

Yenilenebilir Enerjinin Karanlık Yüzü: Çevre Kalitesi ve Enerji Güvenliği Bağlamında Bir Değerlendirme

Abdulgazi YIKICI¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kamu Yönetimi Bölümü, abdulgazi.yikici@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1230-1612

Öz: Çevre kalitesi ve enerji güvenliği, modern dünyanın endişe duyduğu konuların başında gelmektedir. Enerji ihtiyacının ağırlıklı olarak kıt bir nitelik taşıyan fosil yakıtlardan karşılanması, çevrenin bozulmasına ve enerji güvenliği sorunlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Fosil yakıtların çevre üzerinde yol açtığı tahribatı ortadan kaldırma ve enerji ihtiyacını çevre ile uyumlu ve sürdürülebilir şekilde karşılama noktasında ise yenilenebilir enerjiye büyük bir önem atfedilmektedir. Ancak süreç içerisinde yenilenebilir enerjilerin, sanıldığı kadar masum olmadığı, yani çevre üzerinde çeşitli olumsuz sonuçlar doğurduğu ve enerji güvenliği açısından farklı risk unsurları taşıdığı fark edilmiştir. Akademik çalışmalarda yenilenebilir enerjinin mevcut ve potansiyel risklerinin altı çizilse de özellikle Türkçe literatürde bunların geniş bir perspektiften ele alınmadığı gözlemlenmektedir. Buradan hareketle çalışmada; stratejik önem, yaygın kullanım ve farklı dinamiklere sahip olmalarından dolayı hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin çevre kalitesi ve enerji güvenliği bağlamında mevcut sorunlu yönleri ve potansiyel risk unsurlarının ortaya koyulması amaçlanmaktadır. Literatür incelemesi ve doküman analizi yöntemleri kapsamında yapılan değerlendirme sonucunda söz konusu yenilenebilir enerji türlerinin çeşitli faydaları bulunmakla birlikte çevre kalitesi ve enerji güvenliği açısından ciddi riskler taşıdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Çevre Kalitesi, Enerji Güvenliği

Jel Kodları: Q20, Q42, Q53

The Dark Side of Renewable Energy: An Assessment in the Context of Environmental Quality and Energy Security

Abstract: Environmental quality and energy security are among the primary concerns of the modern world. The reliance on fossil fuels, which are inherently limited resources, to meet energy needs has paved the way for environmental degradation and energy security issues. Renewable energy has been widely regarded as a critical solution for eliminating the environmental damage caused by fossil fuels and meeting energy needs in an environmentally compatible and sustainable manner. However, over time, it has been recognized that renewable energies are not as harmless as initially thought, as they can have various adverse effects on the environment and pose distinct risk factors for energy security. Although the risks of renewable energy, both existing and potential, are highlighted in academic studies, it is observed that these risks have not been addressed from a broad perspective, particularly in the Turkish literature. Based on this, the study aims to identify the existing problematic aspects and potential risk factors of hydroelectric, wind, and solar energy systems in the context of environmental quality and energy security, considering their strategic importance, widespread use, and distinct dynamics. As a result of the evaluation conducted through literature review and document analysis, it has been observed that these types of renewable energy provide various benefits but also pose significant risks to environmental quality and energy security.

Keywords: Renewable Energy, Environmental Quality, Energy Security

Jel Codes: Q20, Q42, Q53

Atıf: Yıkıcı, A. (2025). Yenilenebilir enerjinin karanlık yüzü: Çevre kalitesi ve enerji güvenliği bağlamında bir değerlendirme. *Fiscaeconomia*, 9(2), 1165-1183. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1609460>

Geliş Tarihi: 29.12.2024

Kabul Tarihi: 19.02.2025



Telif Hakkı: © 2025. (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Sanayileşme, hızlı nüfus artışı, çarpık kentleşme ve sürekli tüketim anlayışına dayanan kültür, başta iklim değişikliği olmak üzere çeşitli çevre sorunlarına yol açmıştır (Altuğ, 1990, s. 28; Yıkıcı, 2023, s. 11-15; Gyimah vd., 2024). Ortaya çıkışını 18. yüzyıla dayandırmanın mümkün olduğu bu sorunlarla mücadelede ilk ciddi adımların genel itibarıyla 20. yüzyılın son çeyreğinde atılmaya başlandığı görülmektedir. Bu dönemden itibaren çevre duyarlılığı ve hassasiyetine verilen önemin artan bir seyir izlediğine tanıklık edilmektedir. Paralel olarak uluslararası düzeyde gerçekleştirilen siyasi ve sivil yönlü toplantıların sıklığı da artmaktadır. Söz konusu girişimler sonucunda çevre sorunlarının meydana gelişi ve seyri ile bu sorunlarla mücadelenin genel çerçevesinin çizildiği çeşitli rapor, bildiri, sözleşme ve anlaşmalar ortaya çıkmıştır. Bu metinlerde, yaşanan çevre sorunlarının antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan emisyon salımlarının, özellikle de atmosferdeki karbondioksit (CO₂) artışının bir sonucu olduğu (Kimble, 2005, s. 103; Franchetti & Apul, 2013, s. 3) ve emisyonların da ağırlıklı olarak fosil yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıktığı üzerinde fikir birliğine varılmıştır. İsveçli kimyager Svante Arrhenius tarafından 1896 yılı gibi erken bir dönemde yayımlanan çalışmada CO₂ seviyeleri ile sıcaklık artışı arasında pozitif yönlü ilişkinin varlığına dikkat çekilmesi, söz konusu tespitin oldukça eski bir dönemde yapıldığını kanıtlar niteliktedir (Arrhenius, 1896, s. 295). Ana teması emisyonların azaltılması olan bu metinlerde, farklı düzeylerde izlenecek strateji ve hayata geçirilecek uygulamalarla birlikte ekolojik krize son verilerek çevre kalitesinin artırılması ve enerji tedarikinin iklimle uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesi vurgulanmaktadır.

Çevre kalitesi üzerinde ormanların yok edilmesi (Khan, 2013, s. 124) ve madencilik faaliyetleri (United Nations Environment Programme, 2024, s. 6) olumsuz bir etki oluştursa da en büyük payın fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarına ait olduğu kabul edilmektedir (Bordoff vd., 2010, s. 211; Johansen, 2023, s. 23-24). Doğal bir reaksiyon olarak ülkeler de öncelikle fosil yakıt tüketimlerini asgari seviyeye indirmeye ilişkin stratejiler izlemektedir. Bu çerçevede hükümetler tarafından; enerji verimliliğinin artırılması, fiyatlandırma ve vergi sistemlerinin rasyonelleştirilmesi, toplu taşıma ve bisiklet yolu altyapısının iyileştirilip genişletilmesi, düşük emisyonlu veya emisyonlu araçların ve paylaşımlı yolculuğun yaygınlaştırması, çevresel hassasiyet oluşturmaya yönelik faaliyetlerin yürütülmesi ve yenilenebilir enerji altyapılarının geliştirilmesine ağırlık verildiği görülmektedir (Bajić vd., 2018, s. 97-98). Söz konusu stratejiler arasında daha az sera gazı salımına yol açması ve daha da önemlisi toplam enerji karışımı içerisinde fosil yakıtların oranını azaltma potansiyeline sahip olması açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının hacminin artırılmasına yönelik yatırımlara büyük bir önem atfedilmektedir (Laukkonen vd., 2009, s. 289). Ancak yenilenebilir enerji yatırım projeleri, ciddi bir finansman kaynağı gerektirmektedir (Gök, 2023, s. 367). Dolayısıyla hükümetler yenilenebilir enerji yatırımlarını vergi indirimi/muafiyeti ya da uygun oranlarda kredi ve sübvansiyon içeren finansman imkânları sağlayarak özel sektör veya uluslararası iş birlikleri aracılığıyla gerçekleştirebilmektedir (Prempeh, 2023; Wang vd., 2024). Ayrıca yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik girişimlerde coğrafi konum ve çevresel özelliklerin de göz önünde bulundurulması, yatırımlardan daha etkili sonuçlar alınması hususunda büyük bir önem arz etmektedir. Zira yıl içerisindeki kapalı gün sayısı fazla olan bir bölgeye güneş enerjisi sistemlerinin, benzer şekilde rüzgâr kapasitesi düşük olan bir bölgeye ise rüzgâr türbinlerinin kurulması kaynakların etkin ve verimli kullanımını engelleyecektir.

Yenilenebilir enerji teknolojilerine öncelik ve ağırlık verilmesinin arka planında yalnızca çevre kalitesinin iyileştirilmesi değil, aynı zamanda fosil yakıtlara olan bağımlılığı düşürdüğü için enerji güvenliğinin artırılması düşüncesi de yer almaktadır. Nitekim literatür incelendiğinde yenilenebilir enerjinin çevre kalitesi açısından olumlu sonuçlar doğurduğuna ve enerji güvenliği açısından ise fosil yakıtlara olan bağımlılığı azalttığına vurgu yapıldığı görülmektedir. Başlangıçta sihirli değnek olarak algılanan yenilenebilir enerji, süreç içerisinde kurulum ile üretim aşamalarında çeşitli çevre ve

enerji güvenliği sorunlarına yol açmakla kalmamış, ayrıca bunların gelecekte farklı yönlerde evrilebileceğine dair bir izlenimin oluşmasına da zemin hazırlamıştır (Müller vd., 2025). Yenilenebilir enerjinin mevcut ve potansiyel risklerine ilişkin yapılan akademik çalışmalarda (Abbasi & Abbasi, 2000; Spellman, 2015; Usman vd., 2020) çeşitli hususlar vurgulansa da özellikle Türkçe literatürde (Kumbur vd., 2005; Şenpınar & Gençoğlu, 2006; Yakıncı & Kök, 2017) bunların geniş bir perspektiften ele alınmadığı gözlemlenmektedir. Çevre kalitesi ve enerji güvenliği bağlamında yenilenebilir enerjinin yol açtığı ve yol açma potansiyeli taşıdığı sorunların ortaya koyulmasının amaçlandığı bu çalışma ile yenilenebilir enerjinin olumsuz etkilerine ilişkin Türkçe literatürdeki boşluğun doldurulması hedeflenmektedir. Bu kapsamda ise stratejik önem, yaygın kullanım ve çevre kalitesi ve enerji güvenliği açısından farklı dinamiklere sahip olmalarından dolayı hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi mercek altına alınmaktadır.

