



Cilt / Volume: 13, Sayı / Issue: 26, Sayfalar / Pages: 697-718

Araştırma Makalesi / Research Article

Received / Alınma: 09.08.2023

Accepted / Kabul: 20.09.2023

BAŞLICA ENERJİ KAYNAKLARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ*

Ferhat ARI¹

Öz

Çevre sorunları içinde yaşadığımız dönemin en önemli konularından bir tanesini oluşturmaktadır. Her yıl milyonlarca insanın hayatını kaybetmesine neden olan çevre sorunlarının birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en önemlisi enerji kaynaklarıdır. Dünyanın enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayan fosil yakıtlar hava kirliliği, su kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevre sorunlarının ana nedenini oluşturmaktadır. Fosil yakıtların çevresel etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tüm dünyada daha fazla artmaktadır. Fakat temiz enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri, üzerinde yeterince tartışılmayan konulardan bir tanesidir. Bu çalışmanın temel amacı fosil yakıtlar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin analiz edilmesidir. Bu çalışmanın sonuçları göstermektedir ki hem fosil yakıtlar hem de yenilenebilir enerji kaynakları çevre açısından önemli riskler taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çevre Sorunları, Fosil Yakıtlar, Yenilenebilir Enerji, Temiz Enerji.

Jel Kodları: O13, P28, Q51, Q56.

* Bu çalışma, “Türkiye’nin Nükleer Enerji Politikasının Çevresel Etkilerinin Yerel Halk Tarafından Değerlendirilmesi: Akkuyu, Sinop ve İğneada Örneği” başlıklı tez’den üretilmiştir.

¹ Öğr. Gör. Dr. Bingöl Üniversitesi, E-posta: frht2035@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6397-1398.

Atıf/Citation

Arı, F. (2023). Başlıca enerji kaynakları ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(26), 697-718.

MAIN ENERGY SOURCES AND EVALUATION OF THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS

Abstract

Environmental problems constitute one of the most important issues in today's world. There are many reasons for environmental problems that cause millions of people to lose their lives every year. The most important of these is energy sources. Fossil fuels, which meet a significant part of the world's energy needs, are the main cause of environmental problems such as air pollution, water pollution and climate change. Due to the environmental effects of fossil fuels, the use of renewable energy sources is increasing all over the world. However, the environmental effects of renewable energy sources, called clean energy, are one of the issues that are not discussed enough. The main purpose of this study is to analyze the environmental effects of fossil fuels and renewable energy sources. The results of this study show that both fossil fuels and renewable energy sources carry significant risks for the environment.

Keywords: Environmental Issues, Fossil Fuels, Renewable Energy, Clean Energy.

Jel Codes: O13, P28, Q51, Q56

1. GİRİŞ

İçinde yaşadığımız çağın en önemli sorunlarından biri çevre konusunda karşımıza çıkan karmaşık ve çok yönlü meselelerdir. Bu sorunlardan ötürü her yıl başta insan olmak üzere milyonlarca canlı yaşamını yitirmektedir. Bu denli hayati önem arz eden çevre sorunlarının birçok nedeni bulunsa da bu nedenler arasında en başta enerji kaynaklarının geldiğini söylemek mümkündür. Her geçen gün sanayi ve hanelerde artan enerji ihtiyacı, beraberinde büyük bir enerji talebini doğurmakta ve bu enerji talebini karşılayabilmek için çoğunlukla fosil yakıtlara müracaat edilmektedir. Ancak küresel ölçekte ortaya çıkan enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayan fosil yakıtlar hava kirliliği, su kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevre sorunlarının ana nedenini oluşturmaktadır. Bu bağlamda bir yandan küresel ölçekte artan enerji talebinin karşılanması adına birçok ülkede fosil yakıt kapasitesi arttırılmaya çalışılırken diğer yandan fosil yakıtların neden olduğu çevresel tahribatın azaltılması adına alternatif enerji kaynaklarına yönelim söz konusu olmaktadır.

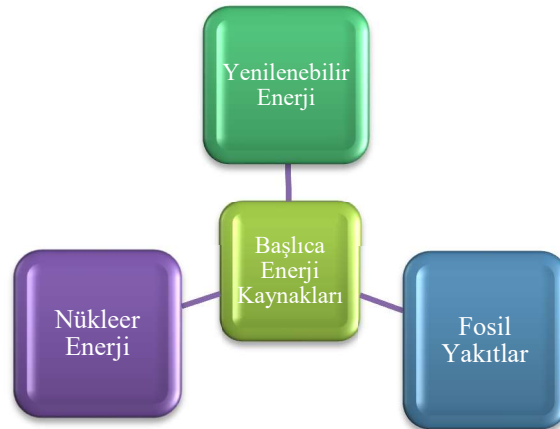
Fosil yakıt kullanımının olumsuz çevresel etkilerinden ötürü yönelimin arttığı enerji kaynaklarından biri de yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların kullanımı tüm dünyada her geçen gün büyük bir hızla artmaktadır. Fakat temiz enerji olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri, üzerinde yeterince tartışılmayan konulardan bir tanesidir. Bu çalışmanın temel amacı fosil yakıtlar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin analiz edilmesidir. Bu amaçla çalışmada öncelikle fosil yakıtlar detaylıca incelenmiş olup çevresel etkilerine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Sonrasında ise başlıca yenilenebilir enerji kaynakları incelenerek bu enerji kaynaklarının neden olduğu çevresel riskler ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. BAŞLICA ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji kaynakları aşağıdaki Şekil 1.'de ele alındığı üzere yenilenebilir enerji, fosil yakıtlar ve nükleer enerji olarak üç grupta incelenebilir. Bu kaynakların içerisinde tarihsel yönüyle kullanımı bakımından en eski olanı yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları olsa da günümüzde çoklukla kullanılan fosil yakıtlardır. Ancak fosil yakıtların kullanımında tüm dünyada gerek azalan rezerv miktarı gerekse de çevresel zararları açısından kısıtlamaya gidilmektedir. Bu durum, bütün dünyayı küresel çapta artan enerji miktarının telafisi için alternatif kaynak kullanımı arayışlarına itmektedir. Bu açıdan karşılaşılan çevresel tahribatı engellemek adına yenilenebilir enerji ve nükleer enerji gibi enerji kaynaklarına yönelme durumu göze çarpmaktadır. Alternatif mahiyette sayılan her iki enerji kaynağı da kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları içermektedir. Bu bilgiler bağlamında çalışmanın bu bölümünde fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynakları konusu detaylarıyla ele alınmış olup, çevresel etkileri yönüyle incelenmiştir. Ancak nükleer enerji, gerek dünyadaki enerji kullanım oranı içerisinde %5 (Arı, 2023, s. 9) gibi bir orana denk gelmesi gerekse de çalışmanın amaç ve dolayısıyla kapsamını genişleteceğinden bu çalışmada ele alınmamıştır.

Şekil 1. Enerji Kaynaklarının Gruplandırılması



3. FOSİL YAKITLAR

İçerisinde bulunduğumuz çağda dünya genelinde artmakta olan nüfus ve sanayileşme, enerji ihtiyacının da artmasına ve dolayısıyla enerjiye olan talebin de artışına neden olmaktadır. Her ne kadar son dönemde enerji ihtiyacının karşılanmasına ve enerji kaynaklarının

çeşitlendirilmesine yönelik olarak yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjiye bir yönelim söz konusu ise de artmakta olan enerji talebinin önemli kısmı genellikle fosil yakıtlardan karşılanmaktadır.

Fosil yakıtların ucuz, bol, kolay erişilebilir olması ve yüksek teknoloji gerektirmemesi özellikle gelişmekte olan ekonomiler için daha cazip ve tercih edilir olmalarını sağlamaktadır (Shahbaz vd., 2021, s. 1371). Bir başka deyişle yüz yılı aşkın bir süredir, sanayileşmiş dünyadaki baskın enerji kaynakları, kömür, petrol ve doğalgazdan oluşan fosil yakıtlar olmuştur ve bunlar artık gelişmekte olan dünyanın çoğunda da hâkim durumdadır (Bodansky, 2004, s. 2).

