives are given for SPP investments. The realization of SPP investment in any field does not only depend on its radiation ability. The scope of the articles specified in the relevant legislation is very determinant in realizing energy investments. In addition, the density ratios of transformer capacities in other words transmission and distribution infrastructure are also a determining factor in investments.

The operation of the iron and steel industry in the city of Karabük creates problems for the SPPs. Accordingly, since iron dust damages PVs, it is not possible to install SPP in areas close to iron-steel and rolling mills in Karabük. The efficiency of PVs does not only depend on the angle value that will achieve maximum radiation and their protection from shading each other. Considering the efficiency, maintenance period and service life of PVs, even if the irradiation values are sufficient for SPP installation, a field outside the area of influence of the flue gases, smoke, sulfur dioxide, carbon and nitrogen oxides and tar compounds emitted by the heavy industry should be determined for location selection.

When the investments in Karabük province are analyzed, it is seen that various SPP investments were made due to the investment incentives given in 2017 and 2019. Especially Safranbolu district attracts attention in land PV and roof / side surface PV investments. In addition to these investments, Karabük University has also made a SPP investment for self-consumption with its corporate venture and investment.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Solar energy is now an important part of global energy policies. According to the IRENA ReMap scenario, the share of solar energy in electricity generation is predicted to be 13% in 2030 and 25% in 2050 (IRENA, 2019b: 10). However, the probability of realizing this 26% rate seems to be quite low. Because, besides the advantages of solar energy and its widespread use every year, has also some disadvantages. Since solar energy is an intermittent source and there is no base load, low efficiency of PV systems, environmental problems created in the production of PVs, storage possibilities are limited and the lifetime of the panels is still below expectations (average 20 years, other equipment is around 10 years) stands out as an investment problem. Accordingly, it may seem like an alchemy event when PVs convert the shining sunlight into electricity. However, given the dimensions of the world's electrical energy system and the current cost of solar energy, there is no trace of their magic. Even Paul Maycock, who has worked in the industry for many years, stated that it is very worrying that people believe PVs are the only option, not just one of the green options (Yergin, 2011: 187-188).

When Turkey is examined in particular, it is seen that solar energy installed power has reached a 7% share of total installed capacity. In this way, Turkey ranks 12th in the world rankings. Solar energy is seen as a great opportunity for Turkey. However, in the frame of high levels of initial investment cost of solar energy, technological dependence on equipment, limiting the investment and recruitment incentives and the regulations in 2019 as "*production facilities based on solar energy, but the roof and front (side surface) can be performed as an application*" clause in Turkey's energy policy, it can be predicted that there will be a decrease in private sector investments for land PVs after 2020. In addition to this, the investment costs, the length of the procedures, the offsetting arrangements on roof and side surface applications will determine the widespread use of solar energy in the residences. The process of offsetting¹² is of great importance, as there will be no production at night SPPs and the excess electricity generated during the day can be supplied to the system.

However, there has been an increase in the demand for floating PVs in recent years due to the decrease in efficiency in solar panels, which have become very hot due to the radiation intensity. For example, the performance to be obtained from a SPP installed in open land is 11% lower than floating SPP (Choi, 2014: 75). Because the panels on the water remain cool, its efficiency increases. Thus, floating SPPs have a longer performance life. In addition, floating SPPs reduce evaporation of water resources and contribute to obtaining maximum benefit from water resources.

SPP applications in Karabük province started in 2015 as a shopping mall roof application. According to the latest incentive arrangement, no SPP investment incentives were given to Karabük province. In addition, according to the regulation put into effect in 2019, there is no investment in land SPPs for the private sector. One of the most important reasons that reveal this situation is that the incentive costs given to the SPP, which have a serial installation process, are constantly rising in terms of the state and the power generation issues in electricity distribution due to the fluctuating generation of the SPP. Losses and probability of malfunction increase due to SPP given from low voltage. Accordingly, it is inevitable that the national and local infrastructure is strong in electricity transmission and distribution systems. Because this situation is extremely determinant in the course of policies.

In terms of Karabük province, two situations arise within the scope of national energy policies. In both cases, roof and side surface SPP applications appear to be a rational option on a local scale. First, legislation, incentive arrangement, when the electric power transmission and distribution infrastructure with Turkey's solar energy potential assessed in terms of Karabük province, roof and side surfaces of SPP applications stand out. In other words, roof and side surface SPP

¹² Finding net generation or net consumption value in KW / h as a result of decreasing generation and consumption, which takes place within a certain time period.

