
Derleme / Review Article

Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi

Mehmet Sait CENGİZ^{*1}, Mehmet Salih MAMIŞ²

¹*Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye*

²*Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye*

Özet

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji önemli bir sorundur. Ülkemiz fosil enerji kaynakları bakımından yetersiz rezervlere sahip olduğundan enerjide dışa bağımlıdır. Ancak güneş enerjisi (GE) açısından ülkemiz zengin kaynaklara sahiptir. Avrupa Birliği (AB) ülkeleri, tüketicileri için güneşten elektrik enerjisi üretiminde bilinçlendirme çalışmaları yaparak teşvikler aracılığıyla GE kullanımını yaygınlaştırmaya çalışmaktadır. Ülkemizde ise bilinçlendirme ve teşvik çalışmalarına gerektiği kadar önem verilmemektedir. Bu çalışmada ülkemiz ve Dünya ülkelerinin GE potansiyeli karşılaştırılarak kısa vadede yapılabilecek GE yatırımları, kamu tarafından verilebilecek teşvikler ve ekonomik anlamda ülkeye sağlayacağı katkılar incelenmiştir. Avrupa'da son 10 yılda CSP sistemleriyle ısı kaynaklı GE'den faydalanarak atılım yapan ve bu alanda Dünya 4.'sü olan İspanya örneğinin Türkiye için model olabileceğine dair değerlendirmelere yer verilmiştir. Sonuç olarak CSP sistemlerinden bireysel elektrik enerjisi üretimi ve kullanımına uygun olan Stirling Motorlu Güneş Takip Sistemlerinin (SMGTS) ülkemizde yaygınlaştırılmasının gerekliliğine dair analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konsantre güneş enerji sistemleri, termal güneş enerjisi, güneş potansiyeli

Thermal Solar Energy Use and Efficiency Analysis of CSP Systems

Abstract

Energy is an important problem in Turkey as well as the whole world. Since Turkey has insufficient sources in terms of fossil energy sources, it is dependent on foreign. However, Turkey has rich resources in terms of solar energy (SE). The European Union countries (EU) try to generalize solar energy through promotions performing studies for raising awareness for generation of electricity from the sun. In Turkey, required importance is not given to the studies to raise the awareness and promotions. In this study, the SE investments that will be made in the long turn, the promotions that can be given by the public and the economic contributions made to the country are examined by comparing the SE potential of the world countries. Assessments on the fact that Spain, as a sample, which has made a move benefitting from heat source SE with CSP systems in the last decade and which ranks the 4th in this field in the world can be a model for Turkey is included. As a result, analysis and assessments have been made on that Stirling Engine Solar Tracking Systems that are appropriate for using and generating electricity individually among CSP systems should be generalized in Turkey.

Keywords: Concentrated solar power systems, solar thermal, solar potential

1. Giriş

Dünya'da sürekli artan enerji talebi ve buna paralel olarak mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmesi dünya ülkelerini yeni enerji kaynakları bulmaya zorlamıştır. Dünya Enerji Forumu'nun tahminlerine göre; fosil enerji kaynaklı petrol, kömür ve doğalgaz rezervlerinin günümüzdeki yöntemlerle kullanılması halinde önümüzdeki yüzyıl içerisinde bu yakıtlar tükenmiş olacaktır. Yine fosil enerji kaynaklı bu yakıtların tüketimi ile zehirli gazların salınımı atmosferde olumsuz etkilere sebep

* Sorumlu Yazar: msaitcengiz@gmail.com

Geliş Tarihi: 09.06.2015, Kabul Tarihi: 11.03.2016

olmaktadır. Bu etkiler uzun vadede de küresel ısınmaya neden oldukları gibi havanın kirlenmesine, asit yağmurlarının oluşmasına, ozon tabakasının delinmesine, ormanların yok olmasına sebep olmaktadır. CO2 salınımı 2002 yılında 2.6 milyar ton iken 2030 yılında, yıllık bu miktarın 6.8 milyar tona ulaşacağı tahmin edilmektedir [1, 2].

Bu etkilerin önlenmesi için enerji verimliliğinin geliştirilmesi zorunluluk haline gelmiştir [3]. Bu doğrultuda fosil enerji kaynaklı yakıt tüketiminin azaltılması ve çevre dostu enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasına yönelik önlemler alınmalıdır. Dünya’da, 2004 yılında elektrik enerjisi üretimi 17,450 TWh iken, 2030 yılında bu üretimin 31,657 TWh’e ulaşacağı düşünülmektedir. Bunun anlamı enerji talebinin karşılanması için binlerce yeni güç santralının yapılmasıdır [4]. Bu nedenle, ülkeler YEK temelli enerji üretimini desteklemeli ve bu kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi yaygınlaştırılmalıdır. Türkiye’nin temel enerji kaynakları fosil bazlıdır [2]. Ülkemizin elektrik enerjisi üretimi, tüm enerji ihtiyacımızın 2009 yılında %52’si ne karşılık gelirken sadece 5 yıl sonra gelişen sanayi potansiyeliyle 2014 yılında yerli kaynaklardan üretilen enerji %29’a gerilemiştir. Fosil kaynaklar açısından rezervleri az olan ülkemiz elektrik enerjisi üretimi için doğalgaz, petrol ve kömür ithali yapmaktadır.