Belirlenen amaç doğrultusunda çalışmada, literatür incelemesi ve doküman analizi yöntemleri kullanılmaktadır. Konunun ele alınış şeklinin, tartışmalı/eksik yönlerinin ve çalışmalarda elde edilen sonuçların ortaya koyulmasında etkili bir yöntem olan literatür incelemesi (Snyder, 2019, s. 335; Fan vd., 2022, s. 174), araştırmanın amacına yönelik kapsamlı ve güvenilir bilgi altyapısına ulaşılmasına aracılık etmektedir (Tranfield vd., 2003, s. 219-220). Nitel araştırma yöntemlerinden bir diğeri olan doküman analizi ise zaman ve maliyet tasarrufu ve verimlilik esasları çerçevesinde çalışma konusu ile ilgili basılı ve elektronik materyallerin gözden geçirilmesi, kapsamlı bir şekilde okunması ve bu çerçevede ampirik bilgi geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Bowen, 2009, s. 27-32; Corbin & Strauss, 2015, s. 14). Söz konusu özellikler, araştırmada bu iki yöntemin tercih edilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Buradan hareketle çalışmada ilk olarak yenilenebilir enerji, çevre kalitesi ve enerji güvenliğine ilişkin kavramsal çerçeve sunulmaktadır. Ardından yenilenebilir enerjinin, çevre kalitesi ve enerji güvenliği açısından önemi ortaya konulmaktadır. Son olarak ise yenilenebilir enerjinin çevre kalitesi ve enerji güvenliği çerçevesinde ortaya çıkardığı ve yol açma potansiyeli taşıdığı sorunlar ele alınmaktadır.

2. Kavramsal Çerçeve: Yenilenebilir Enerji, Çevre Kalitesi ve Enerji Güvenliği

Yenilenebilir enerji, sürekli olarak yenilenen ve bundan dolayı da neredeyse tükenmeyen enerji şeklinde tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirlik, bulunabilirlik ve düşük çevresel etki özellikleriyle ön plana çıkan yenilenebilir enerji kaynaklarına güneş, rüzgâr, biyokütle, hidroelektrik ve jeotermal enerji örnek olarak verilebilir. Kaynakları bu şekilde çeşitlendirmek mümkünse de bunların temelinde güneş enerjisi yer almaktadır. Rüzgâr enerjisinin hava kütlelerinin güneş radyasyonu tarafından atmosferde hareket ettirilmesi sonucu ortaya çıkması, hidrolojik döngünün arka planında güneş enerjisinin yer alması ve biyokütlenin güneş ışığının fotosentezi yoluyla oluşması söz konusu yargıyı desteklemektedir (Elliott, 2003, s. 29; Kaltschmitt & Wiese, 2007, s. 49; Foster vd., 2010, s. 3). Yenilenebilir enerjiyi ifade etmede “alternatif enerji” (*alternative energy*) ve “karbonsuz enerji” (*carbon-free energy*) kavramlarının da kullanıldığı görülmektedir. Bu kavramların tümü kömür, petrol, doğal gaz dışında yer alan ve sonuç itibarıyla düşük çevresel etkiye sahip olan kaynakları nitelendirmektedir.

Yıllar içerisinde, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak için gereken altyapı sistemlerinin geliştirilmesinde ve bunların pratik bir şekilde kullanılabilir hâle getirilip yaygınlaştırılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Fransa, Danimarka ve Almanya, rüzgâr türbini teknolojisinin dünya çapında ilerlemesine büyük katkılar sunmuştur (Tavner, 2012, s. 2-3). Hazırlanan proje sayısı ve tahsis edilen finansal kaynak miktarından hareketle yenilenebilir enerji üretiminde son dönemde rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesinin artırılmasının ivme kazandığı ifade edilebilir (Solar Power Europe, 2023; International Energy Agency, 2024; Global Wind Energy Council, 2024). Ülkelerin bu yöneliminin arka planında, genel olarak çevre sorunlarını, özel olarak ise iklim değişikliğini ele alan

metinlerde vurgulanan “çevre kalitesi”nin (*environmental quality*) artırılması hususunun yer aldığı söylenebilir.

Ekosistemlerin iç içe geçmiş yapılar olması ve bütünsel bir yaklaşımla ele alınması bağlamında çevre kalitesinin son derece karmaşık bir konu olduğu belirtilebilir. Bununla birlikte çevre kalitesi genel itibarıyla hava, su ve toprak kalitesinin yüksek, gürültünün düşük ve yeşil altyapının yeterli olduğu duruma karşılık gelmektedir (Orishimo, 1982, s. xvi; Seager vd., 2006, s. 233). Hukuk, mühendislik, coğrafya, biyoloji ve jeoloji gibi birçok disiplini ilgilendiren ve bundan dolayı geniş bir kapsama sahip olan çevre kalitesi her ne kadar yeni bir konu gibi görünse de aslında bu durum çevreye verilen önemin ve artan ilginin yenilenmesinden ibarettir. 1960’lı yıllarda yaşanan ve kamuoyunda çevre bilincinin yaygınlaşmasına aracılık eden gelişmeler, söz konusu kavramın oldukça eskiye dayandığına işaret etmektedir. Rachel Carson tarafından tarım ilaçlarının olumsuz etkilerini konu edinen “Sessiz Bahar” (*Silent Spring*) adlı kitap (Carson, 1962) ile Garrett Hardin tarafından doğal kaynakların tükenmesine dikkat çeken “Ortak Varlıkların Trajedisi” (*Tragedy of the Commons*) adlı makalenin (Hardin, 1968) yayımlanması, bu bağlamda değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra yine aynı dönemde İsveçli bilim adamları tarafından ise asit yağmurları, Baltık Denizi kirliliği ile kuş ve balıklarda ağır metallerin birikmesi gibi çevre sorunlarının gündeme getirilmesi ve bunların ancak uluslararası iş birliği aracılığıyla çözülebileceğinin belirtilmesi (Wakefield, 1982, s. 37) gibi gelişmeler de yer almaktadır. Görüldüğü üzere çevre kalitesine yönelik endişeler yaklaşık olarak 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. Ancak 21. yüzyılda çevreciliğe ve çevre kalitesine yönelik ilginin söz konusu döneme nazaran daha da arttığına tanıklık edilmektedir. Çevre sorunlarının ve bunların ekosistem ve insan sağlığına yönelik olumsuz yansımalarının daha görünür hâle gelmesi, bu durum üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Kumaran vd., 2022, s. 378).

Hava, su ve toprak kalitesi ile biyoçeşitlilik (fauna ve flora) gibi birçok parametreye bağlı olması, çevre kalitesine dinamik bir nitelik kazandırmaktadır. Ayrıca vatandaşların çevre kalitesine yönelik algılarının farklılaşmasında, bulunulan bölge de belirleyici olmaktadır (White, 2011, s. 105-106). Nitekim çevre kalitesi; hava ve su kirliliğinin insan sağlığına zararlarından, reklam panoları ve atık sahalarının göze batmasına kadar geniş bir yelpazede ele alınabilecek bir meseledir (Long, 2011, s. 141). Değişkenlik ve farklı şekillerde algılanma özelliği ise çevre kalitesinin net ve kesin bir şekilde ölçülmesini engellemektedir. Dolayısıyla çevre kalitesinin tanımlanması ve kapsamının çizilmesi önemli bir zorluk alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak çevre kalitesi bağlamında yapılacak incelemelerin; çevre politikalarının oluşturulması, hedeflerinin belirlenmesi ve etkinliklerinin değerlendirilmesi noktasında iyi bir referans noktası oluşturma potansiyeli taşıdığı belirtilmelidir (Craik & Zube, 1976, s. 3). Ülke politikaları ve çevre ile ilgili kurumların faaliyetleri, çevre kalitesi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Yandle vd., 2004). Söz konusu politika ve faaliyetlerden istenen sonuçların alınabilmesinde ise güçlü ve etkili kurumsal yapıların varlığına ihtiyaç duyulmaktadır (Ali vd., 2019, s. 10455; Tang vd., 2021). Zira iklim değişikliği ile mücadelede oluşturulan çevre politikalarının ve bu kapsamda yürürlüğe giren mevzuat hükümlerinin uygulanması ancak kaliteli kurumsal yapılar ile mümkün görünmektedir.

20. yüzyılın sonlarından itibaren çevre kalitesini iyileştirme noktasında emisyonların sınırlandırılmasına yönelik girişimlere odaklanıldığına tanık olunmaktadır (Proskuryakova, 2022). Bu bağlamda kaynakların verimli kullanılmasına yönelik stratejiler ile doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltmak, çevre kalitesinin iyileştirilmesine aracılık edebilir (Kwakwa & Aboagye, 2024, s. 1452). Çevre kalitesinin bozulmasında en büyük paya sahip olan fosil yakıtların payını azaltmak için yönetimlerin yenilenebilir enerji yatırımlarına ağırlık vermesi ise daha etkili bir çözüm olarak görülmektedir (Majeed vd., 2021; Ali vd., 2023). Söz konusu politikaların cazip ve pratik kullanıma uygun hâle getirilerek bireysel düzeyde karşılık bulmasının sağlanması, çevre kalitesi açısından pozitif bir etki oluşturma potansiyeline sahiptir. Teknolojide kaydedilen

ilerlemeler de ülkelerin bu yöne kanalizasyon olup çevre kalitelerini iyileştirme süreçlerine katkı sunmaktadır (Sergienko, 2009, s. 43-46).

Çevre kalitesinin yanı sıra enerji güvenliği de yenilenebilir enerji kapasitelerini artırma noktasında ülkelere önemli bir motivasyon sağlamaktadır. Ekonomik büyümenin çevre üzerinde zararlı sonuçlar doğurduğu kabul edilmekle birlikte ülkelerin yönetsel, siyasal, sosyo-kültürel ve teknolojik gelişimlerinde katalizör niteliğine sahip bir faktör olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu bağlamda yönetsel ve siyasal istikrarın sağlanması ve çevre kalitesinin iyileştirilmesinde ekonomik büyüme (Loayza & Soto, 2002, s. 1), bunun sürdürülebilirliğinin tesis edilmesinde ise enerji kilit bir öneme sahiptir (Bosworth & Gheorghe, 2011, s. 235). Ancak enerji ihtiyacının dörtte üçünden fazlası (Kober vd., 2020; Energy Institute, 2024, s. 6-7), kıt ve yenilenemez niteliğe sahip olan fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Söz konusu kaynaklara sahip olan ülkeler, yalnızca savaş değil, aynı zamanda barış zamanlarında da stratejik olarak avantajlı bir konuma gelirken; ekonomik faaliyetlerini bu kaynaklara bağımlı olarak sürdüren ülkeler, her an enerji tedarikinin sekteye uğraması riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. Ticari faaliyetleri, dolayısıyla da ekonomik büyümeyi olumsuz yönde etkileme potansiyeline sahip olan bu durum, “enerji güvenliği” (*energy security*) kavramıyla açıklanmaktadır.