Neredeyse bütün dünyada yüksek ve artan oranda fosil yakıt tüketimine bağımlılığın olduğu bilinmektedir. İnsanları bu bağımlılıktan kısa bir süre içinde uzaklaştırma olasılığı tamamıyla gerçekçi görünmemektedir. Son yirmi yılda hem elektrik üretimi hem de ısıtma için fosil yakıtlardaki genel değişimin, kömür yerine gazın ve daha az ölçüde petrol kullanımının artması yönünde olmuştur. Bu, gaz yanmasının kömüre göre birim enerji başına daha az karbondioksit (CO₂) saldığı için CO₂ emisyonlarındaki büyümeyi sınırlamaya yardımcı olmuştur. Ancak siyasi olaylar, AB'de ve başka yerlerde bu yakıt türüne artan bağımlılıkla ilgili olarak endişe meydana getirmektedir (Freris & Infield, 2008, s. 11).

Ancak 1973 yılında meydana gelen petrol krizi, küresel enerji güvenliğini zedelemiştir. Bu durum tüm ekonomileri fosil yakıtların sürdürülebilir olmadığı ve alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç olduğu gerçeğiyle karşı karşıya bırakmıştır (Naimoğlu, 2022, s. 309). Ayrıca, özellikle küresel COVID-19 salgını ile başlayan ve Rusya – Ukrayna savaşıyla devam eden bu süreçte, fosil yakıtların kullanımının terk edilmesi bir seçenek değil, bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü fosil yakıtların kullanımı çevre kirliliği başta olmak üzere birçok alanda telafisi zor ya da imkânsız olan tahribatlara neden olmaktadır. Aşağıda fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğalgaz başlıklarıyla verilmiş olup bu fosil yakıtların çevresel etkilerine detaylıca değinilmiştir.

3.1. Kömür

Kömür, hem organik hem de inorganik malzemeden oluşan kimyasal ve fiziksel olarak heterojen, “yanıcı” tortul bir kayadır (Miller, 2005, s. 1). Kömürlerin kimyasal bileşim ve yapı bakımından da farklılık göstermesi, kömürlerin oluşum koşulları ve yaşlarına bağlı etkenlerden kaynaklanmaktadır (Bulkin, 2003, s. 7).

Organik olarak kömür, içerisindeki maddelerle kıyaslandığında daha az miktarda kükürt ve nitrojen ile beraber öncelikli olarak karbon, hidrojen ve oksijenden oluşur. İnorganik olarak kömür, kendi içerisinde dağılmış çok çeşitli kül oluşturan bileşiklerden oluşur. Bunun yanı sıra bitki örtüsünün zaman içerisinde çürümesinden ve bu sebeple de fiziksel ve kimyasal değişimlere maruz kalan kömürün turba, linyit, bitümlü kömür ve antrasit gibi türleri bulunmaktadır (Miller, 2005, s. 1-4).

3.2. Petrol

Petrol, bazı durumlarda metan, etan ve propan gibi gazlardan sıvı hafif yağlara, daha viskoz ağır yağlara ve şist, katranlı kum ve bitümlere kadar değişen hidrokarbon karışımlarını içeren geniş bir terimdir (Bulkin, 2003, s. 7). Fiziksel olarak yanıcı özellikli olup koyu renkli ve yapışkan yapılı bir hammaddedir (Demir & Sancak, 2022, s. 45).

Petrol köken olarak, Latince’de taş anlamında kullanılan “Petra” ve yağ anlamına gelen “Oleum” terimlerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur (Gürler vd., 2020, s. 182). Kelimenin tam anlamıyla "kaya yağı" anlamına gelen petrol, yeraltı rezervuarlarında birikmiş sayısız hidrokarbonca zengin sıvıyı tanımlamak için kullanılmaktadır. Petrol, kökeninin çeşitliliğini yansıtan renk, koku ve akış özelliklerinde önemli ölçüde değişiklik gösterir. Petrol ürünleri, rafineri gazı, etan, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), nafta, benzin, havacılık yakıtı, deniz yakıtı, kerosen, dizel yakıt, damıtılmış akaryakıt, tortu akaryakıt, gaz yağı, yağlayıcılar, beyaz yağ, gres, balmumu, asfalt ve ayrıca kok içeren ve rafine edilerek elde edilebilen petrol bazlı ürünlerdir (Speight, 2002, s. 1).

1950’de ABD, petrol endüstrisinin iyi gelişmiş olduğu tek ülke konumundayken bu süreçten 70’li yıllara varıncaya değin büyüyen endüstriye paralel olarak Amerika Birleşik Devletleri dışında iki yüz yeni rafineri inşa edilmiş ve bazı eski rafineriler genişletilmiştir. Bu bağlamda Batı Avrupa ve Japonya’da petrol, kömürü tahttan indirmiştir. Petrokimya, geniş bir yelpazede tamamen yeni ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Parra, 2004, s. 33). Küresel ölçekte kullanılan fosil yakıtlar içerisinde petrol kullanım oranı %38 ile en yüksek düzeydedir (Arı, 2023, 10-11).

3.3. Doğalgaz

Doğal gaz, hidrokarbon ve hidrokarbon olmayan bileşenlerin karmaşık bir karışımıdır ve atmosferik koşullar altında bir gaz olarak bulunur (Mokhatap vd., 2015, s. 3; United Nations (UN), 1996, s. 15). Genel olarak %70-90 düzeylerinde metan baskınlığıyla öne çıkan

doğalgazın içerisinde etan, propan, butan, penta ile beraber karbondioksit, azot ve hidrojen sülfürün bulunduğu bilinmektedir (Gürler vd., 2020, s. 228).

Doğal gazda değişen miktarlarda neredeyse yüzlerce farklı bileşik mevcut olabilir. Aynı rezervuardan üretim yapan iki kuyu bile, rezervuar tükendiği için farklı bileşimde gazlar üretebilir (Mokhatap vd., 2015, s. 3).

Fosil yakıtlar içerisinde doğalgazın kullanım oranı %29 ile en düşük düzeydedir (Arı, 2023, 10-11). Küresel ısınma ve iklim değişikliği perspektifinde ele alındığında, fosil yakıtlar içerisinde çevreye nispeten en az zarar veren fosil yakıt türü olan doğalgazın dünya çapındaki kullanım oranının en düşük olması, hem çevresel açıdan tezat oluşturmakta hem de endişe verir bir durumda olduğunu göstermektedir.

3.4. Fosil Yakıtların Çevresel Etkileri

Enerji kaynakları içerisinde çevresel açıdan en zararlı olanı fosil yakıtlardır. Bu yakıtlar bir yandan kullanımlarından kaynaklı zararlı atıklar meydana getirmekte ve çevreyi kirletmekteyken diğer yandan kullanımları esnasında saldıkları zararlı gazların atmosferde birikmesiyle küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim değişikliğine neden olarak dünyadaki canlı ve cansız bütün varlıklar üzerinde tehdit oluşturmaktadırlar.

Sanayi ve teknoloji alanındaki gelişmeler beraberinde fosil yakıt kullanımını da sürekli olarak arttırmıştır. Sanayileşmiş ülkelerde fosil yakıt kullanımı, kömür (elektrik üretimi), doğal gaz (ısıtma) ve petrol (ulaşım) kaynakları için hemen hemen yakın oranlarda seyretmektedir. Ancak elektrik üretimi için gaz giderek artan bir şekilde kömürün yerini almaktadır ve ulaştırma sektörü sürekli genişlemektedir (Elliott, 2003, s. 20). Hatta tamamen petrolün hâkimiyeti altında olan ulaştırma sektörü, petrol arzındaki herhangi bir kesintiye karşı çok savunmasız bir konumdadır (Bulkin, 2003, s. 4).

Yakıt olarak kullanılan kömür, üretilen enerjiye göre en büyük karbondioksit yayıcısıdır (Kessler, 2008, s. 281). Her ne kadar gerek kömür gerekse de diğer fosil yakıtların kullanımından ötürü olumsuz etki olarak doğrudan karbondioksit salımı göze çarpsa da Rabl ve Spadaro'nun (2007, s. 8-9) da belirttiği gibi farklı etkiler on yıllar belki yüz yıllar sonra ortaya çıkacaktır.

