



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ (CSP) TEKNOLOJİLERİ VE TÜRKİYE'DE
CSP'YE YÖNELİK POLİTİKALAR**

Fatih Selim BAYRAKTAR^{1,*}, Mesut YAZICI², Ramazan KÖSE³

1 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Kütahya, fatih.bayraktar@dpu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-8672-3511

2 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Kütahya, mesut.yazici@dpu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6379-8396

3 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kütahya, ramazan.kose@dpu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6041-6591

Geliş Tarihi(Received Date):14.11.2022

Kabul Tarihi(Accepted Date):15.12.2022

ÖZ

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi sonrasında yenilenebilir enerjinin önemi anlaşılmaya başlanılmıştır. Yenilenebilir enerji sektörü günümüze kadar önemini daha da arttırsa da fosil enerji kaynakları hala hayatımızda önemli bir yer kaplamaktadır. Ukrayna-Rusya Savaşı sırasında dünyanın en büyük fosil kaynaklı enerji ihraç eden ülkelerinden Rusya'nın bu enerjiyi bir tehdit unsuru olarak kullanması yenilenebilir enerjinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerjinin en önemli dallarından olan güneş enerjisi özellikle 1980'li yıllardan bu yana ciddi bir sektör oluşturmuştur. Güneş enerjisi teknolojilerinin alt dallarından olan Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (Concentrated Solar Power - CSP) bir başka önemli güneş enerjisi teknolojisi olan Fotovoltaik (FV) Paneller kadar ilgi görmese de özellikle İspanya ve Amerika'da ciddi yatırım desteği görmüştür. Bu çalışma ile CSP sistemlerinin incelenmesi ve Türkiye'de durumunun aktarılması amaçlanmıştır. Ülkemizde CSP sistemlerinin tercih edilmesini teşvik edici yasal adımlar araştırılmıştır. 5346 sayılı Kanun ve YEKDEM gibi ciddi adımlara rağmen yatırımcılardan yeterince ilgi göremediği için Ülkemizde operasyonel durumda sadece bir tane CSP santrali vardır.

Anahtar kelimeler: *CSP Sistemlerinin Tarihçesi, CSP Teknolojileri, Türkiye'de CSP Sistemleri, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Hedefleri, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Destek Mekanizmaları*

**CONCENTRATED SOLAR ENERGY (CSP) TECHNOLOGIES AND POLICIES FOR CSP
IN TURKEY**

ABSTRACT

The oil crisis in the 1970s led to the emergence of the renewable energy sector. Although renewable energy has increased its importance until today, fossil energy sources still occupy an important place in our lives. The use of this energy as a threat by Russia, one of the world's largest fossil-based energy exporters, during the Ukraine-Russia War once again revealed the importance of renewable energy. Solar energy, one of the most important branches of renewable energy, has created a important sector

especially since the 1980s. Although Concentrated Solar Power (CSP), one of the sub-branches of solar energy technologies, does not attract as much attention as Photovoltaic Panels, another important solar energy technology, it has received serious investment support especially in Spain and America. In this study, CSP systems are examined and the steps taken for CSP systems in our country and the established facilities are explained.

Keywords: *History of CSP Systems, CSP Technologies, CSP Systems in Turkey, Turkey's Renewable Energy Aims, Renewable Energy Support Mechanisms in Turkey.*

1. GİRİŞ

Güneş, dünyanın en önemli enerji kaynağıdır ve diğer enerji kaynaklarının da oluşumunu tetikleyen temel unsurdur. Güneş enerjisi temiz ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Her yıl güneşten dünyaya 1.08×10^9 TWh enerji ulaşmaktadır ki bu değer dünyanın elektrik tüketiminin yaklaşık 60.000 katıdır. Ülkemiz coğrafik konumu itibarıyla güneş enerjisi konusunda yüksek potansiyelli ülkeler arasındadır. Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi yaklaşık 2.730 saattir ki bu değer günlük ortalama 7,5 saate tekabül etmektedir.

Güneş enerjisinden enerji üretimi iki temel yöntem ile gerçekleştirilmektedir: FV paneller ve CSP sistemleri. FV paneller güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken teknolojisine sahip sistemlerdir. CSP sistemlerinde ise güneş ışığı odaklanarak ısı enerjisi dönüşüm yöntemleri ile enerji üretilmektedir. Avrupa CSP Birliği (ESTELA) yaptığı bir çalışmada 2030'a kadar Güney Avrupa'da 60 TW'ın üstünde CSP kurulu gücüne ulaşılmasını öngörmektedir. 2030 yılında yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerine dayalı elektrik üreten sistemlerin enerji üretimlerinin AB içinde üretilmesi öngörülen enerjinin yaklaşık olarak % 5'ine karşılık gelen 176 TWh/yıl olacağı hesaplanmaktadır [1].