Enerji güvenliği ile ilgili olarak henüz üzerinde uzlaşılmış bir tanım bulunmamaktadır. Söz konusu olgunun yeni bir kavram olmadığı ve hatta enerji güvenliğine yapılan ilk atıfların 20. yüzyılın başlarına kadar uzandığı göz önüne alındığında ortak bir tanımın olmaması son derece şaşırtıcıdır (Nyga-Lukaszewska, 2024, s. 21). Bununla birlikte enerji güvenliğini, “ülkelerin enerji çıkarlarına yönelik herhangi bir tehdit unsurunun bulunmaması” veya “herhangi bir tehdit durumunda mevcut düzenin sürdürülebilirliğini garanti altına alma yeterliliğine ve esnekliğine imkân tanıyacak kaynaklara sahip olunması” şeklinde ifade etmek mümkündür (Faas vd., 2011, s. 10; Gruenig vd., 2016, s. 5; Isaeva vd., 2018, s. 8). Enerji güvenliği kavramı Yergin (2006, s. 70-71) tarafından “uygun fiyatlarla yeterli arzın bulunması” şeklinde tanımlanmıştır. Benzer şekilde Elkind (2010, s. 121) enerji güvenliğini, temel bileşenler olarak sıraladığı “erişilebilirlik, güvenilirlik, makul fiyat ve sürdürülebilirlik” üzerinden temellendirmiştir. Buna paralel olarak “Uluslararası Enerji Ajansı” (*International Energy Agency*) enerji güvenliğini, “enerji kaynaklarının makul bir fiyata sürekli erişilebilir olma durumu” şeklinde betimlemiştir (International Energy Agency, 2014, s. 13). Bu tanımlardan hareketle kaynakların hayatın olağan akışını sekteye uğratmayacak şekilde ve öngörülebilir bir gelecekte fiziksel olarak bolluğu, jeopolitik açıdan bulunabilirliği ve fiyatlarının genel olarak makul bir seviyede seyretmesinin, enerji güvenliğinin temel bileşenleri olduğunu söylemek mümkündür. Diğer bir deyişle enerji güvenliği, enerji fiyatlarının ekonomik büyümeyi engellemeyecek seviyede tutulup ekonominin sorunsuz işleyişini kolaylaştıran sürdürülebilir enerji kaynaklarına sahip olmaya atıfta bulunmaktadır. Ülkelerin enerji politikalarını şekillendirip enerji güvenliklerini iyileştirmelerinde Hughes (2009, s. 2461) tarafından önerilen ve “gözden geçirme” (*review*), “azaltma” (*reduce*), “değiştirme” (*replace*) ve “kısıtlama” (*restrict*) üzerine kurulan metodoloji yol gösterici olabilir. 4R şeklinde ifade edilebilecek bu metodolojide gözden geçirme, sorunu anlamayı; azaltma, enerji kullanımını azaltma ile enerji tasarrufu ve verimliliği uygulamalarına yönelmeyi; değiştirme, güvenli kaynaklara geçişi; kısıtlama ise yeni taleplerin güvenli kaynaklarla sınırlandırılması anlamına gelmektedir.

Düşünsel temelleri 1970’lerdeki petrol krizi ve bu krizin yol açtığı fiyat dalgalanmalarına dayanan enerji güvenliği (Quaschnig, 2010, s. 22; Bahgat, 2011, s. 1-2), söz konusu dönemin karakteristik özelliklerine istinaden makul fiyata güvenilir petrol arzına işaret etmekteydi. Ancak fosil yakıtların kıt bir kaynak olma özelliğine salgın, diplomatik kriz, savaş ve terörizm eylemleri gibi olayların eklenmesi ve bunların tetiklediği enerji tehditleri, enerji güvenliği kavramının kapsam açısından genişlemesine ve uluslararası kamuoyunun temel gündem maddelerinden biri olmasına zemin hazırlamıştır (Yergin, 2006, s. 70; Belaïd vd., 2023, s. 534; Aslam vd., 2024). Enerji güvenliğinin endişe kaynağı hâline gelmesinin temelinde fosil yakıtların kıt bir kaynak

olma niteliği, enerji talep ve tüketim seviyesinin yükselmesi, siyasi karışıklıklar, silahlı çatışmalar, çevre sorunları ve dünya pazarlarındaki entegrasyon ile karşılıklı bağımlılık ilişkilerinin üst düzeye çıkması gibi bir dizi faktörün yer aldığı söylenebilir (Shabani vd., 2017, s. 150). Dolayısıyla enerji güvenliği, ulusal düzeyde enerji tedarikinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik teknik altyapı yatırımlarına ve geliştirme faaliyetlerine indirgenmemelidir. Enerji güvenliğinin ulusal, bölgesel ve uluslararası ölçeklerde kısa ve uzun vadeli perspektifte askerî, siyasi, ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri bulunan bir yapıya sahip olması (Bielecki, 2002, s. 237; Bahgat, 2011, s. 3; Ahn, 2022), bu düşünceyi desteklemektedir. Bu bağlamda enerji güvenliği, yalnızca acil durumlarda değil, aynı zamanda üretim ve tüketim kalıpları ile altyapı yatırımlarına yönelik ihtiyaçların gelişmesine bağlı olarak da yönetimlerin üzerine düşünmesi gereken bir konu niteliğindedir (Walther, 2005, s. 77). Tam tersi bir durumu ifade eden enerji güvensizliğini ise enerjinin fiyatında veya arzındaki değişiklik sonucunda ortaya çıkması muhtemel ekonomik refah kaybı olarak tanımlamak mümkündür (International Energy Agency, 2007, s. 32). Enerjinin, ekonomik büyümenin ve bunun sürdürülebilirliğinin sağlanmasındaki rolü göz önünde bulundurulduğunda enerji güvenliğinin ne kadar önemli, enerji güvensizliğinin ise ne denli tehlikeli olduğu daha iyi anlaşılmaktadır.

Enerji kaynaklarının mevcudiyetine bağlı olarak enerji güvenliğinin farklı görünümlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Nitekim enerji güvenliği, ekonomik faaliyetlerini ithal enerjiye dayalı olarak gerçekleştiren ülkeler açısından arz ve tedarik yolu güvenliği; enerji ihraç eden ülkeler açısından ise kaynakları çıkarıp dağıtma ve talep güvenliği boyutuyla ön plana çıkmaktadır (Walther, 2005, s. 77). Dünyanın gelişmiş ülkelerinde enerji güvenliğine bu şekilde yaklaşıırken, geri kalmış bölgelerinde durum farklılık arz etmektedir. Yüz milyonlarca insan kronik elektrik kesintileriyle sıklıkla yüzleşmekte ve aydınlatmayı gaz lambaları aracılığıyla sağlamakta, bunun yanı sıra dünya nüfusunun yarıya yakını ısınma ve yemek pişirme gibi temel ihtiyaçlarını odun, tezek gibi ilkel enerji kaynaklarıyla karşılamaktadır (Luft & Korin, 2009, s. 5; Foster vd., 2010, s. 4). İnsan yaşamının devamı için önem arz eden temel gereksinimlerin karşılanmasına bile yetecek düzeyde ve nitelikte enerjinin bulunmaması, enerji güvenliğinin dünyanın gelişmemiş bölgelerinde çok daha farklı bir görünüme sahip olduğunu açık bir şekilde göstermektedir. İnsanların yaşadığı söz konusu sıkıntılar ve enerji maliyetlerinin önemli bir gider kalemi olduğu göz önünde bulundurulduğunda, enerji güvenliğinin yalnızca makro değil, aynı zamanda bireysel olarak mikro yönünün de bulunduğu ifade edilmelidir. Yapılan değerlendirmelerden hareketle enerji güvenliğinin, ihtiyaç duyulan enerjinin mevcudiyetine ve gelişmişlik durumuna bakılmaksızın tüm ülkeler için hayati önem taşıyan çok boyutlu bir konu olduğu ifade edilebilir.

3. Yenilenebilir Enerjinin Çevre Kalitesi ve Enerji Güvenliği Açısından Önemi

Fosil yakıtların kullanımı sonucunda açığa çıkan emisyonların, insanlığın bugün karşılaştığı çevre sorunlarının en büyük sebebi olduğu kabul edilmektedir. Sera gazının yanı sıra, fosil yakıtların kullanımından sonra geriye kalan katı kalıntılar da çevre ve insan sağlığı açısından ciddi tehdit oluşturmaktadır. Kömür kullanımı sonucu ortaya çıkan külün yüksek konsantrasyonlarda cıva, selenyum, arsenik, kurşun ve diğer tehlikeli maddeleri içermesi, bu noktada örnek olarak gösterilebilir. Havuzlara boşaltılarak külün bertaraf edilmesi yoluna gidilmişse de havuz duvarının yıkılması sonucu 2008 yılında Amerika'da yaşanan olay, bu yönleme ilişkin soru işaretlerini gündeme getirmiştir. Söz konusu olayın yaşandığı Tennessee eyaletinin Kingston kenti, insanların sağlık endişeleri dolayısıyla hayalet bir kasabaya dönüşmüştür. İlave olarak bu olay sonucunda Emory Nehri de ciddi oranda kirlenmiştir. Fosil yakıtların çevre ve insan sağlığı açısından zararı yalnızca kullanıma bağlı olarak yaşanmamaktadır. Bu kaynakların taşınması sırasında meydana gelen kazalar da çevreye ciddi zararlar verebilmektedir. 1989 yılındaki tanker kazasında yaklaşık 42 milyon litre ham petrolün Alaska Körfezi açıklarında dökülmesi ve olaydan yaklaşık yirmi yıl sonra yapılan incelemelerde ekosistemlerin tam olarak

iyileşemediğinin tespit edilmesi, sorunun boyutunu gözler önüne sermektedir (Marcovitz, 2011, s. 6-7).