Günümüzde alternatif enerji kaynakları içinde elektrik enerjisi üretiminde en fazla kullanılan yöntem güneşten fotovoltaik (FV) paneller aracılığıyla yapılan üretimdir. FV panellerin üretim maliyetlerindeki düşüş ve güneşin elektrik enerjisi üretiminde temiz bir enerji kaynağı olmasından dolayı son yıllarda güneşten üretilen enerji miktarlarında önemli artışlar görülmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi güneş pilleri ya da FV piller olarak adlandırılan yarıiletken maddeler ile sağlanmaktadır. Güneş ışınlarının, güneş paneline gelmesiyle güneş pilindeki yarıiletkenler sayesinde elektron alışverişi sonucu elektrik akımı üretilir. Bu paneller belli bir aralıktaki dalga boyunda bulunan ışınları, elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Diğer dalga boylarındaki ışınlar ise güneş panelini oluşturan parçalar tarafından emilerek ısıya dönüştürülmekte ya da yansıtılmaktadır. Şekil 1’de güneşten FV panel ile elektrik enerjisi üretiminin gösterilmektedir.



Şekil 1. Güneşten FV panel ile elektrik enerjisi üretimi

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanılarak üretilir. Bu alanda en çok kullanılan yarı iletken maddeler; kristal silisyum, amorf silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellürid, bakır indiyum diseleniddir. Doğada en çok bulunan silisyum, endüstride en fazla kullanılanıdır. Güneş pilleri; uzun ömürlü, dayanıklı, çevre kirliliği oluşturmayan çok az bakım isteyen yarıiletken ürünlerdir. Modüler yapıda olup, güneş pilleri birbirlerine seri ve paralel bağlanabilirler [2].

Güneş panellerinden %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisi üretimi yapılır. Günümüzde güneş pillerinde verim artışı için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler kısaca; MPPT

(Maksimum Güç Takibi) yöntemi ile maksimum güç noktasının izlenmesi, güneş takip sistemi ile güneşin doğuş ve batış saatleri baz alınarak güneşin izlenmesi gibi yöntemlerdir.

Günümüzde FV sistemler daha düşük maliyet ve çok daha yüksek verimle çalışabilmektedir [5, 6]. İlk kullanılan FV sistemlerde %1-%2 oranında verim ile elektrik elde edilirken, günümüzde bu oran amorf hücreler için %17, tek kristalli hücreler için ise %25 seviyelerindedir. FV hücrelerinin maliyeti 1970'li yıllarda yaklaşık 200 \$/Watt iken günümüzde 1 \$/Watt seviyelerine gerilemiştir. Daha önce küçük pil hücrelerinin birleşmesi sonucu oluşturulan modüller, günümüz teknolojisiyle tek parça olarak üretilebilmekte ve yaklaşık 25 yıl bakım yapılmadan kullanılabilir. Bu sayede panel başına düşen birim maliyet minimum seviyeye çekilmektedir [7, 8]. Özellikle gelişmiş ülkelerin uyguladığı teşvikler ve ekolojik politikalar sayesinde FV panellerin ilk kuruluş maliyetini amorti etme süreleri 3-4 yıla kadar düşülebilmektedir.

FV panellerden elektrik enerjisi kurulu gücü GW'lar seviyesindedir. Ayrıca, FV panellerden elektrik enerjisi kurulu gücü her geçen yıl hızla artmaktadır. Ancak Dünya'nın güneş enerjisi potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda kurulu gücün henüz istenilen seviyelere ulaşmaktan çok uzak olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni FV panellerin maliyetlerinin henüz istenen fiyatlara inmemiş olması ve bilinçlendirme çalışmalarının yetersizliğidir.

FV panellerin üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle literatürde FV panellerden elektrik enerjisi üretiminde verim artışına yönelik çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerin en önemlileri; güneş takip sistemleri, güneş panellerini soğutma sistemleri ve paneller üzerine gelecek gölge etkisinin azaltılması şeklindedir.

2. Güneş Enerji Sistemleri

2.1. Sabit FV Panel Sistemleri

Sabit FV panel sistemlerine ait örnek uygulama Şekil 2'de gösterilmiştir.



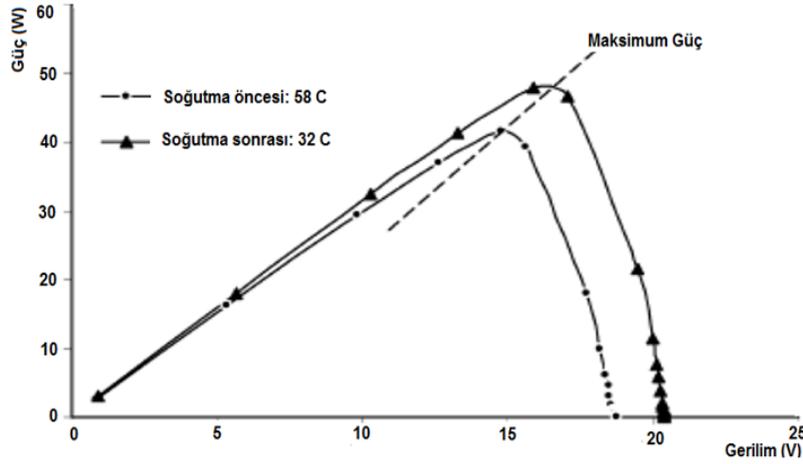
Şekil 2. Sabit FV panel uygulaması

2.2. Panel Soğutma Sistemleri

FV panellerin elektriksel verimini panel sıcaklığı olumsuz yönde etkilemektedir. Yani çalışma sıcaklığı arttıkça panelin elektriksel verimi azalmaktadır. Çünkü FV panellerin çalışma esnasındaki sıcaklığı ortam sıcaklığından daha yüksek değerlerdedir.