Bu çalışmada CSP sistemleri incelenmiş ve alt türleri aktarılmıştır. Dünyada ve Türkiye'de CSP teknolojilerinin güncel durumu anlatılmıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji hedefleri ve bu hedeflere ulaşmak için atılan politik adımlar kısaca izah edilmiştir. Atılan adımların etkileri CSP özelinde incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

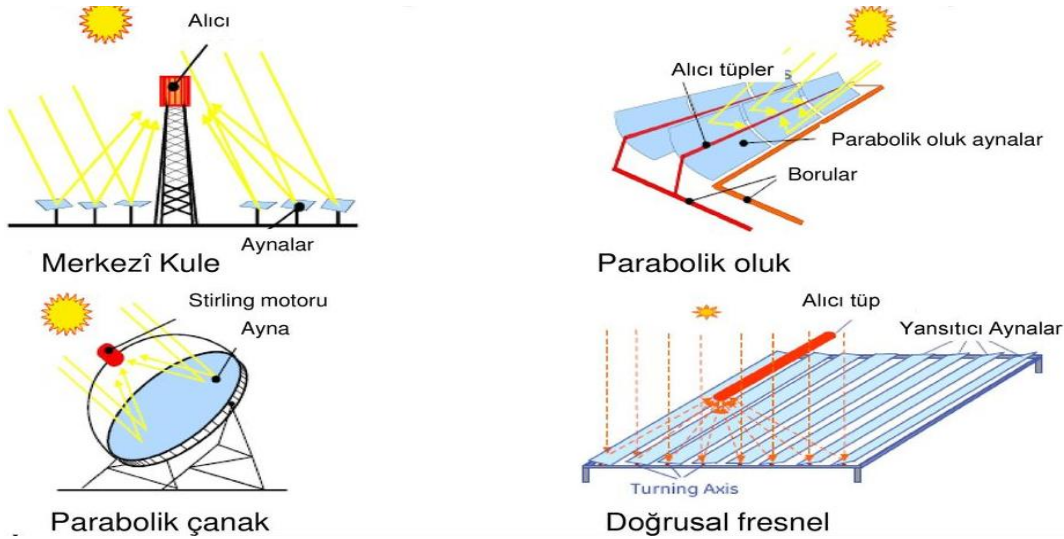
2. CSP NEDİR?

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (Concentrated Solar Power) anlamına gelen CSP sistemleri güneş ışığının akı yoğunluğunu artırma yolu ile yüksek sıcaklık ve yüksek enerji dönüşüm verimlerine ulaşmak ve bu vesileyle ısı enerjisi elde etmek için kullanılan bir enerji üretim yöntemidir. Akı yoğunluğu artırımı aynalar veya lensler kullanılarak büyük alanlara düşen güneş ışığının daha küçük alanlara odaklanması ile elde edilmektedir. Üretilen ısı enerjisi kızgın buhar sisteminde mekanik enerjiye dönüştürülerek ya da ısı enerjisi depolama (Thermal Energy Storage - TES) ünitelerinde depolanarak değerlendirilmektedir. CSP sistemleri; ısı değiştirici, solar yansıtıcı, TES, güneş takip sistemi ve ısı yük alt bölümlerinden meydana gelmektedir. CSP sistemlerinde Direkt normal radyasyon (DNI) değeri üzerinden çalışılmaktadır ve bu DNI değerinden güneş ve dünyanın solar geometrilerine göre dizayn edilen toplayıcı sistemler ile odaklanarak enerji üretilebilmektedir.

3. CSP SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ

1866'da Auguste Mouchout, buhar üretimi için parabolik oluk sistemini ilk kez kullanan kişidir. Güneş kolektörü için ilk patent 1886'da İtalya'nın Cenova kentindeki İtalyan Alessandro Battaglia tarafından alınmıştır. Sonraki yıllarda, John Ericsson ve Frank Shuman gibi mucitler sulama, soğutma ve tahrik için yoğunlaştırılmış güneş enerjisiyle çalışan cihazlar geliştirmiştir. 1913'te Shuman, sulama için Mısır'ın Maadi kentinde 55 HP'lik bir parabolik güneş ısı enerjisi santralini devreye almıştır. Parabolik çanak sistemini kullanan ilk güneş enerjisi sistemi, sıvı yakıtlı roketler üzerine yaptığı araştırmalarla tanınan Dr. R.H. Goddard tarafından tasarlanmıştır. Profesör Giovanni Francia 1968'de İtalya, Cenova yakınlarındaki Sant'Ilario'da faaliyete geçen ilk yoğunlaştırılmış güneş santralini tasarlamış ve inşa etmiştir. Bu tesis, solar tarlanın merkezinde bir toplayıcı bulunduran günümüzün yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santrallerinin mimarisine sahiptir. 10 MW'lık Solar One güç kulesi 1981'de Güney Kaliforniya'da geliştirilmiş, ancak yakınındaki Güneş Enerjisi Üretim Sistemlerinin (Solar Energy Generating Systems - SEGS) 1984'te başlayan parabolik oluk teknolojisi daha uygulanabilir bir tasarım olduğu görülmüştür. 354 MW SEGS başka bir büyük güneş enerjisi santralidir ve özellikle 390 MW'lık Ivanpah güç kulesi projesi tam güce ulaşana kadar CSP tasarımlarının en büyüklerinden biri olarak elektrik üretmiştir [2].

