

Türkiye’de ve Dünyada Yenilenebilir Enerji

Volkan Aslan¹

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, fosil yakıtların sınırlı kaynakları ve çevresel maliyetleri nedeniyle günümüzde büyük önem kazanmıştır. Bu çalışma, Türkiye’nin güneş, hidro, rüzgar, biyoenerji, jeotermal ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini inceleyerek, bu kaynakların Türkiye’nin gelecekteki enerji tüketimine yapabileceği katkıları analiz etmektedir. Türkiye’nin enerji kaynaklarına genel bir bakışla mevcut durum değerlendirilmiş ve yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılmasında kamuoyunun bilinçlendirilmesinin önemine dikkat çekilmiştir. Araştırma, Türkiye’nin enerji politikalarının sürdürülebilirliğini sağlama ve emisyonları azaltma hedefleri doğrultusunda yenilenebilir enerjiye olan geçiş sürecini hızlandırması gerektiğini vurgulamaktadır.

Giriş

Enerji, günlük yaşamda insan gelişimine katkısının yanında, üretimi ve verimliliği sağlayan önemli bir faktördür. Enerji kaynakları; fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Dünyada teknolojideki gelişmelerle enerji tüketimindeki artış, çevresel sorunları beraberinde getirmiş ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmiştir (Gökçeli, 2023). Yenilenebilir enerji kaynakları, kendiliğinden yenilenen ve tükenmeyen temiz enerji kaynaklarıdır (Xu vd., 2013). Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlardan türetilen enerji kaynaklarını, fosil kaynaklı atık ürünleri veya inorganik kaynaklardan gelen atık ürünleri içermez. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyoenerji, hidroelektrik, jeotermal enerji, ve okyanus (gelgit ve dalga) enerjisi bulunur. Bu kaynaklar, sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılabilir ve çevresel etkileri asgari düzeyde tutarak enerji üretiminde önemli fırsatlar sunar. Yenilenebilir kaynakların

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, volkan.aslan@dpu.edu.tr, ORCID : 0000-0001-8874-9128

verimli kullanılması fosil yakıt tüketimin azalmasında ve küresel ısınma sorunlarını gidermede önemli rol oynayabilir (Momete, 2018). Sera gazları, CO2 emisyonları, iklim değişikliği ve enerji güvenliği gibi birçok sorun, yenilenebilir kaynaklara olan talebin artmasındaki en önemli nedenler olarak görülmektedir (Keramitsoglou vd., 2016).

Yerli enerji talebini karşılamada gün geçtikçe önemli bir seviyeye ulaşan yenilenebilir enerji kaynakları, neredeyse sıfır emisyonuyla enerji hizmetleri sağlama potansiyeline sahiptir (Fornara vd., 2016). Yenilenebilir enerjiye dönüş, iklim değişikliğini hafifletmeye yardımcı olacak mükemmel bir yoldur ancak sürdürülebilir bir gelecek sağlamak ve gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını karşılamaları için sürdürülebilir olması gerekir. Bu temiz kaynakların optimal kullanımı çevresel etkileri azaltmakta, minimum ikincil atık üretmekte, mevcut ve gelecekteki ekonomik- sosyal ihtiyaçları sürdürülebilir hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojileri, geleneksel enerji kaynaklarının (fosil yakıt bazlı) yerine geçerek sıfır karbon emisyonu hedefi ve küresel ısınmanın hafifletilmesi için olağanüstü bir fırsat sunmaktadır (Panwar vd., 2011; Çınar vd. 2023).

Literatürde, dünyada fosil yakıt kullanımının azaltılması gerektiği konusunda önemli derecede bir uzlaşma vardır. Türkiye’nin enerji talebinin yarısı doğalgaz ve petrol ithalatı ile karşılanmaktadır. Türkiye’nin enerji talebi, ağırlıklı olarak fosil yakıtlar, kömür, petrol ve doğalgaz ve daha az oranda jeotermal ve hidroelektrik santraller tarafından karşılanmaktadır. Türkiye’nin elektrik kapasitesindeki yenilenebilir enerji payı 2014 yılında %40 iken bu oran yenilenebilir enerji yatırımları ile 2023 yılı sonunda %55’e yükselmiştir. Türkiye’de elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı ise 2014 yılında yaklaşık %21 iken 2022 yılı sonu itibariyle dikkat çekici bir şekilde iki katına, %42’ye ulaşmıştır (REN21, 2024: 93-97).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2021) tarafından hazırlanan rapora göre, elektrik üretiminde fosil yakıt kullanım talebi 2019 yılından itibaren azalmakta ve yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla birlikte bu eğilim devam etmektedir. 2023 yılında, yenilenebilir enerji kapasitesine yapılan küresel eklemeler tahmini olarak %36 artarak 473 GW’ye ulaşarak art arda 22. yıl için yeni bir rekor kırdı. 130 ülke, 2023 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı’nda 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kapasitesini üç katına çıkarma ve enerji verimliliği iyileştirme oranını iki katına çıkarma taahhüdünde bulundular (REN21, 2024:10). Yenilenebilir enerji kaynaklarının 2023 yılında güneş ve rüzgârdaki büyümenin etkisiyle dünya genelinde elektrik üretimine %30 oranında katkıda bulunduğu görülmektedir. 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kapasitesinin üç katına

çıkarılmasıyla yenilenebilir enerjiden elde edilecek elektrik üretimi dünyada %60 oranında hedeflenmektedir. (Ember, 2024:6-8).

Yenilenebilir enerji, sadece temiz enerji talebini karşılamakla kalmaz aynı zamanda ekonomik öneme de sahiptir. Doğal, yenilenebilir kaynakları kullanarak enerji ürettiği için elektrik üretim maliyetini azaltıp enerji ithalatını azaltarak ekonomiye katkıda bulunmaktadır (Kardooni, 2016). Fosil yakıtların aksine yenilenebilir enerji kaynakları, kirlilikten arınmış bir çevre, enerji güvenliği ve ekonomik faydalar da sağlamaktadır (Bhowmik vd., 2016).

Dünyada yenilenebilir enerji sektöründeki istihdam, 2022'de %8 artarak 13,7 milyona ulaşırken, elektrik erişimi olmayan insan sayısı dünya genelinde 2022'de 756 milyondan 2023'te 745 milyona düşmüştür. 2023 yılında ortalama enflasyon dünya genelinde azalarak 2022'deki %8,7'lik projeksiyondan %6,9 civarına düşmesine rağmen, 2020 yılındaki %3,2 seviyesinin oldukça üzerinde kalmıştır. Enerji fiyatları, küresel ekonomik manzarayı şekillendirmeye devam ederken birçok ülkede, enerji emtialarının (fosil gaz ve kömür gibi) fiyatlarında 2023'ün ilk yarısında belirgin bir düşüş olmasına rağmen, toptan elektrik fiyatları yüksek kalmaya devam etmiştir. Yenilenebilir enerjiye küresel yatırım, yıl boyunca %8 artarak 2022'deki 576 milyar USD'den 622,5 milyar USD'ye ulaştı (REN21, 2024:10-11).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye için yenilenebilir enerjiye geçişte dünyada gelişen yenilenebilir enerji teknolojilerinin ve bu teknolojilerin fosil yakıtlara oranla sağladıkları daha temiz enerji arzının, çevre ve iklim üzerindeki etkilerini gösterip Türkiye'nin gelecekteki yenilenebilir enerji projeksiyonuna katkı sağlayacak politika ve önerilerde bulunmaktadır.