Fosil yakıtların üretimi ve kullanımına bağlı olarak havaya salınan CO₂ seviyeleri ile sıcaklık artışı arasında 19. yüzyılın sonlarında pozitif yönlü bir ilişki bulunması (Arrhenius, 1896, s. 265), söz konusu kaynakların çevre açısından ne denli zararlı olduğunu göstermektedir. Mevcut üretim ve tüketim kalıplarının sürdürülmesi durumunda fosil kaynakların gelecekte ne kadar zararlı sonuçlar doğuracağı ise yaşanma ihtimali yüksek senaryolarda açık bir şekilde gözlemlenmektedir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Buna bağlı olarak hem tüketici hem de üretici konumundaki ülkeler, yeşil enerjilere geçişi ve söz konusu geçişin çevre açısından taşıdığı önemi kabul ederek buna yönelik ciddi mali kaynaklar ayırmışlardır (Bahgat, 2011). Yenilenebilir enerjinin, “sürdürülebilir kalkınma amaçları (SDGs)” (*sustainable development goals*) açısından son derece önemli olması ve bunlara ulaşılmasına elverişli koşullar sunması (United Nations, 2024) da ülkeleri motive etmektedir. Fosil yakıtların yol açtığı çevre sorunlarına yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve kapasitelerinin artırılması yoluyla çözüm getirilebileceğine inanılmaktadır. Nitekim yenilenebilir enerjinin, doğa üzerindeki baskıyı ifade eden ekolojik ayak izini azaltması (Sharma vd., 2021; Zhao vd., 2024; Sohag vd., 2024), çevre açısından önemini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Hidroelektrik enerji üretiminde neredeyse hiçbir kirletic maddenin açığa çıkması, çevresel açıdan önemli bir avantaj sunmaktadır. Bunun yanı sıra hidroelektriğin sera etkisinin meydana gelmesine yol açan CO₂ salımına katkısının düşük, yenilenebilirlik kapasitesinin ise yüksek bir düzeyde olması bu enerji kaynağına çevre dostu bir görünüm kazandırmaktadır. Ayrıca hidroelektrik enerji üretimi için oluşturulan yapılar; kampçılık, balıkçılık, tekne gezisi ve diğer rekreasyonel faaliyetlerin gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadır (Currie, 2013, s. 43). Rüzgâr enerjisi santrallerinin çalışması sırasında da dışarıya herhangi bir toksik madde salımı gerçekleşmemesi çevre açısından olumlu bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra santrallerde yer alan rüzgâr türbinlerinin büyük oranda geri dönüştürülebilir nitelikteki malzemelerden oluşması, ürün yaşam döngüsünün son aşaması olan bertarafı kolaylaştırmakta ve dolayısıyla çevre üzerindeki baskıyı azaltmaktadır. Bu durumun, sürdürülebilir tüketim ile üretimi konu edinen SDG 12’ye hizmet ettiği de ayrıca belirtilmelidir. İlave olarak gerekli teknolojik altyapının kurulmasında geniş bir alana ihtiyaç duyulmaması ve santrallerin canlı yaşamına etkisinin ihmal edilebilecek kadar düşük bir düzeyde olması, çevresel sürdürülebilirlik açısından rüzgâr enerjisinin ön plana çıkmasına aracılık etmektedir (Kaltschmitt vd., 2007, s. 344-348). Rüzgâr enerjisine benzer şekilde güneş enerjisi panellerinin çalışması sırasında da herhangi bir hava kirletic madde veya atık ürün ortaya çıkmamaktadır (Tsoutsos vd., 2005, s. 292; Nakaya, 2013, s. 28).

Rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı olarak üretilen enerjinin, toplam enerji karışımı içerisindeki payının yükselmesi; söz konusu yerleşim yerlerinde hava kalitesinin, dolayısıyla da çevre kalitesinin artmasına sağlamaktadır. Fosil yakıtlara bağlı olarak gerçekleştirilen elektrik üretiminin, toplam emisyonların önemli bir kısmını oluşturduğu göz önünde bulundurulduğunda, yenilenebilir enerjiye verilecek ağırlığın yalnızca çevre kalitesine değil, aynı zamanda enerji güvenliğine de birtakım yansımalarının olacağı ifade edilebilir. Nitekim enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, riskin dağıtılması ve enerji karışımı içerisinde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin oransal olarak büyümesi; başta petrol olmak üzere fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalmasına, dolayısıyla da enerji güvenliğinin artmasına uygun bir zemin hazırlamaktadır. Bu bağlamda yenilenebilir enerjinin, karşılanabilir ve temiz enerji teması çerçevesinde şekillenen SDG 7’nin gerçekleştirilmesine hizmet ettiği söylenebilir.

Zaman içerisinde artan enerji talebinin 21. yüzyılda doruk noktasına ulaşması, kaynakların tükenmesi endişesinin ve dolayısıyla da enerji güvenliği riskini gündeme getirmiştir (Asif & Muneer, 2007, s. 1408). Fosil yakıt fiyatlarının savaş, siyasi kriz ve iklim

şartları gibi çeşitli faktörlerden etkilenmesi de bu riskin artmasına neden olmuştur. Enerji tedariki ve enerji güvenliği konusundaki endişeler ise fosil yakıtlar da dâhil olmak üzere yerel kaynakların daha fazla sömürülmesine neden olmuştur (World Bank, 2016, s. 1). Nitekim önceki elli yıla kıyasla doğal kaynakların üç kat daha fazla tüketilmesi ve fosil yakıt kullanımının 6 milyar tondan 15 milyar tona çıkması durumun ciddiyetini açık bir şekilde göstermektedir (Pang vd., 2024). Üstelik fosil enerji kaynaklarının kullanıma sunulması için gerçekleştirilen madencilik faaliyetlerinin toplam sera gazı emisyonlarının %50'sinden, biyoçeşitlilik kaybı ve su stresinin ise %90'ından sorumlu olması, durumun çevre üzerinde oluşturduğu baskının ne kadar ciddi boyutlara ulaştığını gözler önüne sermektedir (United Nations Environment Programme, 2024, s. 6). Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin yaygınlaştırılması ve buna yönelik teknolojik altyapılarının geliştirilerek kapasitenin artırılması, hem enerji arzı ve güvenliğinin artmasına hem de fosil yakıtların bir koz veya pazarlık malzemesi yapılma olasılığını minimuma indirerek enerji güvenliği riskinin azalmasına uygun bir zemin hazırlamaktadır (Su vd., 2021; Khan vd., 2023). Bu bağlamda yenilenebilir enerji; enerji güvenliği ile gelecekteki enerji ve çevre sorunlarını tamamen ortadan kaldırma kapasitesine sahip olmasa da şu an için söz konusu sorun alanlarının çözümünde başvurulacak en iyi alternatifler arasında değerlendirilmektedir (Moe, 2014, s. 6).

Ülkelerin, enerji güvenliği riski karşısında ağırlıklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme şeklinde reaksiyon gösterdiklerine tanıklık edilmektedir (Hu vd., 2022). Yakın bir geçmişte ithal enerjiye (petrole) olan bağımlılığının yol açtığı enerji sorununu ortadan kaldırmak için Japonya'nın II. Dünya Savaşı'na girmesi, süreç içerisinde yenilenebilir enerji altyapısını geliştirmesi ve bu alandaki öncü ülkeler arasına girmesi söz konusu ifadeyle paralellik arz etmektedir (Bosworth & Gheorghe, 2011, s. 235). Dünyanın en büyük ekonomisine ve bununla ilişkili olarak en yüksek enerji tüketimine sahip olan Amerika Birleşik Devletleri'nin 20. yüzyılın sonlarından günümüze kadar altyapı ve üretim hacmini geliştirme noktasında yenilenebilir enerjiye verdiği önemi artırması da yine bu bağlamda değerlendirilebilir (International Solar Alliance, 2023; Global Wind Energy Council, 2024). Dünyanın en değerli petrol rezervlerine sahip ülkesi olan Suudi Arabistan'ın bile büyük çaplı güneş enerjisi projelerine yönelmesi, bu noktada dikkate değerdir (Usher, 2019, s. 2). Yenilenebilir enerji altyapılarının geliştirilmesinde bu kaynakların, fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalara kıyasla daha istikrarlı yapıya sahip olmasının önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bunun yanı sıra başlangıçta inşaat, kurulum ve iletim hatlarından kaynaklı olarak maliyet açısından fosil yakıtlara göre dezavantajlı olan yenilenebilir enerjilerin (Marcovitz, 2011, s. 40); teknolojik gelişmeler, artan talep ve azalan üretim maliyetlerine istinaden daha ucuz ve rekabetçi nitelik kazanmasının da (Usher, 2019, s. 2-4) yenilenebilir enerjiye geçişi cazip hâle getirdiği söylenebilir. Bu durum yalnızca çevrecilerin yeşil geçiş arzularının karşılık bulmasına değil, aynı zamanda ekonomistlerin fosil yakıtların yenilenebilir enerji ile ikame edilmesinin maliyeti konusundaki endişelerinin de azalmasına uygun bir zemin hazırlamaktadır.

Dünyanın az gelişmiş bölgelerinde enerji güvenliğinin farklı bir görünüme sahip olduğu ve insanların ısınma, aydınlatma ve beslenme gibi temel gereksinimlerini ilkel yollardan karşıladığına yukarıda dikkat çekilmişti. Söz konusu alanlarda yaşayan insanların geleneksel kaynaklardan elektrik alma olasılığı bir hayli düşüktür. Elektriksiz alanlara iletim ve dağıtım hatları aracılığıyla kamu hizmeti sunmanın maliyetinin çok yüksek olması, bu durumun en önemli nedenleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda temel gereksinimlerin rahatça karşılanmasına ve yaşam kalitesinin yükselmesine aracılık edecek uygun maliyetli enerjinin güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri ile sağlanmasının iyi bir alternatif olduğu belirtilmelidir (Foster vd., 2010, s. 2). Ayrıca rüzgâr türbinleri ve güneş enerjisi sistemlerinin enerji üretim aşamasında suya ihtiyaç duymaması, söz konusu kaynakların dünyanın kurak ve enerji yoksunu bölgelerinde faydalı sonuçlar doğuracağına işaret etmektedir (Nelson, 2009, s. 13). Yenilenebilir enerji kaynaklarına atfedilen önem ve bu kaynaklardan daha fazla yararlanmak için gerçekleştirilen altyapı

geliştirme ve genişletme çabaları, enerji güvenliğinin mevcudiyet, güvenilirlik ve ekonomik erişilebilirlik boyutlarına yeni bir boyut olarak çevresel sürdürülebilirliğin de eklendiğine dair bir yorumda bulunulmasına uygun bir zemin hazırlamaktadır (Elkind, 2010, s. 121). Yapılan değerlendirmelerden hareketle yenilenebilir enerjinin çevre kalitesi ve enerji güvenliği açısından çeşitli faydalar sağladığı söylenebilir. Sürdürülebilirlik açısından son derece önemli avantajlar sunmakla birlikte yenilenebilir enerjinin birtakım olumsuz yönleri de bulunmaktadır.