FV panelin verimini etkileyen en önemli ortam parametreleri hava sıcaklığı ve ortam rüzgâr şiddetidir [9, 10]. Buna göre ortamın hava sıcaklığının artması panelin elektriksel verimini azaltmakta, rüzgâr hızının artması soğutucu etki yaptığından verim artışına katkı sağlamaktadır. Diğer bir deyişle

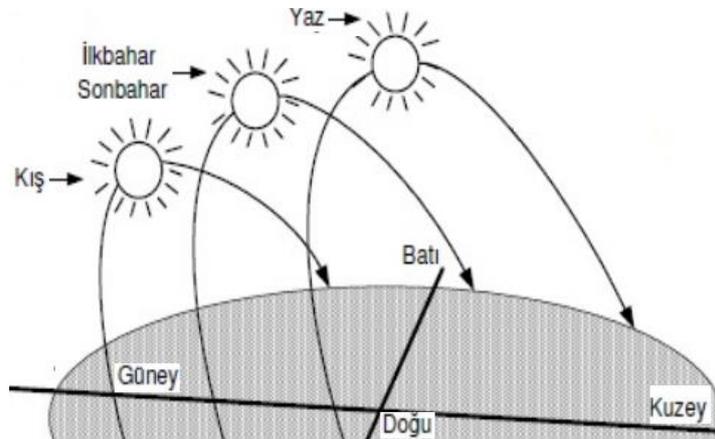
panel sıcaklığı arttıkça olumlu yönde çok az bir akım artışı olsa da ciddi anlamda gerilim düşümü nedeniyle toplam güç %10'a kadar düşebilmektedir. Literatürde çeşitli iklimlendirme sistemleri kullanılarak FV panellerden %4 ile %10 arasında daha fazla elektrik üretilebileceğine dair çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bir örnek çalışmada farklı sıcaklık değerleri için herhangi bir FV panel tarafından üretilen gerilim– güç grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre soğutma sistemi olmadan FV panelin enerji üretim faaliyeti esnasında çalışma sıcaklığı 58°C yükselmiş ve bu esnada maksimum 41 W üretim yapılmıştır. Daha sonra FV panel soğutulmuş panel sıcaklığı 32°C'ye kadar düşürüldüğünde üretilen maksimum gücün 49 W olduğu görülmüştür. Dolayısıyla FV panel sistemlerinin soğutulmasının verimlilik artışına katkı sağladığı görülmektedir [11].



Şekil 3. Farklı sıcaklık değerlerinde FV panel için güç–gerilim durumu

2.3. Güneş Takip Sistemleri

Güneşlenmenin günün her saatinde en yüksek seviyede tutulabilmesi için FV panellerin güneşi takip etmesi gerekmektedir. Güneş ile panel yüzeyi arasındaki açı günün her saatinde dik olursa, verim en yüksek seviyeler de olur. FV panellerin güneşi dik açı ile görebilmesi için sabah gün doğumundan akşam gün batımına kadar güneşi takip etmeleri gerekir. Ancak gün boyu yapılan takip işlemi yılın her mevsimi için aynı kazancı sağlamaz. Çünkü dünyanın güneş eksenindeki hareketine bağlı olarak yıl içerisinde güneş her mevsim farklı yörüngeleri takip etmektedir. Güneşin mevsimlere göre izlediği yörüngeler Şekil 4'te verilmiştir [12].



Şekil 4. Güneşin Mevsimlere Göre İzlediği Yörüngeler

Güneş takip sistemleri, güneş ışınlarının FV panelin yüzeyine dik gelmesini sağlayarak elde edilen enerji kazanç miktarını arttırmaktadır. Bu sistemleri kullanarak FV panellerden elde edilen enerji kazancı

yaklaşık olarak %35 oranında arttırılabilmektedir. Örneğin; NREL (National Renewable Energy Lab.) tarafından Denver, USA eyaleti için yapılan ölçümlere göre;

- Güneş takip sistemi olmayan sabit FV panellerden 5.5 kW/m² yıllık elektrik üretilmiş,
- Tek eksen güneş takip sisteminde ise 7.2 kW/m² yıllık elektrik üretilmiş,
- Çift eksen güneş takip sisteminde de 7.4 kW/m² yıllık enerji üretimi yapılmıştır.

Güneş takip sistemleri özellikle yer kısıtlaması olan uygulamalarda nisbi olarak daha kullanışlı olmaktadır. Örneğin; gemi, karavan gibi araçlarda gerekli enerji elde etmek için kullanılacak panel sayısı güneş takip sistemleri ile daha az sayıya düşürülerek alandan tasarruf edilebilmektedir [12]. Örnek bir güneş takip sistemi uygulaması Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Güneş takip sistemi uygulaması

2.4. Konsantre Güneş Enerji Sistemleri

CSP sistemleri büyük ölçekli enerji üretiminde kullanılabilen en önemli güneş teknolojisidir. Güneş enerjisi tam olarak tükenmezdir. Her yıl güneşten dünyaya 60.000 defa dünya elektrik tüketimine karşılık gelen 1.080.000.000 TWh güç ulaşır. Avrupa CSP birliğine (ESTELA) göre Güney Avrupa'da 2030 yılına kadar 62.000 MW CSP kurulabilir. Üretim miktarı 2030 yılında AB içinde üretilmesi öngörülen miktarın yaklaşık % 5 kadarına karşılık gelen 176 TWh/yıl olabilir. CSP santralleri yansıtıcı aynalar kullanılarak güneş enerjisini yüksek sıcaklıkla ısıya dönüştürerek elektrik üretir. Isı bir geleneksel generatöre aktarılır.