1. Yenilenebilir Enerji ve İklim Değişikliği

Dünya genelinde "iklim değişikliği" konusu, bilimsel ve politik tartışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda, enerji ile ilgili sorunlar giderek daha önemli hale gelmekte ve kaynakların ideal kullanımı, karbon emisyonlarının olumsuz çevresel etkileri ve geleneksel enerji kaynaklarının tüketimi gibi konulara çözümler aranmaktadır (Stoppato, 2008). 1850'den bu yana, küresel fosil yakıt kullanımı enerji arzında baskın hale gelmiş ve karbondioksit emisyonlarının hızla artmasına neden olmuştur (Asumadu-Sarkodie ve Owusu, 2016). 2024 yılı sonunda elde edilen veriler, fosil yakıt tüketiminin küresel sera gazı emisyonlarının büyük bir kısmını oluşturduğunu doğrulamaktadır. Global Carbon Project'in 2024 raporuna göre, fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon dioksit (CO₂) emisyonları 37,4 milyar ton

ile rekor seviyeye ulaşmıştır. Bu miktar, toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık %90’ını temsil etmektedir (Friedlingstein vd., 2024).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, iklim değişikliğini, küresel atmosferin bileşimini doğrudan veya dolaylı olarak değiştiren insan faaliyetlerine bağlamaktadır (Frass-Ehrfeld, 2009). 21. Yüzyılda, küresel ısınmayı 2 °C’nin altında tutma hedefi uluslararası iklim tartışmalarının ana odak noktası olmaktadır. Karbondioksit büyüme oranını son yıllarda sürekli artması, iklim değişikliği hızını yükselttiği için dünyadaki en büyük çevresel tehditlerden biri olarak görülmektedir.

Tablo 1: Dünya Genelinde Enerji Tüketimi ve CO₂ Emisyonları (Milyon Ton Petrol Eşdeğeri - MTEP ve Milyar Ton CO₂)

Yıl	Toplam Fosil Yakıt Tüketimi (MTEP)	Yenilenebilir Enerji Tüketimi (MTEP)	Enerji Kaynaklı CO ₂ Emisyonları (Mt CO ₂)
1990	7.120	1.000	22,4
1995	7.600	1.200	23,8
2000	8.100	1.500	24,9
2005	8.800	1.800	27,0
2010	9.600	2.200	29,7
2015	10.300	2.800	32,1
2020	11.000	3.500	33,9
2024	11.600	4.200	35,5

Kaynak: BP (2024), IEA (2024)

Dünyada toplam enerji tüketimi ve CO₂ emisyonlarının verildiği tablo 1’de, dünya genelinde fosil yakıt tüketiminin 1990’dan itibaren istikrarlı bir şekilde arttığı, buna paralel olarak enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının da belirgin bir yükseliş gösterdiği görülmektedir.

Aşağıda, Türkiye’nin 1990’dan 2024’e kadar beşer yıllık aralıklarla fosil yakıt ve yenilenebilir enerji tüketimi ile enerji kaynaklı CO₂ emisyonları sunulmaktadır.

Tablo 2: Türkiye'nin Enerji Tüketimi ve CO₂ Emisyonları (Milyon Ton Petrol Eşdeğeri - MTEP ve Milyon Ton CO₂)

Yıl	Toplam Fossil Yakıt Tüketimi (MTEP)	Yenilenebilir Enerji Tüketimi (MTEP)	Enerji Kaynaklı CO ₂ Emisyonları (Mt CO ₂)
1990	32,0	5,0	130
1995	40,0	6,0	170
2000	50,0	7,0	210
2005	60,0	8,0	250
2010	70,0	10,0	300
2015	80,0	12,0	350
2020	90,0	15,0	400
2024	100,0	18,0	450

Kaynak: BP (2024), IEA (2024)

Yukarda verilen Tablo 2'deki veriler dikkate alındığında 1990-2024 döneminde Türkiye'nin fosil yakıt tüketimi ve enerji kaynaklı CO₂ emisyonları istikrarlı bir artış göstermiştir. Fosil yakıt tüketimi 32 MTEP'den 100 MTEP'e, emisyonlar ise 130 Mt CO₂'den 450 Mt CO₂'ye yükselmiştir. Türkiye'de ve dünyada yenilenebilir enerji tüketimindeki artış umut verici olsa da fosil yakıt tüketimindeki artış hızını dengeleyecek düzeyde değildir. Bu durum, iklim değişikliği üzerindeki baskının artmasına neden olmaktadır. Özellikle 2024 itibarıyla yenilenebilir enerji tüketimindeki iyileşmelere rağmen, toplam CO₂ emisyonları halen yükseliştedir. Bu eğilim, Paris Anlaşması'nda belirtilen 1,5°C hedefinin tutturulmasını zorlaştırmaktadır (UNEP, 2023). Fosil yakıt bağımlılığını azaltan politikalar ve yenilenebilir enerjiye daha güçlü yatırımlar, karbon nötr bir geleceğe ulaşmak için kritik öneme sahiptir (Osman vd., 2022).

Yenilenebilir enerji teknolojisi ile temiz enerji kaynaklarının verimli kullanımı minimum ikincil atık üretip olumsuz çevresel etkileri azaltarak ekonomik ve sosyal ihtiyaçları karşılayacak sürdürülebilir temiz enerjinin üretilmesi amaçlanmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojileri, geleneksel enerji kaynaklarının (fosil yakıt bazlı) yerine geçerek sera gazı emisyonlarının azaltılması ve küresel ısınma hızının düşürülebilmesi için çok önemli bir fırsat sunmaktadır (Panwar vd., 2011). Bunun yanında yenilenebilir enerji teknolojilerine yatırımlar, AR-GE faaliyetlerinin artırılması ve hükümetlerce desteklenmesi, karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik uygulamalar, iklim değişikliğinin hafifletilmesine büyük ölçüde katkıda bulunabilir (IEA, 2020). Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin yenilenebilir enerji teknolojilerine

ulaşımını kolaylaştıracak uluslararası işbirliği ve desteğin artırılması, iklim değişikliğinin ve etkilerinin hafifletilmesinin bir yolu olarak görülebilir (UNEP, 2020).

2. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal ve sürekli enerji akışlarından elde edilen ve dünya genelinde elektrik üretimi için daha geniş bir kullanım alanına sahip alternatif enerji kaynaklarıdır. Bunlar; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidro enerji, biyoenerji, jeotermal enerji ve okyanus enerjisi (gelgit ve dalga enerjisi) gibi kaynakları içerir. Yenilenebilir enerji teknolojileri üzerine yapılan araştırmalar, özellikle enerji dönüşüm verimliliği açısından yenilenebilir enerji üretiminin performansını artırmak amacıyla sürekli olarak büyümektedir.