4. Çevre ve Enerji Güvenliği Açısından Yenilenebilir Enerjinin Riskleri: Dün, Bugün ve Yarın

Bir zamanlar umut vaat eden yenilenebilir enerji, bugün çevresel veya ekonomik açıdan ya da her ikisinden kaynaklanan gerekçelerle sorgulanır hâle gelmiştir (Marcovitz, 2011, s. 28). 1950'li yıllarda hidroelektrik santrali (HES), güç üretme potansiyeli ve çevreye zarar vermeyen yapısıyla en temiz ve yeşil enerji kaynağı olarak algılanmaktaydı. Nitekim aralarında Hindistan, Brezilya, Çin, Malezya, Tayland ve Türkiye'nin de yer aldığı birçok ülke ekonomik gelişimini hızlandırmak için baraj inşasına yönelmiştir. Ancak HES'lere ilişkin olumlu tablo, 1970'lerin ortalarında yerini çevresel endişelere bırakmıştır (Harte & Jassby, 1978, s. 106-107; Abbasi & Abbasi, 2011, s. 2135). Hintli bir çevreci olan Sunderlal Bahuguna'nın HES'lerin kurulmasına tepki olarak ölüm orucuna başlaması, söz konusu endişelerin dışa vurumu niteliğindedir (Abbasi & Abbasi, 2000, s. 135).

Süreç içerisinde daha fazla sayıda bilim insanı ve çevre aktivisti, büyük HES'lerin "temiz" olmaktan çok uzak, hatta tüm enerji üretim alternatiflerinin ekolojik olarak en zararlısı olabileceğine dair düşünce üzerinde fikir birliğine varmıştır. HES'lerin çevre açısından zararlarını; habitat bozulması, su kalitesinin düşmesi, buharlaşmaya bağlı olarak su miktarının azalması, balık ve yaban hayatı geçişlerinin sekteye uğraması, kaçak avcılık ve yeşil alan ve biyoçeşitlilik kaybı başlıkları altında özetlemek mümkündür (Pimentel, 2008, s. 4; Blazev, 2015, s. 642). Günümüzde yapılan çalışmalarda da HES'lerin su kalitesini ve miktarını olumsuz yönde etkilediği ortaya konulmaktadır (Koralay vd., 2018, s. 419). HES türbinlerinin çalışması sırasında nehir yatağında meydana gelen ani ve sık dalgalanmaların söz konusu etkilerin ortaya çıkmasında önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (Zdankus vd., 2008, s. 133). Bu santraller, yalnızca enerji üretimi sırasında değil, aynı zamanda inşa ve kurulum aşamalarında da çevre üzerinde baskı oluşturmaktadır. İş makinelerinden çıkan emisyonun havayı kirletmesi, pestisit kullanımına istinaden toprağın verimliliğinin ve heyelan dayanıklılığının azalması ve azot bazlı patlayıcılara bağlı olarak ötrofikasyon eğiliminin artması söz konusu baskıya yol açan unsurlar arasında yer almaktadır (Goswami vd., 2023). HES'lerin, canlı yaşamının temel bileşenlerinden biri olan su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemesi, bu sistemlerle enerji üretilmesi hususunda soru işaretlerini gündeme taşımaktadır.

Çevre açısından zararlı etkiler, rüzgâr santrallerinin inşa aşamasında da ortaya çıkmaktadır. İnşa süreçlerinin çevrede meydana getirebileceği olumsuzluklar arasında ekipman kullanımına bağlı olarak emisyon salımı, kazı faaliyetlerinin yeşil alan kapasitesini düşürmesi, katı ve endüstriyel atıklardan dolayı hava ve su kalitesinin azalması ve biyoçeşitlilik kaybı yer almaktadır. Enerji üretimi sırasında doğrudan hava kirleticiler maddelerin açığa çıkması, bunun yanı sıra tarım-hayvancılık, rekreasyon ve diğer enerji (güneş enerjisi, jeotermal enerji gibi) türlerine yönelik faaliyetlere engel olmaması dolayısıyla rüzgâr santrallerinin çevre üzerindeki etkisinin inşa aşamasına kıyasla çok düşük olduğu söylenebilir (Spellman, 2015, s. 43-44). Bununla birlikte rüzgâr türbinlerinin kuşların göç yollarına ve yaban hayatının aktif olduğu alanlara kurulmasının, özellikle kuş ve yarasal ölümüne bağlamında biyoçeşitliliği ve dolayısıyla ekosistem güvenliğini olumsuz yönde etkilediği göz önünde bulundurulmalıdır (Pimentel, 2008, s. 5-6).

Her ne kadar minimal çevresel etki ile büyük miktarda enerji sağlama potansiyeline sahip olsa da güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu için geniş yüzey alanı yani büyük

arazi gereksinimi ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Akla güneş enerjisi panellerinin binaların tepelerine yerleştirilerek yüzey alanından tasarruf etme fikri gelebilir ancak söz konusu yöntem fosil yakıtları ikame etme ve talebi karşılama noktasında yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden de geniş arazilere kurulu şebeke ölçeğinde güneş enerjisi santrallerine ihtiyaç duyulmaktadır (Nakaya, 2013, s. 33). Söz konusu amaç doğrultusunda verimli tarım arazilerinin kullanılması; arazi bozulması, türlerin yaşam alanlarının değişmesi ve habitat kaybı sorunlarını beraberinde getirmektedir. Bu durum terk edilmiş endüstri alanlarının, nadasa bırakılmış tarım topraklarının veya eski madencilik sahalarının kullanıldığı durumlarda bile geçerliliğini korumaktadır (Spellman, 2015, s. 81). Çalışma esnasında herhangi bir çevresel etkisi olmayan güneş enerjisi sistemlerinin temizliğinde büyük miktarda suya gereksinim duyulması (Nakaya, 2013, s. 34), üretimlerinde kadmiyum sülfür ve galyum arsenit gibi zehirli ve çevrede yüzyıllarca kalma potansiyeline sahip kimyasalların kullanılması ve kullanım ömürlerinin sonunda yani bertaraf aşamasında söz konusu kimyasalların suya ve toprağa sızarak çevre ve canlı sağlığına zarar verme riski taşıması (Pimentel, 2008, s. 8) güneş enerjisinin diğer dezavantajlarına örnek olarak verilebilir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin ortaya çıkardığı ve yol açma potansiyeli taşıdığı sorunların çevre kalitesinin yanı sıra enerji güvenliğine de çeşitli olumsuz yansımaları bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara kıyasla neredeyse karbonsuz bir nitelik taşısa da toplumun enerji ihtiyacını tam anlamıyla karşılama kapasitesine henüz erişmiş değildir. Hava şartlarının değişken bir nitelik taşıması, buna neden olan koşullar listesinin en başında gelen maddelerden birisidir. Örneğin, iyi rüzgârlı bölgelerde bile rüzgârdan elde edilecek enerji, talebin altında kalabilir (Trainer, 2007, s. 11). “Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü”nün (*Electric Power Research Institute*), rüzgârın az olduğu ya da hiç olmadığı günlerde elektrik üretmek için yedek kaynaklara başvurulması gerektiğini ve bu bağlamda kömür santrallerinden elde edilecek enerjinin varlığına ihtiyaç duyulacağını belirtmesi, son derece dikkat çekicidir (Electric Power Research Institute, 2023). Benzer şekilde güneş ve rüzgâr teknolojilerinin dizel jeneratörler ile desteklenmesiyle oluşturulan hibrit modellerin yüksek güvenliği ve makul maliyete sahip olduğunun da altı çizilmektedir (Foster vd., 2010, s. 2). Söz konusu durumun, güneş ve rüzgâr santrali kurmak için ciddi bir finansal kaynak ayıran şirketleri yedek güç üretim santrallerini hazırda tutma, müşterileri ise her iki enerji üretim türüne ödeme yapma zorunda bırakacağı söylenebilir (Marcovitz, 2011, s. 40). Bu sorunları, depolama teknolojilerinin henüz istenen seviyeye ulaşmaması takip etmektedir (Trainer, 2007, s. 40; Ferguson, 2008, s. 141-142; Nelson, 2009, s. 13). Hidroelektrik enerjisinin, güneş ve rüzgâra kıyasla daha istikrarlı bir yapıya sahip olduğu söylenebilse de bu kaynakların dünyanın belirli bölgelerinde kümelenmiş olması diğer bir zorluk olarak ortaya çıkmaktadır (Wang, 2023, s. xiii).

Uluslararası arenada yaşanan savaş veya diplomatik kriz gibi olaylar sonucunda ortaya çıkan enerji güvenliği riskinin, ülkelerin yenilenebilir enerjiye geçişinde katalizör etkisi oluşturduğu ifade edilebilir. Ancak fosil yakıtların boşluğunu yenilenebilir enerji kaynaklarının tamamen doldurması, en azından kısa vadede oldukça zordur. Rusya ve Ukrayna arasında meydana gelen savaşın ardından yaşanan gelişmeler, bu noktada iyi bir örnek teşkil etmektedir. Bilindiği üzere Rusya, yalnızca dünyanın en büyük petrol ve doğal gaz ihracatçılarından biri değil, aynı zamanda Avrupa’ya petrol, doğal gaz ve kömür sağlayan en büyük tedarikçidir. Rusya’ya olan bağımlılığı mümkün olan en kısa sürede azaltma taahhüdünde bulunan Avrupalı liderlerin öncelikle alternatif fosil yakıt kaynakları arayışına girişmeleri (International Energy Agency, 2022, s. 6-7), fosil yakıtların kısa vadede yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ikame edilemeyeceği düşüncesine somut bir dayanak oluşturmaktadır. Bu çatışmadan sonra yatırımcıların yenilenebilir enerji yatırımlarına ilişkin tutumlarının önemli ölçüde değişmemiş olması ve kömür yakıtlı enerji üretim firmalarının normalin üzerinde getiri elde etmesi bu bağlamda değerlendirilebilir (Nerlinger & Utz, 2022, s. 6-7). G20 ülkelerinde yenilenebilir enerjiye yönelik sübvansiyonların üç katı fazlasının fosil yakıtlara ayrılmış olması da söz

konusu ifadeyi desteklemektedir (International Institute for Sustainable Development, 2024, s. 13).