Fosil yakıtların kullanımını esnasında ortaya çıkan karbondioksit salımı ciddi problemleri de beraberinde getirmektedir. Atmosferde biriken karbondioksit miktarındaki artış, "küresel

ölçekte iklim değişikliği² olasılığını beraberinde getirmektedir (Bodansky, 2004, s. 7; Freris & Infield, 2008, s. 4). Çünkü artan fosil yakıt kullanımı atmosferdeki karbondioksit (CO₂) gibi sera gazlarını arttırmış ve bu yüzden 0,6 °C sıcaklık artışına bağlı olarak küresel ısınmaya neden olmuştur. Sera gazlarının yayılımına neden olan etkenler durdurulmaz ya da en aza indirgenmezse ilerleyen zamanlarla yüzey sıcaklığının 1,4 °C ile 5,8 °C arasında artacağı tahmin edilmektedir. Böylesi bir senaryonun gerçekleşmesi durumunda kuraklık riski, buzulların erimesi, deniz suyu seviyesinin yükselmesi, su taşkınları ortaya çıkabilir. Doğal ekosistem ve tarımsal faaliyetler başta olmak üzere birçok olumsuz etkiye neden olabilir (Öztürk & Kaya, 2019, s. 47).

Fosil yakıtların tamamının birleşiminde az veya çok miktarda kükürt bulunduğu bilinmektedir. Kükürt, yanması sonucunda çeşitli kimyasal dönüşümler (SO₂, SO₃) geçirmektedir. Bu bağlamda geçirdiği dönüşümlerin toplamı, SO_x emisyonu şeklinde ifade edilmektedir. SO_x emisyonunun insanlarda çeşitli solunum yolu enfeksiyonları ve kalp rahatsızlıklarına sebep olduğu bilinmekle beraber atmosferdeki mutlak nem ile birleşerek sülfüroz/sülfürik asit biçimine dönüşmektedir. Bu dönüşüm sonucunda bahsedilen asit türü yağmurla birlikte asit yağmuru şeklinde yeryüzüne dönmektedir. Yeryüzüne dönen asit yağmurları, ormanlar ve doğal bitki örtüsü üzerinde büyük tahribatlara neden olmaktadır (Ültanır, 1998, s. 234).

Fosil yakıt enerjisi tüketiminin ve zararlı madde emisyonlarının yanı sıra, petrol yakıtlı veya doğal gaz yakıtlı ısıtma tesisatlarının işletilmesi sırasında kirletici maddeler toprağa, havaya ve suya salınır. Bu kirleticiler çok farklı çevresel etkiler göstermektedir. Bu tür çevresel etkilere bir örnek, UV ışınmasına maruz kaldığında yüzeye yakın ozon oluşumuna katkıda bulunan yanmamış hidrokarbonlardır (Streicher & Kaltschmitt, 2007, s. 22).

Diğer yandan kullanılan fosil yakıtların türüne ve yanma işlemine bağlı olmak üzere değişen miktarlarda toksik (zehirli) karbon monoksit, çeşitli bileşikler ve partiküller atmosfere yayılabilmekte, katı yakıtların yakılmasından dışarıya küller atılmaktadır. Termik santrallerin

² Dünyanın atmosferi olmasaydı, ortalama yüzey sıcaklığı yaklaşık -18 °C olurdu. Dünya, atmosferdeki su molekülleri ve karbondioksit molekülleri de dâhil olmak üzere, dünyadan yayılan kızılötesi radyasyonun bir kısmını emen ve dünyanın çevresinden kaçmasını önleyen moleküller tarafından nispeten sıcaklık dengesi muhafaza edilir. Bu işlem, doğal “sera etkisi”dir. Sanayi çağının başlangıcından bu yana, atmosfere, özellikle karbondioksit (CO₂) olmak üzere, bu absorpsiyona katkıda bulunan ve Dünya'nın sıcaklığını daha da artırdığına inanılan ek gazlar salındı. Bu artışa antropojenik sera etkisi denir. CO₂ emisyonlarının etkileriyle ilgili uyarılar 19. yüzyıla kadar uzanıyor, ancak bunlar ancak 1970'lerden beri yaygın bir endişe konusu haline geldi. Beklenen sonuçlar “küresel ısınma” veya daha geniş anlamda “küresel iklim değişikliği” olarak tanımlanmaktadır (Bodansky, 2004, s. 11).

çalışması sonucunda yayılan uçucu küllerin çok sayıda toksik maddeler içerdiği bilinmekle beraber katı yakıtlardan içerisinde uranyum elementi bulunabilen kömürün kullanımından kaynaklı ortaya çıkan küller çevreye radyasyon yaymaktadır (Ültanır, 1998, s. 234).

Yukarıdaki paragraflarda fosil yakıtların sayılan tehlikelerine ve zararlarına değinilmiştir. Ancak bu yakıtlar içerisinde doğalgazın önemli avantajları vardır. Hem kimyasal kirleticiler hem de karbondioksit üretimi açısından çevreye en az zarar veren fosil yakıtlardandır. Varsayımda bulunulan “konvansiyonel olmayan” doğal gaz arzları bazı tahminleri karşılarsa, arz zorlukları onlarca yıl ertelenebilir. Ayrıca, doğal gaz, yanma türbininden gelen atık ısının çoğunun bir buhar türbinini çalıştırmak için kullanıldığı bir kombine çevrim modunda çalışan yüksek verimli yanma türbinlerinde kullanılabilir. Ayrıca doğalgazın yanma enerjisinin önemli bir kısmı hidrojen ve oksijenin kimyasal bileşiminden meydana gelir. Karbondioksit üretiminin enerji üretimine oranı açısından fosil yakıtlar arasında en düşük olanı doğalgazdır (Bodansky, 2004, s. 7-11).

Bununla birlikte, doğal gaz kullanımı, iki önemli belirsizliği veya sorunu içermektedir. Birincisi, gaz arzı standart konvansiyonel kaynaklarla sınırlı olabilir, bu da gazın mevcudiyetinin bir sorun haline geleceği ve fiyatların önemli ölçüde artacağı zamanı iletir. İkincisi, bu açıdan kömüre tercih edilmesine rağmen, doğal gaz, başta yanmadan kaynaklanan karbondioksit ve ikincil olarak sızıntılardan kaynaklanan metan olmak üzere hâlâ bir sera gazı kaynağıdır (Bodansky, 2004, s. 8). Ancak karbon emisyonu üretmesine rağmen kömür veya yağla kıyaslandığında kullanım birimi başına emisyon miktarının oldukça az olduğu ifade edilebilir (Gürler vd., 2020, s. 227).

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji kaynakları, adından da anlaşılacağı gibi doğada bir kez kullanıldıktan sonra tükenmeyen, süreklilik arz eden, bir kısmı çeşitli şekillerde dönüştürülerek tekrar kullanılabilen, kısacası yenilenebilen enerji kaynaklarıdır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, biyoyakıt-atık enerjisi gibi enerji kaynakları sayılabilir.

Yenilenebilir enerji türlerinin çoğu kolayca elektriğe dönüştürülür. Güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle de ısı sağlamak için kullanılabilir. Yenilenebilir enerji, prensipte, geleneksel enerji kaynaklarından sağlanan tüm enerji hizmetlerini sağlayabilir. Bunlar arasında ısıtma, soğutma, elektrik ve bazı zorluk ve maliyetlerle de olsa ulaşım yakıtları sayılabilir. Doğal olarak dağıtılmış bir kaynak olmanın ek avantajına sahiptir. Ayrıca

kapsamlı enerji taşıma sistemlerine ihtiyaç duymadan uzak bölgelere enerji sağlayabilir. Yenilenebilir enerjiyi elektriğe dönüştürmenin her zaman gerekli olmadığını belirtmekte fayda var. Güneş enerjili su ısıtma ve rüzgârla çalışan su pompalama, elektriği hiç kullanmadan çok iyi çalışabilen sistemlere güzel örneklerdir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerjinin insanların ihtiyaçlarının karşılanmasında giderek daha fazla yapacağı en büyük katkı elektriksel formda olacaktır (Freris & Infield, 2008, s. 15).

Dünyanın her yerinde yenilenebilir enerji teknolojilerinin pazar oluşturması, insanlara daha iyi ve daha rahat bir yaşam sürmesine yardımcı olması ve dünyadaki enerji kullanımının genel çevresel etkisini iyileştirmesi gibi noktalar yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilebilmesi açısından gerekçeler sunmaktadır (Schneider, 2003, s. 25).

Çevresel ve ekonomik faydalarına rağmen, yenilenebilir enerjinin büyük ölçekli kullanımına geçiş, çeşitli zorluklar içermektedir. Tamamı toplama ve üretim için arazi gerektiren yenilenebilir enerji teknolojileri, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve dünyada arazi ihtiyacı için tarım, ormancılık ve kentleşme ile rekabet etme durumunda kalacaktır (Pimentel, 2008, s. 12).