CSP sistemleri modülerdir, küçük ölçekli sistemlerden şebeke bağlantılı büyük sistemlere kadar imal edilebilirler. Dağıtık elektrik üretim sistemlerine uyumludurlar. Hibrit uygulamalar ile senkron çalışarak, tüm gün boyunca enerji sürekliliğine katkı sağlarlar. İşletme maliyeti açısından ekonomiktirler. CSP ile üretilen enerji direk olarak günışığına bağlıdır [13]. Dünyada yaygın olarak kullanılan konsantre güneş enerji sistemleri şöyle sıralanabilir;

a) Parabolik oluk sistemleri: Güneşin enerjisi parabolik oluk biçimindeki yansıtıcı ile bir alıcı boru üzerinde odaklanır. Bu enerji boru içinde akan yağ ısıtır ve bu ısı bir geleneksel buharlı generatörde elektrik üretmek için kullanılırlar. Oluk tasarımları geceleri de birkaç saat elektrik enerjisi üretimini mümkün kılarak termal depolama ile birlikte çalışabilir. Hali hazırda tüm parabolik oluk santralleri hibrit santrallerdir. Hibrit santraller düşük güneş radyasyonu durumunda açığı kapatmak için fosil yakıtlar kullanır. Tipik olarak, bir doğal gaz ateşlemeli ısı veya gaz buhar ısıtıcı kullanılır, oluklar aynı zamanda mevcut kömür yakmalı santrallerle de entegre olabilir [13]. Parabolik oluk sistemi uygulaması Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Parabolik oluk sistemi uygulaması

b) Kule Sistemleri: Bir güç kulesinde, güneş ışınımı birçok büyük ölçekli ayna kullanılarak kulenin tepesindeki bir alıcıya odaklanır. Alıcı içindeki bir ısı transfer akışkanı buhar üretmek üzere ısıtılarak bir geleneksel türbin-generatörde elektrik üretmede kullanılır. Örnek Kule sistemi uygulaması Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kule sistemi uygulaması

c) Stirling Motorlu Parabolik Çanak Sistemleri: Bir çanak güneş radyasyonunu alıcıya odaklar. Sistem güneşi takip eder. Toplanan ısı doğrudan alıcının üzerindeki bir ısı motoru tarafından kullanılır. Küçük ölçekli bireysel kullanıcı veya çok daha büyük santral amaçlı uygulamaları mevcuttur. Stirling motorlu parabolik çanak sistemi uygulaması Şekil 8’de görülmektedir.



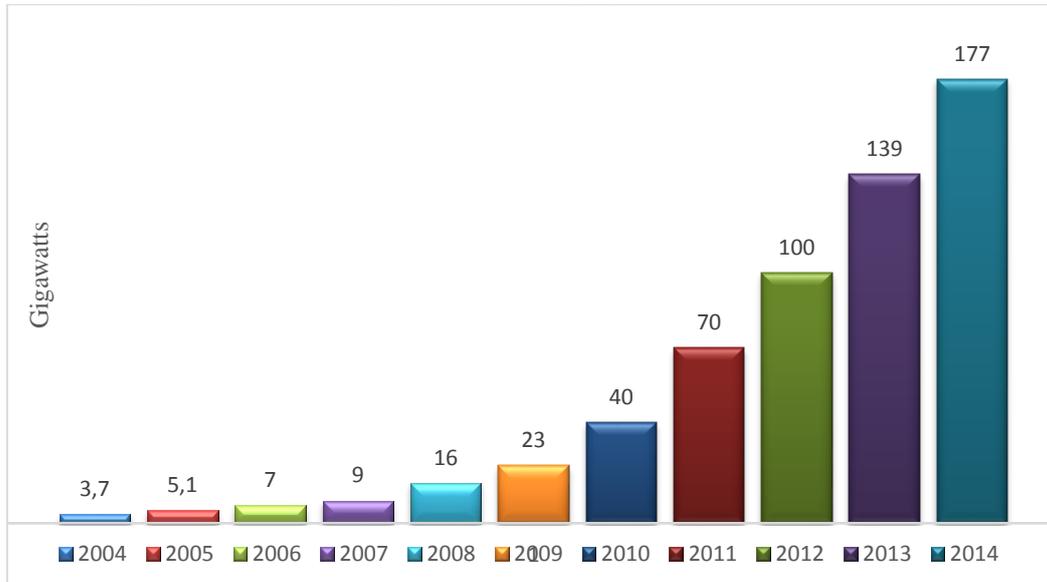
Şekil 8. Stirling motorlu parabolik çanak sistemi uygulaması

Dünya CSP kurulu gücü 430 MW olup, halihazırda planlama aşamasında 5500 MW kapasiteli 45 adet CSP projesi vardır. Dünyada lider ülkeler ABD ve İspanya'dır [13].

3. Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli İspanya ile yaklaşık olarak denk diğer tüm Avrupa ülkeleri güneş potansiyelinden daha fazla olup, ortalama 1000–1450 kWh/m².yıl değerindedir. Dolayısıyla Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli fosil enerji kaynaklarının 10.000 katından fazladır. Dünya'nın tüm yüzeyine denk gelen güneş enerjisi potansiyeli bilinen kömür rezervlerinin 50 katına, bilinen petrol rezervlerinin 800 katına denktir.

Uluslararası Enerji Ajansı, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi önemli bir oranının güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmektedir [12]. Dünya'da güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi miktarı 2014 yılsonu itibari ile 177 GW seviyesine ulaşmıştır. Günümüzde Almanya, İtalya, Çek Cumhuriyeti ve diğer AB ülkeleri FV pazarlar haline gelmişlerdir [2]. Şekil 9'da 2004–2015 arası küresel güneş enerjisi kapasiteleri görülmektedir [14].



Şekil 9. 2004–2015 arası küresel güneş enerjisi kapasitesi

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966–1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddetine göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, yıllık 110 gün güneş enerjisi potansiyeline sahip olup, metrekare başına 1.100 kWh elektrik enerjisi üretilebilecek durumdadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı–Elektrik İşleri Etüt İdaresi verilerine göre Türkiye’de 56.000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerjisi kapasitesi bulunmakta ve yıllık yaklaşık 380 milyar kWh elektrik üretilebilmektedir. Ancak Türkiye’deki faydalanılan toplam güneş pili (FV) kapasitesi 1 MW civarındadır. Elektrik santralleri kurulu gücümüzün 5000 katından fazladır. Şekil 10’da Avrupa Birliği Enerji Komisyonu’nun araştırmalarına göre, Türkiye’nin güneş ışınım yoğunluğu gösterilmiştir [16].



Şekil 10. Türkiye'nin şehirlere göre güneş ışınım yoğunluğu

Ülkemiz, coğrafi konumu itibarıyla sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Türkiye ısısal güneş enerjisi üretimi ve kullanımı açısından Çin, ABD ve Japonya'dan sonra dünya dördüncüsü durumundadır.

Türkiye'nin brüt güneş enerjisi potansiyeli, 87,5 milyon ton petrole eşdeğerdir. Bu değer 26,5 milyon tonu ısı kullanımına, 8,75 milyon tonu ise elektrik üretmeye uygundur. Türkiye, günümüzde bu potansiyelin yalnızca yüz binde 2'sinden faydalanmaktadır [2].

Türkiye’de konsantre güneş enerjisi teknolojisiyle Mersin’de kurulumu tamamlanmış 5 MW’lık güce sahip kule tipi yoğunlaştırılmış güneş enerji tesisi 100 dönüm araziye kurulmuş ve bu arazinin 30 dönümlük bölümü yansıtıcı aynalar tarafından kullanılmaktadır. Bu tesiste 510 adet heliostat yansıtıcı, güneşi gün içerisinde uygun açılarla takip ederek, güneş ışınlarını 50 metre yükseklikteki bir kule üzerindeki alıcıya yansıtarak yüksek sıcaklık ve basınçta buhar elde edilmektedir. Elde edilen yüksek sıcaklıktaki buhar ile elektrik üretilmektedir.

4. Dünyada Güneş Enerjisi Teşvikleri

Dünya enerji piyasasında AB ülkeleri enerji ithalatında birinci, enerji tüketiminde ise ikinci sıradadır. AB, enerji sektöründeki yenilenebilir enerji payını 2020 yılında %20’ye, 2040 yılında ise %50’ye

çıkarmayı da hedeflemektedir. Avrupa Birliği ülkeleri, YEK kullanımını arttırmak için çeşitli mali teşvikler, vergi teşvikleri ve üretim teşvikleri vermektedir. 1980 sonrası yenilenebilir enerji üretimiyle ilgili projeler desteklenmiş, yatırım ve vergi teşvikleri yapılmıştır.

Almanya’da çatılara yerleştirilen güneş panelleriyle elektrik enerjisi üretimi yapılarak ihtiyaç fazlası enerji dağıtım şirketlerine satılmaktadır. 2013 yılı itibariyle, Almanya’da kurulu olan güneş panellerinin %40’ı (1–10 kW) konutlarda, %50’ye yakın bir oranı (10–100 kW) ticari çatı sistemlerinde ve %10’a yakın bir oranı da çok büyük güneş güç santrallerinde kullanılmaktadır.

Günümüzde güneş panelleriyle elektrik enerjisi üretimine devletler tarafından alım garantisi verilmektedir. Verim düşük olsada bu sayede güneşten elektrik enerjisi üretimi artmıştır. Almanya’da güneşten üretilen elektriğin fiyatı 40 €/kWh ve yatırım tutarının %25’i kadar devlet sübvansyonu uygulanmaktadır. Avusturya da toplam enerji tüketiminin %23 YEK’lerden karşılanmaktadır. Belçika’da YEK yatırımlarında %15’e kadar devlet yardımı yapılmakta ve elektrik üreticilerine 0,02449 €/kWh teşvik verilmektedir. Toplam destek miktarı yatırım maliyetinin maksimum % 30’u ile sınırlıdır. Danimarka’da elektrik dağıtım şirketleri YEK’ten üretilen enerji kullandıkları takdirde 1,5 €/kWh teşvik almaktadırlar. Fransa’da YEK’li santral inşasında kullanılan toplam bedelin vergi tutarının %25’i alınmamaktadır. İngiltere’de YEK’ten üretilen elektriğin kullanımını zorunlu kılan kanunlar yürürlüktedir. İsveç, sermaye bedelinin % 25’ine kadar kurulan her kW başına 332€ destekleme verilmektedir. İtalya, YEK’li üretim yatırımlarına %40 kadar destekleme vermektedir. Güneş enerjisi projelerinde ise, katma değer vergisi %20 yerine %10 olarak alınmaktadır. Yunanistan, Girit Adası’ndaki güneş yatırımlarının %50’sine teşvik ödemektedir [2, 16].