1986-1990 yılları arasında ABD'nin Kaliforniya eyaletinde Mojave Çölünde dünyadaki ilk ticari CSP tesisleri (toplam 354 MW kurulu gücünde 9 adet santral) inşa edilmiştir. Akabinde CSP piyasasının gelişmesini ve büyümesini destekleyen hükümetler, fosil kaynaklı yakıtların fiyatlarının tekrar düşmesiyle uyguladıkları teşvik politikalarını sona erdirmişlerdir. Bu nedenle, 2006 yılına kadar yeni bir CSP tesisi inşa edilmemiştir. 2006 yılında ABD ve İspanya'da CSP yatırımlarının teşvik edilmesi hususu yeniden gündeme gelmiş, böylece yeni CSP sistem kurulumları yapılmıştır. 2009-2014 yılları arasında CSP kurulu gücü 354 MW'tan yaklaşık 12,4 kat artarak 4,4 GW'a yükselmiştir. Özellikle 2014 yılı ve öncesindeki iki yılda üst üste yıllık kapasite artışı rekoru kırılrsa da toplam kurulu güç büyüklüğü açısından diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında CSP teknolojisinin henüz emekleme aşamasında olduğunu söylemek doğru olacaktır. Kurulumların büyük bölümü İspanya'da (2,3 GW) ve ABD'de (1,6 GW) yer almaktadır. CSP piyasasına yüksek DNI değerlerine sahip diğer ülkeler (Şili, Çin, Hindistan, İsrail, Fas, Suudi Arabistan, Güney Afrika ve Birleşik Arap Emirlikleri) de ilgi göstermeye başlamışlardır [3].



Şekil 1. Temel CSP Teknolojileri [4].

4. CSP TEKNOLOJİLERİ

CSP teknolojileri doğrusal odaklı ve nokta odaklı olmak üzere iki ana sınıfta toplanmaktadır. Doğrusal odaklı sistemlerde güneş ışıkları bir hat üzerine odaklanırken nokta odaklı sistemlerde küçük bir bölgede odaklama yapılmaktadır. Bu iki ana sınıf dört alt optik kola ayrılmaktadır. Bu kollar parabolik oluk, doğrusal Fresnel, merkezi alıcılı ve solar çanak sistemleridir. Parabolik oluk ve doğrusal Fresnel sistemler doğrusal odaklı iken merkezi alıcılı ve solar çanak sistemleri ise nokta odaklı sistemlerdir.

Çizelge 1. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisinin Özellikleri [5].

	Parabolik Oluk	Merkezi Alıcılı	Doğrusal Fresnel	Parabolik Çanak
Teknolojinin Gelişmişlik Düzeyi	Ticari olarak kanıtlanmıştır.	Ticari olarak kanıtlanmıştır.	Ticarileşmiş projelerin başlangıcındadır .	Deneme aşamasındadır.
Kapasite (MW)	10-300	10-370	10-200	0,01-0,025
İşletme Sıcaklığı (°C)	350-550	250-565	390	550-750
En Yüksek Verim (%)	14-20	23-35	18	30
Yıllık Güneş-Elektrik Verimi (%)	11-16	7-20	13	12-24
Yıllık Kapasite Faktörü (%)	25-28 (Depolamasız) 29-48 (7 saat depolamalı)	55 (10 saat depolamalı)	22-24	25-28
Alan Gereksinimi (m²/kW)	18	21	18-20	15-17
Arazinin Eğimi (%)	<1-2	<2-4	<4	>10

Eriyik Tuz Kullanımı ile Isı Depolama	Mevcut	Mevcut	Henüz ispat edilmemiştir.	Henüz ispat edilmemiştir.
--	--------	--------	---------------------------	---------------------------

4.1. Parabolik Oluk Toplayıcı (PTC) CSP Sistemleri

PTC (Parabolic Trough Collector) sistemlerinin en önemli aksamı doğrusal bir parabolik yansıtıcı ve alıcı borudur. Yansıtıcı, yüzeyinin yansıtma oranı yüksek olan ve güneş ışığını bir odakta toplayacak şekilde parabolik olarak şekil verilen bir malzemeden oluşturulmaktadır. Alıcı boru ise bu parabolik oluk formundaki malzemenin odak hattına konumlandırılmaktadır. PTC sistemlerinin çalışma prensibi, parabolik yansıtıcılar kullanılarak direkt güneş radyasyonunun odak hattında bulunan alıcı boruya yoğunlaştırılması ve bu boruda hareket eden çalışma akışkanına enerji aktarılmasına dayanmaktadır. Parabolik oluklar iki boyutta hareket etmektedir, genelde kuzey-güney ekseninde konumlandırılırlar ve güneş gök yüzünde hareket ettikçe dönmektedirler. Ayrıca, parabolik oluk sistemleri özellikle yaz aylarında, tipik olarak günde 10 ila 12 saat nominal güçte yalnızca güneş ışığını kullanarak tam güçte çalışabilmektedir. Bununla birlikte, mevcut tüm tesisler hibrittir ve düşük güneş radyasyonu dönemlerinde suyu ısıtmak için fosil yakıtlarla çalışan bir yedek kazana sahiptir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojileri arasında PTC sistemleri tüm CSP kurulu gücün yaklaşık olarak %90'ını teşkil etmektedir [6]. Bu sistemler CSP teknolojileri arasında en çok araştırılan türdür ve bu sebeple yıllardır ticari olarak kullanılmaktadır.