Wilson, yerel düzeydeki çabaları göz önünde bulundurulduğunda, Johannesburg'daki Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi'nin yenilenebilir enerji için belirli hedefler belirlemede başarısız olduğuna ve doğal olarak hayal kırıklığına uğradıklarını ifade etmiştir. Ancak, görüşlerini paylaştıkları Avrupa Birliği'nin, yenilenebilir enerjinin desteklenmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel toplam birincil enerji arzındaki payının artırılmasına olan güçlü bağlılığını dile getirdiklerini dile getirmiştir. Bu açıdan bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasının hem ulusal hem de küresel düzeyde sürdürülebilir kalkınmayı sağlamanın temel bir unsuru olduğunun farkına varılması gerekmektedir (Wilson, 2003, s. 112). Aşağıda başlıca yenilenebilir enerji kaynakları detaylarıyla incelenmiş ve bu kaynakların çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

4.1. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, binlerce yıl yelken açmak ve tahıl öğütmek amacıyla kullanılmıştır. Onlarca yıl önce Amerika Birleşik Devletleri'nde, elektrik hatlarının ötesinde, birkaç ampul ve radyoyu çalıştıran birçok küçük yel değirmeni bulunmaktaydı. Küçük yel değirmenleri, Amerika Birleşik Devletleri'nin batısında, hayvancılık için su pompalamak için hâlâ yaygın olarak kullanılmaktadır. Modern rüzgâr enerjisi üniteleri, elektriğin çok maliyetli olabilen küçük

dizel yakıtlı tesisler tarafından sağlandığı uzak topluluklarda özellikle değerlidir (Kessler, 2008, s. 267).

Rüzgârlar, atmosferdeki hava kütlelerinin büyük ölçekli hareketlerinden kaynaklanır. Bu hava hareketleri, öncelikle dünya atmosferinin farklı güneş ısıtmasıyla küresel ölçekte meydana gelir. Bu nedenle, hidro gibi rüzgâr enerjisi de güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir. Ekvator bölgelerindeki hava, diğer enlemlere göre daha güçlü bir şekilde ısıtılır ve bu da havanın daha hafif ve daha az yoğun olmasına neden olur. Bu sıcak hava yüksek irtifalara çıkar ve daha sonra kuzeye ve güneye, yüzeye yakın havanın daha soğuk olduğu kutuplara doğru akar. Bu hareket, havanın soğumaya ve batmaya başladığı ve atmosferin en alt katmanlarında bu soğuk havanın geri dönüşünün gerçekleştiği yaklaşık 30° Kuzey ve 30° Güney'de sona erer (Freris & Infield, 2008, s. 27).

Bir başka deyişle dünyanın havanın alçaldığı alanlar yüksek basınç bölgeleridir. Tersine, havanın yükseldiği yerde düşük basınç bölgeleri oluşur. Bu yatay basınç gradyanı, rüzgâr hareketinin hızını ve ilk yönünü belirleyen hava akışını yüksek basınçtan alçak basınca doğru yönlendirir. Basınç gradyanı ne kadar büyük olursa, hava üzerindeki kuvvet o kadar büyük ve rüzgâr hızı o kadar yüksek olur. Kuvvetin yönü yüksek basınçtan alçak basınca doğru olduğundan, rüzgârın ilk eğilimi izobarlara (eşit basınç çizgileri) dik olarak akmaktır. Bununla birlikte, rüzgâr hareketi kurulur kurulmaz, hareket yönünü değiştiren dünyanın dönüşü nedeniyle saptırıcı bir kuvvet üretilir. Bu kuvvet 'Coriolis kuvveti' olarak bilinir. Dünyanın rüzgârlı bölgelerinin çoğunda önemlidir, ancak ekvator yakınında çok az rol oynar (Freris & Infield, 2008, s. 27; Kaltschmitt & Wiese, 2007, s. 49-50).

Temel küresel rüzgâr sistemlerine ek olarak, çeşitli yerel etkiler de vardır. Deniz ve karanın farklı ısınması da genel akışta değişikliklere neden olur. Dağlar ve vadilerden binalar ve ağaçlar gibi daha yerel engellere kadar uzanan arazinin doğası da önemli bir etkiye sahiptir (Freris & Infield, 2008, s. 27).

Rüzgâr enerjisi, 1997'den sonra yıllık bazda %30'a kadar hızlanan, yıllık %20'nin üzerinde bir başlangıç pazar büyüme oranı ile liderlerden biri olmuştur. Örneğin 2002 yılının ortalarında, Danimarka'da, elektriğinin yaklaşık %18'i rüzgâr projelerinden elde edilmiştir. Bu alanda kullanılan teknoloji, küçük sabit hızlı 100-200 kW makinelerden 2 MW ve daha yüksek dereceli değişken hızlı makinelere kadar hızla gelişmiştir. Benzer şekilde, üretim maliyetleri de çarpıcı bir şekilde düşmüştür (Elliott, 2003, s. 30).

4.2. Güneş Enerjisi

Güneşin, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde doğada kendisine en çok rastlanılanlardan biri olduğunu söylemek mümkündür. Hatta Öztürk ve Kaya'nın (2019, s. 47) da belirttiği gibi güneşin, yeryüzünde ihtiyaç duyulan enerji miktarının on bin (10.000) katını her gün yayan bir enerji kaynağı olduğu gerçeği, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özellikle de güneş enerjisine yönelimin ne denli haklı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla gerekli teknolojik yatırımların artırılmasıyla bu tür enerji kaynaklarından azami ölçüde istifade edilmesi ve bu yolla da çevreye zararlı enerji kaynaklarının kullanım oranlarının düşürülmesi önem arz etmektedir.

Güneş Enerji Santrallerinde (GES) genel olarak iki farklı sistemle enerji üretimi yapılır. Bu sistemlerden birincisi, dolaylı yolla enerji üretimi yapan termal sistemdir. Bu sistemde geleneksel yöntemlerle güneş enerjisinin, yoğunlaştırıcı sistemler (yağ, su vb. sıvı ısıtılmasıyla) kullanılarak odaklanması sonucunda, ortaya çıkan buhardan elektrik üretimi yapılır. İkincisi, doğrudan enerji üretimini sağlayan fotovoltaik³ (PV) sistemdir. Bu sistemde ise, güneş ışınları paneller kullanılarak enerjiye çevrilmekte ve çeşitli cihazlar kullanılarak kullanıma uygun hale getirilmektedir. PV sistem özetle, hareketli mekanik parça gereksinimi olmayan, güneş ışınlarını doğrudan elektriğe dönüştürebilen, kolay bakımlı ve uzun ömürlü elektronik sistemlerdir (Ültanır, 1998, s. 130-132; Öztürk & Kaya, 2019, s. 48-56).

Fotovoltaik (PV) sistemler kullanılarak güneşten elektrik üretimi 1954 yılında gerçekleştirilmiş olmasına karşın, bu amaçla kullanılan ilk güneş termik elektrik santralleri 1970'li yılların sonunda kurulmuştur (Ültanır, 1998, s. 130).

4.3. Dalga Enerjisi

Rüzgârın deniz yüzeyinden geçişi esnasında enerjinin kademeli olarak suya aktarılmasıyla dalgalar meydana gelir. Rüzgâr enerjisinin yoğunluğu tipik olarak 1,2–1,8 kW/m² aralığındadır. Dalga cephesi veya tepe uzunluğunun metresi başına tipik güç yoğunluğu 50 kW olan dalgalar, aslında oldukça yoğun bir güneş enerjisi biçimidir. Bu dalga oluşum sürecinin meydana geldiği mesafeye "getirme" denir. Getirmelerin uzunluğunun artması, daha güçlü rüzgârları beraberinde taşır ve uzun süreli rüzgârlar da daha büyük, daha güçlü dalgalar

³ “Fotovoltaik Yunanca, ışık anlamına gelen *photo* ve elektrik akımını geliştiren makinayı tasarlayan *Alessandra Volt*'dan esinlenerek gerilim anlamına gelen *voltic* kelimelerinin birleşmesinden oluşur. İlk kez 1839'da *Becquerel* tarafından araştırılan güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler) güneş ışınlarını doğrudan elektriğe dönüştürebilen, hareketli mekanik parçaları olmayan, bakımı kolay ve ömürleri uzun olan elektronik sistemlerdir” (Öztürk & Kaya, 2019, s. 54).