FV sektöründe, güneş panelinden elektrik enerjisi üretimini ilk zamanlarda kuruluş maliyetlerini karşılamazken günümüzde verimliliğin artmasıyla bu tip sistemler karlılığa geçmiştir. 1998 yılında hiç FV paneli olmayan İspanya, 10 yıl içinde kurduğu güneş santralleri ile güneşten elektrik enerjisi üretiminde hatırı sayılır bir güce ulaşmıştır. Almanya, ABD, Çin İtalya Japonya izlemektedir. Bu hızlı gelişim tüketicilere verilen teşvikler ile sağlanmaktadır. Dünyada ülkeler tarafından güneş enerjisi için verilen kamu teşvikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Dünya’da ülkeler tarafından güneş enerjisi için verilen kamu teşvikleri

Ülkeler	Sabit fiyat garantisi	Sübvansiyon (indirim)	Yatırım teşvik	Vergi indirimi	Kamu yatırımı	Kamunun enerji alım garantisi
Almanya	x	x	x	x	x	
Avusturya	x	x	x		x	
İngiltere	x	x		x	x	
Danimarka	x	x	x	x	x	x
Finlandiya	x	x		x		x
Fransa	x	x	x	x	x	x
Hollanda		x	x	x		
İrlanda	x	x	x			x
İspanya	x	x	x	x	x	
İsveç		x	x	x	x	
İtalya	x	x	x	x	x	
Lüksemburg	x	x	x	x		
Norveç		x		x	x	
Portekiz	x	x	x	x	x	x
Yunanistan	x	x	x		x	
Türkiye			x			

5. Türkiye ve Güneşten Elektrik Üretim Teşvikleri

Dünyadaki mevcut durum Türkiye açısından değerlendirildiğinde güneş enerjisi açısından potansiyelimizi kullanmadığımız görülmektedir. Bilindiği üzere ülkemiz, güneş enerjisi kuşağında ve güneş enerjisi potansiyeli dünya ortalamasının çok üzerindedir. Avrupa Birliği (AB) ülkeleri arasında neredeyse en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip ülke Türkiye'dir. Ancak güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi bir kaç MW kadardır. Henüz istenen düzeylerdeki YEK'li kurulu güce ulaşma hedeflerinden de çok uzaktadır [17-19].

Elektrik piyasası yönetmeliği YEK'li elektrik kullanımını arttırmayı amaçlamakta olup, ülkemizde de bazı teşvikler ve düzenlemeler mevcuttur. Ancak Avrupa ülkeleriyle kıyaslandığında teşviklerin çok düşük boyutlu olduğu görülmektedir. Şu anki teşviklerde lisans ücreti muafiyeti ve YEK'ten üretilen elektriği kullanan üretim tesislerinin santrallerin tamamlanmasından sonraki 8 yıl için lisans ücreti ödenmemesi gibi teşvikler mevcuttur. 2005 tarihinde 25819 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 5346 sayılı kanunda YEK'ten üretilen elektriğe 10 yıl boyunca kWh başına 5 cent teşvik verilmektedir. Ayrıca 4628 sayılı yasada yapılan değişiklik ile kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere 500 kW'a kadar tesis kuran bireysel kullanıcıların şirket kurma ve lisans zorunluluğundan muafiyetleri sağlanmıştır. Güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli, Türkiye'nin tüm bölgeleri için ciddiyle ele alınmasını gerektiren bir büyüklüktedir. Güneş enerjisinin aktif yöntemle yapı ısıtılmasından, seraların ısıtılmasına, tarımsal ve endüstriyel kurutmaya, endüstriyel ısı uygulamalarına, soğutmaya, metalürjik fırınlara, fotokimyasal ve foto biyolojik işlemlere dek çeşitli kullanım alanlarındaki araştırmaların desteklenmesinin yanı sıra uygulamaların yaygınlaştırılmasına da çalışılmalıdır. Bu çerçevede güneşli soğutma konusu, ülkemiz koşullarında tarımsal ürünlerin ve gıda sanayi ürünlerinin saklanması açısından üzerinde önemle durulması gereken bir seçenektir.

Dünyada ve ülkemizde akıllı şebeke ve mikro şebeke kullanılarak YEK aracılığıyla enerji verimliliğine katkı sağlayacak birçok çalışma yapılmaktadır [20,21]. Bu amaçla güneş enerjisinden maksimum düzeyde faydalanmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının sanayi tesislerinde kullanımına yönelik araştırmalar artmaktadır [22-24]. Özellikle sanayi tesislerinde filtreleme yöntemleriyle ve motor, pompa, kompresör gibi tüketimi yüksek olan cihazların tasarruflu kullanımı için yapılmış birçok çalışmada yeni verimlilik önerilerine yer verilmektedir. Bu kapsamda ülkemizde kamu aracılığıyla yapılması planlanan, elektriksel tüketimi yüksek olan elektrikli tren ve raylı sistemlerde de yol ve yolcu güvenliğini sağlamaya yönelik sistemleri öne çıkaran çalışmalara rastlanmaktadır [25-30].