4.2. Doğrusal Fresnel Yansıtıcı (LFR) CSP Sistemleri

LFR (Linear Fresnel Reflector), güneş ışığını yansıtıcıların ortak bir odak noktasında bulunan sabit bir alıcıya yönlendirmek amacıyla uzun, ince ayna segmentleri kullanmaktadır. Bu aynalar, güneş enerjisini normal yoğunluğunun yaklaşık 30 katına yoğunlaştırma yeteneğine sahiptir. Bu yoğunlaştırılmış enerji, alıcı vasıtasıyla bir ısı taşıyıcı akışkana aktarılır (bu genel olarak çok yüksek sıcaklıklarda sıvı halini muhafaza edebilen yağdır). Akışkan daha sonra bir buhar jeneratörüne güç sağlamak için bir ısı eşanjöründen geçer. İlk lineer Fresnel reflektörü 1961'de Cenova Üniversitesi'nden Giovanni Francia tarafından İtalya'da geliştirilmiştir.

Parabolik oluk toplayıcılara benzerliklerine rağmen, bu sistemi diğerinden ayıran teknik farklılıklar vardır. Doğrusal Fresnel yansıtıcılar, güneş ışınımını sıralar boyunca düzenlenmiş ancak daha yüksek bir alıcıya odaklamak için yerleştirilmiş birkaç paralel seri doğrusal Fresnel yansıtıcıdan oluşmaktadır. Bu sistemin ana avantajlarından biri, daha düşük yapım maliyeti ve güneş takip eden sistemleridir.

4.3. Merkezi Alıcılı (SPT) CSP Sistemleri

Güneş enerjisi kulesi (Solar Power Tower), güneş ışığını bir kulenin tepesindeki merkezi alıcıda yoğunlaştıran bir dizi çift eksenli güneş takibi sunan aynalardan (heliostat) oluşmaktadır. Güneş enerjisini toplamak ve odaklamak için üç boyutlu takibe izin verecek şekilde hareket eden yüzlerce hatta binlerce düz aynadan oluşmaktadır. 600-1000 arasındaki güneş yoğunlaştırma oranları ile çok yüksek sıcaklıklar elde edilebilmektedir. SPT sistemleri %20 civarında enerji dönüşüm verimine ve yaklaşık %35 pik verime ulaşabilmektedir [7]. Merkezi alıcıda elde edilen güneş akısı 200-1000 kW/m² aralığında bulunmakta ve bu da yüksek bir çalışma sıcaklığı temin edebilmek için bir imkân sağlamaktadır [8]. Alıcı, tuz içerebilen bir ısı taşıyıcı akışkan içermektedir. Alıcıdaki çalışma akışkanı yüksek sıcaklıklara ısıtılır ve daha sonra bir buhar türbinine girdikten sonra ısı kaynağı olarak kullanılır. Bir jeneratörü çalıştırır ve bir termodinamik çevrim (genellikle geleneksel Rankine çevrimi) gerçekleştirerek elektrik gücü üretir. Güneş kuleleri, ticari olarak yaygın şekilde mevcuttur.

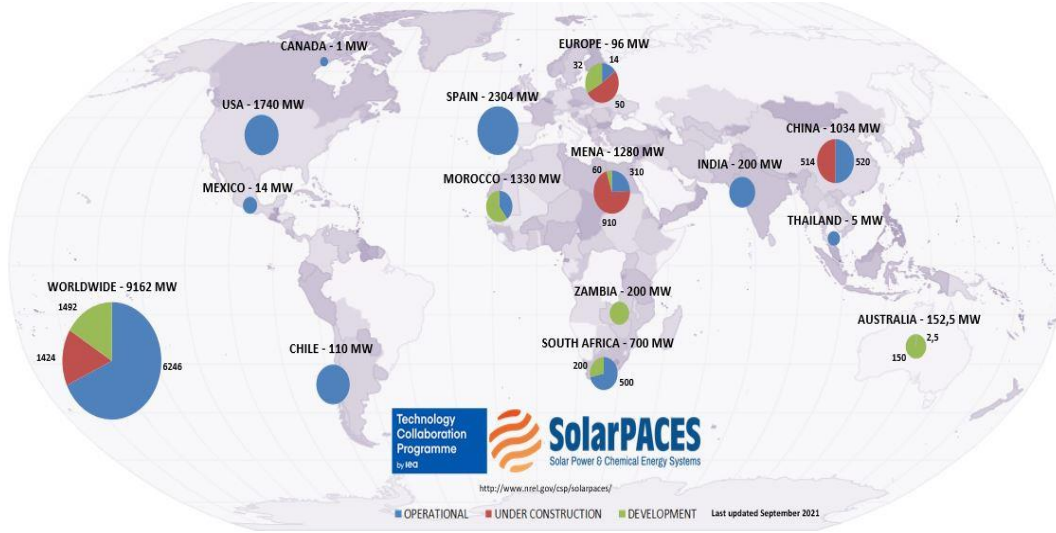
4.4. Solar Parabolik Çanak (SPD) CSP Sistemleri

SPD (Solar Parabolic Dish) teknolojilerinde çanak formunda bir yoğunlaştırıcı ile güneş ışığı bir noktaya yönlendirilerek odak noktasında bulunan alıcıda toplanmaktadır. Çanak yoğunlaştırıcı, güneş ışığının mümkün olan en yüksek yüzdesini termal alıcıya yansıtmak için gün boyunca sürekli olarak güneşi izleyen bir yapı üzerine monte edilmiştir.