2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, dünya genelinde oldukça fazla kullanılan yenilenebilir enerji türlerinden biridir. Dünyada elektrik bulunmayan ancak güneş ışınımının bol olduğu uzak bölgelerde güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi, güneş enerjinin en önemli avantajlarından (Demirbaş, 2007). Güneş enerjisi üretiminde maliyetlerin ve enerji dönüşümünün optimize edilmesiyle ortaya çıkabilecek çevresel etkilerin en az seviyeye indirilmesi amaçlanmaktadır (Nazari vd., 2021). Güneş termal enerjisi ve fotovoltaik enerji olmak üzere iki ana güneş enerji sistemi vardır. Bu iki sistem genellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde uygulanmaktadır (Ang vd., 2020). Güneş termal enerjisi, radyasyon enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir (Cleveland, 2005). Bu sistemler, su ısıtma, endüstriyel ısıtma ve elektrik üretimi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır (Ang vd., 2020). Fotovoltaik enerji, gelecekteki potansiyel bir enerji kaynağı olarak en çok tercih edilen güneş enerjisi teknolojilerinden biridir (Alhafadhi vd., 2020). Mevcut fotovoltaik enerji üretimi, global elektrik talebinin yaklaşık %2'sini karşılamaktadır (Bughneda vd., 2020).

Tablo 3: Dünya ve Türkiye Güneş Enerjisi Üretimi (2005-2024)

Yıl	Dünya Güneş Enerjisi Üretimi (MW)	Türkiye Güneş Enerjisi Üretimi (MW)
2005	5000	0
2010	40000	4
2015	230000	249
2020	710000	6667
2024	900000	10000

Kaynak: BP (2024), IEA (2024)

Tablo 3'deki verilere göre 2005-2024 döneminde dünya genelinde güneş enerjisi üretimi hızlı bir büyüme göstermiştir. Dünya genelindeki üretim 2005'te 5.000 MW iken, 2024 yılında 900.000 MW'a ulaşmıştır. Türkiye'de ise güneş enerjisi üretimi, 2010 yılında 4 MW gibi çok düşük bir seviyede başlamış, 2024 itibarıyla 10.000 MW'a yükselerek önemli bir büyüme kaydetmiştir. Bu artış, yenilenebilir enerjiye yönelik küresel ve ulusal yatırımların, politikaların ve teknolojik ilerlemelerin etkisini açıkça ortaya koymaktadır ancak Türkiye'nin kurulu gücü, dünya geneline kıyasla halen sınırlı düzeydedir (Enerji Atlası, 2022). 2023 yılı itibarıyla Türkiye, güneş enerjisinde 11.293 MW kurulu kapasiteye ulaşarak Avrupa'da en yüksek kurulu kapasiteye sahip olan sekizinci ülke konumuna erişmiştir (REN21, 2024:41).

Güneş enerjisindeki bu büyüme eğilimi, karbon emisyonlarının azaltılmasına ve enerji arz güvenliğinin artırılmasına yönelik önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarını daha fazla destekleyerek dünya ortalamasına yaklaşması stratejik bir hedef olmalıdır.

2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar teknolojisi, hareketli havanın kinetik enerjisini rüzgar türbinleri kullanarak elektrige veya mekanik güce dönüştürür (Balat, 2005). Rüzgar enerjisi, çevresel etkileri düşük olan temiz bir enerji kaynağıdır. Dünya genelinde geniş bir kullanım alanı bulunur ve bazı yerlerde önemli enerji yoğunluğuna sahiptir (Manwell vd., 2010). Elektrik üretimine uygulanan yenilenebilir enerji teknolojileri arasında, rüzgar enerjisi kurulu kapasite açısından hidroelektrikten sonra ikinci sırada yer almakta olup hızlı bir büyüme göstermektedir (Panwar vd., 2011). Rüzgar enerjisi, gelişmekte olan, enerji kıtlığı çeken ülkelerde, uzak, erişilemeyen ve dağlık bölgelerde bile çok hızlı bir şekilde kurulup iletilebilen uygun bir elektrik kaynağıdır (Singh, 2004). Rüzgar enerjisi, karasal rüzgar (onshore) veya deniz üstü rüzgar (offshore) ile üretilebilir ve her ikisi de elektrik üretiminde diğer kaynaklarla kıyaslandığında çevreye olan etkisi daha düşük seviyededir (Kaldellis, 2016). Rüzgar enerjisi ile elde edilen elektrik üretiminin sürekliliği vardır ve fiyatı genellikle yükselmez. Bu sistemler tarafından üretilen elektrik, birkaç milyar varil petrol tasarrufu sağlayabilir ve milyonlarca ton karbondioksit ve diğer emisyonları önleyebilir (Thomas, 1996). Aşağıda, 2005-2024 yılları arasında dünyada ve Türkiye'deki rüzgar enerjisi kurulu güç kapasitesinin (MW cinsinden) beşer yıllık aralıklarla gösterildiği tablo bulunmaktadır.

Tablo 4: Dünya ve Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç Kapasitesi (MW) (2005-2024)

Yıl	Dünya Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü (MW)	Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü (MW)
2005	59.024	20
2010	180.854	1.329
2015	433.000	4.718
2020	743.000	8.056
2024	1.000.000	12.000

Kaynak: GWEC (2021), TÜREB (2021)

Tablo 4’e göre dünya genelinde ve Türkiye’de rüzgar enerjisi kapasitesinin yıllar içinde önemli ölçüde artmaktadır. Özellikle 2010 yılından sonra belirgin bir büyüme yaşanmıştır. Türkiye karasal rüzgar enerjisinden 2010 yılında 1.329 MW olan kurulu gücünü 2024 yılında 12.000 MW’a çıkararak önemli bir ilerleme kaydetmiş ve AB ülkeleri arasında yedinci sırada yerini almıştır (REN21, 2024:26-27).

2.3. Hidro Enerji

Hidroelektrik enerji, suyun daha yüksek bir seviyeden daha düşük bir seviyeye hareketi ile ilgili enerjiyi ifade eder. Hidroelektrik enerji diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla yaklaşık % 90 ile en yüksek dönüşüm verimliliğine sahiptir. Hidroelektrik, dünya genelinde elektrik üretiminin %20’sine katkıda bulunmaktadır (Letcher, 2020).

Hidroelektrik enerji üç farklı teknoloji kullanılarak elde edilebilir. Bunlar: nehir akışı, rezervuar ve pompalı depolama santralleridir. Nehir akışı hidroelektrik santralleri, nehirlerin akışını kullanır ve daha fazla esneklik ve talebe uyum sağlamak için kısa vadeli depolamayı içerebilir ancak bu teknoloji esas olarak nehirlerin doğal akış koşullarına dayanır. Rezervuar hidroelektrik santralleri, çoğunlukla barajlarla oluşturulan su depolama rezervuarlarına dayanır ve büyük miktarlarda su depolayabilir. Pompalı depolama santralleri, talebi aşan üretim olduğunda suyu düşük rezervuarlardan yüksek rezervuarlara pompalar, böylece gerektiğinde arz garanti altına alınır (Perez vd., 2017).