Küresel enerji sektörünün aşamalı olarak güneş ve rüzgâr enerjisine dayalı bir profile sahip olmaya başladığı görülmektedir. Ancak söz konusu yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edilmesine imkân sağlayan teknolojik altyapının özel metallerin varlığına bağlı olması ve bunların tedarik açısından risk, rezerv düzeylerinin ise belirsizlik arz etmesi önemli bir sorun alanıdır (Hache, 2018, s. 131; Müller vd., 2025). Bu tür sorunların özellikle güneş panellerinde kullanılan gümüşün bulunabilirliği bağlamında güneş enerjisi sektöründe ortaya çıkacağı ileri sürülmektedir. Paralel olarak diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretiminde de farklı metallerin kıtlığı dolayısıyla benzer sorunların meydana gelmesinin kuvvetle muhtemel olduğu söylenebilir (Grandell vd., 2016, s. 61). Bu bağlamda yenilenebilir enerjiye geçişte ihtiyaç duyulan metaller, toprak elementleri veya pil bileşenlerinin yeni bağımlılık ilişkilerinin meydana gelmesine, malzeme tedarikinde darboğazların yaşanmasına ve enerji güvenliği riskinin boyut değiştirmesine yol açma potansiyeli taşıdığı ileri sürülebilir.

5. Sonuç

Çevre sorunlarının, özellikle de iklim değişikliğinin çevre ve canlı yaşamına yönelik etkilerinin daha görünür hâle gelmesi devletlerin ve uluslararası örgütlerin harekete geçmesinde etkili olmuştur. Söz konusu sorunlarla mücadele etme hususunda siyasi ve sivil aktörlerin katılımıyla uluslararası düzeyde çok sayıda toplantı düzenlenmiştir. Bu girişimlerin sonucunda ortaya çıkan rapor, bildiri, sözleşme veya anlaşma gibi metinlerde, çevre sorunlarına ağırlıklı olarak fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının bir sonucu olduğunun altı çizilmiştir. Diğer yandan da fosil yakıtların yerini daha çevre dostu enerji kaynaklarının almasına yönelik uygulamaların hayata geçirilmesinin aciliyetine dikkat çekilmiştir. Nitekim hükümetler; çevredeki kötü gidişata son vermek adına enerji verimliliğinin artırılması, fiyatlandırma ve vergi sistemlerinin rasyonelleştirilmesi, insanlarda çevre bilincinin artırılması, sürdürülebilir ulaşım türlerinin yaygınlaştırılması ve yenilenebilir enerji altyapılarının geliştirilmesi gibi alternatifler üzerinden kendilerine yol haritaları belirlemişlerdir. Daha az sera gazı salımına yol açması ve toplam enerji karışımı içerisinde fosil yakıtların oranını azaltma noktasında yüksek bir potansiyele sahip olması, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi diğer alternatiflerden daha cazip bir hâle getirmiştir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin ön plana çıkmasında yalnızca çevre kalitesinin iyileştirilmesi değil, aynı zamanda fosil yakıt bağımlılığını azalttığı için enerji güvenliğinin artırılması düşüncesi de yer almaktadır.

Fosil yakıtlara kıyasla enerji üretim aşamasında neredeyse herhangi toksik madde veya atık ürünün açığa çıkmaması, yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre kalitesini olumlu yönde etkileyeceğine dair bir beklentiye gündeme getirmiştir. Nitekim yapılan çalışmalarda yenilenebilir enerjilerin, ekolojik ayak izini azalttığı saptanmıştır. Fosil yakıtların kıt ve yenilenemez doğasının aksine daha sürdürülebilir bir nitelik taşıyan yenilenebilir kaynakların, enerji güvenliği üzerinde çeşitli olumlu sonuçlar doğurduğu gözlemlenmektedir. Çevre kalitesi ve enerji güvenliğinin artırılması bağlamında bir kurtarıcı şeklinde algılanan yenilenebilir enerji, faaliyet alanı ve hacminin genişlemesine bağlı olarak süreç içerisinde olumsuz yönleriyle anılmaya ve tartışılmaya başlamıştır. Buradan hareketle çalışmada, yenilenebilir enerjinin çevre kalitesi ve enerji güvenliği bağlamında yol açtığı ve yol açma potansiyeli taşıdığı sorunlar ortaya koyulmuştur. Yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumundan bertarafına kadar olan tüm süreç göz önünde bulundurulduğunda bu sistemlerin çevresel etkilerden tamamen arınmış olmadığı görülmektedir. Çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin görece geç bir dönemde farkına varılmasını, kullanıldığı ilk dönemlerde yenilenebilir enerjilerin kapsam ve kapasite açısından dar bir nitelik taşıması ve doğanın içsel mekanizmalarının bu dönemlerde meydana gelen tahribatı ortadan kaldırma yetkinliğine sahip olmasıyla açıklamak mümkündür. Faaliyet alanlarının ve hacimlerinin genişlemesi, çevrenin taşıma

kapasitesinin aşılmasına ve ekosistemlerde kirlilik, biyoçeşitlilik kaybı, hava ve su kalitesinin düşmesi gibi çeşitli sorunların yaşanmasına sebebiyet vermiştir.

Yenilenebilir enerjilerin fosil yakıtlardan üretilen enerjiyi en azından kısa vadede tam anlamıyla ikame etme kapasitesine sahip olmaması ve depolama teknolojilerinin henüz istenilen seviyeye ulaşmaması, enerji güvenliğinin sağlanması noktasında fosil kaynaklara dayalı yedek enerji sistemlerinin varlığını gerekli kılmaktadır. Bu durum hem enerji şirketleri hem de kullanıcılar açısından daha fazla maliyet anlamına gelmektedir. Yenilenebilir enerji teknolojileri ile ilgili diğer bir sorun alanı ise bunların üretilmesinin stratejik madenlerin mevcudiyetine dayanmasıdır. Söz konusu madenlerin kıt ve dünya üzerinde heterojen bir dağılıma sahip olması; yeni bağımlılık ilişkilerinin meydana gelmesine, malzeme tedarikinde darboğazların yaşanmasına ve nihayetinde enerji güvenliği riskinin boyut değiştirerek artmasına zemin hazırlamaktadır. Bir zamanlar kurtarıcı olarak algılanan yenilenebilir enerji kaynakları, geline nokta da çevre kalitesi ve enerji güvenliği açısından neredeyse bir tehdit unsuru olarak algılanmaktadır. Hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin çevre kalitesi ve enerji güvenliği açılarından değerlendirildiği bu çalışma, yenilenebilir enerjinin olumsuz etkilerine ilişkin Türkçe literatürdeki boşluğu doldurmaktadır. Gelecek çalışmalarda hem yenilenebilir enerji kaynağı türlerinin çeşitlendirilmesi hem de bunların incelendiği bağlamın genişletilmesi, konunun daha kapsamlı bir şekilde ele alınmasına ve daha isabetli çözümlerde bulunulmasına aracılık edecektir.

Kaynakça

- Abbasi, S. A. & Abbasi, N. (2000). The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *Applied Energy*, 65(1-4), 121-144. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00077-X)
- Abbasi, T. & Abbasi, S. A. (2011). Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2134-2143. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.050>
- Ahn, S. H. (2022). *Power struggles: Energy security and energy diplomacy in the Asia Pacific*. Palgrave Macmillan.
- Ali, E. B., Opoku-Mensah, E., Ofori, E. K. & Agbozo, E. (2023). Load capacity factor and carbon emissions: Assessing environmental quality among MINT nations through technology, debt, and green energy. *Journal of Cleaner Production*, 428, 139282. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139282>
- Ali, H. S., Zeqiraj, V., Lin, W. L., Law, S. H., Yusop, Z., Bare, U. A. A. & Chin, L. (2019). Does quality institutions promote environmental quality?. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 10446-10456. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04670-9>
- Altuğ, F. (1990). *Çevre sorunları*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları.
- Arrhenius, S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237-276.
- Asif, M. & Muneer, T. (2007). Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1388-1413. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.12.004>
- Aslam, N., Yang, W., Saeed, R. & Ullah, F. (2024). Energy transition as a solution for energy security risk: Empirical evidence from BRI countries. *Energy*, 290, 130090. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130090>
- Bahgat, G. (2011). *Energy security: An interdisciplinary approach*. Wiley.
- Bajić, B. Ž., Vučurović, D. G. & Dodić, S. N. (2018). Energy security in South East Europe: Present and future challenges. M. Radovanović (Ed.), *Energy security: Perspectives, improvement strategies and challenges* (97-138). Nova Science Publishers.
- Belaïd, F., Al-Sarihi, A. & Al-Mestneer, R. (2023). Balancing climate mitigation and energy security goals amid converging global energy crises: The role of green investments. *Renewable Energy*, 205, 534-542. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.083>
- Bielecki, J. (2002). Energy security: Is the wolf at the door?. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 42(2), 235-250. [https://doi.org/10.1016/S1062-9769\(02\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S1062-9769(02)00137-0)
- Blazev, A. S. (2015). *Energy security for the 21st century*. The Fairmont Press.
- Bordoff, J., Deshpande, M. & Noel, P. (2010). Understanding the interaction between energy security and climate change policy. C. Pascual & J. Elkind (Eds.), *Energy security: Economics, politics, strategies, and implications* (209-248). Brookings Institution Press.