Odak noktasında verimli güç dönüşümü için Stirling/Brayton motoru veya alıcıdaki yoğunlaştırılmış ısıyı kullanmak için bir elektrik jeneratörü yerleştirilmektedir [8]. SPD sisteminin Stirling motorlu verimi %25 ile %30 arasında değişmektedir [8-10]. Diğer CSP teknolojilerinin aksine, SPD'nin benzersiz avantajlarından biri, sistemin tamamen düz bir zemine ihtiyaç duymaması ve uzak ve küçük yalıtılmış şebekelerde kolayca uygulanabilir olmasıdır [11]. SPD sistemlerinin odak noktalarında 2000 civarında yoğunlaştırma oranına ulaşılmakta ve bunun sonucunda alıcıdaki ısı taşıyıcı akışkanın sıcaklığı 700–750 °C seviyelerine ve basıncı ise 200 bar düzeyine ulaşabilmektedir [12-14]. SPD'lerde kullanılan çanakların çapı genellikle 5-10 metre arasında değişmektedir ve buna bağlı olarak yüzey alanları 20-80 m² civarlarında olmaktadır. Çanakların yüzeyinde yüksek yansıtma seviyelerine ulaşmak amacıyla cam ve plastik tabakaların üstüne alüminyum ve gümüş kaplama yapılmaktadır. Tek çanaklı bir SPD sisteminden 0,01-0,5 MW aralığında güç çıkışı elde edilebilmektedir [15-16].

5. DÜNYA'DA CSP UYGULAMALARI

Küresel CSP pazarı 2021 yılında teknoloji maliyetlerindeki düşüslere rağmen 1980'lerde sektörün ticarileşmesinden bu yana ilk kez daralmıştır. 2015'ten önce, pazar sekiz yıl boyunca ortalama olarak yıllık %40'ın biraz altında büyümüştür. Şili'deki 110 MW'lık Cerro Dominador tesisinin devreye alınmasının, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yaklaşık 300 MW'lık eski CSP tesislerinin hizmet dışı bırakılmasıyla yaklaşık olarak dengelendiğinden, CSP pazarı 23 ülkede 6.2 GW düzeyinden 6 GW'lık bir kümülatif kapasite seviyelerine düşmüştür. Geçtiğimiz on yılda CSP'nin düşüşü; PV ile rekabet, politika değişiklikleri ve kurulu güç bakımından zirvede olan ama sırasıyla sekiz ve altı yıl boyunca yeni kapasite eklemeyen İspanya ile Amerika Birleşik Devletleri'nin pazarlarındaki proje başarısızlıklarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. CSP Projelerinin Güncel Durumu [7].

6. TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ

Ülkemizde yenilenebilir enerji konusunda atılan yasal adımları aktarmadan önce yenilenebilir enerji hedeflerini aktarmak doğru olacaktır. Türkiye'nin 2023 yılı projeksiyonunda elektrik üretimimizin minimum %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi planlanmaktadır. Bu projeksiyonu gerçekleştirmek amacıyla 2023'e kadar hidroelektrikte 34 TW, rüzgâr enerjisinde 20 TW, güneş enerjisinde 5 TW, biyokütle ve jeotermal enerjilerinde ise 1 TW kurulu güce ulaşılması hedeflenirken [17] Ekim 2022 itibarıyla hidroelektrikte 31.6 TW, rüzgâr enerjisinde 11.3 TW, güneş enerjisinde 9.1 TW, biyokütlede 1.8 TW ve jeotermalde 1.7 TW değerlerine ulaşılmıştır. Güncel veriler incelendiğinde; güneş enerjisi, biyokütle ve jeotermalde hedeflerin geçildiği gözlenirken hidroelektrikte hedeflere yakın bir konumda bulunduğu anlaşılmıştır. Rüzgâr enerjisinde hedefin % 43.4 gerisinde kalınarak 2023 hedeflerine ulaşamayacağı aşikardır.

Yenilenebilir enerji ile ilgili ilk yasal düzenleme Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalar sonucunda 1985'te 18858 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Dışındaki Kuruluşlara Elektrik Enerjisi Üretim Tesisi Kurma ve İşletme İzni Verilmesi Esaslarını Belirleyen Yönetmelik'tir [18].

Yenilenebilir enerjiyi destekleyici en önemli adımlardan biri 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'da bahsedilen ve 18.05.2005'te 25819 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Destekleme Mekanizması (YEKDEM) çalışmasıdır [19].

Çizelge 2. 6094 Sayılı Kanun'da Belirtilen YEKDEM Baz Fiyatları [20].

I Sayılı Cetvel (YEKDEM Baz Fiyatlar) (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
YEK'e Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD \$ cent/kWh)
a. Hidrolik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütle dayalı üretim tesisi	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Çizelge 3. 6094 Sayılı Kanun'da Belirtilen YEKDEM Yerli Aksam Katkı İlaveleri [20].