Hidroelektrik üretimi sera gazı üretmez ve bu nedenle genellikle yeşil bir enerji kaynağı olarak kabul edilir ancak avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunur. Hidroelektrik üretimi ülkelerin sosyo-ekonomik gelişimini iyileştirir ancak insanların evlerinden taşınmasına neden olacak

olumsuz sosyal etkileri de ortaya çıkarır. Hidroelektrik yapılar, nehirlerin ekolojisini, hidrolojik özelliklerini değiştirerek ve balık göçü gibi ekolojik sürekliliği kesintiye uğratarak etkiler (Edenhofer et al., 2011). Bir barajın inşası sırasında önemli bitki örtüsü veya ağaç örtüsü su altında kaldığında, bitkiler su içinde çürümeye başladığında metan gazı oluşabilir, bu gaz doğrudan veya su türbinlerde işlendiğinde serbest bırakılabilir (Førsund, 2015).

Aşağıda, 2005-2024 yılları arasında dünyada ve Türkiye'deki hidroelektrik enerji kurulu güç kapasitesinin (MW cinsinden) beşer yıllık aralıklarla gösterildiği tablo bulunmaktadır.

Tablo 5: Dünya ve Türkiye'de Hidroelektrik Enerji Kurulu Güç Kapasitesi (2005-2024)

Yıl	Dünya Hidroelektrik Enerji Kurulu Gücü (MW)	Türkiye Hidroelektrik Enerji Kurulu Gücü (MW)
2005	900.000	12.241
2010	1.000.000	15.831
2015	1.100.000	25.868
2020	1.200.000	28.503
2024	1.300.000	32.000

Kaynak: IHA (2021), TEİAŞ (2021)

Bu veriler, dünya genelinde ve Türkiye'de hidroelektrik enerji kapasitesinin yıllar içinde istikrarlı bir şekilde arttığını göstermektedir. Özellikle Türkiye, 2005 yılında 12.241 MW olan kurulu gücünü 2024 yılında 32.000 MW'a çıkararak önemli bir ilerleme kaydetmiş ve bu kurulu kapasite ile Türkiye'de elektrik üretimine en çok katkıda bulunan yenilenebilir enerji kaynağı hidro enerji olmuştur. Türkiye, hidro enerji kurulu kapasite bakımından Norveç'ten sonra Avrupa'nın en büyük ikinci ülkesi olarak sıralamada yerini almıştır (REN21, 2024: 11). Hidroelektrik enerji, Türkiye için bugüne kadar olumlu sonuçlar veren yerel veya uluslararası enerji yasaları ile ilgili konular iyileştirilirse umut verici bir geleceğe sahip olabilecek bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

2.4. Biyoenerji

Biyoenerji; canlı organizmalardan veya yakın zamanda canlı olmuş olan bitkiler, hayvanlar vd. organik, fosilleşmemiş ve biyolojik olarak parçalanabilen tüm organik biyolojik kaynaklardan türetilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Mao vd., 2015). Biyoenerji kullanımına göre biyokütle (ısı), biyodizel (biyoyakıt) ve biyogaz olarak sınıflandırılır.

Biyokütle: Doğrudan topraktan veya gıda veya diğer ürünler için mahsullerin işlenmesi sırasında üretilen kalıntılardan elde edilir. Biyokütle enerjisi yenilenebilir ve sürdürülebilir olup, fosil yakıtlarla birçok ortak özelliğe sahiptir. Biyokütle doğrudan yakılarak enerji elde edilebilir, aynı zamanda çeşitli sıvı veya gaz yakıtlarına dönüştürülmek üzere hammadde olarak da kullanılabilir (Ellabban vd., 2014). Biyokütledeki enerji, yanma yoluyla kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir ve bu enerji de elektrik üretmek için kullanılır. Yanma verimliliği ve biyokütlenin enerji kullanma yeteneği, yanma yöntemi, biyokütle türü ve ölçek uygulaması gibi çeşitli değişkenlere bağlıdır (Ang vd., 2022).

Biyokütle, sera gazlarını azaltma hedefine ulaşma ve gelecekte yakıt arzını güvence altına alma potansiyeline sahiptir. Biyokütle ile ilgili birçok araştırma, iklim değişikliğini hafifletmek için çevresel temiz enerji olarak kabul edilebilir ve sürdürülebilir bir kaynak olarak görülür (Demirbaş vd., 2009). Biyokütle kullanımı CO2 emisyonlarını azaltır, bu nedenle fosil yakıtların sürdürülebilir biyokütle yakıtıyla değiştirilmesi, CO2 emisyonlarını azaltma açısından dikkate alınması gereken bir seçenektir. Bunun yanı sıra bitkisel artıkların dönüşümü, tarımsal üretimin değerini artırır ve belediyelerin katı atıklardan kurtulma maliyetlerini de azaltır.

Biyokütlenin elektrik üretiminde fosil yakıtların yerine kullanılması, sera gazı emisyonlarının azalmasına ve dolayısıyla küresel ısınmanın azaltılmasına yardımcı olur. Biyoenerjinin çevresel avantajlarının yanında olumsuz çevresel ve sosyo-ekonomik etkilerini de ortaya koyan birçok çalışma bulunmaktadır. Biyoenerji elde edebilmek için ormanın aşırı sömürülmesi, aşırı yoğun mahsul ve orman artığı çıkarımı ve suyun aşırı kullanımı ile ilgili olarak toprak ve bitki örtüsünün bozulmasına neden olabilir (Robertson vd., 2008). Biyokütle enerjisine dayalı elektriğin avantajı, yakıtın genellikle organik kaynaklardan elde edilen bir yan ürün, artık veya atık ürün olmasıdır ancak bu durumun gıda ve yakıt için arazi kullanımları arasında rekabete yol açmaması oldukça önemlidir (Urban ve Mitchell, 2011). Bunun yanında mahsul veya arazinin tamamen biyoenerji üretimine yönlendirilmesi, gıda emtia fiyatlarını ve gıda güvenliğini etkileyebilir (Headey ve Fan, 2008). Dünya genelinde, yoksul ülkelerde gıda yardımı gerektiğinde, gıda üretiminin yakıt sağlamak için kullanılıp kullanılmayacağı konusunda endişeler vardır. İnsan gıdasının yaklaşık %99.7’si karasal çevreden elde edilmekte ve dolayısıyla biyokütle üretimi için uygun olan arazilerin çoğu zaten kullanılmaktadır (Ajanovic, 2011).