üretir. Deniz dalgaları, dalga yüksekliği (H), periyodu (T) ve tepe uzunluğu ile karakterize edilir. Tepe uzunluğunun metre başına gücü, periyot ve dalga yüksekliğinin karesi ile orantılıdır (Freris & Infield, 2008, s. 47).

Derin su deniz dalgalarında çok büyük enerji akışları meydana gelebilir. Bu derin su dalgalarından elektrik enerjisi üretme olasılığı yıllardır bilinmektedir ve çeşitli sistemlerin kullanımı yoluyla bu gücü elde etmek için birçok yöntem mevcuttur. Örneğin, 1909'da Kaliforniya'da liman aydınlatması için bir dalga güç sistemi kullanıldı. Bu modern sisteme olan ilgi, özellikle Japonya, Birleşik Krallık, İskandinavya ve Hindistan'da canlandı. Bu nedenle araştırma ve geliştirme çalışmaları, anlamlı güç üretimi için ticari inşaata doğru ilerledi (Twidell & Weir, 2006, s. 400).

İklim değişikliği ve enerji güvenliği ile ilgili artan endişeler nedeniyle, dalga enerjisine olan ilgi artmıştır (Elliott, 2009, s. 267). Ancak bu enerjiyi elde etme amacıyla kullanılan teknolojiler henüz dünya çapında yaygınlık kazanmamıştır. Dünyanın oransal olarak önemli bir kısmının sularla çevrili olması, bu enerji kaynağından yararlanılması amacıyla gerekli teknolojik yatırımların yapılmasını gerekli kılmaktadır.

4.4. Jeotermal Enerji

Genel olarak dünyanın iç kısmından yüzeyine akan enerji olarak bilinen jeotermal enerji, yer altında çeşitli ısı kaynaklarından beslenir ve yeryüzüne doğru çıkar (Kaltschmitt & Wiese, 2007, s. 26). Yaklaşık 65 mW/m^2 olan doğal yüzey ısı akış yoğunluğu, ekonomik nedenlerden dolayı doğrudan dünya yüzeyinde kullanılamaz. Öte yandan, bazen sadece birkaç yüz metre derinliklerde, sıcaklıkları birkaç bin metreye kadar yükselen sıcak su, yer yüzeyindeki sıcak kuyular ve iyi bilinen volkanik alanlar, ısı ve dolayısıyla jeotermal enerji potansiyelinin varlığını göstermektedir (Huenges & Kaltschmitt, 2007, s. 95).

Jeotermal enerji ilk olarak 4 Temmuz 1904'te, yerel volkanizmanın dünya yüzeyine yakın ısı kaynakları sağladığı İtalya'nın Larderello kentinde Prens Piero Ginori Conti tarafından deneysel enerji üretimi için kullanıldı. Ancak, ticari olarak kullanımı ve yaygınlaşmasına ilişkin gelişmeler nisbeten biraz daha yavaş bir seyir izlemiştir. Bu anlamda Larderello sahasında 1913'te ilk ticari jeotermal enerji santrali (250 kW) ve 1938'de (69 MW) ilk büyük güç kurulumu gerçekleştirilmiştir (Kitz, 2007, s. 26(2); Kessler, 2008, s. 272).

Jeotermal enerji üretimi diğer bazı yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla daha uzun bir geçmişe sahiptir. Werner Von Siemens tarafından elektrik jeneratörünün icadından sadece 38 yıl ve 1882'de New York'ta Thomas A. Edison tarafından ilk elektrik santralinin

kurulmasından 22 yıl sonra, jeotermal enerji üretimi İtalya'da icat edildi. Toskana'daki jeotermal enerji üretimi o zamandan beri devam etti ve 1942'de 128 MW kurulu elektrik gücüne ve 2003'te yaklaşık 790 MW'a ulaştı. 1958'de Yeni Zelanda'da küçük bir jeotermal santral devreye girmeye başladı, 1959'da Meksika'da bir diğeri ve 1960'da ABD'de Kaliforniya'daki Geysers Field'da jeotermal enerjinin ticari üretimi başladı (Jung vd., 2007, s. 470).

Bir enerji şirketi için jeotermal enerjinin belki de en önemli yanı, gücün neredeyse sürekli olarak tam kapasitede sağlanabilmesi ve kesintili veya satın alınan bir enerji kaynağına bağlı olmamasıdır. Bunun yanında bakım gereksinimleri orta düzeydedir ve ekonomik anlamda üretimi de uygun fiyatlarda seyretmektedir (Twidell & Weir, 2006, s. 483).

4.5. Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji üretimi, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir. Kaynağın ortaya çıkış sarmalına bakıldığında, güneşten gelen ısı denizden ve daha az ölçüde kara alanlarından gelen suyu buharlaştırır ve ısınan su buharı yükselir; yükseldikçe genişler ve soğur, sonunda bulutlar şeklinde yoğunlaşır. Ortaya çıkan yağmurun bir kısmı yüksek yerlere düşer. Böylece bu su, güneş enerjisi girdisinin bir sonucu olarak potansiyel enerji kazanmıştır. Hidroelektrik, su denize doğru akarken bu enerjinin bir kısmının çıkarılmasının sonucudur. Büyük ölçekli hidro, genellikle nehirlerle baraj yapılmasıyla oluşturulan büyük rezervuarlardan yararlanır. Suyun kontrollü bir şekilde rezervuardan dışarı akmasına izin verilir, bu şekilde elektrik jeneratörlerini çalıştıran türbinler döndürülür (Freris & Infield, 2008, s. 23). Böylelikle hidrolik enerji ortaya çıkar.

Hidrolik enerji, elektrik üretimi ve ticari yatırım için açık ara en yerleşik ve yaygın olarak kullanılan yenilenebilir kaynaktır. Yaklaşık olarak 1880'den itibaren ilk elektrik üretimi genellikle hidrotürbünlerden türetilmiştir ve dünya çapındaki toplam tesislerin kapasitesi o zamandan beri yılda yaklaşık %5 oranında büyümüştür. Hidrolik enerjiden elde edilen verim, yağışa ve araziye bağlıdır (Twidell & Weir, 2006, s. 237). Yağış miktarının fazla olması ve arazinin elde edilen suyun akışı esnasında türbinleri hızlı çalıştıracak bir yapıya sahip olması hidrolik enerjinin ortaya çıkmasında olumlu etkisi vardır.

Rezervuarda suyun depolanması, üretimin güç sisteminin taleplerini karşılayacak şekilde zamanlanmasına olanak tanır. Enerji depolama kapasitesi sınırlıdır, bu nedenle amaç genellikle yüksek yük zamanlarında üretmek ve böylece elde edilen geliri en üst düzeye çıkarmaktır. Su mevcudiyeti sınırlı ve mevsimsel olduğundan, hidro işletimini optimize etmek

için yağış tahminini kullanan karmaşık algoritmalar kullanılır. Bazı ülkeler, örneğin Norveç ve İsviçre, bol miktarda hidro kaynaklara sahiptir ve bunun sonucunda elektriğin o kadar ucuz olduğu ve neredeyse elden ele verildiği zamanlar vardır. Bu durum, bol miktarda ucuz elektrik gerektiren endüstrilerin gelişimini teşvik etmektedir. Alüminyum eritme ve silikon üretimi gibi enerji yoğunluklu işlemler genellikle tam da bu nedenle bol hidro kaynaklara sahip ülkelerde bulunur (Freris & Infield, 2008, s. 24).

4.6. Biyoyakıt-atık Enerji

Elektrik üretimi için birincil yakıt olarak katı biyokütle kullanan üç temel termo-kimyasal dönüşüm teknolojisi vardır, bunlar doğrudan yakma, gazlaştırma ve pirolizdir⁴. Ek olarak, anaerobik çürütme yoluyla metan üretimi için sıvı biyokütlenin (lağım çamuru gibi) kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Infield & Rowley, 2003, s. 65-66).

Anaerobik çürütme, piroliz ve gazlaştırma yoluyla enerji üretimi için yakıt besleme stokları iki ana kaynaktan elde edilebilir. Gıda işleme endüstrisinden gelen organik atıklar ve evsel atıklar, ayrı toplama sistemlerinin kurulduğu yerlerde mevcuttur; bununla birlikte, ana yakıt kaynağı, enerji bitkilerinin kasıtlı tarımsal üretimi ve ayrıca tarımsal veya kereste üretim süreçlerinden kaynaklanan atık maddelerin toplanmasıdır (Loening, 2003, s. 73).