II Sayılı Cetvel (Yerli Aksamlar) (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı (ABD \$ cent/kWh)
A-Hidroelektrik üretim tesisi	1. Türbin	1,3
	2. Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
B-Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	1. Kanat	0,8
	2. Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3. Türbin kulesi	0,6
	4. Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C-Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1. PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekanik imalatı	0,8
	2. PV modülleri	1,3
	3. PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4. İnvörtör	0,6
	5. PV modülü üzerine güneş ışını odaklayan malzeme	0,5
D-Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1. Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2. Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3. Güneş takip sistemi	0,6
	4. Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5. Kulede buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6. Stirling motoru	1,3
	7. Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekanik imalatı	0,6
E-Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1. Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2. Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3. Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4. Buhar veya gaz türbini	2,0
	5. İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6. Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7. Kojenerasyon sistemi	0,4
F-Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1. Buhar veya gaz türbini	1,3
	2. Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3. Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

2 Mayıs 2007 tarihinde 26510 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nda güneş enerjisi için bir düzenleme yapılmış ve güneş enerjisine dayalı elektrik üretiminde alım fiyatlarının 5-5.5 Euro cent aralığında olması gerektiğine dair karar çıkmıştır [18].

29 Aralık 2010'da 6094 sayılı Kanun ile bu Kanunda değişiklik yapılmış ve yenilenebilir enerjiden elektrik üretecek tesisler için fiyat katkısı sağlanmaya başlamıştır. Tablo 2 ve Tablo 3'te fiyat katkıları belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimini teşvik etmek amacıyla yapılan bu teknik ve yasal düzenlemelerin ardından ilk lisans başvurusu 10.06.2013 tarihinde EPDK tarafından alınmıştır

ve 2022 yılı itibarıyla 426'sı hidroelektrik, 224'ü rüzgâr, 57'si jeotermal, 293'ü biyokütle ve 36'sı güneş enerjisi kaynaklı santraller olmak üzere 1036 tesis desteklerden yararlanmaktadır [21].

Bu kanun gereğince 30 Ocak 2021 tarihli ve 31380 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 3453 sayılı Cumhurbaşkanlığı kararı ile fiyatlar Tablo 4'te görüleceği üzere güncellenmiştir [22]. Bu düzenlemelere rağmen günümüze kadar CSP teknolojisi içeren bir sistem YEKDEM kapsamına girmemiştir.

9 Ekim 2016'da 29852 sayılı Resmî Gazete'de Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Yönetmeliği yayımlanarak toplam elektrik üretimi içindeki yenilenebilir enerjinin payının ve kaynak çeşitliliğinin artırılması hedeflenmiştir [23].

Çizelge 4. 3453 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile Belirlenen YEKDEM Tavan Fiyatları [22].

I Sayılı Cetvel (YEKDEM Baz Fiyatlar) (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Tavan Fiyatlar (ABD doları cent/kWh)
a. Hidrolik üretim tesisi	6,40
b. Rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	5,10
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	8,60
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı veya atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar için)	5,10
e. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (biyometanizasyon için)	8,60
f. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (termal bertaraf)	8

7. TÜRKİYE'DE CSP UYGULAMALARI

Türkiye'de yürütülen Ar-Ge faaliyetleri GES teknolojilerinden PV'lerde yoğunlaşmış olsa da Mersin'de yer alan Türkiye'nin tek CSP tesisinin Ar-Ge çalışmaları 2005 yılında başlatılmıştır. Tamamı yerli sermaye olan Greenway firması tarafından yürütülen proje, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı ve TÜBİTAK'ın desteğiyle 2013 yılında tamamlanmıştır. Şekil 3'te görülen 5 MW ısı gücü ve 1 MW türbin çıkış gücüne sahip olan ve 100 dönüm arazi üzerine kurulan CSP tesisi 50 metre yükseklikteki güneş kulesi teknolojisi kullanılarak 50 milyon dolara inşa edilmiştir. Bu tesiste güneş ışığını yansıtan 510 adet heliostat toplam tesis alanının 30 dönümlük bölümünü kaplamaktadır. Ayrıca, santral doğal gaz çevrim santraline entegre edilebilmektedir. Böylece, güneş ışığının olmadığı saatlerde doğal gaz santrali devreye girebilmektedir. Tesisin bir diğer önemli özelliği ise, yerli olarak yazılım ve donanımı tasarlanan Green Box kontrol kartıyla kablosuz iletişime sahip olmasıdır. Akıllı yazılım sayesinde astronomik bir algoritmayla belirli aralıklarla güneşin pozisyonu hesaplanmakta ve aynalar uygun yöne çevrilmektedir [5].



Şekil 3. Greenway CSP Santrali [24].