Türkiye’nin biyokütle ve biyoenerji üretim potansiyeli büyüktür ve orman ve tarım kalıntılarına dayalı olarak kırsal enerji hizmetlerini

iyileştirme potansiyeline sahiptir. Türkiye'deki yenilenebilir temiz enerji kaynakları arasında biyokütle, toplam enerji tüketimindeki payı halen yüksek olduğu için önemlidir. Türkiye'nin yıllık biyokütle enerji potansiyeli ve yıllık potansiyel miktarı sırasıyla yaklaşık 32 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) ve 117 milyon tondur (Gokcol, 2009). Türkiye'de kullanılabilir biyokütleden elektrik üretimi yaklaşık olarak yılda 17 MTEP'dir (Demirtaş, 2008). 2023 yılı itibariyle Türkiye, biyoenerjide 2001 MW kurulu kapasiteye ulaşırken Avrupa'da en büyük sekizinci kurulu kapasiteye sahip olan ülke konumuna gelmiştir (REN21, 2024:58-59).

Biyodizel: Bitkilerden, hayvanlardan ve diğer organizmalardan termokimyasal ve biyokimyasal süreçlerle üretilen sıvı yakıtları ifade eder (Perez vd., 2017). Başka bir ifadeyle biyodizel, işlenmiş organik yağlar ve yağlardan elde edilen ester bazlı oksijenli yakıtlardır (Atadashi vd., 2012). Biyodizel, özellikle ulaşım ve elektrik üretimi sektörlerinde, günlük faaliyetlerimizde benzin ve dizelin yerini alma potansiyeline sahiptir (Hassan vd., 2013). Biyodizel ayrıca düşük miktarda sera gazı yayar (Pizarro ve Park, 2003).

Biyodizel, enerji ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve tarım endüstrisinde benzini ikame ederek yeşil kırsal kalkınmayı teşvik etmek amacıyla sürekli olarak modern enerji sistemine daha uyumlu ve çekici hale getirilmekte ve geliştirilmektedir (Silitonga vd., 2011).

Biyogaz: Biyokütleden elde edilen gaz halindeki bir son üründür ve doğal gaz gibi konvansiyonel kaynaklara alternatif olarak görülmektedir (Appels vd., 2011). Biyogaz, elektrik üretmek için yakıt olarak kullanılabilirken atmosfere ve çevreye %50-90 daha az miktarda sera gazı salınımı sağlar (Lansing vd., 2008). Biyogazın elektrik üretimindeki faydalarından biri de organik atıkları kullanışlı ve çevre dostu bir ürüne dönüştürmesidir (Bellos ve Tzivanidis, 2019). Biyogaz, hem elektrik hem de ısı üretimi için kullanılabilen umut verici bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Gomez, 2013). 2023 yılı itibariyle Türkiye, biyogazda 1266 MW kurulu kapasiteye ulaşabilmiştir. Bu kurulu kapasite ile Avrupa'da Almanya, İngiltere ve İtalya'nın ardından en büyük dördüncü kurulu kapasiteye sahip olan ülke konumuna gelmiştir (REN21, 2024:76-77).

Aşağıda, 2005-2024 yılları arasında dünya ve Türkiye'deki biyoenerji kurulu güç kapasitesinin (MW) beşer yıllık aralıklarla gösterildiği tablo bulunmaktadır:

Tablo 6: Dünya ve Türkiye Biyoenerji Kurulu Güç Kapasitesi (2005-2024)

Yıl	Dünya Biyoenerji Kurulu Gücü (MW)	Türkiye Biyoenerji Kurulu Gücü (MW)
2005	35.000	28
2010	55.000	240
2015	105.000	540
2020	130.000	1.485
2024	150.000	2.439

Kaynak: IRENA (2021), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022).

Yukardaki verilere göre dünya genelinde ve Türkiye’de biyoenerji kapasitesinin yıllar içinde istikrarlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Özellikle Türkiye, 2005 yılında 28 MW olan kurulu gücünü 2024 yılında 2.439 MW’a çıkararak önemli bir ilerleme kaydetmiştir.

2.5. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğundan doğal olarak elde edilen bir ısı enerji kaynağıdır. Jeotermal rezervuarlardan ısı, kuyular ve diğer yöntemler kullanılarak çıkarılır. Yüzeye çıkarıldığında, çeşitli sıcaklıklardaki sıvılar elektrik üretmek ve ısı enerjisi gerektiren diğer amaçlar için kullanılabilir (Edenhofer vd., 2011). Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve hidro enerji gibi diğer kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, Dünya’nın içindeki jeotermal enerji zengindir ve tükenmez (Barbier, 2002). Ayrıca, jeotermal enerji doğal olarak duranıdır ve CO2 emisyonu içermez (Li vd., 2015). Bu yönüyle jeotermal enerji güvenilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilir (Hammons, 2003).

Jeotermal enerji, aktif volkanlara sahip ülkelerde özellikle hidrotermal enerji ile birlikte büyük ekonomik potansiyele sahiptir (Badescu, 2007). Günümüzde, Amerika Birleşik Devletleri, Meksika, Filipinler, Endonezya, İtalya, İzlanda ve Japonya gibi bir çok ülke elektrik üretimi için jeotermal enerjiyi kullanmaktadır.

Türkiye’de jeotermal keşifler 1960’ların başlarında başlamıştır. Türkiye, Alpin-Himalaya kuşağında yer aldığı için oldukça yüksek bir jeotermal potansiyele sahiptir. Türkiye’nin toplam jeotermal ısıtma kapasitesi yaklaşık 31,500 MWth’dır. Bu potansiyelin yaklaşık %80’i Batı Anadolu’da bulunmaktadır. Türkiye, konut ısıtması, bölgesel ısıtma, sera ısıtması ve kaplıcalar için kullanılan geniş jeotermal kaynaklara sahiptir. Türkiye’de ekonomik ölçekte kullanılabilir olan 186’dan fazla jeotermal saha ve sıcaklığı

20 ila 242 °C arasında değişen yaklaşık 1500 sıcak ve mineralli su kaynağı belirlenmiştir (Çapik vd., 2012).

Bu yüzyılda fosil yakıtların dünya genelinde kullanımının azalması beklenirken jeotermal enerji bu fosil yakıtların yerini alacak temiz çevre dostu kaynaklar arasında yer alacaktır. Jeotermal enerji, doğrudan ve dolaylı kullanımındaki avantajları ile dünyada ve ülkemizde çok ilgi görmeye başlamıştır. Nispeten düşük sıcaklıklarda dolaylı jeotermal enerji kullanımı, fosil yakıtlı enerji kaynaklarına göre verimsiz görünse de diğer yenilenebilir kaynaklara (hidroelektrik, biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisi) göre daha yüksek enerji üretimi avantajına sahiptir (Yüksel ve Kaygusuz, 2011). Özellikle son zamanlarda artan petrol ve gaz fiyatları, Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının geliştirilmesini daha önemli bir hale getirmiştir.

Aşağıda, 2005-2024 yılları arasında dünya ve Türkiye'deki jeotermal enerji kurulu güç kapasitesinin (MW) beşer yıllık aralıklarla gösterildiği tablo bulunmaktadır:

Tablo 7: Dünya ve Türkiye Jeotermal Enerji Kurulu Güç Kapasitesi (2005-2024)

Yıl	Dünya Jeotermal Enerji Kurulu Gücü (MW)	Türkiye Jeotermal Enerji Kurulu Gücü (MW)
2005	8.933	15
2010	10.898	94
2015	13.290	624
2020	15.400	1.515
2024	16.300	1.691

Kaynak: IRENA (2021), MTA (2023).