applications seem to be more advantageous and feasible than land SPPs. Secondly, when evaluated in the context of global and national energy policies, *the distributed energy system* seems appropriate for the province of Karabük. It eliminates the costs, complexity, dependency and inefficiencies associated with distributed generation, transmission and distribution, which is an energy generation way used to *generate on-site power* rather than power plants. It can reduce electricity losses in transmission and distribution lines (Kojen Türk, 2010). Accordingly, SPPs play an extremely important role in the distributed energy system. Considering the transmission infrastructure, for Karabük province roof and side surface SPP applications will be correct instead of land SPP. In addition, the nearby areas of the iron and steel factory in the city of Karabük are not suitable for land and roof and side surface SPP investments, as solar panels are affected by iron dust and polluting particles. Based on the location selection criteria and the locations of the existing SPP in Karabük province, it is seen that the most suitable areas in terms of land SPP are Eskipazar, Ovacık districts and the northern part of Karabük central district and the northwest part of Safranbolu district. However, domestic and national technology plays a vital role in realizing more SPP investments on a local scale. Otherwise, the national targets will not be successful due to the initial investment costs and the return of the investment takes 5 to 10 years. Therefore, the distance in energy technologies, energy policy and the course of Turkey is decisive in mobilizing the potential of local renewable. In this sense, the primary goal should be to develop energy technologies for Turkey.

In this way, Turkey, the renewable energy potential of the integrated applications (the use of SPP+WEPP¹³+HPP¹⁴ applications together in the same field) that could be used in a more advanced level than the current situation by commissioning and will have solved the problem of addiction to technology.

Kaynakça / References

- Altuntop, N. & Erdemir, N. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi İle İlgili Gelişmeler. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 69-77.
- BloombergNEF (2020). New Energy Outlook. 15 Şubat 2020 tarihinde <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/#toc-download>, adresinden edinilmiştir.
- British Petroleum (BP) (2019). Statistical Review of World Energy – all data, 1965-2018. 14 Şubat 2020 tarihinde <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, adresinden edinilmiştir.
- Choi, Y.K. (2014). A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 8(1), 75-84.
- Doğanay, H. & Coşkun, O. (2017). *Enerji Kaynakları*. Ankara: Pegem Akademi.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEKTMK) (2009) *Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi*. Ankara: DEKTMK Yayını.
- Eldem, M. (2017). Güneş Enerjisi. *TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni*, 1-10.
- Elektrikport (2012). Güneş Enerjisi Uygulamalarının Tarihçesi. 11 Şubat 2020 tarihinde <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-enerjisi-uygulamalarinin-tarihcesi-infografik/17103#ad-image-0>, adresinden edinilmiştir.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2019) *Elektrik Piyasası Sektör Raporu*. Ankara: EPDK Yayını.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) (2020) *Elektrik Piyasası Sektör Raporu*. Ankara: EPDK Yayını.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2019). Elektrik. 09 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.enerji.gov.tr/elektrik>, adresinden edinilmiştir.
- Enerji Atlası (2018). Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi. 10 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/gunes>, adresinden edinilmiştir.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) (2008a). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). 02 Mart 2020 tarihinde <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>, adresinden edinilmiştir.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) (2008b). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). 02 Mart 2020 tarihinde <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/78.aspx>, adresinden edinilmiştir.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) (2018). Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. 11 Şubat 2020 tarihinde http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, adresinden edinilmiştir.
- Gül, A., Karakoç, A. & Rehimbeyli, S. (2017) *Mekânsal Planlama Alan Kullanım Kararlarında Güneş Enerji Santrallerinin Yer Seçimi Kriterleri*. 5th *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES) Kongresi Bildiriler Kitabı* içinde (s.895-904), Bakü.
- Güneş Enerjisi Yatırımcıları Derneği (GÜYAD) (2020). Ülkemizde Güneş Enerjisinin Üretilen Toplam Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı. 30 Mayıs 2020 tarihinde <http://www.guyad.org/TR,460/ulkemizde-gunes-enerjisinin-uretilen-toplam-elektrik-en-.html>, adresinden edinilmiştir.
- Hacısalihoğlu, İ.Y. (1995) *Şehir Coğrafyası Açısından Safranbolu-Karabük İkilemi*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Beşerî ve İktisadi Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul) <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>, adresinden edinilmiştir.

¹³ Wind Energy Power Plant.

¹⁴ Hydro Power Plant.