- Bosworth, E. & Gheorghe, A. (2011). Energy security: A problem of complex systems and complex situations. A. Gheorghe & L. Muresan (Eds.), *Energy security: International and local issues, theoretical perspectives, and critical energy infrastructures* (235-246). Springer.
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27-40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Carson, R. (1962). *Silent spring*. Houghton Mifflin Company.
- Corbin, J. & Strauss, A. (2015). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. SAGE Publications.
- Craik, K. H. & Zube, E. H. (1976). The development of perceived environmental quality indices. K. H. Craik & E. H. Zube (Eds.), *Perceiving environmental quality: Research and applications* (3-20). Plenum Press.
- Currie, S. (2013). *What is the future of hydropower?*. Reference Point Press.
- Electric Power Research Institute. (2023). From coal to nuclear: A practical guide for developing nuclear energy facilities in coal plant communities. <https://restservice.epri.com/publicdownload/000000003002026517/0/Product>
- Elkind, J. (2010). Energy security: Call for a broader agenda. C. Pascual & J. Elkind (Eds.), *Energy security: Economics, politics, strategies, and implications* (119-148). Brookings Institution Press.
- Elliott, D. (2003). Sustainable energy: Choices, problems and opportunities. R. E. Hester & R. M. Harrison (Eds.), *Sustainability and environmental impact of renewable energy sources* (19-47). The Royal Society of Chemistry.
- Energy Institute (2024). Statistical review of world energy. https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0006/1542714/684_EI_Stat_Review_V16_DIGITAL.pdf
- Faas, H., Gracceva, F., Fulli, G. & Masera, M. (2011). European security – A European perspective. A. Gheorghe & L. Muresan (Eds.), *Energy security: International and local issues, theoretical perspectives, and critical energy infrastructures* (9-21). Springer.
- Fan, D., Breslin, D., Callahan, J. L. & Iszatt-White, M. (2022). Advancing literature review methodology through rigour, generativity, scope and transparency. *International Journal of Management Reviews*, 24(2), 171-180. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12291>
- Ferguson, A. R. B. (2008). Wind power: Benefits and limitations. D. Pimentel (Ed.), *Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: Benefits and risks* (s. 133-151). Springer.
- Foster, R., Ghassemi, M. & Cota, A. (2010). *Solar energy: Renewable energy and the environment*. CRC Press.
- Franchetti, M. J. & Apul, D. (2013). *Carbon footprint analysis: Concepts, methods, implementation, and case studies*. CRC Press.
- Global Wind Energy Council. (2024). Global wind report 2024. https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/04/GWR-2024_digital-version_final-1.pdf
- Goswami, D., Bhattacharjee, A., Basak, P., Das, U. & Nandi, C. (2023). Life cycle assessment: A perspective of improvement of hydro-plants for intensify “green electricity”. *Energy Nexus*, 10, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100201>
- Gök, A. (2023). The role of financial development on renewable energy: A meta-regression analysis. *Renewable Energy Focus*, 46, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.08.001>
- Grandell, L., Lehtilä, A., Kivinen, M., Koljonen, T., Kihlman, S. & Lauri, L. S. (2016). Role of critical metals in the future markets of clean energy technologies. *Renewable Energy*, 95, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.102>
- Gruenig, M., Lombardi, P. & O'Donnell, B. (2016). Challenging the energy security paradigm. P. Lombardi & M. Gruenig (Eds.), *Low-carbon energy security from a European perspective* (1-11). Academic Press.
- Gyimah, J., Hayford, I. S., Nyantakyi, G., Adu, P. S., Batasuma, S. & Yao, X. (2024). The era of global warming mitigation: The role of financial inclusion, globalization and governance institutions. *Heliyon*, 10(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23471>
- Hache, E. (2018). Do renewable energies improve energy security in the long run?. *International Economics*, 156, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.01.005>
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- Harte, J. & Jassby, A. (1978). Energy technologies and natural environments: the search for compatibility. *Annual Review of Energy*, 3(1), 101-146. <https://doi.org/10.1146/annurev.eg.03.110178.000533>
- Hu, G., Yang, J. & Li, J. (2022). The dynamic evolution of global energy security and geopolitical games: 1995~ 2019. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14584. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114584>
- Hughes, L. (2009). The four ‘R’s of energy security. *Energy Policy*, 37(6), 2459-2461. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.038>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report - Summary for policymaker. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- International Energy Agency. (2007). *Energy security and climate policy: Assessing interactions*. International Energy Agency.
- International Energy Agency. (2014). *Energy supply security: The emergency response of IEA countries 2014*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/73908149-4d6e-4f10-b626-d55c60ab3bd7/ENERGYSUPPLYSECURITY2014.pdf>
- International Energy Agency. (2022). World energy investment 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b0beda65-8a1d-46ae-87a2-f95947ec2714/WorldEnergyInvestment2022.pdf>
- International Energy Agency. (2024). World energy investment 2024. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/60fcd1dd-d112-469b-87de-20d39227df3d/WorldEnergyInvestment2024.pdf>
- International Institute for Sustainable Development. (2024). Public financial support for renewable power generation and integration in the G20 countries. <https://www.iisd.org/system/files/2024-09/renewable-energy-support-g20.pdf>
- International Solar Alliance. (2023). World solar investment report 2023. <https://solaralliance.org/uploads/docs/1885d3247cb1a2c5c86d9bf1599a66.pdf>
- Isaeva, O. M., Vasić, B. & Radovanović, M. (2018). Ensuring global energy security: The role of Russian energy policy. M. Radovanović (Ed.), *Energy security: Perspectives, improvement strategies and challenges* (1-34). Nova Science Publishers.
- Johansen, B. E. (2023). *Global warming and the climate crisis: Science, spirit, and solutions*. Springer.
- Kaltschmitt, M. & Wiese, A. (2007). Wind energy. M. Kaltschmitt, W. Streicher & A. Wiese (Eds.), *Renewable energy: Technology, economics and environment* (49-66). Springer.
- Kaltschmitt, M., Schröder, G. & Schneider, S. (2007). Economic and environmental analysis. M. Kaltschmitt, W. Streicher & A. Wiese (Eds.), *Renewable energy: Technology, economics and environment* (s. 339-348). Springer.
- Khan, K., Su, C. W., Khurshid, A. & Qin, M. (2023). Does energy security improve renewable energy? A geopolitical perspective. *Energy*, 282, 128824. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128824>
- Khan, Z. A. (2013). Global environmental issues and its remedies. *International Journal of Sustainable Energy and Environment*, 1(8), 120-126.
- Kimble, M. (2005). Climate change: Emerging insecurities. F. Dodds & T. Pippard (Eds.), *Human and environmental security: An agenda for change* (103-114). Earthscan.
- Kober, T., Schiffer, H. W., Densing, M. & Panos, E. (2020). Global energy perspectives to 2060—WEC's World Energy Scenarios 2019. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100523>
- Koralay, N., Kara, O. & Kezik, U. (2018). Effects of run-of-the-river hydropower plants on the surface water quality in the Solakli stream watershed, Northeastern Turkey. *Water and Environment Journal*, 32(3), 412-421. <https://doi.org/10.1111/wej.12338>
- Kumaran, V. V., Haron, N. F., Ridzuan, A. R., Shaari, M. S., Saudi, N. S. & Sapuan, N. M. (2022). Evaluating climate change towards sustainable development. M. Asif (Ed.), *Handbook of energy and environmental security* (s. 377-398). Academic Press.
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D. & Avcı, E. D. (2005). Türkiye'de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. *YEKSEM 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 19-21.
- Kwakwa, P. A. & Aboagye, S. (2024). Addressing Africa's carbon dioxide emission: The role of natural resources, control of corruption, voice and accountability and regulatory quality. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. 35(7), 1437-1460. <https://doi.org/10.1108/MEQ-11-2023-0381>
- Laukkonen, J., Blanco, P. K., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B. & Kinuthia-Njenga, C. (2009). Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International*, 33(3), 287-292. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.003>
- Loayza, N. & Soto, R. (2002). The sources of economic growth: An overview. N. Loayza & R. Soto (Eds.), *Economic growth: Sources, trends and cycles* (1-39). Central Bank of Chile.
- Long, N. E. (2011). New tasks for all levels of government. H. Jarrett (Ed.), *Environmental quality in a growing economy: Essays from the sixth RFF Forum* (141-155). RFF Press.
- Luft, G. & Korin, A. (2009). Energy security: In the eyes of the beholder. G. Luft & A. Korin (Eds.), *Energy security challenges for the 21st century: A reference handbook* (1-17). ABC-CLIO.
- Majeed, A., Wang, L., Zhang, X. & Kirikkaleli, D. (2021). Modeling the dynamic links among natural resources, economic globalization, disaggregated energy consumption, and environmental quality: Fresh evidence from GCC economies. *Resources Policy*, 73, 102204. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102204>

- Marcovitz, H. (2011). *Can renewable energy replace fossil fuels?*. ReferencePoint Press.
- Moe, E. (2014). Introduction. E. Moe & P. Midford (Eds.), *The political economy of renewable energy and energy security: Common challenges and national responses in Japan, China and Northern Europe* (1-18). Palgrave Macmillan.
- Müller, D., Groves, D. I., Santosh, M. & Yang, C. X. (2025). Critical metals: Their applications with emphasis on the clean energy transition. *Geosystems and Geoenvironment*, 4(1), 100310. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2024.100310>
- Nakaya, A. C. (2013). *What is the future of solar power?*. ReferencePoint Press.
- Nelson, V. (2009). *Wind energy: Renewable energy and the environment*. CRC Press.
- Nerlinger, M. & Utz, S. (2022). The impact of the Russia-Ukraine conflict on the green energy transition – A capital market perspective. *Swiss Finance Institute Research Paper Series*, (N°22-49).
- Nyga-Łukaszewska, H. (2024). *Economics of energy security: Perspectives of natural gas exporters*. Routledge.
- Orishimo, I. (1982). *Urbanization and environmental quality*. Kluwer-Nijhoff Publishing.
- Pang, L., Liu, L., Zhou, X., Hafeez, M., Ullah, S. & Sohail, M. T. (2024). How does natural resource depletion affect energy security risk? New insights from major energy-consuming countries. *Energy Strategy Reviews*, 54, 101460.
- Pimentel, D. (2008). Renewable and solar energy technologies: Energy and environmental issues. D. Pimentel (Ed.), *Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: Benefits and risks* (1-17). Springer.
- Prempeh, K. B. (2023). The impact of financial development on renewable energy consumption: New insights from Ghana. *Future Business Journal*, 9(6). <https://doi.org/10.1186/s43093-023-00183-7>
- Proskuryakova, L. N. (2022). Response to energy and environmental challenges: Drivers and barriers. M. Asif (Ed.), *Handbook of energy and environmental security* (399-413). Academic Press.
- Quaschnig, V. (2010). *Renewable energy and climate change*. Wiley.
- Seager, T. P., Rogers, S. H., Gardner, K. H., Linkov, I. & Howarth (2006). Coupling public participation and expert judgment for assessment of innovative contaminated sediment technologies. B. Morel & I. Linkov (Eds.), *Environmental security and environmental management: The role of risk assessment* (223-244). Springer.
- Sergienko, O. (2009). Learning eco-efficiency tools through university– corporate cooperation. S. Allen-Gil, L. Stelljes & O. Borysova (Eds.), *Addressing global environmental security through innovative educational curricula* (43-50). Springer.
- Shabani, B., Omrani, R. & Andrews, J. (2017). Sustainability for road transport sector: The role of hydrogen fuel cell technology. A. Shukla & A. Sharma (Eds.), *Energy security and sustainability* (149-203). CRC Press.
- Sharma, R., Sinha, A. & Kautish, P. (2021). Does renewable energy consumption reduce ecological footprint? Evidence from eight developing countries of Asia. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124867>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sohag, K., Husain, S. & Soytaş, U. (2024). Environmental policy stringency and ecological footprint linkage: Mitigation measures of renewable energy and innovation. *Energy Economics*, 107721. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107721>
- Solar Power Europe. (2023). Global market outlook for solar power 2023-2027. <https://www.gensed.org/assets/attachments/dosyalar/Global-Market-Outlook-For-Solar-Power-2023-2027.pdf>
- Spellman, F. R. (2015). *Environmental impacts of renewable energy*. CRC Press.
- Su, C. W., Khan, K., Umar, M. & Zhang, W. (2021). Does renewable energy redefine geopolitical risks?. *Energy Policy*, 158, 112566. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112566>
- Şenpınar, A. & Gençoğlu, M. T. (2006). Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri açısından karşılaştırılması. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 49-54.
- Tang, C. F., Abosedra, S. & Naghavi, N. (2021). Does the quality of institutions and education strengthen the quality of the environment? Evidence from a global perspective. *Energy*, 218, 119303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119303>
- Tavner, P. (2012). *Offshore wind turbines: Reliability, availability and maintenance*. The Institution of Engineering and Technology.
- Trainer, T. (2007). *Renewable energy cannot sustain a consumer society*. Springer.
- Tranfield, D., Denyer, D. & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy policy*, 33(3), 289-296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)
- United Nations Environment Programme. (2024). Global resources outlook 2024 - Bend the trend: Pathways to a liveable planet as resource use spikes. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44901/Global-Resource-Outlook_2024.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- United Nations. (2024). Progress towards the sustainable development goals: Report of the Secretary-General. <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2024/SG-SDG-Progress-Report-2024-advanced-unedited-version.pdf>
- Usher, B. (2019). *Renewable energy: A primer for the twenty-first century*. Columbia University Press.
- Usman, A., Ameta, S. K., Tukur, A., Danjuma, M. S., Yusuf, T. U. & Hamza, Y. G. (2020). An overview of the adverse effects of renewable energy sources. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology(IJRASET)*, 8(7), 477-486. <http://doi.org/10.22214/ijraset.2020.7079>
- Wakefield, P. (1982). Is UNEP still a good investment?. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 24(4), 7-38. <https://doi.org/10.1080/00139157.1982.9933155>
- Walther, A. (2005). The international energy forum and energy security & stability. H. McPherson, W. D. Wood & D. M. Robinson (Eds.), *Emerging threats to energy security and stability* (71-78). Springer.
- Wang, K. T. (2023). Introduction. K. T. Wang & J. S. Tietjen (Eds.), *Women in renewable energy* (xi-xiv). Springer.
- Wang, W., Balsobre-Lorente, D., Anwar, A., Adebayo, T. S., Cong, P. T., Quynh, N. N. & Nguyen, M. Q. (2024). Shaping a greener future: The role of geopolitical risk, renewable energy and financial development on environmental sustainability using the LCC hypothesis. *Journal of Environmental Management*, 357, 120708. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120708>
- White, G. F. (2011). Formation and role of public attitudes. H. Jarrett (Ed.), *Environmental quality in a growing economy: Essays from the sixth RFF Forum* (s. 105-127). RFF Press.
- World Bank. (2016). Why energy efficiency matters and how to scale it up. <https://documents1.worldbank.org/curated/zh/589661468179644009/pdf/102680-REVISED-LW53-fin-logo-OKR.pdf>
- Yakıncı, Z. D. & Kök, M. (2017). Yenilenebilir enerji ve toplum sağlığı. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 5(1), 43-55.
- Yandle, B., Vijayaraghavan, M. & Bhattarai, M. (2004). Income and the race to the top. T. L. Anderson (Ed.), *You have to admit it's getting better: From economic prosperity to environmental quality* (83-108). Hoover Institution Press.
- Yergin, D. (2006). Ensuring energy security. *Foreign Affairs*, 85(2), 69-82. <https://doi.org/10.2307/20031912>
- Yıkıcı, A. (2023). Çevre sorunları ve ortaya çıkışı. F. İzci, D. Alma Savaş & B. Göksoy Sevinçli (Eds.), *Çevre ve ekonomisi: Politika, yönetim ve uygulama* (7-31). Nobel.
- Zdankus, N., Vaikasas, S. & Sabas, G. (2008). Impact of a hydropower plant on the downstream reach of a river. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 16(3), 128-134. <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2008.16.128-134>
- Zhao, D., Lin, J. & Bashir, M. A. (2024). Analyze the effect of energy efficiency, natural resources, and the digital economy on ecological footprint in OCED countries: The mediating role of renewable energy. *Resources Policy*, 95, 105198. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105198>

Çıkar Çatışması: Yoktur

Finansal Destek: Yoktur

Etik Onay: Yoktur

Yazar Katkısı: Abdulgazi YIKICI (%100)

Conflict of Interest: None

Funding: None

Ethical Approval: None

Author Contributions: Abdulgazi YIKICI (100%)

The Dark Side of Renewable Energy: An Assessment in the Context of Environmental Quality and Energy Security

Abdulgazi YIKICI

Extended Abstract

Industrialization, rapid population growth, unplanned urbanization, and a culture based on excessive and continuous consumption have led to various environmental issues, particularly climate change. The increasing visibility of environmental problems, especially the impacts of climate change on the environment and living beings, has prompted international action. It can be observed that the first significant steps to address these problems, which can be traced back to the 18th century, were generally taken in the last quarter of the 20th century. It can be argued that works published in the 1960s played an important role in drawing international public attention to environmental problems and encouraging international action. Indeed, works such as *Silent Spring* (1962) and *The Tragedy of the Commons* (1968) served as sparks for environmentalism. Additionally, environmental problems highlighted by Swedish scientists during this period, such as acid rain, pollution of the Baltic Sea, and the accumulation of heavy metals in birds and fish, as well as their proposals that these issues could only be resolved through international cooperation, were instrumental in bringing environmental concerns to the forefront. Since that period, there has been a noticeable increase in the importance given to environmental sensitivity and awareness. Numerous international meetings, involving political and civil actors, have been held and continue to be held, clearly demonstrating the significance attributed to environmental issues. Reports, declarations, conventions, or agreements resulting from these initiatives emphasize that environmental problems largely stem from greenhouse gas emissions caused by fossil fuel consumption. They also underline the urgency of implementing practices to replace fossil fuels with more environmentally friendly energy sources. Accordingly, governments have outlined roadmaps to address environmental degradation, focusing on alternatives such as improving energy efficiency, rationalizing pricing and tax systems, raising public environmental awareness, promoting sustainable transportation, and developing renewable energy infrastructures. The potential for renewable energy sources to significantly reduce greenhouse gas emissions and decrease the share of fossil fuels in the total energy mix has made them a more attractive option compared to other alternatives.

The emphasis on renewable energy technologies is not only based on improving environmental quality but also on the belief that reducing dependence on fossil fuels enhances energy security. A review of the literature reveals that renewable energy is highlighted for its positive impact on environmental quality and its role in reducing dependence on fossil fuels for energy security. Initially perceived as a magical solution, renewable energy has over time presented various environmental and energy security challenges in terms of infrastructure development and production processes, leading to concerns about its potential to evolve in different directions in the future. Although academic studies have addressed the current and potential risks of renewable energy, it is observed that these issues have not been explored from a broad perspective, especially in Turkish literature. Therefore, this study aims to examine the problems caused by or potentially arising from renewable energy in the context of environmental quality and energy security. Within this scope, hydroelectric, wind, and solar energy are analyzed due to their strategic importance, widespread use, and unique dynamics concerning environmental quality and energy security.

To achieve this goal, the study employs literature review and document analysis methods. The literature review, a method effective in identifying the handling, controversial, and incomplete aspects of the topic, as well as the conclusions reached in studies, provides a suitable foundation for establishing a comprehensive and reliable information base aligned with the research objectives. Document analysis, another qualitative research method, facilitates the review and comprehensive reading of printed and electronic materials related to the research topic,

allowing for the development of empirical knowledge within the framework of time and cost efficiency. These features played a significant role in the choice of literature review and document analysis methods for this research. Based on this approach, the study first presents the conceptual framework related to renewable energy, environmental quality, and energy security. Then, the importance of renewable energy in terms of environmental quality and energy security is examined. Finally, the problems caused by or potentially arising from renewable energy in the context of environmental quality and energy security are discussed.

The fact that renewable energy sources produce little to no toxic substances or waste products during the energy generation process has laid the groundwork for their positive impact on environmental quality. Studies have indeed found that renewable energies reduce the ecological footprint. Unlike the finite and non-renewable nature of fossil fuels, the more sustainable nature of renewable resources has been observed to yield various positive outcomes in terms of energy security. However, while renewable energy is perceived as a savior for environmental quality and energy security, over time it has been shown not to be a universal remedy, with various adverse effects and potential risk factors emerging in the future. In other words, when considering the entire lifecycle of renewable energy systems, from installation to decommissioning, it becomes evident that these systems are not entirely free from environmental impacts. The late realization of their negative effects on the environment can be attributed to the limited scope and capacity of renewable energies during their initial periods of use and the natural mechanisms' ability to mitigate the damage at that time. The expansion of operational areas and capacity has exceeded the carrying capacity of the environment, leading to issues such as pollution, biodiversity loss, and declines in air and water quality within ecosystems. These problems have acted as catalysts for the deterioration of environmental quality.

The challenges posed by renewable energy technologies are not limited to environmental quality but also have significant implications for energy security. While renewable energy, compared to fossil fuels, is nearly carbon-neutral, it has yet to fully meet society's energy needs. The variability of weather conditions is one of the primary factors contributing to this. As a result, backup energy systems reliant on fossil fuels remain necessary, which entails additional costs for both energy companies and consumers. This is compounded by the fact that renewable energy storage technologies have not yet reached the desired level of development. Although hydropower is considered more stable compared to solar and wind energy, the clustering of these resources in specific regions of the world poses another challenge. It can be argued that events such as wars or diplomatic crises on the international stage act as catalysts for the transition to renewable energy due to heightened energy security risks. However, fully replacing fossil fuels with renewable energy sources remains highly challenging, at least in the short term. Developments following the Russia-Ukraine war exemplify this point. As is well known, Russia is the largest supplier of oil, natural gas, and coal to Europe. The fact that European leaders, pledging to reduce their dependence on Russia as quickly as possible, first sought alternative fossil fuel sources provides concrete evidence that fossil fuels cannot be fully replaced by renewable energy sources in the short term. Another issue related to renewable energy is that the production of renewable energy technologies depends on the availability of strategic minerals. The global energy sector is gradually shifting toward a profile dominated by solar and wind energy. However, the technological infrastructure required to harness these renewable energy sources depends on specific metals, and the risks associated with their supply, as well as uncertainties regarding their reserves, pose significant challenges. The scarcity and heterogeneous distribution of these minerals globally create new dependencies, bottlenecks in material supply, and ultimately a transformation and increase in energy security risks. Once considered saviors, renewable energy sources are now almost perceived as potential threats to environmental quality and energy security. This study, which evaluates hydroelectric, wind, and solar energy systems in terms of environmental quality and energy security, fills a gap in the Turkish literature regarding the negative impacts of renewable energy. Future studies that diversify the types of renewable energy sources examined

and expand the context in which they are analyzed will contribute to a more comprehensive understanding of the subject and enable more accurate conclusions.