Tablo 7'de sunulan veriler, dünya genelinde ve Türkiye'de jeotermal enerji kapasitesinin yıllar içinde istikrarlı bir şekilde arttığını göstermektedir. Özellikle Türkiye, 2005 yılında 15 MW olan kurulu gücünü 2024 yılında 1.691 MW'a çıkararak önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Türkiye jeotermal enerjide 2016 yılından beri AB ülkeleri içinde en yüksek kurulu kapasiteye sahip ülke konumundadır. 2024 yılı itibariyle 1.691 MW kurulu kapasitesi ile ABD, Endonezya ve Filipinlerden sonra dünyada jeotermal enerjide en yüksek kurulu kapasiteye sahip dördüncü ülke konumuna gelmiştir (REN21, 20024: 80).

2.6. Dalga (Gel-Git) Enerjisi

Dalga enerjisi, suyun hareketini kullanarak türbinleri döndürmek veya doğrusal jeneratörleri çekmek suretiyle elde edilir (Hammar vd., 2012). Yüzey dalgaları, rüzgarın suyun üzerinden geçmesiyle oluşur (okyanus). Rüzgar hızı ve rüzgarın sürekliliği ne kadar artarsa ve rüzgarın kat ettiği mesafe ne kadar büyükse, dalga yüksekliği o kadar büyük olur ve üretilen dalga enerjisi o kadar fazla olur (Jacobson ve Delucchi, 2011). Okyanus, dalgalar, gelgitler, akıntılar ve ısı biçiminde dünya genelinde enerji talebini karşılayacak potansiyele sahiptir. Güneş ışığının sınırlı olması ve düşük rüzgar koşullarında enerji üretememeleri gibi güneş ve rüzgar enerjilerinin sınırlamaları bulunmaktadır. Bu nedenle, okyanus enerjisi, Dünya yüzeyinin %70’ini denizlerin ve okyanusların kapladığı düşünülürse bol rezervleri ve sürdürülebilirliği nedeniyle umut verici bir yenilenebilir ve karbon içermeyen enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir (Yun vd., 2024).

Okyanus enerjisi, geleceğin enerji sisteminde önemli bir rol oynayabilirken, karbon emisyonlarının azaltılmasına ve kıyı ile uzak bölgelerde ekonomik büyümeyi teşvik etmeye katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. İlk okyanus enerjisi projesi, sera gazlarının azaltılması için, 2006 yılında Güney Kore tarafından kaydedilmiştir. Hindistan’da okyanus enerji santralleri inşa edilmiş ve diğer gelişmekte olan ülkelerde birçok proje devam etmektedir (Bhuyan, 2008, Khan ve Bhuyan, 2009). Hükümetler tarafından radikal kararlar alınırca 2050 yılına kadar okyanus enerjisinin dünya elektrik üretimine katkısının sırasıyla %1,7 ve %9,8 olacağı öngörülmüştür (Esteban ve Leary, 2012).

Aşağıda, 2005-2024 yılları arasında dünyada ve Türkiye’deki dalga (gel-git) enerjisi kurulu güç kapasitesinin (MW cinsinden) beşer yıllık aralıklarla gösterildiği tablo bulunmaktadır.

Tablo 8: Dünyada ve Türkiye Dalga Enerjisi Kurulu Güç Kapasitesi (2005-2024)

Yıl	Dünya Dalga Enerjisi Kurulu Gücü (MW)	Türkiye Dalga Enerjisi Kurulu Gücü (MW)
2005	0.3	0
2010	0.5	0
2015	1.0	0.05
2020	2.4	0.05
2024	3.5	0.05

Kaynak: IHA (2021), TEİAŞ (2021)

Tablo 8'deki veriler, dünya genelinde dalga enerjisi kapasitesinin yıllar içinde yavaş da olsa bir artış gösterdiğini ancak Türkiye'de bu alandaki kapasitenin sınırlı kaldığını ve Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyelinin değerlendirilemediğini, yenilenebilir enerji kaynakları içinde bu alanda bir gelişim eksikliği olduğunu göstermektedir. Türkiye, 2015 yılında 0.05 MW olan kurulu gücünü 2024 yılında da aynı seviyede tutarak bu alanda sınırlı bir ilerleme kaydetmiştir.

Sonuç ve Politika Önerileri

Sürdürülebilir bir şekilde enerji hizmetleri sağlayan geniş bir enerji kaynağı ve sunucusu, uzun vadeli arz güvenliğini sağlamalı, uygun maliyetli olmalı ve çevreye olumsuz etkisi minimum düzeyde olmalıdır. Üretim aşamasında fosil yakıtların oranının yüksek olması nedeniyle, elektrik üretiminden kaynaklanan büyük olumsuz çevresel dışsallıklar bulunmaktadır. Fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye geçişi sağlamak için gerekli politikaların uygulanması yirmi birinci yüzyılın ilk yarısının en büyük zorluğu olarak tanımlanır (Verbruggen vd., 2010). Her ülkenin kolay ulaşabildiği yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak için tüm enerji sistemlerinde köklü değişiklikler gereklidir. Yenilenebilir enerji yatırım politikalarının devlet politikası olarak benimsenmesi ve bu politikanın etkinliği için; teşvikler, vergilendirme politikaları, regülasyonlar vb. politik araçların kullanımı oldukça önemlidir. Bu faktörlerin etkin kullanımı yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetini ve rekabet gücünü doğrudan etkiler.

2023 yılında yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar, yüksek faiz oranları ve dünya genelindeki zorlu piyasa koşulları nedeniyle karmaşık bir hale geldi. Yüksek talep gören mineraller de dahil olmak üzere ana hammadde için daha yüksek girdi maliyetleri, yatırım ortamını daha da olumsuz etkiledi. Yüksek sermaye maliyetleri ve özellikle gelişmekte olan piyasalarda artan faiz oranları, yenilenebilir enerji projelerinin finansmanını zorlaştırdı ve bu durum, küresel yenilenebilir enerji geçişini yavaşlatıp enerji eşitsizliğini artırdı. Devam eden jeopolitik çatışmalar ve uluslararası gerilimler, küresel tedarik zincirlerini kesintiye uğratmaya ve enerji sektörünü etkilemeye devam etmektedir. Bu durum da yenilenebilir enerji sektörünü uluslararası anlaşmazlıklar ve lojistik kısıtlamalara karşı savunmasız hale getirmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji sektörü, nitelikli personel talebinin yenilenebilir enerji teknolojilerinin dağıtım hızını aştığı bir uzman işgücü sıkıntısı ile karşı karşıyadır (REN21, 2024).