- Hausfather, Z. (2018). Global Emissions. 30 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.carbonbrief.org/analysis-fossil-fuel-emissions-in-2018-increasing-at-fastest-rate-for-seven-years>, adresinden edinilmiştir.
- Herkese Bilim Teknoloji (2016). Güneş Enerjisi Panellerinin Çevreye Verdiği Zararlar Tartışılıyor. 05 Haziran 2020 tarihinde <https://www.herkesebilimteknoloji.com/haberler/surdurulebilirlik/gunes-enerjisi-panellerinin-cevreye-verdigi-zararlar-tartisiliyor>, adresinden edinilmiştir.
- Howell, E. (2018) How Fast Is Earth Moving? 25 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.space.com/33527-how-fast-is-earth-moving.html>, adresinden edinilmiştir.
- Hürriyet Gazetesi (2019). İlk Yerli Güneş Paneli Üretimine 2020'de Başlanacak. 12 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/ilk-yerli-gunes-paneli-uretimine-2020de-baslanacak-41359771>, adresinden edinilmiştir.
- International Energy Agency (IEA) (2019). World Energy Outlook. 30 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019/renewables>, adresinden edinilmiştir.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2019a) *Renewable Capacity Statistics*. Masdar City, Abu Dhabi, UAE: IRENA Publication.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2019b) *Future Of Solar Photovoltaic*. Masdar City, Abu Dhabi, UAE: IRENA Publication.
- Karabulut, Y. (2003). *Enerji Kaynakları*. Ankara: Hilmi Usta Matbaacılık.
- Karabük Üniversitesi (KBÜ) Külliye Gazetesi (2019). KBÜ Kendi Elektrikliğini Güneş Panelleri İle Üretiyor. 19 Mayıs 2020 tarihinde <https://kulliye.karabuk.edu.tr/kbu-kendi-elektrigini-gunes-panelleri-ile-uretiyor/>, adresinden edinilmiştir.
- Karabük Belediyesi (2020). Karabük'ün Konumu. 29 Şubat 2020 tarihinde https://www.karabuk.bel.tr/icerik.asp?i_id=39, adresinden edinilmiştir.
- Kum, G., Sönmez, M.E. & Karabaş, M. (2019). Gaziantep İlinde Güneş Enerjisi Potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) İle Belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 39, 61-72.
- Live Science (2016) Does the Sun Rotate? 25 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.livescience.com/32894-does-the-sun-rotate.html>, adresinden edinilmiştir.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2020). Resmi İstatistikler-Karabük. 02 Mart 2020 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KARABUK>, adresinden edinilmiştir.
- Montgomery, S.L. (2014). *Küresel Enerjiye Yön Veren Güçler*. (Çev. E.G. Şenol). Ankara: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Yayını.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2019) Our Sun. 25 Mayıs 2020 tarihinde <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/in-depth/>, adresinden edinilmiştir.
- Nexten (2019). Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihsel Gelişimi. 11 Şubat 2020 tarihinde <https://nexten.com.tr/tr/gunes-enerjisi-tarihi/>, adresinden edinilmiştir.
- Oral, M. (2017) *Enerji Coğrafyası Perspektifinde Türkiye'nin Enerji Politikaları*, (Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük). <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>, adresinden edinilmiştir.
- Özdemir, Ü. (2006). *Sosyal ve Ekonomik Yönden Az Gelişmiş Bir İlçe: Eskipazar*. İstanbul: Aktif Yayınevi.
- Özdemir, Ü. (2019). Enerji Kaynakları. Doğanay, H., Özdemir, Ü. & Şahin, İ.F. (Ed.) *Genel Beşeri ve Ekonomik Coğrafya* içinde (s. 285-287). Ankara: Pegem Akademi.
- Öztürk, H.H. (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2019) *Global Status Report*, REN21 Publication, Paris, France.
- Solar System Scope (2018) Orbital And Rotational Characteristics Of Our Planet Earth. 25 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.solarsystemscope.com/spacepedia/earth/orbital-and-rotational-characteristics-of-earth>, adresinden edinilmiştir.
- SOLARGIS (2019). Solar Resource Maps Of World. 17 Şubat 2020 tarihinde <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>, adresinden edinilmiştir.
- Şenlik, İ. (2017). Güneş Enerji Santrallerinin Yer Seçimi. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 462, 94-98.
- Şevik, S. (2017). İl Bazında Enerji Dengesi Analizi: Karabük Örneği. *Fen Bilimleri Dergisi*, 5(4), 71-85.
- The Nine Planets (2020) The Sun Facts. 25 Mayıs 2020 tarihinde <https://nineplanets.org/the-sun/>, adresinden edinilmiştir.
- Tümertekin, E. & Özgüç, N. (2007). *Ekonomik Coğrafya: Küreselleşme ve Kalkınma*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) (2018). Elektrik İstatistikleri. 10 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, adresinden edinilmiştir.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) (2019). Türkiye Brüt Elektrik Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Aylık Dağılımı. 20 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>, adresinden edinilmiştir.
- Türkiye Kojenerasyon Derneği (Kojen Türk) (2010). Dağıtık Üretim Nedir? 12 Mayıs 2020 tarihinde <http://kojenturk.org/tr/dagitik-uretim-nedir-25>, adresinden edinilmiştir.
- Universe Today (2016) What is the Rotation of the Earth? 25 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.universetoday.com/47181/earths-rotation/>, adresinden edinilmiştir.
- Yergin, D. (2014). *Enerjinin Geleceği (İklim Değişikliği, Yeni Enerjiler, Geleceğin Dünyası)*. (Çev. Ü. Şensoy). İstanbul: Optimist Yayınları.
- Yeşil, H. (2017). Enerjide Bağımlılık Kader Değildir. 27 Şubat 2020 tarihinde http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=118559&ti_pi=2&sube=, adresinden edinilmiştir.