6. Sonuçlar

FV panellerin elektrik enerjisi üretiminde maliyet-etkin yani ekonomik olabilmeleri için FV panel sistemlerine ek olarak çeşitli ek entegre sistemleri FV panellerden elektrik enerjisi kazancının artırılarak panellerin kendini daha kısa sürede amorti etmeleri sağlanabilir. Böylece maliyeti fazla olan FV panellerin daha az maliyete sahip olması gerçekleştirilebilir. FV panellerin elektrik enerjisi kazançlarını arttıracak en önemli sistemler; güneş takip sistemleri ve iklimlendirme sistemleridir. İklimlendirme sistemleri, FV panellerin elektrik enerjisi kazançlarını az oranda arttırsa da kullanılacağı bölge itibariyle duruma göre tercih edilebilir. Ancak güneş takip sistemleri ile FV panelin güneşi gün boyunca takip etmesi sağlanarak güneşten optimum düzeyde yararlanılmalıdır. Yapılan birçok çalışmada güneş takip sistemlerinin sabit sistemlere göre FV panellerin elektrik enerjisi kazançlarını önemli oranda arttırdığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı uygulanacak FV panel sistemlerinde güneş takip sistemlerinin kullanımı tavsiye edilmektedir. Bundan daha da önemli olan ise FV panel sistemleri yerine CSP sistemlerin kullanılması gerekliliğidir. Çünkü ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından AB ülkeleri arasında ilk sırada olmasına rağmen bu potansiyeli yanlış kullanmakta ve bu potansiyelden yeteri kadar

faaydalanmamaktadır. Örneğın Almanya FV panelli güneş enerjisi üretimini benimsemişken, Türkiye ile benzer sıcaklık ve iklim koşullarına sahip İspanya ise FV panel sistemine ihtiyaç duyulmayan ısı kaynaklı CSP sistemli güneş üretim yöntemlerini tercih etmektedir. Ülkemiz iklim koşullarına benzerlik gösteren İspanya örneğı Türkiye için daha verimli bir üretim yöntemi olabileceksen, gerek kültürel gerekse ekonomik ilişkiler nedeniyle Almanya'nın güneşten faydalanma yöntemi olan güneş ışınımından faydalanarak FV paneller aracılığıyla elektrik üretmeyi tercih etmekteyiz. Hâlbuki ülkemizde Almanya'nın sıcaklık ve rakım değerlerine uygun olan yerler Doğu Anadolu bölgesinin bir bölümü ve yüksek yerleşim yerleri olup, söz konusu bu yerler tüm güneş potansiyelimizin %20'sine karşılık gelmektedir. Türkiye'nin asıl güneş potansiyeli ısı kaynaklıdır ve tüm güneş potansiyelimizin %80'ine tekabül etmektedir. Dolayısıyla ülkemiz ile benzer iklim koşullarına sahip olan İspanya model olarak seçilebilir. İspanya son 10 yılda ısı kaynaklı CSP güneş potansiyelini kullanarak tüm Dünya'da güneşten elektrik enerjisi üretimi açısından 4. sıraya yükselmiştir. Ülkemizde güneşten elektrik enerjisi üretiminde SMGTS gibi bazı CSP sistemli üretim yöntemleri benimsenmelidir. Zira sabit FV panelli sistemlerde sıcaklık dezavantaj olup verimi azaltırken, SMGTS gibi ısı kaynaklı CSP sistemlerinde ise sıcaklık verimi yükselten en önemli parametredir.

Ülkemiz enerjide dışa bağımlı bir ülkedir. Bu nedenle sürdürülebilir bir enerji politikasına sahip olmalıdır. YEK'ten üretilen elektrik için ulusal bazda enerji politikaları oluşturulmalıdır.

Güneş enerjisi açısından zengin üretim potansiyelimiz değerlendirilmelidir. Zira ülkemizin güneş potansiyeli çok yüksek olmasına rağmen birçok AB ülkesine göre güneşten faydalanma oranımız çok düşük düzeydedir.

Türkiye 2009 yılında tüm enerji ihtiyacının %52'sini kendi enerji kaynaklarıyla karşılarken 2014 yılında tüm enerji ihtiyacımızın %29'unu karşılayabilmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere YEK'lere verilen teşvik ve desteklerin yetersiz olması enerji ithalat açığını arttırmıştır.

Güneş enerjisi ile ilgili uygulamalar, konutlar ve dış aydınlatma için teşvikler özendirilmelidir. Çünkü ülkelerin verdiği teşvikler oranında halkın yaygın bir şekilde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimini kullandığı Tablo 1'den görülmektedir. Yani Almanya İspanya ve Fransa gibi ülkeler kendi vatandaşlarına birçok konuda teşvik verdiğiinden ve bilinçlendirme çalışmaları yaptıklarından güneşten elektrik enerjisi üretiminde daha ön sıralarda yer almaktadırlar. Güneş potansiyeli en çok olan Avrupa ülkesi olmasına rağmen, Türkiye bu sıralamada en son sırada yer almaktadır. Çünkü en az bilinçlendirme ve teşvik çalışması yapan ülkedir.

Ayrıca ülkemizde FV kaynaklı elektrik enerjisi üretimine yönelik teşvikler artırılmalıdır. Bu amaçla imalat aşamasında üretim sanayisi desteklenmelidir. Bu sayede il kuruluş maliyetleri minimum düzeye çekilebilecektir. İthal eden ülke konumundan ihraç eden ülke konumuna geçilmesi mümkün olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma EEEAG-115E680 nolu proje kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

1. Kumar A, Kumar K, Kaushik N, Sharma S, Mishra S, 2010. Renewable energy in India: Current status and future potentials, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (8): 2434-2442..
2. Solar Energy, 2015. Solar Energy, http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=2506, (Erişim Tarihi: 03.04.2015).
3. Ertugrul ÖF, 2016. Forecasting electricity load by a novel recurrent extreme learning machines approach, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 78 (6), 429-435.

4. Güler Ö, 2009. Wind energy status in electrical energy production of Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2): 473-478.
5. Rosental AL, Lane CG, 1991. *Solar Cells: Their Science Technology Applications and Economics*, Elsevier Sequoia, 30 (1): 5-63.
6. Parlakyıldız Ş, Hardalaç F, 2013. A New and Effective Method in Fingerprint Classification, *Life Science Journal*, 10 (12): 584-588.
7. Muntasser MA, Bara MF, Quadri HA, Eltarabelsi R, La-azabi IF, 2000. Photovoltaic Marketing In Developing Countries, *Applied Energy*, 65 (1): 67-72.
8. Al-Karaghoulı A, Al-Sabounchi AM, 2000. A PV Pumping System, *Applied Energy*, 65 (4): 145-151.
9. Gençođlu MT, 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2): 57-64. Solar Energy, 2015. Solar Energy, http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=2506, (Erişim Tarihi: 03.04.2015).
10. Cengiz Ç, 2016. Electricity Generation from Solar World, *International Conference on Natural Science and Engineering*, 2083-2088, March 19-20, Kilis, Turkey
11. Odeh S, Behnia M, 2009. Improving Photovoltaic Module Efficiency Using Water Cooling, *Heat Transfer Engineering*, 30 (6): 499-505.
12. Bilgin Z, 2006. Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
13. Norm Enerji, 2014. Türkiyede Güneş Enerjisi, http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=11738, (Erişim Tarihi: 04.04.2015).
14. Turkish Environmental Technologies. 2014. Renewable Energy Industry Report, www.invest.gov.tr, (Erişim Tarihi: 04.04.2015).
15. Demircan N, Alakavuk Z, 2008. Fotovoltaik Prensipleriyle Güneş Enerjisinden Elektrik enerjisi üretimi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17-19, İstanbul
16. Kaya D, 2006. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması, *Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi, ETKB-Ankara*
17. Gençođlu MT, Cebeci M, 2000. Türkiye'nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi, *Kaynak Elektrik*, 138(1): 110-115.
18. Gençođlu MT, 2005. Güneş Enerjisi ile Çalışan Su Pompalama Sistemleri, *3e electrotech*, 134(1): 94-97
19. Cengiz Ç. A Research on Smart Grids in Turkey, *International Conference on Natural Science and Engineering*, pp. 2097-2101, March 19-20, 2016, Kilis, Turkey
20. Yurci Y. Cengiz MS. Smart Grid on Optimization, *International Conference on Natural Science and Engineering*, pp. 2143-2147, March 19-20, 2016, Kilis, Turkey
21. Efe SB. Cebeci M. 2015. Mikro Şebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi, 6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu, 4-6 Haziran 2015, Sakarya, Türkiye
22. Ertugrul ÖF, 2011. Enerji Verimliliği Çalışmaları ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Bölgede Kullanılabilirliği ve Yatırım Olanakları, *Batman, Siirt, Şırnak İlleri Enerji Forumu*.
23. Tađluk ME, Ertugrul ÖF, 2015. A joint generalized exemplar method for classification of massive datasets, *Applied Soft Computing*, 36(11): 487-498.
24. Cengiz MS. Mamiş MS. Yurci Y. Solar Energy and Stirling Engine, *International Conference on Natural Science and Engineering*, pp. 2119-2124, March 19-20, 2016, Kilis, Turkey
25. Efe SB. 2015. Harmonic Filter Application for an Industrial Installation, *IEEE The 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems*, 11-12 June, Oradea, Romania.

- 26 İlcihan Z, 2016. Energy Saving and Solutions in Compressor, International Conference on Natural Science and Engineering, 2040-2045, March 19-20, Kilis, Turkey
- 27 Efe SB, 2015. Analysis and Elimination of Harmonics by Using Passive Filters, Bitlis Eren Univ J Sci &Technology, 5 (2): 48-51.
- 28 Atiç S, 2016. Energy Efficiency Studies and Practical Solutions in Industrial Plants, International Conference on Natural Science and Engineering, 2000-2015, March 19-20, Kilis, Turkey
- 29 Parlakyıldız ř. 2016. Frequency-Load Problem In Power Systems, International Conference on Natural Science and Engineering, pp. 2020-2025, March 19-20, Kilis, Turkey
- 30 Efe SB, Cebeci M, 2013. Power flow analysis by Artificial Neural Network, International Journal of Energy and Power Engineering, 2 (6): 204-208.