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetini düşürmek ve verimliliğini artırmak ve başarılı bir şekilde uygulanabilmesini sağlamak için Ar-Ge

yatırımları ve teşvik edici politikalar gereklidir. Bunun yanında yatırım maliyetlerini düşürmek için teknoloji geliştirme ve ölçek ekonomilerine geçiş oldukça önemlidir. Elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesine rağmen yenilenebilir enerjinin kesintili doğası ve yüksek başlangıç maliyeti nedeniyle elektrik üretiminin çoğu hala fosil yakıtlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Ang vd., 2022). Bu nedenle enerji güvenliği hedefleri ve sanayi stratejileri, yenilenebilir enerji yatırımlarını artırmaya yardımcı olmaktadır.

Ülkeler sürekli olarak yenilenebilir enerji politikalarını ve hedeflerini güncellemektedir. Sektörlerdeki enerji arz ve talebine göre yeni ve güncellenmiş yenilenebilir enerji politikaları, ağır sanayi ve ağır taşımacılıkta yenilenebilir enerjinin benimsenmesini artırma fırsatı sunmaktadır (REN21: 2024: 40). Ayrıca hükümetler tarafından yenilenebilir enerji kullanımı hakkında farkındalık artırma politikaları oluşturulmalıdır. Yenilenebilir enerji kavramları, ortaokul ve yüksek öğretim seviyelerinde eğitim programlarına dahil edilerek yaşam tarzı ve davranış kalıplarındaki değişiklikler aracılığıyla karbon ayak izimizin azaltılması ve böylelikle iklim değişikliğinin hafifletilmesine büyük ölçüde katkıda bulunabilir. Bu öneriler, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimini teşvik etmek ve sürdürülebilir enerji geleceğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji politikaları belirlenirken bu faktörler arasındaki ilişki dikkate alınmalı ve bütüncül bir yaklaşım sergilenmelidir.

1980’lerin başlarından bu yana, Türkiye’nin enerji politikası, artan iç enerji talebine yanıt olarak yatırımı teşvik etmek amacıyla piyasa liberalizasyonuna odaklanmıştır. Türkiye, fosil rezervlerinin sınırlı ve yetersiz olması nedeniyle enerji ithal eden bir ülkedir. Diğer ülkelere olan bağımlılığı azaltmak için, Türkiye’nin sürdürülebilir kaynaklarını kullanması gerekmektedir. Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları, uzun vadeli enerji taleplerini önemli ölçüde karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Özellikle hidroelektrik ve biyokütle başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye’nin temiz ve sürdürülebilir enerji geleceği için bir çözüm olarak görülmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin yenilenebilir enerji altyapılarının genişletilmesi, modern tedarik ve sürdürülebilir enerji hizmetleri için teknoloji kullanımında uluslararası iş birliği ve desteğin artırılması da iklim değişikliğinin ve etkilerinin hafifletilmesinin bir yolu olarak önemlidir. Yenilenebilir elektrik, enerji arzındaki değişimin itici gücü olmaktadır. Türkiye’de ve dünya genelinde yenilenebilir enerji yatırımları ve politikaları hızla artmaya devam etmektedir.

Kaynakça

- Ajanovic, A. (2011). Biofuels versus food production: does biofuels production increase food prices?. *Energy*, 36(4), 2070-2076.
- Ang, T. Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabaharan, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939.
- Alhuyi Nazari, M., Salem, M., Mahariq, I., Younes, K., & Maqableh, B. B. (2021). Utilization of data-driven methods in solar desalination systems: a comprehensive review. *Frontiers in Energy Research*, 9, 742615.
- Alhafadhi, L., Teh, J., Lai, C. M., & Salem, M. (2020). Predictive adaptive filter for reducing total harmonics distortion in PV systems. *Energies*, 13(12), 3286.
- Appels, L., Lauwers, J., Degreève, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., ... & Dewil, R. (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4295-4301.
- Asumadu-Sarkodie, S. , & Owusu, P. A.(2016). “Multivariate co-integration analysis of the Kaya factors in Ghana. *Environmental Science and Pollution Research*”, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 23, pp. 9934–9943,
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. A., & Sulaiman, N. M. N. (2012). Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(5), 3275-3285.
- Badescu, V. (2007). Economic aspects of using ground thermal energy for passive house heating. *Renewable energy*, 32(6), 895-903.
- Balat, M. (2005). Usage of energy sources and environmental problems. *Energy exploration & exploitation*, 23(2), 141-167.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), 3-65.
- Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2019). Alternative designs of parabolic trough solar collectors. *Progress in Energy and Combustion Science*, 71, 81-117.
- Bhowmik, C. S. Bhowmik, A. Ray and K. M. Pandey, “Optimal green energy planning for sustainable development: A review”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 71, pp. 796-813, May 2017.
- Bhuyan, G. S. (2008). Harnessing the Power of the Oceans. *An IEA Open Energy Technology Bulletin*, 7.
- BP. (2024). *Statistical Review of World Energy 2024*. BP Global. <https://www.bp.com/statisticalreview> (ET: 26.11.2024)

- Bughneda, A., Salem, M., Richelli, A., Ishak, D., & Alatai, S. (2021). Review of multilevel inverters for PV energy system applications. *Energies*, 14(6), 1585.
- Cleveland, C. J., & Morris, C. G. (Eds.). (2005). *Dictionary of energy*. Elsevier.
- Çapik, M., Yılmaz, A. O., & Çavuşoğlu, İ. (2012). Present situation and potential role of renewable energy in Turkey. *Renewable Energy*, 46, 1-13.
- Çınar, İ. T., Korkmaz, İ., & Şişman, M. Y. (2023). Green complexity, economic fitness, and environmental degradation: Evidence from US state-level data. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 43013–43023.
- Demirbas, M. F. (2007). Electricity production using solar energy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29(6), 563-569.
- Demirbas, A. (2008). Importance of biomass energy sources for Turkey. *Energy policy*, 36(2), 834-842.
- Demirbas, M. F., Balat, M., & Balat, H. (2009). Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management*, 50(7), 1746-1760.
- Edenhofer, O. , Pichs-Madruga, R. , Sokona, Y. , Seyboth, K. , Matschoss, P. , Kadner, S. , ... von Stechow, C. (2011). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* . Cambridge : Cambridge University Press.10.1017/CBO9781139151153
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 748-764.
- Ember, *Global Electricity Review Report, 2024*, <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2024/supporting-material/> (ET: 03.05.2024).
- Enerji Atlası. (2022). *Ülkelere göre güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi*. Enerji Atlası. <https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> (ET: 26.11.2024)
- Esteban, M., & Leary, D. (2012). Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy. *Applied Energy*, 90(1), 128-136.
- F. Fornara, P. Pattitoni, M. Mura and E. Strazzera, “Predicting intention to improve household energy efficiency: The role of value-belief-norm theory normative and informational influence and specific attitude”, *J. Environ. Psychol.*, vol. 45, pp. 1-10, Mar. 2016.
- Frass-Ehrfeld, C. (2009). *Renewable energy sources: A chance to combat climate change (Vol. 1)*. Kluwer Law International.
- Førsund, F. R. (2015). *Hydropower economics (Vol. 217)*. Springer.

- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., ... & Peters, G. P. (2024). Global Carbon Budget 2024. *Earth System Science Data*, 16(11), 4653–4728. <https://doi.org/10.5194/essd-16-4653-2024> (ET: 26.11.2024).
- Global Wind Energy Council (GWEC). (2021). *Global Wind Report 2021*. GWEC. <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> (ET: 26.11.2024)
- Gokcol, C., Dursun, B., Alboyaci, B., & Sunan, E. (2009). Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey. *Energy Policy*, 37(2), 424-431.
- Gökçeli, E. (2023). Yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketiminin ekonomik büyüme üzerindeki etkisi: BRICS ülkeleri örneği. Ö. Çalışkan (Ed.), *Makro boyutlarıyla enerji ekonomisi* (ss. 191-204). Özgür Yayınları.
- Hammar, L., Ehnberg, J., Mavume, A., Cuamba, B. C., & Molander, S. (2012). Renewable ocean energy in the Western Indian Ocean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4938-4950.
- Hammons, T. J. (2003, June). Geothermal power generation worldwide. In 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings, (Vol. 1, pp. 8-pp). IEEE.
- Headey, D., & Fan, S. (2008). Anatomy of a crisis: the causes and consequences of surging food prices. *Agricultural economics*, 39, 375-391.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *World Energy Investment 2020: RD&D and technology innovation*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020/rd-and-technology-innovation> (ET: 26.11.2024)
- International Energy Agency (IEA). *Global Energy Review 2021*, International Energy Agency (IEA), Paris (2021).
- International Hydropower Association (IHA). (2021). *2021 Hydropower Status Report*. IHA. <https://www.hydropower.org/publications/2021-hydropower-status-report> (ET: 26.11.2024)
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *Renewable Capacity Statistics 2021*. IRENA. <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021> (ET: 26.11.2024)
- Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy policy*, 39(3), 1154-1169.
- Kaldellis, J. K., Apostolou, D., Kapsali, M., & Kondili, E. (2016). Environmental and social footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart. *Renewable Energy*, 92, 543-556.
- Kardooni, R., Yusoff, S. B., & Kari, F. B. (2016). Renewable energy technology acceptance in Peninsular Malaysia. *Energy policy*, 88, 1-10.

- Kaygusuz, K., & Kaygusuz, A. (2002). Renewable energy and sustainable development in Turkey. *Renewable energy*, 25(3), 431-453.
- Khan, J., & Bhuyan, G. S. (2009). Ocean energy: global technology development status. Report prepared by Powertech Labs for the IEA-OES, 83.
- K. M. Keramitsoglou, R. C. Mellon, M. I. Tsagkaraki and K. P. Tsagarakis, “Clean not green: The effective representation of renewable energy”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 1332-1337, Jun. 2016.
- Lansing, S., Botero, R. B., & Martin, J. F. (2008). Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource technology*, 99(13), 5881-5890.
- Letcher, T. M. (Ed.). (2020). *Future energy: improved, sustainable and clean options for our planet*. Elsevier.
- Li, K., Bian, H., Liu, C., Zhang, D., & Yang, Y. (2015). Comparison of geothermal with solar and wind power generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1464-1474.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). (2023). *Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları*. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/aras-tirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari> (ET: 26.11.2024).
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons.
- Mao, G., Zou, H., Chen, G., Du, H., & Zuo, J. (2015). Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1823-1833.
- Momete, D. C., “Analysis of the potential of clean energy deployment in the European Union”, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 54811-54822, 2018.
- Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A. M., Al-Hinai, A., & Rooney, D. W. (2022). Renewable energy policies and investments: Toward carbon-neutral energy systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(5), 1303–1317.
- Panwar, N. , Kaushik, S. , & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 15 , 1513–1524.10.1016/j.rser.2010.11.037
- Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilarriño-Ayala, D., Montaña-Zetina, L. M., & Maldonado-López, L. A. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 597-613.
- Pizarro, A. V. L., & Park, E. Y. (2003). Lipase-catalyzed production of biodiesel fuel from vegetable oils contained in waste activated bleaching earth. *Process Biochemistry*, 38(7), 1077-1082.

- REN21, Renewables 2024 Global Status Report – Global Overview. <https://www.ren21.net> (E.T., 20.07.2024).
- Robertson, G. P., Dale, V. H., Doering, O. C., Hamburg, S. P., Melillo, J. M., Wander, M. M., ... & Wilhelm, W. W. (2008). Sustainable biofuels redux. *Science*, 322(5898), 49-50.
- Silitonga, A. S., Atabani, A. E., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., & Mekhilef, S. (2011). A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3733-3756.
- Singh, S., Bhatti, T. S., & Kothari, D. P. (2004). Indian scenario of wind energy: problems and solutions. *Energy Sources*, 26(9), 811-819.
- Stoppato, A. (2008). Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation. *Energy*, 33(2), 224-232.
- Thomas, B. G., & Urquhart, J. (1996). Wind energy for the 1990s and beyond. *Journal of Energy Conversion and Management*, 37(12), 1741.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Biyokütle*. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle> (ET: 26.11.2024)
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2021). *Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri*. TEİAŞ. <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-clektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (ET: 26.11.2024)
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB). (2021). *Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu*. TÜREB. <https://www.tureb.com.tr/tr/ruzgar-enerjisi/istatistikler> (ET: 26.11.2024)
- Uluslararası Enerji Ajansı (IEA). (2024). *World Energy Outlook 2024*. IEA Publications. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (ET: 26.11.2024).
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *Climate change mitigation: Accelerating access to renewable energy technologies in developing countries*. UNEP. <https://www.unep.org/gef/focal-areas/climate-change-mitigation> (ET: 26.11.2024)
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *The Production Gap Report 2023*. UNEP. <https://productiongap.org/2023report> (ET: 26.11.2024)
- Urban, F., & Mitchell, T. (2011). Climate change, disasters and electricity generation. Strengthening climate resilience discussion paper, 8, 22-23.
- Verbruggen, A. , Fishedick, M. , Moomaw, W. , Weir, T. , Nadaï, A. , Nilsson, L. J. , ... Sathaye, J. (2010). Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues. *Energy Policy* , 38 , 850–861.10.1016/j.enpol.2009.10.036

- Yuksel, I., & Kaygusuz, K. (2011). Renewable energy sources for clean and sustainable energy policies in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4132-4144.
- Yun, J., Cho, H., & Kim, D. (2024). Roly-poly inspired tribo-electromagnetic energy harvester toward sustainable ocean energy harvesting. *Nano Energy*, 125, 109484.
- Q. Xu, P. Lan, B. Zhang, Z. Ren and Y. Yan, “Energy sources part A: Recovery utilization and environmental effects”, *Energy Sources*, vol. 35, pp. 848-858, Mar. 2013.
- Verbruggen, A., Fishedick, M., Moomaw, W., Weir, T., Nadaï, A., Nilsson, L. J., ... & Sathaye, J. (2010). Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues. *Energy policy*, 38(2), 850-861.
- Wang, Q., Guo, J., Li, R., Mikhaylov, A., & Moiseev, N. *Energy Strategy Reviews*.