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

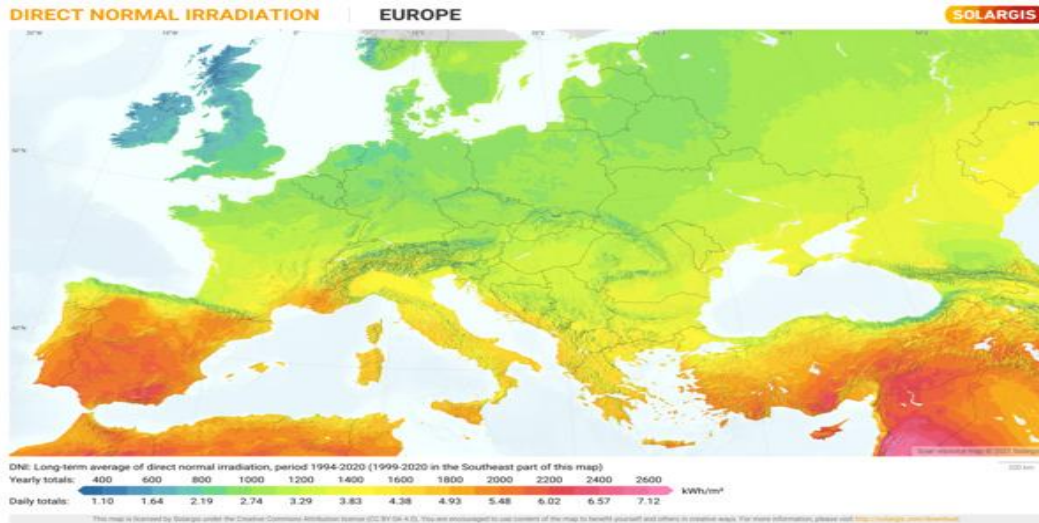
Enerji; gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olmasının yanında uluslararası arenada vazgeçilmez bir güç unsurudur. Bu sebeple ülkelerin politikalarını belirlemede enerji güvenliği ciddi bir rol oynamaktadır. Hammaddeye yakınlık, enerji iletim güvenliği, kaynak çeşitliliğinin sağlanması ve verimli üretim teknolojileri günümüzde en çok tartışılan konuların başında gelmektedir. Fosil yakıtlar kendisine sahip olan ülkelerin ekonomisini güçlendirirken ithalatçı ülkeler için önemli bir gider kalemidir. Yenilenebilir enerjinin hâkim olduğu bir piyasada enerji arzı ve güvenliği ile ilgili sorunların azalacağı öngörülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerjinin üretimdeki payının artması ile fosil enerji kaynakları zengin Ortadoğu gibi bölgelerde gerilimler, çekişmeler ve hatta savaşlar azalacaktır.

Türkiye her yıl yurtdışından çekebildiği yabancı yatırım kadar miktarı (yaklaşık 10 milyar dolar) doğal gaz ithalatına harcamaktadır. Türkiye’de enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve dış ticarete denge getirilmesi sürecinde; işletilmesi esnasında yakıt sarf etmeyen, işletme ve bakım maliyetleri düşük düzeylerde olan, ihtiyaca göre ölçeklendirilmesi nispeten kolay olan ve yerleşim bölgelerindeki nihai elektrik kullanıcılarına en yakın mesafede kurulabilen güneş enerjisi santrallerinin (GES) yaygınlaştırılması ciddi bir seçenek haline gelmiştir.

Yenilenebilir enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan teknolojilerin çoğunluğu ithal edilmektedir. Uygulanan teşvik politikalarının ardından yenilenebilir enerji yatırımlarının ülkemizin ekonomisine yapacağı katkıyı artırmak amacıyla yeni stratejilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, ülkemiz kaynakları geliştirilecek yeni ve ileri teknolojilerin kullanılarak yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi sağlanmalıdır. Türkiye’de mevcut sermaye, iş gücü, bilgi ve sanayi gibi kaynakların bu amaç için yönlendirilmesi devlet politikalarında ve stratejik planlarda temel amaçlardan olmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretim yatırımlarının uzun vadede Türkiye’nin ekonomisine sağlayacağı fayda ve maliyetlerin öngörülebilmesi bu kaynakların ülkemizin elektrik

üretim sistemindeki yerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji yatırımlarının; istihdam üzerindeki olumlu etkisi ve sera gazının azaltılmasındaki faydası enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasındaki etkisi de detaylı olarak ortaya konulmalıdır. Türkiye’de YEK’lerin milli ekonomiye azami düzeyde fayda sağlayabilmesi için destek politikalarının, yalnızca yenilenebilir enerji kurulu gücünü artırmak odaklı bir yaklaşımdan ziyade, yerli üretim endüstrisinin gelişmesini sağlayacak şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir.



Şekil 4. Avrupa DNI haritası [25].

FV sistemler ilk yatırım maliyeti ve LCOE analizine göre CSP sistemlerinden daha ekonomiktir fakat bu aralık hızlı kapanmaktadır. Ayrıca CSP sistemleri FV sistemlerden daha verimli çalışmaktadır. Güneş takip sistemleri, ısıl depolama ve güneş enerjisinin odaklanması verimi artıran temel etmenlerdir. DNI değeri 2000 kWh/m²’den yüksek olan bölgelerde CSP kullanılması daha avantajlı olacaktır. Almanya ve Danimarka gibi ülkelerde DNI değeri düşük olduğu için CSP yerine FV sistemleri seçmeleri mantıklıdır. Ülkemiz ile benzer iklim ve sıcaklık değerlerine sahip İspanya (Şekil 4) ise CSP sistemlerinde uzmanlaşarak güneş enerjisinden daha verimli yararlanmaktadır. CSP sistemleri Ülkemiz için de daha faydalı enerji üretim yöntemi iken ekonomik tedirginlikler sebebiyle yatırımcılar FV sistemlere yönelmiştir. İspanya’nın CSP teşvik ve yatırım modelleri incelenerek Türkiye’ye uygulanırsa Ülkemizde CSP sistemlerinin kullanımı yaygınlaşacaktır. Üniversitelerde CSP araştırmalarının teşvik edilmesi ile bilgi, uzmanlık ve yetişmiş iş gücü de artacaktır. CSP konusunda bilgilendirici görsel ve işitsel tanıtım çalışmaları ile halkımızın bu temiz ve tükenmez enerjiyi tanınması sağlanmalıdır. Gelecek nesiller ve doğamızın korunması için çevre bilincinin artması gerekmektedir. Çevre bilincinin temelinde çevreye zarar vermeyen teknolojilerin tercih edilmesi vardır. Enerji üretiminde artık ekonomik analizin yapılması yeterli olmamaktadır, sosyal ve çevresel maliyetlerin de hesaplanması gerekmektedir. Çevresel ve sosyal maliyetlerin de eklendiği bir hesaplama yöntemi daha adil olacaktır. Ekonomik, çevresel ve sosyal maliyetlerin bir arada olduğu hesaplama yönteminde yenilenebilir enerji kaynakları daha cazip hale gelecektir.