Katı biyokütle yakıtları kullanılarak elektrik üretimi hala gelişmekte olan bir endüstri olmakla beraber, kamusal otoritelerce mâli veya politik destek olmaksızın fosil yakıtlardan elde edilen elektrikle fiyat konusunda rekabet edecek seviyede değildir. Bununla birlikte, mevcut düzenleyici ve ekonomik ortamda nükleer enerji ve muhtemelen yeni inşa edilmiş temiz kömür santralleri ile rekabet edebilir, ancak modern gaz yakıtlı elektrik santralleri ile rekabet edemez. Uzun vadede, şebekeye bağlı biyokütle üretimi (mümkün olan tüm teknolojileri kullanarak) rekabetçi hale gelebilir; en büyük potansiyel, gazlaştırma, piroliz veya yüksek hızlı buhar motoru tabanlı tesis kullanan küçük ölçekli gömülü üretim alanlarındadır. Kısa vadede, çiftliklerde veya kırsal endüstride kullanım için küçük ölçekli (100 ila 500 kWe) özel tesisler en büyük potansiyele sahiptir. Orta vadede, artan elektrik talebi, şebekenin aşırı yüklenmesine ve güvenilmez hale gelmesine neden olabileceğinden, şebeke sonu desteği sağlayan daha büyük (1 ila 20 MWe) gömülü biyokütle üretim tesisi, şebekeyi güçlendirmeye çekici bir alternatif olabilir (Infield & Rowley, 2003, s. 66).

⁴ Piroliz, ikincil yakıtlar ve kimyasal ürünler üretmek için organik malzemenin ısıtıldığı veya kısmen yakıldığı tüm işlemler için genel bir terimdir. Bu işlem esnasında kullanılan temel kaynaklar, odun, biyokütle kalıntıları, belediye atığı veya kömür olabilir. Ürünler gazlar, sıvılar, katranlar ve yağlar olarak yoğunlaştırılmış buharlar ve ayrıca kömür ve kül olarak katı kalıntılardır. (Twidell & Weir, 2006, s. 370).

Rüzgâr enerjisinin enerji üretim maliyetleri konusunda ilgiyi üzerine çekmiş olsa da, kanalizasyon gazı ve çöp sahalarından gelen gazla birlikte, biyokütle atıklarından biyogazın kullanılmasının, yenilenebilir enerji kaynakları arasında aslında en ekonomik seçenek olduğu kanıtlanmıştır. Ekonomik olarak da çekici olmasına rağmen, belediye ve evsel katı atıkların yakılması yoluyla enerji geri kazanımı, esas olarak, plastiklerin yanmasından kaynaklanan çeşitli emisyonların potansiyeli konusunda endişe duyan yerel sakinlerin muhalefeti nedeniyle daha az başarılı olmuştur. Buna ek olarak, çoğu çevreci, bu atıkları gerçekten yenilenebilir kaynaklar olarak görmezler, çünkü mümkün olduğunda kaçınılması gerektiğini düşündükleri ve mümkün olmadığında geri dönüştürülmeleri gerektiğini düşündükleri malzemelerin üretimine dayanırlar (Elliott, 2003, s. 31).

Biyoyakıt-atık enerjisinin yenilenebilir bir enerji olup olmadığı ikileminde yukarıdaki paragrafa ek olarak, Bulkin'in ifadelerine yer vermek, bu anlamdaki olumsuz bakış açısına ışık tutabilir. Bulkin (2003, s. 4), gelişmekte olan dünya ülkelerinin neredeyse tamamında biyokütlenin yakıldığını ifade etmektedir. Bu anlamda biyokütlenin kaynaklarına erişim açısından yenilenebilir olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmayacağı tartışmalıdır, çünkü çoğu durumda ormansızlaşma ve kötü arazi kullanımı ile sonuçlanmaktadır.

Biyokütle, yenilenebilir sabit karbonun tek kaynağıdır ve gerektiğinde saklanabilmesi ve kullanılabilmesi açısından geleneksel fosil yakıtlara çok benzer. Bununla birlikte, çoğu fosil yakıttan farklı olarak, biyokütle genellikle depolanan yakıtın enerji yoğunluğu ile sınırlıdır. Bu nedenle, yerel olarak üretilmeli ve tüketilmelidir, çünkü uzun mesafelerde nakliye ile ilgili enerji tüketimi, yakıtın kendisinden bile fazla olabilir. Bu, biyokütle güç üreten birimlerin geleneksel tesislere kıyasla (hammadde için yerel tedarik zincirlerine dayanan) nispeten küçük olduğu ve küçük gömülü üretim birimlerinin özelliklerine sahip olduğu anlamına gelir (Infield & Rowley, 2003, s. 65).

Biyoyakıt-atık enerjisinin elde edilmesi açısından atık veya ikinci kullanım yağların enerji potansiyeline de değinilmesi gerekmektedir. Gıda işleme endüstrisi tarafından iki farklı atık yağ kaynağı üretilir: esas olarak restoran ticaretinden gelen kullanılmış bitkisel yağlar, şu anda Birleşik Krallık'ta ve Avrupa'nın çoğunda hayvan gıdalarında kullanılmak üzere toplanmaktadır. Mevcut Birleşik Krallık tahminleri, bu malzemenin yaklaşık 80.000 ila 100.000 tonunun 200'den fazla küçük şirket tarafından toplandığını ve az sayıda uzman geri dönüşümcü tarafından rafine edilip ticaretinin yapıldığını göstermektedir. Hukuki düzenlemelerin yapılmasıyla bu yağ, gıda zincirinden çıkarılabilir ve malzemenin çoğu elektrik üretimi veya yol yakıtı kullanımı için kullanılabilir hale getirilebilir. Benzer şekilde, hayvan

karkaslarının işlenmesinden önemli miktarlarda don yağı üretilir ve bunun çoğu, doğrudan ısıtma uygulamalarında dönüşüm işleminin kendisi için kullanılırken, diğer kullanımlar için belirli bir miktar mevcuttur (Loening, 2003, s. 75).

Sonuç olarak biyoyakıtlar enerji portföyüne katkıda bulunabilir ve bu alanda enerjinin elde edilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi açısından birçok farklı seçenek mevcuttur. Ancak bazı seçenekler yüksek çevresel riskler oluştururken bazıları gıda ile rekabet eder ve bazıları diğerlerinden çok daha sürdürülebilirdir. Her seçenek, bir bütün olarak çevre ve toplum üzerindeki genel etkiye karşı dikkatli bir şekilde tartışılmalıdır. Bu bağlamda sürdürülebilir enerji çözümleri izlenmeli ve tüm enerji seçimleri için titiz yaşam döngüsü analizleri yapılmalıdır (Rapier, 2008, s. 167).

4.7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri

Yenilenebilir enerji kaynakları, genel enerji kaynakları içerisinde doğada kendisine en fazla rastlanılan ve en kolay erişilebilen, aynı zamanda güvenlik ve çevresel etkileri yönüyle de en az riski bünyesinde barındıran enerji kaynaklarıdır. Çevresel açıdan olumsuz etkilerinin diğer enerji kaynaklarına nispeten az olması bu enerji kaynaklarının yaygınlaşmasını ve kullanımını gerekli kılmaktadır.

Genel olarak bakıldığında, yenilenebilir enerji büyük ölçüde çevre ile uyumlu olan enerji akışlarından elde edilir. Enerji daha sonra çevreye geri döndürülür, böylece küçük ölçekten başka hiçbir şeyde termal kirlilik meydana gelmez. Aynı şekilde hava, su ve çöplerdeki malzeme ve kimyasal kirlilik minimum düzeyde olma eğilimindedir (Twidell & Weir, 2006, s. 23). Ancak bu bağlamlardaki yenilenebilir enerji kaynaklarının olumsuz çevresel etkilerinin fosil yakıtlara nispeten her ne kadar az olduğu biliniyor olsa da yenilenebilir enerji kaynaklarının türleri bazında birtakım olumsuz etkilerinden bahsetmek mümkündür.

İlkin, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan hidrolik enerjinin çeşitli çevresel etkileri vardır. Bu enerjinin elde edilmesi amacıyla kurulan baraj göllerinin kapladığı geniş yüzey alan, evapotranspirasyonu⁵ arttırmakta, bölgedeki doğal bitki örtüsü üzerinde değişikliklere neden olmaktadır. Chomsky ve Polk (2013, s. 13), bu durumun ekolojik denge üzerinde de olumsuz etkileri olduğunu öne sürmektedirler. Ayrıca gerek suda gerekse de karada yaşayan canlıların yaşam koşullarını etkilemenin yanında rüzgâr, sıcaklık ve yağış

⁵ Evapotranspirasyon kavramı, evaporasyon (buharlaşıma) ve transpirasyon (terleme) kelimelerinin birleşmesinden ortaya çıkmış bir kavramdır. Evaporasyon, “suyun sıvı halden gaz (su buharı) haline geçmesi durumudur”. Transpirasyon ise “bitkilerin suyu kullandıktan sonra yapraklarından buhar halinde havaya vermesi durumudur” (Arslan, 2017, s. 603).

rejimlerinin değişimi üzerinde de etkili olmaktadır. Bunlarla beraber, hidrolik enerjinin bölgesel düzeyde iklim değişikliği üzerinde etkilerinin olması, kaza ihtimalinin bulunması, doğal görünümü değiştirmek suretiyle görüntü kirliliğine neden olması, su kalitesini düşürebilmesi, fay hareketleri üzerinde etkili olarak deprem riskini arttırabilmesi gibi nedenlerden ötürü çevresel açıdan olumsuz etkilerinden söz etmek mümkündür (Ültanır, 1998, s. 238; Pimentel, 2008, s. 4; Sorensen, 2004, s. 271).

İkinci olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan ve akışkan yapıdaki kaynağa sahip jeotermal enerji, bünyesinde bulunan yoğunlaşmayan gazlardan ötürü az miktarda da olsa asit kirleticilerin oluşmasına neden olabilmektedir. Akışkan yapıdaki kaynağın içerisinde bulunan bordan dolayı su ve toprak kirliliği ortaya çıkabilmektedir. Aynı zamanda jeotermal tesislerden kaynaklı ses ve görüntü kirliliği de meydana gelebilmektedir (Ültanır, 1998, s. 238).

Bununla beraber jeotermal enerji, sera gazlarından karbondioksit yayılımına neden olmaktadır (Twidell & Weir, 2006, s. 487). Jeotermal enerjinin diğer potansiyel çevresel sorunları arasında su kıtlığı, hava kirliliği, çökme tehlikesi de sayılabilir. Çamurda üretilen atıklar arsenik, bor, kurşun, cıva, radon ve vanadyum gibi toksik metalleri içerir. Bazı bölgelerde su kıtlığı önemli bir sorun kaynağıdır. Jeotermal sistemler, potansiyel bir hava kirleticisi olan hidrojen sülfür üretir; ancak bu, endüstride kullanılmak üzere işlenebilir ve çıkarılabilir. Genel olarak, jeotermal enerjinin bu çevresel maliyetleri, fosil yakıt sistemine kıyasla minimum düzeyde görünmektedir (Pimentel, 2008, s. 8-9).

Üçüncü bir yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr santrallerinin başlıca çevresel etkileri, uçuş güzergâhına denk gelen kuşların ölümlerine neden olması, gürültü kirliliği yapması ve olası kaza riskleridir (Ültanır, 1998, s. 239; Pimentel, 2008, s. 5-6; Ferguson, 2008, s. 140). Ültanır'ın (1998, s. 239) ifade etmiş olduğu bir başka risk faktörü olan haberleşme ağları üzerinde olumsuz etkiler yapması konusunda ise Pimentel (2008, s. 6) aksi yönde görüş belirterek böyle bir olumsuz etkisinin olmadığını ifade etmektedir. Bunlarla beraber diğer birçok yenilenebilir enerji kaynağında olduğu gibi fosil yakıtlar olmadan rüzgâr çiftliklerini de inşa etmenin ve bir şebeke çalıştırmanın mümkün olacağını söylemek güç görünmektedir (Ferguson, 2008, s. 148).

Bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinde, çevresel açıdan temel problemlerden bir tanesi, fotovoltaiik sistemlerin kullanılması ile bağlantılı olarak ilgili sistem parçalarının üretilmeleri veya kullanılamaz duruma geldikten sonra imha edilmesi sürecinde ortaya çıkan atık sorunu, ağır metal sorunu ve partikül sorunudur. Elbette diğer yenilenebilir

enerji kaynaklarında az çok görüldüğü üzere büyük alan gereksinimi ve görüntü kirliliği de göz ardı edilmemesi gereken sorunlar arasındadır (Ültanır, 1998, s. 239).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kendisine nispeten az rastlanılardan biri olan dalga enerjisinde, gelgit bariyerleri, inşa edilmesi yıllar gerektirebilecek büyük ve pahalı yapılardır. Bariyerin son bölümü tamamlanana kadar hiçbir güç üretilmez ve dolayısıyla gelir elde edilemez. Finansmandaki zorluklar, çevresel bakım eksikliğine yol açabilir (Twidell & Weir, 2006, s. 449).

Son olarak biyoyakıt-atık enerjisinde ise, asit kirleticisi, CH₄ emisyonu, partikül emisyonu ortaya çıkabilmektedir. Bunlarla beraber bu yenilenebilir enerji kaynağının enerji üretimi esnasında atık sorunu ortaya çıkabilmekte ve diğer kaynaklarda da görülebildiği gibi görüntü ve gürültü kirliliğinin yanında geniş alan ve su gereksinimi ortaya çıkabilmektedir (Ültanır, 1998, s. 240).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri ile ilgili kaynak türü bazında tek tek yapılan değerlendirmelerin yanı sıra bu enerji kaynaklarının geneli ile ilgili bir probleme değinmekte de fayda vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretilmesi amacıyla gerekli olan bazı teknolojilerin geliştirilebilmesi için (örn: güneş panelleri, rüzgâr türbinleri vs.) yine fosil yakıt kullanımına gerek duyulmaktadır. Dolayısıyla fosil yakıt kullanımının neden olduğu olumsuz etkilerin bir kısmına burada da rastlanılmaktadır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynakları açısından olumsuz çevresel etkilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Akyüz (2022, s. 36), yenilenebilir enerji kaynaklarının dezavantajlarını sıralarken, her zaman aynı verimliliğin alınmadığını saatten saate, günden güne, aydan aya bu durumun değiştiğini, kısacası iklimsel koşullardan etkilendiğini ifade etmektedir. Akyüz, bu kaynakların kapladığı geniş yüzeysel alan ve görüntü kirliliğinin yanı sıra bu enerji kaynaklarının üretim teknolojileri için kullanılan doğal kaynakların tüketimini de dezavantajlar arasında saymaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri bağlamında muhtemel olumsuz yönlerine olabildiğince yukarıdaki paragraflarda değinilmeye çalışılmıştır. Ancak unutulmamalıdır ki fosil yakıtlarla kıyaslandığında, fosil yakıtların potansiyel zararları bütün dünyayı ve hatta gelecek nesillerin enerji ve yaşam haklarına varıncaya değin tehdit etmekte ve yaşanılmaz hale getirebilmektedir. Bu yönüyle değerlendirildiğinde ve yenilenebilir enerji kaynakları

sürdürülebilirlik temelinde ele alındığında olası olumsuz yönlerinin gerekli tedbirlerle ve gelişen teknolojik koşullarla minimize edilebileceği ifade edilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevre sorunlarının, canlı ve cansız bütün varlıklar üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Aydın ve Çamur (2017, s. 22) bu sorunlar arasında *ormansızlaşma, çölleşme, plansız kentleşme, iklim değişikliği, asit yağmurları, biyolojik çeşitliliğin yok olması* gibi sorunları saymaktadırlar. Bu sorunları tetikleyici birçok unsur bulunsa da en önemlileri arasında fosil yakıt kullanımı gelmektedir. Fosil yakıtların kullanımı sonucu meydana gelen zararlı gazların salımı nedeniyle atmosfer zarar görmekte ve dolayısıyla küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtların detaylıca ele alındığı bu çalışmada çevre ve insan sağlığı başta olmak üzere birçok yönden fosil yakıtların olumsuz etkileri ele alınmıştır. Ancak bu çalışma göstermektedir ki, fosil yakıt kullanımına alternatif olarak görülen ve onun yerine ikame edilmeye çalışılan yenilenebilir enerji kaynaklarının da çevre üzerinde nispeten az da olsa olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu sebeple karar vericilerin ve çeşitli üretim aşamaları için bu kaynakları kullanan üretici sektörlerin öncelikle sınırlı rezervi bulunan ve kullanımı esnasında telafisi güç veya imkânsız zararlara neden olan fosil yakıt tüketimini en aza indirgeyebilmek için gereken adımları atması zorunluluk halini almıştır. Sonrasında ise fosile alternatif olarak ikame edilen ya da enerji alanındaki açığı kapatmak için kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları hakkında gerekli AR-GE çalışmaları yapılmalı ve bu kaynaklardan enerji üretimi için kullanılan teknolojilerin fosil yakıtlara bağımlı olmayan, tamamıyla yenilenebilir ve çevreci kaynaklardan seçilmesi için gerekli çalışmaların yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının olumsuz çevresel etkilerinin en aza indirgenmesi için ilgili paydaşlar arasında gerekli yönetim mekanizmasının aktif hâle getirilmesi gerekmektedir. Son olarak Baydaş vd.'nin (2020, s. 319) belirttiği gibi üretim teknolojilerindeki artışın bir sonucu olarak ortaya çıkan aşırı tüketimin, üretimi gerçekleştiren işletmelerce çevreyi kıt olmayan bir kaynak şeklinde görerek sorumsuzca tüketmelerine ve çevresel sorunlara neden olmalarına engel olunmalı ve alternatif üretim kaynakları önerilmelidir.

KAYNAKÇA

Akyüz, E. (2022). *Nükleer enerji: Perception or reality?* Academica Press.

Arı, F. (2023). *Türkiye'nin nükleer enerji politikasının çevresel etkilerinin yerel halk tarafından değerlendirilmesi: Akkuyu, Sinop ve İğneada örneği*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

- Arslan, O. (2017). Niğde ilindeki potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinin trend analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 602-608.
- Aydın, A. H., & Çamur, Ö. (2017). Avrupa birliği çevre politikaları ve çevre eylem programları üzerine bir inceleme. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(13), 21-44.
- Baydaş. A., Aktaş, M., & Yaşar, M. E. (2020). Çevre dostu ürün ve çevre dostu ürün ambalajının tüketici satın alma davranışına etkisinin belirlenmesi -Bingöl İli Örneği. *Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(16), 314-333.
- Bodansky, D. (2004). *Nuclear energy: Principles, practices, and prospects*. (2nd ed.). AIP Press.
- Bulkin, B. J. (2003). *The future of today's energy sources*. In R. Hester and R. Harrison (Eds.). Sustainability and environmental impact of renewable energy resources, (ss. 19-47). (1st ed). Royal Society of Chemistry.
- Chomsky, N., & Polk, L. (2013). *Nükleer savaş ve çevre felaketi* (Çev. M. E. Keskin). İnkılâp Kitabevi.
- Demir, U. Ö. & Sancak, İ. T. B. *İklim değişikliği ve petrol*. İçinde E. Akyüz (Ed.). İklim krizi ve enerji, (ss. 43-71).
- Elliott, D. (2003). *Sustainable energy: Choices, problems and opportunities*. In R. Hester and R. Harrison (Eds.). Sustainability and environmental impact of renewable energy resources, (ss. 1-17). (1st ed.). Royal Society of Chemistry.
- Elliott, D. (2009). Marine renewables: A new innovation frontier. *Technology Analysis & Strategic Management*, 21(2), 267-275.
- Ferguson, A. R. B. (2008). Wind power: Benefits and limitations. In D. Pimentel (Ed.). Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: Benefits and risks, (ss. 133-151). Springer Science+Business Media B.V.
- Freris, L. & Infield, D. (2008). *Renewable energy in power systems*. John Wiley & Sons, Ltd, Publication.
- Gürler, A. Z., Bostan Budak, D., Ayyıldız, B., & Kaplan E. (2020). *Enerji ekonomisi*. Nobel Yayınları.
- Huenges, E. & Kaltschmitt, M. (2007). *Geothermal energy*. In M. Kaltschmitt, W. Streicher and A. Wiese (Eds.). Renewable energy: Technology, economics and environment, (ss. 90-102). Springer.
- Infield, D. & Rowley, P. (2003). *Renewable energy: Technology considerations and electricity integration*. In R. Hester and R. Harrison (Eds.). Sustainability and environmental impact of renewable energy resources, (ss. 49-68). (1st ed.). Royal Society of Chemistry.

-
- Jung, R., Kabus, F., Kaltschmitt, M. & Frick, S. (2007). *Geothermal power generation*. In M. Kaltschmitt, W. Streicher and A. Wiese (Eds.). *Renewable energy: Technology, economics and environment*, (ss. 49-68). Springer.
- Kaltschmitt, M. & Wiese, A. (2007a). *Energy balance of the earth*. In M. Kaltschmitt, W. Streicher and A. Wiese (Eds.). *Renewable energy: Technology, economics and environment*, (ss. 23-31). Springer.
- Kaltschmitt, M. & Wiese, A. (2007b). *Wind energy*. In M. Kaltschmitt, W. Streicher and A. Wiese (Eds.). *Renewable energy: Technology, economics and environment*, (ss. 49-65). Springer.
- Kessler, E. (2008). *Our food and fuel future*. In D. Pimentel (Ed.). *Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: Benefits and risks*, (ss. 267-294). Springer Science+Business Media B.V.
- Kitz, K. (2007). *Geothermal power generation*. In F. Kreith and D.Y. Goswami (Eds.). *Handbook of energy efficiency and renewable energy*, (ss. 26(1-47)). CRC Press.
- Loening A. (2003). *Landfill gas and related energy anaerobic digestion; Biomass energy systems*. In R. Hester and R. Harrison (Eds.). *Sustainability and environmental impact of renewable energy resources*, (ss. 69-88). (1st ed.). Royal Society of Chemistry.
- Miller, B. G. (2005). *Coal energy systems*. Elsevier Academic Press.
- Mokhatap, S., Poe, W. A. & Mak, J. Y. (2015). *Handbook of natural gas transmission and processing: Principles and practices*. (3rd ed.). Gulf Professional Publishing.
- Naimoğlu, M. (2022). The impact of economic growth, trade openness and technological progress on renewable energy use in Turkey: Fourier eg cointegration approach. *Ege Akademik Bakış*, 22(3), 309-322.
- Öztürk, H. & Kaya, D. (2019). *Güneş enerjisinden elektrik üretimi: Fotovoltaik teknoloji*. Umuttepe Yayınları.
- Parra, F. (2004). *Oil politics: A modern history of petroleum*. I.B. Tauris & Co.
- Pimentel, D. (2008). *Renewable and solar energy technologies: Energy and environmental issues*. In D. Pimentel (Ed.). *Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: Benefits and risks*, (ss. 1-17). Springer Science+Business Media B.V.
- Rabl, A. & Spadaro, J. V. (2007). *Environmental impacts and costs of energy*. In F. Kreith and D.Y. Goswami (Eds.). *Handbook of energy efficiency and renewable energy*, (pp. 1-22). CRC Press.
- Rapier, R. (2008). *Renewable diesel*. In D. Pimentel (Ed.). *Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: Benefits and risks*, (ss. 153-171). Springer Science+Business Media B.V.
- Schneider, R. (2003). *The place of renewable energy as an energy source*. In M. A. Laughton. (Ed.). *Renewable energy sources*, (pp. 18-25). Elsevier Science Publishers.

- Shahbaz, M., Topcu, B. A., Sarıgöl, S. S., & Vo, X. V. (2021). The effect of financial development on renewable energy demand: The case of developing countries. *Renewable Energy*, 178, 1370-1380.
- Sorensen, B. (2004). *Renewable energy: Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspect*. (3rd ed.). Elsevier Science.
- Speight, J. G. (2002). *Handbook of petroleum product analysis*. Wiley-Interscience Publications.
- Streicher, W. & Kaltschmitt, M. (2007). *Conventional energy provision systems*. In M. Kaltschmitt, W. Streicher and A. Wiese (Eds.). *Renewable energy: Technology, economics and environment*, (ss. 14-22). Springer.
- Twidell, J. & Weir, T. (2006). *Renewable energy resources*. (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Ültanır, M. Ö. (1998). *21. yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi*. Lebib Yalkın Yayınları.
- Wilson, B. (2003). *UK government policy on renewable energy*. In R. Hester and R. Harrison (Eds.). *Sustainability and environmental impact of renewable energy resources*, (ss. 105-112). (1st ed.). Royal Society of Chemistry.