TEŞEKKÜR

Yazarların teşekkür edeceği herhangi bir kişi veya kuruluş bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Cengiz, M. S. ve Mamiş, M. S. (2016). Termal güneş enerjisi kullanımı ve CSP sistemlerin verimlilik analizi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 5(1), 1-13.
- [2] Polomarkaki, S. (2019). Study of concentrating solar power (CSP) station and simulation using software, Unpublished Diploma Thesis, Technical University of Crete, School of Electrical and Computer Engineering (ECE), Chania, Greece.
- [3] REN21. (2022, 27 Ekim). Renewables 2022 global status report, Erişim Adresi: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf
- [4] Livatyalı, H. (2022, 27 Ekim). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojileri. Erişim Adresi: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c21ec3eb17542d5_ek.pdf
- [5] Cebeci, S. (2017). Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi (Yayın No:2977), T. C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- [6] SolarPACES. (2022, 27 Ekim). CSP projects around the world. Erişim Adresi: <https://www.solarpaces.org/csp-technologies/csp-projects-around-the-world/>
- [7] SolarPACES. (2022, 27 Ekim). Solar thermal electricity global outlook 2016. Greenpeace International, ESTELA ve IEA SolarPACES 4th Joint Report. Erişim Adresi: http://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/gp-estela-solarpaces_solar-thermal-electricity-global-outlook-2016_full-report.pdf
- [8] The U.S.A. Department of Energy (USDOE), (2022, 27 Ekim). Ivanpah Project. Erişim Adresi: <https://www.energy.gov/lpo/ivanpah>
- [9] Coventry, J. and Andraka, C. (2017). Dish systems for CSP. Solar Energy. 152, 140-170.
- [10] Islam, M. T., Huda, N., Abdullah, A. B. and Saidur, R. (2018). A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91, 987-1018.
- [11] Affandi, R. B., Gan, C. K. and Ab Ghani, M. R. (2015). Performance comparison for parabolic dish concentrating solar power in high level DNI locations with George Town, Malaysia. Applied Mechanics and Materials, 699, 570-576.
- [12] Suman, S., Khan, M. K. And Pathak, M. (2015). Performance enhancement of solar collectors— A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 192-210.

- [13] Kumar, L., Hasanuzzaman, M. and Rahim, N. A. (2019). Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review. *Energy Conversion and Management*, 195, 885-908.
- [14] Kaygusuz, K. (2011). Prospect of concentrating solar power in Turkey: the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 808-814.
- [15] Umar, A. B., Gupta, M. and Buddhi, D. B. (2020). Concentrated solar thermal power technologies: a review. *Journal of Critical Reviews*, 7 (19), 8162-8184.
- [16] Pandey, A., Pandey, P. and Tumuluru, J. S. (2022). Solar energy production in India and commonly used technologies—an overview. *Energies*, 15(500), 1-26.
- [17] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2014, Aralık). Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Erişim Adresi: http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/Turkiye_Ulusal_Yenilenebilir_Enerji_Eylem_Planı.PDF
- [18] T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022, 27 Ekim). Güneş yatırımcıları için YEKA rehberi, Erişim Adresi: <http://www.kalienerji.com/uploads/dokuman/Gunes-yatirimcileri-icin-yeka-rehberi.pdf>
- [19] 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun. (2005, 10 Mayıs). *Resmî Gazete* (Sayı: 25819). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050518-1.htm>
- [20] 6094 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanunda değişiklik yapılmasına dair kanun. (2010, 29 Aralık). *Resmî Gazete* (Sayı: 27809). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/01/20110108-3.htm>
- [21] T. C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2022, 27 Ekim). Yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM). Erişim Adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-122/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-destekleme-mekanizmasi-yekdem>
- [22] 3453 Sayılı Cumhurbaşkanı Kararı. (2021, 29 Ocak). *Resmî Gazete* (Sayı: 31380). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/01/20210130-9.pdf>
- [23] Yenilenebilir enerji kaynak alanları yönetmeliği. (2016, 9 Ekim). *Resmî Gazete* (Sayı: 29852). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/10/20161009-1.htm>
- [24] Yılsan Holding. (2022, 27 Ekim). Greenway CSP solar tower, Erişim Adresi: <http://yilsanholding.com/tr-TR/greenway/313608>
- [25] SOLARGIS. (2022, 27 Ekim). Solar resource maps of Europe, Erişim Adresi: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe>