

## Kritik Minerallerin Türkiye'nin Enerji Dönüşümüne Etkisi: Teknoloji Bağımsızlığı Açısından Yeni Jeopolitik Tehdit

Cemal KAKIŞIM<sup>1</sup>

### Öz

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yeni enerji teknolojilerine yatırım yaparak fosil yakıtlara bağımlılığını azaltmayı hedeflemektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerinin sayısını her geçen gün arttırmakta ve bu santrallerin inşasında yerli üretimi teşvik etmektedir. Ancak bu teknolojilerin yapısından kaynaklı olarak Türkiye'nin hammadde ihtiyacı farklılaşmakta ve artmaktadır. Rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, elektrikli araçlar ve enerji depolama birimlerinin üretimi için doğada az miktarda bulunan ve bu nedenle nadir toprak elementleri olarak adlandırılan hammaddelerin yanı sıra lityum, kobalt, bakır, nikel, germanyum, neodimyum gibi kritik minerallere ihtiyaç duymaktadır. Ancak bu kritik minerallerin tedariki, küresel ölçekte artan talep nedeniyle giderek zorlaşmaktadır. Kritik mineraller, diplomatik krizlere neden olmakta ve yeni enerji jeopolitiğinin öznesi haline gelmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji alanındaki hedefleriyle ve yatırımlarıyla mineral arz riski yaşamaması kuvvetle muhtemel ülkelerden biridir. Bu kapsamda çalışmada Türkiye'nin enerji dönüşümü ele alınarak, kritik minerallerin enerji dönüşümüne ve enerji güvenliğine etkisi tartışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Türkiye, Enerji Dönüşümü, Yenilenebilir Enerji, Kritik Mineraller, Nadir Toprak Elementleri, Enerji Güvenliği.

### Effect of Critical Minerals in Turkey's Energy Transition: A New Geopolitical Threat for Technology Independence

#### Abstract

Turkey aims to reduce its dependence on fossil fuels by investing in renewable energy sources and new energy technologies. The number of wind and solar power plants is increasing day by day, and it is encouraged to construct these plants with domestic production. Turkey's demand for raw materials rises and changes because of these technologies' structure.

<sup>1</sup> Öğr. Gör. Dr., Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rektörlük, cemalkakisim@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-3865-8305.

In the production of wind turbines, solar panels, electric vehicles, and energy storage units, raw materials, which are found in small amounts in nature and therefore called rare earth elements (earth), are necessary. Besides, critical minerals such as lithium, cobalt, copper, nickel, germanium, and neodymium are required. However, the supply of these raw materials gets difficult due to the globally increasing demand. These minerals cause diplomatic crises and become the subject of new energy geopolitics. With investments and objectives in renewable energy, Turkey is one of the countries that would experience the supply risk of minerals. In this context, this study examines Turkey's energy transition and discusses the impact of critical minerals on Turkey's energy transition and energy security.

**Keywords:** Turkey, Energy Transition, Renewable Energy, Critical Minerals, Rare Earth Elements, Energy Security.

### **Extended Abstract**

The world is in the process of energy transition from fossil fuels that cause environmental pollution and global warming to renewable energy sources. Clean and environmentally friendly energy sources such as wind, solar, geothermal, wave, and biomass replace fossil fuels such as oil, natural gas, and coal used in electrical energy production. In this respect, renewable energy and related technologies constitute an important dimension of sustainable development. Electricity generation is one of the sectors where energy conversion takes place the most. The share of wind, solar, biomass, geothermal and hydroelectric power plants in global electricity generation rapidly increases. According to the International Renewable Energy Agency (IRENA), renewable energy sources in electricity generation are expected to increase to 86% by 2050. It is anticipated that most of this production will come from wind and solar energy. According to IRENA, China, India, the USA, and the EU are the leading countries where the increase in renewable energy capacity will occur the most.

Turkey is also one of the countries investing in renewable energy sources and increasing renewable energy production capacity. A Renewable Energy Resources Support Mechanism has been established to encourage investments. Within the scope of this mechanism, new wind and solar power plants are constructed. Besides, it is planned to produce renewable energy equipment such as wind turbines, solar panels, and batteries in Turkey. In this sense, Turkey is planned to become a supplier of renewable energy equipment in its region.

Critical minerals are the most necessary production inputs that Turkey will need in energy transition because various minerals, which are rare in the world, are used in the production of wind turbines and solar panels used in wind and solar power plants and in the construction of electric vehicles. Also, these minerals are used in the production of batteries used in energy storage. In this respect, with the energy transition, the demand for critical minerals is increasing rapidly worldwide. The fact that the export and production of critical minerals are under the monopoly of certain countries

causes supply risk in the context of energy security. Critical minerals can cause conflict and foreign intervention for unstable and fragile countries and regional or international crises among global actors. In this context, Turkey, which has ambitious goals in energy conservation and continuously improves renewable energy infrastructure, is one of the countries that face the risk of supply security.

The effect of critical minerals on Turkey's energy conversion is discussed in this study, in which the qualitative research method is used. It is discussed which precautions Turkey should take to supply critical minerals safely, cost-effectively, and seamlessly. Statistics, data, plans, and strategies were utilized, which are gathered from International agencies carrying out activities related to energy study, companies, and public institutions in Turkey. Due to the currency of the subject, attention has been paid to the use of the latest resources. Most of the revised publications on Turkey's energy transition address the topic from economic, environmental, and security aspects. However, there is no study investigating the effect of critical minerals on Turkey's energy transition. In this respect, it is thought that the study will fill the gap in this field.

As a result of the study, some inferences were made. Turkey should develop policies to limit the import dependency in order to reduce the risk of supply for critical minerals. First, a list of critical minerals needed for energy conversion should be created according to their current potential. Strategies and plans should be determined so that the minerals on this list can be supplied safely, uninterruptedly, and at affordable costs. Supplier countries should be diversified for risky minerals. A safe supply chain should be established to reduce import dependency on risky minerals. The development of national mineral reserves is the most important part of this supply chain. In this respect, mineral exploration activities should focus more on critical minerals needed for energy conversion. More economic resources should be allocated to this research. Another link in the supply chain is the mining activities abroad. New collaborations should be established with mineral-rich countries in Africa, especially in South Africa. In addition, due to the recyclable nature of minerals, another area where investments should be concentrated is recycling. Minerals obtained by this method will contribute to meeting the national demand. In this respect, priority should be given to researching recycling techniques for minerals and investing in this field.

## **Giriş**

Tarih boyunca ülkelerin ekonomik, toplumsal ve teknolojik gelişimine öncülük eden birçok enerji dönüşümü gerçekleşmiş ve son iki yüzyıldaki dönüşümü kömür, petrol ve doğal gazdan oluşan fosil yakıtlar şekillendirmiştir. Enerji dönüşümleri, her alanda olumlu sonuçlar üretmemiş, dünya siyasi tarihi açısından sancılı geçen süreçlere zemin hazırlamış ve çevresel açıdan doğanın dengesini bozacak etkilere neden olmuştur. Fosil yakıt temelli dönüşüme, 20. yüzyıldan itibaren küresel hâkimiyet açısından başat güç olarak tanımlayabileceğimiz ülkelerin, enerji kaynaklarını kontrol etme ve bu kaynaklara sahip ülkeler üzerinde nüfuz oluşturma çabaları damgasını vurmuş ve böylece küresel gerilimler tırmanarak savaflara ve uluslararası ticari ambargolara yol açmıştır. Kömürün ve petrolün neden olduğu karbondioksit salınımı ise küresel ısınmayı tetiklemiş ve küresel ısınma dünyanın geleceğini tehdit eden bir fenomen haline gelmiştir. Uluslararası krizlerin ulusal ekonomileri sarsması ve etkisini her geçen gün daha fazla hissettiren küresel ısınma, ülkeleri fosil yakıtların tüketimini sınırlandıracak, rüzgâr, güneş, jeotermal, dalga ve biyokütle gibi daha ekonomik, daha güvenli, daha temiz ve çevre dostu enerji kaynaklarının yaygınlaşmasını sağlayacak adımlar atmaya zorlamıştır.

Üretime ve teknolojiye yatırım yapan ülkelerde yenilenebilir enerji üreten santrallerin sayısı ve üretim kapasitesi her geçen yıl artmakta ve yenilenebilir enerji ile bağlantılı yeni modern enerji teknolojileri hızla yaygınlaşmaktadır. Ayrıca bireysel amaçlarla kullanılan hafif araçların yanı sıra toplu taşımada kullanılan elektrikli araçların sayısı çoğalmakta ve şehir içi ulaşımda elektrifikasyon genişlemektedir. Bu dönüşümün boyutlarını Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) ve BloombergNEF'in 2020 raporları yansıtmaktadır. IRENA'nın 2020 raporundaki Dönüşen Enerji Senaryosu'na göre 2050'de küresel toplam enerji tüketiminin %66'sının ve küresel elektrik enerjisi üretiminin %86'sının başta rüzgâr ve güneş olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklardan elde edilmesi beklenmektedir. Yine aynı senaryoya göre 965 milyon elektrikli aracın, 57 milyon toplu taşıma aracının ve 2.16 milyar iki ve üç tekerlekli bireysel aracın ulaşımda yer alacağı tahmin edilmektedir. IRENA'ya göre enerji tüketiminde yenilenebilir kaynaklarının payının en fazla artacağı ülkelerin başında ise Çin (%67), Hindistan (%73), ABD (%63) ve 27 üye ülkeden oluşan AB (%73) gelmektedir (IRENA, 2021: 10, 23, 29, 32). BloombergNEF'in Yeni Enerji Görünümü 2020 raporuna göre enerji sektöründeki yatırımlar daha çok yenilenebilir enerjiye ve bağlantılı teknolojilere yoğunlaşmaktadır. Rapora göre 2050'ye kadar yeni güç kapasitesine, yaklaşık 15.1 trilyon ABD doları yatırım yapılması beklenmekte ve bu yatırımın 5.9 trilyon ABD dolarınının rüzgâr enerjisine, 4.2 trilyon ABD dolarınının güneş enerjisine yönelik olması ön görülmektedir. Bu sermaye yatırımının %45'inin Çin ve Hindistan başta olmak üzere Asya Pasifik ülkelerinde gerçekleşmesi ve bu anlamda Asya Pasifik'i ise Amerika ve Avrupa'nın izlemesi beklenmektedir (BloombergNEF, 2020:12).

Enerji dönüşümünün ekonomik ve teknolojik boyutunun dışında jeopolitik bir etkisi de söz konusudur. Enerji dönüşümünün bir enerji türünden diğer bir enerji türene geçişin ötesinde sistemsel bir değişimi gerektirmesi (Carley, Evans, ve Konisky, 2018: 133) enerji jeopolitiğinde önemli değişimlere yol açması beklenmektedir. Fosil kaynaklar ile karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynakları oldukça farklı bir enerji altyapısı gerektirmektedir. Enerji santrallerinin inşasında ve rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, elektrikli araçlar ve enerji depolama birimlerinin (bataryalar) üretiminde, doğada az miktarda bulunan ve bu nedenle nadir toprak elementleri (lantanum, seryum, praseodimiyum, neodimiyum, prometyum, samaryum, evropiyum, gadolinyum, terbiyum, disprosyum, holmiyum, erbiyum, tulyum, iterbiyum ve lütesyum) (Goodenough vd.. 2016: 839) olarak adlandırılan minerallerin yanı sıra lityum, kobalt, bakır, nikel, germanyum, grafit, berilyum ve tellür gibi kritik minerallere ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde yüksek ve modern teknoloji ürünlerinin üretiminde kullanılan bu mineraller, dünyada az sayıda ülkede bulunmakla birlikte, bunların üretimi, ayrıştırılması ve ihracatı belirli ülkelerin tekelinde toplanmaktadır. Minerallerin bu kritik tedarik yapısı ise yenilenebilir enerjiye yatırım yapan ülkeler arasında bu minerallere olan talebin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle ortaya çıkan arz-talep dengesizliği, ülkelerin enerji güvenliği ve teknoloji bağımsızlığı açısından bir tehdiye dönüşmektedir. Dolayısıyla kritik mineraller giderek yeni enerji jeopolitiğinin öznesi haline gelmekte ve 20. yüzyıl boyunca fosil yakıtlar özelinde şekillenen enerji jeopolitiğinin ve uluslararası ilişkilerin gündeminde kendine yer edinmektedir.

Türkiye, enerji dönüşümünün yaşandığı ve yenilenebilir enerji yatırımlarının genelde rüzgâr ve güneş enerjisine yoğunlaştığı ülkelerden biridir. Enerji piyasası 2002'den itibaren %5.1 oranında büyüyen Türkiye, dünyanın on yedinci Avrupa'nın ise altıncı büyük ekonomisi haline gelmiştir (Erdin ve Özkaya, 2019, s. 4). Ancak ülke ekonomisinin daha çok fosil yakıtlara dayalı bir üretim modeliyle büyümesi, ekonomik, jeopolitik ve çevresel açıdan önemli riskleri de beraberinde getirmiştir. Enerji talebinin yaklaşık %87'sini petrol, doğal gaz ve kömür ile karşılayan (TP, 2019: 32), ancak bu fosil kaynakların rezervleri açısından oldukça fakir olan Türkiye, enerji ithalatına bağımlı hale gelmiştir. İthalat bağımlılığı ise ülkenin jeopolitik risklerinin çoğalmasına, enerji arz güvenliğinin ulusal güvenlikle ilişkili hale gelmesine ve cari açığın ülke ekonomisine zarar verebilecek ölçüde büyümesine neden olmuştur. Ayrıca fosil yakıtlara dayalı yoğun enerji tüketimi, karbondioksit salınımının artmasına bağlı olarak çevresel bozulmayı da tetiklemiştir. Bu bağlamda güneş, rüzgâr, jeotermal ve akarsu kaynakları açısından yüksek bir potansiyele sahip olan Türkiye; ekonomisini güçlendirmek, enerji güvenliğini sağlamak, iklim değişikliğiyle mücadele edebilmek ve jeopolitik risklerini azaltabilmek için enerji dönüşümünü gerçekleştirerek düşük karbon ekonomisine geçiş yapmaktadır. Başta elektrik üretimi olmak üzere birçok sektörde yenilenebilir enerji altyapısı geliştirilerek, yeni enerji teknolojilerine yatırım yapılarak ve enerji verimliliği artırılarak fosil

kaynaklara yönelik ithalat bağımlılığı aşılmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla Türkiye de değişen enerji profili nedeniyle kritik minerallere yönelik arz riski yaşamaması kuvvetle muhtemel ülkelerden biri haline gelmektedir.

Türkiye'nin enerji dönüşümünün ele alındığı ve kritik minerallerin bu dönüşümdeki rolüne değinildiği bu çalışmada, nitel araştırma yöntemi kullanılarak akademik yayınlardan, ilgili ulusal ve uluslararası kuruluşların istatistiklerinden, strateji belgelerinden ve eylem planlarından faydalanılmıştır. Konuyla ilgili gözden geçirilen yayınların çoğunda, Türkiye'nin enerji dönüşümünün ekonomik, çevresel ve güvenlik gibi boyutlarının ele alındığı görülmüştür. Ancak bu yayınlar arasında kritik minerallerin Türkiye'nin enerji dönüşümüne ve enerji güvenliğine etkisini inceleyen bir yayına rastlanmamıştır. Bu açıdan çalışmanın bu alandaki boşluğu dolduracağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında öncelikle dönüşen enerji sistemi ve gelişen yeni enerji teknolojileri açısından kritik mineraller farklı boyutlarıyla ele alınmakta ve bu kapsamda kritik minerallerin enerji dönüşümüne, enerji jeopolitiğine ve küresel rekabete olan etkisi irdelenmektedir. Daha sonra Türkiye'nin fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru gerçekleşen enerji dönüşümüne değinilmekte ve Türkiye'de kritik minerallerin elde edilmesine yönelik çalışmalar ve alternatif tedarik seçenekleri incelenmektedir. Sonuç bölümünde ise tüm bu bilgiler ışığında Türkiye açısından çıkarımlarda bulunulmakta ve kritik minerallerin güvenli, uygun maliyetlerle ve kesintisiz olarak tedarik edilebilmesi için Türkiye'nin hangi önlemleri alması gerektiğine yer verilmektedir.

### **1. Dönüşen Enerji Sistemi ve Yeni Enerji Teknolojileri Açısından Kritik Minerallerin Önemi: Kullanım Alanları, Rezervleri Küresel Dağılımı, Küresel Arz ve Talep Dengesizliği**

Enerji dünyası açısından son iki yüz yılda, kömürden, petrol ve doğal gazla uzanan ve nihayetinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının hızla yaygınlaştığı bir süreç yaşanmıştır. Bu süreçte enerji kaynakları arasındaki geçişler, siyasi ve jeopolitik gerilimlere neden olurken ekonomik, lojistik ve teknik anlamda altyapısal değişimleri de zorunlu hale getirmiştir. Kömürden petrole ve petrolden doğal gazla geçiş, yeni tedarikçi ülkelerin bulunmasını, yeni enerji transfer yöntemlerinin ve enerji nakil güzergâhlarının geliştirilmesini gerekli kılar; bu kaynakların üretimi, ayrıştırılması ve tüketimi için yeni teknolojilerin ve altyapıların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Yüzlerce kilometre uzunluğunda, denizleri ve farklı kıtaları aşan petrol ve doğal gaz boru hatları, pompalama istasyonları, rafineri tesisleri ve binlerce ton taşıma kapasiteli tankerler gibi enerji altyapıları ve ulaşım araçları inşa edilmiştir. Sanayi üretimi yoğun olan ülkeler açısından bu süreç farklı etkiler üretmiştir. Örneğin kara ve deniz savaş araçlarında yakıt cinsi olarak petrolün kullanılması, savaşların hızını, etkisini ve tahribat gücünü arttırırken, aynı yakıt cinsinin ulaşım, sanayide ve konutlarda kullanılması, ekonomik üretkenliğin artmasını ve sosyal refahın genişlemesini sağlamıştır. Buna karşın küresel petrol ve doğal gaz rezervlerinin genelde, siyasi

istikrarsızlıkların, iç savaşların ve bölgesel gerilimlerin pençesinde kıvranan, az gelişmiş ülkelerde yoğunlaşmış olması, bu kaynakların güvenli bir şekilde tedarik edilebilmesi zorlaştırmış ve enerji arz güvenliğinin, tüketici ülkeler açısından giderek ulusal güvenlik ile ilgili bir mesele haline gelmesine zemin hazırlamıştır.

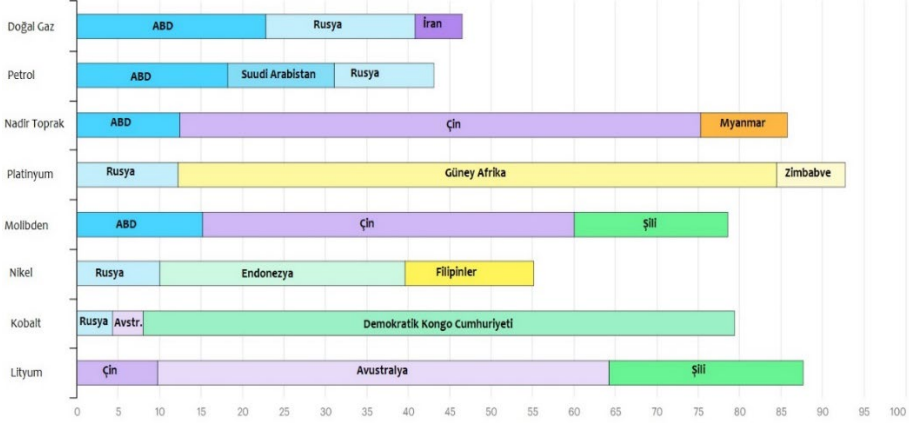
Enerji dönüşümünü, yenilenebilir enerji kaynakları açısından değerlendirdiğimizde ise fosil yakıtlara göre daha farklı etkiler ortaya çıkmaktadır. Jeotermal, güneş, rüzgâr ve dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları, bulunabilirlik, erişebilirlik ve elde edebilirlik açısından her ülkenin coğrafi konumuna ve iklimsel koşullarına göre yoğun ya da az miktarda erişebileceği ve bu nedenle tedarikçi bir ülkeye bağımlılık yaratmayan kaynaklardır. Diğer bir ifade ile yenilenebilir enerji kaynakları açısından her ülke, kendisinin tedarikçisi konumundadır. Ancak bu bağımsızlık enerjinin kaynağı ile alakalıdır, yenilenebilir kaynakların enerjiye dönüşmesini sağlayan teknoloji yoğun sistemler söz konusu olduğunda farklı bir bağımlılık ortaya çıkmaktadır. Bu bağımlılığın temel nedeni, yenilenebilir enerji teknolojilerinin fosil yakıtlı teknolojilere göre oldukça farklı bir enerji altyapısı gerektirmesidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlarının enerjiye dönüştürüldüğü bir merkezde (santralde) üretilen büyük bir gücün uzak noktalardaki tüketim merkezlerine iletilmesini sağlayan, merkezi enerji modeli yerine dağıtık enerji modeli kullanmaktadır. Dağıtık enerji modeli ise üretim ve tüketim noktalarını birbirine yakınlaştıran güneş ve rüzgâr enerjisi santralleri gibi daha az enerji üretim değerine sahip ancak tüketim noktasına en yakın noktada üretim gerçekleştiren bir yapıyı ihtiva etmektedir (Sevim, 2020: 60). Güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynaklarını elektrik enerjisine dönüştüren, gelişmiş teknolojilerin ve bileşenlerin kullanıldığı dağıtık enerji altyapılarının inşası açısından, tüketici ülkelerin tedarikçi ülkelere bağımlılığı devam etmektedir. Bu bağımlılık ise temelde rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçların üretiminde, fosil yakıt ile çalışan santrallere ve araçlara kıyasla daha fazla mineralin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin elektrikli araçların yapısında fosil yakıtlı araçlara göre 5 kat daha fazla mineral bulunurken, elektrik üretimi gerçekleştirilen bir rüzgâr enerji santrali doğal gaz kullanılan aynı kapasitedeki bir enerji santraline göre 8 kat daha fazla minerale ihtiyaç duymaktadır (IEA, 2020a). Elektrikli araçlarda bakır, lityum, kobalt, nikel, manganez, güneş ve rüzgâr enerji sistemlerinde ise çinko, bakır, nikel, silikon ve nadir toprak elementleri kullanılmaktadır (IEA, 2020a). Ayrıca enerji depolama sistemlerini oluşturan bataryalar ve pillerin üretiminde ise ağırlıklı olarak lityum ve kobalttan faydalanılmaktadır (Johansson, 2013:602).

**Tablo 1. Enerji Sistemleri ve Altyapılarında Minerallerin Kullanım Alanları ve Minerallerin En Fazla Üretildiği Ülkeler. Kaynak: Körts, 2020: 26.**

Mineraller	Kullanım Alanları	En Büyük Üreticileri
Berilyum	Rüzgar Enerjisi	Brezilya, Çin, Madagaskar, Mozambik, Portekiz
Kobalt	Bataryalar, Enerji Depolama ve Elektrikli Araçlar	Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Çin (En büyük ayrıştırıcı)
Galyum	Güneş Enerji Sistemleri	Çin (En büyük ayrıştırıcı)
Germanyum	Güneş Enerji Sistemleri, Fiber Kablolar	Kanada, Çin, Finlandiya, Demokratik Kongo Cumhuriyeti
İndiyum	Güneş Enerji Sistemleri	Çin (%50), Belçika, Kanada, Japonya, Güney Kore
Grafit	Batarya Teknolojileri, Elektrikli Araçlar	Çin (%67), Hindistan, Brezilya
Lityum	Batarya Teknolojileri	Çin, Avustralya
Niyobyum ve Tantal	Enerji Depolama	Brezilya (%90), Kanada
Nadir Toprak Elementleri	Temiz Enerji Uygulamaları	Çin (%90), Avustralya
Selenyum	Güneş Enerji Sistemleri	Japonya (%51), Belçika, Kanada ve ABD
Tellür	Güneş Enerji Sistemleri	Çin, İsveç
Vanadyum	Batarya Teknolojileri	Çin, Rusya, Güney Amerika



**Grafik 1. Belirli Mineralleri ve Kaynakları En Fazla Üreten Ülkeler. Kaynak: IEA, 2020a.**



Tablo 1 ve Grafik 1’de söz konusu kritik minerallere ve bu minerallerin en fazla üretiminin gerçekleştirildiği ülkelere yer verilmektedir. Her iki görsele göre enerji dönüşümü için oldukça kritik olan minerallerin rezervleri, üretimi, ayrıştırılması ve ihracatı belirli ülkelerin denetimi altındadır. Bu ülkeler arasında öne çıkan Çin, dünyanın kanıtlanmış en büyük nadir toprak elementleri rezervlerine sahip olmakla birlikte, bu elementleri en fazla tüketen ve ihraç eden ülkedir (Körts, 2020: 26). İşleme ve ayrıştırmada süreçlerindeki üstünlüğüyle nadir toprak elementlerinin üretiminin %90’ını tek başına kontrol etmektedir (Schmid, 2019: 380). Benzer şekilde kobalt rezervleri de nadir toprak elementleri gibi tek bir ülkede yoğunlaşmaktadır. Demokratik Kongo Cumhuriyeti (DKC) kanıtlanmış kobalt rezervlerinin yarısına sahiptir ve DKC’nin 2020’ye kadar küresel kobalt arzının yaklaşık %70’ini karşılaması beklenmektedir (Körts, 2020: 26). Lityum rezervlerinin ise %34’ü Bolivya, %31’i Şili, %13’ü Çin, %8’i ABD, %6’sı Arjantin, %3’ü Avustralya’da yer almaktadır (The Lithium Market, 2013). Lityumun önde gelen üreticisi ve ihracatçısı ise Avustralya ve Şili’dir (Swain, 2017: 390). Genel olarak minerallerin küresel ölçekteki rezerv dağılımı değerlendirildiğinde ise sadece Avustralya, DKC, Brezilya, Çin, Şili ve Rusya’dan oluşan altı ülke, kobaltın %66’sına, nikelin %52’sine, bakırın %33’üne, lityumun %84’üne, gümüşün %33’üne ve diğer nadir toprak elementlerinin %70’ine sahiptir (Manberger ve Johansson, 2019: 5).

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede erişilmesi planlanan hedefler, yenilenebilir enerji altyapılarına ve yeni enerji teknolojilerine yönelik yatırımların yoğunlaşmasını sağlamıştır. Bu sürecin doğal bir sonucu olarak minerallere olan talep de büyük ölçüde tırmanmış ve küresel ölçekte birçok mineral açısından arz-talep dengesizliği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda artan enerji depolama talebi dikkate alındığında lityum ve kobalt, en fazla talep artışı beklenen mineraller arasında yer almaktadır. 2018’de 270.000 metrik ton lityum

karbonat olan küresel lityum talebinin 2025'de 1.000.000 metrik ton lityum karbonatı aşması beklenmektedir (Utility Drive, 2020). Lityuma olan toplam talebinin %35'ini sadece elektrikli ulaşım ve şebeke depolama oluşturmaktadır. Bu iki sektörün kobalt talebi ise 2015'de %5'ten günümüzde yaklaşık %25'e yükselmiştir (IEA, 2020a). Talepteki tırmanış kobalt fiyatlarında da ciddi bir artış beklentisi yaratmaktadır. 2017'de ton başına 60.000 ABD doları olan kobalt fiyatlarının 2030'a kadar 100.000 ABD dolarına yükseleceği tahmin edilmektedir (Church ve Crawford, 2020: 288). Elektrikli araçlar açısından neodimyum talebinin de dramatik bir şekilde artması beklenmektedir (Exter vd., 2018: 7).

Batarya üretiminde beklenen mineral arz-talep dengesizliği, güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin üretimi için de geçerlidir. Her iki ürünün de üretiminde 22 farklı mineralden faydalanılmakla birlikte, bunlar arasında neodimyum, terbiyum, indiyum, disprosyum ve praseodimyum en yoğun kullanılan minerallerdir. Ancak bu minerallerin mevcut üretim teknolojisi ve yıllık üretim hacmiyle, gelecekte hedeflenen yenilenebilir enerji üretimindeki büyümenin karşılanması mümkün gözükmemektedir. Örneğin 2050'de öngörülen indiyum talebinin, mevcut küresel indiyum üretiminin 12 katını aşması beklenmektedir (Exter vd., 2018: 8,9).

Kritik mineralin talebi ve arzı, dünyayı sarsan küresel gelişmelerden de olumsuz etkilenmektedir. 2020'de ortaya çıkan Kovid-19 salgını, tüm sektörler gibi madencilik de derinden etkilemiştir. Peru'dan Çin'e kadar kritik mineralleri işleyen ve üretimini gerçekleştiren birçok ülkede kapanan madenler, rafine tesisleri ve fabrikalar, minerallerin tedarik zincirinin bozulmasına ve yenilenebilir enerjiye yatırım yapan ülkelerin tedarik kaygısı nedeniyle stoklama ihtiyacı duyduğu nadir toprak elementlerinin fiyatının artmasına neden olmuş ve rekabet koşullarının daha da ağırlaşmasını sağlamıştır (Akçıl, Sun ve Panda, 2020).

Çin, minerallerin arz-talep dengesizliğini ve tedarik zincirini en fazla etkileyen ülkelerin başında gelmektedir. Örneğin dünyada lityumu en fazla tüketen ve ithal eden Çin'in 2015'de küresel ölçekte lityum üretimindeki payı %7, lityum tüketimindeki payı ise %50 olarak gerçekleşmiştir. Üretim ve tüketim arasındaki bu önemli fark, lityum fiyatlarında önemli dalgalanmalara sebep olmuş ve arz-talep dengesizliği, güneş paneli, rüzgâr türbini ve batarya üretiminde mineral ihtiyacı olan üreticiler için endişe kaynağı haline gelmiştir (Hao vd., 2017: 100).

## **2. Kritik Minerallerin Tedarikine Yönelik Risk Kaynakları: Uluslararası Krizler ve Küresel Rekabet**

Minerallerin ayrıştırılmasının ve üretiminin belirli ülkelerin elinde toplanması, enerji güvenliği bağlamında yeni jeopolitik riskleri ve arz güvenliği endişesini gündeme getirmektedir. Zira kritik mineraller, istikrarsız ve kırılgan ülkeler için çatışma ve dış müdahaleye maruz kalma nedeni, küresel aktörler arasında ise bölgesel veya uluslararası krizlerin tetikleyicisi haline

gelebilmektedir. Mineral rezervlerinin büyük bir kısmı, 2017'de Uluslararası Şeffaflık Örgütü tarafından yayınlanan Yolsuzluk Algı Endeksi'ne göre yolsuzluğun ya da ağır yolsuzluğun yaşandığı ülkelerde yoğunlaşmaktadır. Örneğin boksit ve alüminyumun %28'i oldukça kırılgan bir ülke olan Gine'de, kobalt rezervlerinin %56'sı ağır yolsuzluğun ve kırılganlığın yaşandığı DKC'de, krom ve grafit rezervlerinin ise tamamı önemli ölçüde yolsuzluğun yaşandığı ülkelerde bulunmaktadır (Church ve Crawford, 2020: 288). Bu ülkeler arasında DKC'de kobalt rezervleri, ayrılıkçı grupların ve ülkeyi etkisi altına almak isteyen milis silahlı örgütlerin ekonomik gelir kaynaklarından birini oluşturmaktadır (Körts, 2020: 27). Güney Amerika'da ise dünyanın en zengin lityum rezervlerine sahip olan ve bu nedenle lityum üçgeni olarak tanımlanan Şili, Arjantin ve Bolivya kırılgan ve istikrarsız ülkelerdir. Bolivya 2019'da yaşanan darbe ile sarsılırken, Şili'de yerel kabileler, sosyal eşitsizliği ve madencilik için neden olduğu çevresel bozulmayı protesto etmek için minerallerin çıkarılmasını engellemektedirler. Derin ekonomik krizlerle boğuşan Arjantin'de ise 2019'da yaşanan iktidar değişikliğinin yeni projeleri ve mineral arzını olumsuz etkilemesi beklenmektedir (Kalantzakos, 2020: 4). Tüm bu gelişmeler, ulusal hükümetlerin ve ülkede etkili olmaya çalışan çeşitli çıkar gruplarının petrol sahalarını kontrol etmek için verdikleri mücadelenin artık kritik mineralleri de kapsadığını ve tedarikçi ülkelere kaynaklı petrol ihracatında yaşanan kesintilerin kritik mineraller için de söz konusu olacağını göstermektedir. Dolayısıyla enerji üretimi ve teknoloji yatırımları için bu minerallere ihtiyaç duyan ülkelerin enerji ve teknoloji bağımsızlığı yeni bir risk ile karşı karşıyadır.

Mineraller ve nadir toprak elementleri, Çin ile ABD, AB, Japonya ve Avustralya arasındaki ticaret savaşlarının, uluslararası gerilimlerin ve diplomatik krizlerin kaynağı haline gelmiştir. Çin'in nadir toprak elementlerini ihraç etmekten daha çok bu hammaddeleri kendi ekonomisine değer katacak şekilde ulusal nihai üretimi için kullanmak istemesi ve bu bağlamda 2010'da nadir toprak elementlerinin ihracatının kotasını %40 ile sınırlandırması diplomatik gerilimlere yol açmıştır (Kalantzakos, 2020: 4). Aslında Çin'in ihracatı sınırlandırma tedbiri, sadece ekonomik kaygılar ile alınmış bir karardan öte siyasi bir amaç da taşımaktadır. İthalat kotasını özellikle siyasi gerilimler yaşadığı ülkelere karşı bir savunma aracına dönüştürmektedir. ABD'nin nadir toprak elementleri talebinin büyük bir kısmını karşılayan Çin, ikili ilişkilerinde, bölgesel sorunlarda ve iki ülke arasındaki ticaret savaşında bunu bir koz olarak kullanmaktadır. Çin, ABD başkanı Joe Biden ve selefi Donald Trump'ın hassas ABD teknolojilerinin Çin'e ithalatının zorlaştırılması kararı karşısında ABD'yi nadir toprak elementlerinin ihracatını sınırlandırılmakla tehdit etmiştir (Financial Times, 2021). Çin, 2020'de de ABD'li bir savunma şirketinin Tayvan ile silah satışı konusunda anlaşması üzerine aynı tehdidi gündeme getirmiştir (Menezes, 2021: 16). Çin, benzer bir tutumu Japonya ile yaşadığı bölgesel krizlerde de sergilemektedir. Japonya'nın 2010 yılında Senkaku Adaları çevresinde Çin'e ait bir balıkçı teknisinin kaptanını tutuklaması üzerine Çin'in Japonya'ya nadir toprak elementleri ihracatını

durdurması, uluslararası alanda Çin'in nadir toprak elementi silahı olarak tanımlanmıştır (Wilson, 2018: 364). Her iki ülke arasındaki gerilim, sadece ihracat kotası ile sınırlı kalmamış bir başka mineral krizi, Pasifik Okyanusu'nda kime ait olduğu tartışmalı olan adalar etrafındaki minerallerin çıkarılması nedeniyle yaşanmıştır (Ting ve Seaman, 2013: 247). Bu krizler, günümüze kadar karşılıklı bağımlılık ilişkilerinin etkisi ile kısa sürede atlatılmış olsa da, Çin'in ABD ve Japonya ile Asya Pasifik'teki jeopolitik sorunlarının derinleşmesiyle birlikte diplomatik ve ekonomik ilişkileri sekteye uğratacak bir potansiyel taşımaktadır.

### **3. Kritik Minerallerin Güvenli Bir Şekilde Tedarikine Yönelik Öne Çıkan Önlemler**

Çin'in nadir toprak elementlerini ve bu hammaddelerle bağlantılı ürünlerin ihracatını diplomatik bir silaha dönüştürebileceğinin ortaya çıkması, Japonya, Avustralya, ABD ve AB açısından ciddi endişelere yol açmış ve bu ülkeleri ticari ve hukuksal açıdan bazı önlemleri almaya zorlamıştır. Japonya, ABD ve AB'nin öncülüğünde nadir toprak elementlerinin tedarikinde gelecekte oluşabilecek sınırlamaların nasıl ele alınacağını araştırmak üzere Kanada ve Avustralya'nın da katılımcı olarak yer aldığı Kritik Materyaller Üzerine Üçlü Konferans düzenlenmiştir (Stegen, 2015: 4). Dünya Bankası Grubu, kritik minerallerin arz ve talep dengesiyle ilgili derin endişe duyduğunu açıklarken AB, enerji dönüşüm hızını yavaşlatacağı ve iklim hedeflerinin tehlikeye gireceği gerekçesiyle kritik minerallerin kıtlığı konusunda alarm seviyesine geçmiştir (Dewit, 2020: 13,14). AB tarafından enerji dışı ve tarım dışı hammaddelerin arz güvenliği ve bu hammaddelerdeki yüksek ithalat bağımlılığı, Birliğin rekabet gücüne ve gelişimine engel olacak iki temel sorun olarak değerlendirilmiştir (Avrupa Komisyonu, 2020d). Bu kapsamda 2008'de Avrupa Hammaddeler Girişimi, 2012'de ise Avrupa Hammaddeler İnovasyon Ortaklığı başlatılmıştır. Avrupa Hammaddeler Girişimi ile Avrupa ekonomisi için kritik önemde olan 14 mineralin yer aldığı bir liste oluşturulmuş ve 2017'de listedeki mineral sayısı 61'e yükseltilmiştir (Avrupa Komisyonu, 2020a). Avrupa Hammaddeler Girişimi'nin üç temel ana hedefi, küresel pazarlardan adil ve sürdürülebilir hammadde tedariki, AB sınırları içinde sürdürülebilir hammadde tedariki, kritik minerallerin geri dönüşüm yoluyla elde edilmesi ve kaynak verimliliği olarak belirlenmiştir (Avrupa Komisyonu, 2020c).

AB'nin yanı sıra Japonya ve ABD tarafından da minerallerin arz güvenliğinin sağlanması için çeşitli adımlar atılmıştır. Japonya, 2010'da Çin ile yaşadığı mineral krizinin ardından mineral kaynakların geliştirilmesi için 240 milyon ABD doları bütçe belirlemiş ve bu bütçenin 83 milyon ABD dolarını derin deniz madenciliğinin potansiyelinin araştırılmasına ayırmıştır (Schmid, 2019: 382). ABD Ticaret Bakanlığı ise 2017'de Çin'in dışında nadir toprak elementleri için alternatif bir tedarik zincirinin oluşturulmasını hedefleyen, Kritik Minerallerin Güvenli ve Güvenilir Bir Şekilde Tedarik Edilmesini Sağlamak için Federal Strateji yayınlamıştır. Bu kapsamda kritik minerallerin işlenmesi, üretimi ve madenciliği konusunda ABD Kanada, Avustralya ve Grönland ile ortaklıklar kurmuştur

(Schmid, 2019: 382). Ayrıca 2018’de ulusal güvenlik ve ülke ekonomisi için önemli olan 35 minerali içeren kritik mineraller listesi yayınlanmış ve Ticaret Bakanlığı tarafından ABD’nin kritik minerallerde ithalat bağımlılığını azaltmayı hedefleyen ve çeşitli önerileri içeren bir rapor da hazırlanmıştır (The U.S. Geological Survey, 2018).

#### **4. Türkiye’nin Değişen Enerji Profili, Enerji Dönüşümüne Yönelik Politikası, Hedefleri ve Yatırımları**

Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke gibi Türkiye de hızlı bir enerji dönüşümü sürecinden geçmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı artmakta ve enerji altyapısı sürekli gelişmektedir. 2018’de Türkiye’nin toplam birincil enerji arzının %3,6’sı hidroelektrik, %5,8’i jeotermal, %4,3’ü rüzgâr ve güneşten elde edilebilmiştir (TP, 2019: 31). Elektrik enerjisi üretimi, Türkiye’de enerji dönüşümünün en fazla gerçekleştiği sektörlerin başında gelmektedir. Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların oranı, ulaşım, konutlar ve sanayi gibi diğer sektörlerle göre oldukça yüksektir. 2019’daki toplam elektrik enerjisi üretiminin %57,5’i fosil yakıtlardan, %42,5’i yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiştir (Türkyılmaz ve Bayrak, 2020: 73, 76).

Elektrik üretimindeki bu başarılı tabloya rağmen tüm sektörler dikkate alındığında fosil yakıtların kullanım oranı kritik (%87) seviyededir ve bu tüketim profili büyük ölçüde ithalat bağımlılığına yol açmaktadır. Fosil yakıtlarda ithalata bağımlılık oranı 2018’de %72,4’e yükselmiştir (TP, 2019: 31, 32). Petrol ve doğal gazda dışa bağımlılık, yüksek ithalat faturaları nedeniyle büyük ekonomik maliyetler yaratmakta ve ülkenin makroekonomik dengesini olumsuz etkileyen cari açığın yükselmesine neden olmaktadır. Ekonomik boyutunun dışında ithalat bağımlılığı, tedarikçi ülkeler ile yaşanan diplomatik krizler ve jeopolitik gerilimler nedeniyle ulusal güvenliği tehlikeye atmakta ve enerji arz güvenliği riskini arttırmaktadır. Ayrıca sanayi, ulaşım, konutlar ve çevrim sektöründe fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanılması, çevresel açıdan olumsuz etkiler üreterek karbondioksit salınımının yükselmesine ve çevre kirliliğine de yol açmaktadır. Bu açıdan Türkiye’de enerji tüketiminin hızla yükseldiği 2000 ile 2019 yılları arasındaki emisyon oranları<sup>2</sup>, çevresel bozulmanın boyutlarını yansıtmaktadır. İklim Eylem Takipçisi’nin (Climate Action Tracker – CAT) ülke değerlendirme raporlarına göre 2020 yılı itibarıyla Türkiye’nin küresel ısınmaya etkisi 4°C’nin üstündedir. Bu nedenle Türkiye, Paris (İklim) Anlaşması’nın 2030 hedeflerine göre kritik ölçüde yetersiz olarak değerlendirilen ülkeler kategorisinde yer almaktadır (Climate Action Tracker, 2020).

Bu enerji profilinin neden olduğu ekonomik maliyetler, ithalat bağımlılığı, enerji güvenliği riski ve çevre kirliliği tehlikesi, enerji dönüşümünü zorunlu hale getirmiş ve Türkiye, Paris (İklim) Anlaşmasını imzalayan ülkeler arasında yer

<sup>2</sup> 2000’de 205,7 milyon metrik ton karbondioksitten 2019’da 383,3 milyon metrik ton karbondioksit’e yükselmiştir (Statistica, 2020).

olarak uluslararası bir sorumluluk üstlenmiştir. Henüz Meclis onayını alarak anlaşmaya taraf olmamış olsa da imza sürecinde sera gazı emisyonun 2030'a kadar %21 oranında daha az artmasını sağlayacağı yönünde beyanda bulunmuştur (Gürbüz, 2020: 25). Bu anlamda fosil yakıtlardan, fosil yakıtlı ile çalışan santrallerden ve teknolojilerden yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bağlantılı teknolojilere doğru bir enerji dönüşümü stratejisi gelişmeye başlamıştır. Bu strateji, kalkınma, enerji ve çevre konusunda faaliyet gösteren kamu kuruluşları tarafından uluslararası anlaşmalar ve uluslararası kurumların ve organizasyonların stratejileri ve hedefleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Enerji dönüşümü, ulusal enerji stratejisini belirleyen bu kurumların strateji belgelerinde ve eylem planlarında en önemli başlıklar arasında yer almıştır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na (ETKB) bağlı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün<sup>3</sup> 2013-2023 dönemi için yayınladığı Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda (YEEP) 2023'e kadar elektrik enerjisi talebinin en az %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması (ETKB, 2014: 8) ve aynı bakanlığın 2019-2023 Stratejik Planı'nda ise yenilenebilir elektrik kurulu gücün toplam kurulu güce oranının %65'e yükseltilmesi planlanmıştır (ETKB, 2019: 76). Her iki plana göre, enerji arzının çeşitlendirilmesi için başta güneş ve rüzgâr olmak üzere akıntı, dalga ve jeotermal enerjiden faydalanılacaktır. Tablo 2'de bu planlarda öngörülen 2023 hedeflerine yer verilmiştir.

**Tablo 2. Strateji ve Eylem Planlarında Hedeflenen Kapasiteler. Kaynak: Türkyılmaz ve Bayrak, 2020: 59.**

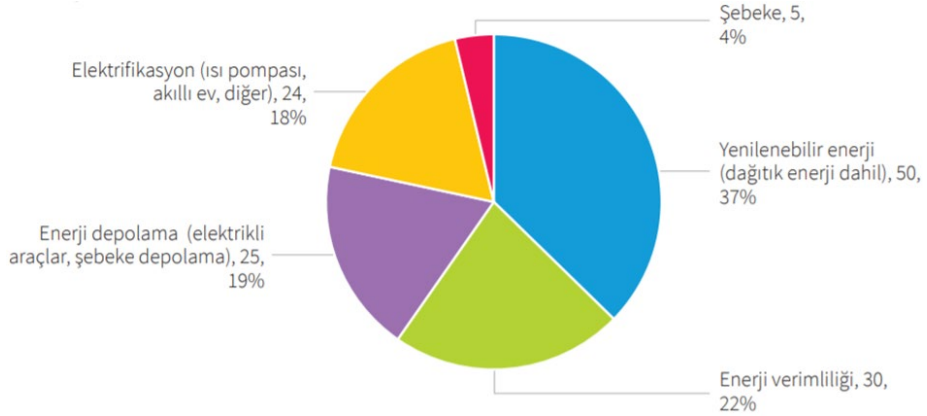
Belgeler	Hidrolik	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle	Güneş	Toplam
Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı 2023 Hedefi	34.000 MW	20.000 MW	1.000 MW	1.000 MW	5.000 MW	61.000 MW
ETKB 2019-2023 Strateji Planı 2023 Hedefi	32.037 MW	11.883 MW	2.884 MW		10.000 MW	56.804 MW
2019 Sonu Gerçekleşen	28.503 MW	7.591 MW	1.515 MW	802 MW	5.995 MW	44.406 MW

<sup>3</sup> İlgili müdürlük 2018'de kapatılarak, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği ile ilgili konular Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'ne devredilmiştir.

Strateji ve eylem planlarında, bu hedeflere ulaşılabilmesi için izlenebilecek politikalar ve tercih edilebilecek teknolojiler de ele alınmıştır. Bu bağlamda ETKB'nin 2012-2023 Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nin amaçları arasında, motorlu taşıtların birim fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaların yaygınlaştırılması yer almıştır. Belirlenen hedefler ve eylemler arasında ise emisyon seviyesi düşük, çevre dostu, küçük motor hacimli, yakıt pilli veya elektrikli hibrit araçların özendirilmesi ve toplu konutlarda yenilenebilir enerjiden yararlanılarak yerinden üretim uygulamalarının yaygınlaştırılması öne çıkmıştır (Resmi Gazete, 2012).

Yenilenebilir enerji altyapısında hedeflenen genişlemeyi destekleyecek yerli projeler hızla hayata geçirilmektedir. SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi tarafından yapılan araştırmalara göre elektrik sektöründeki dönüşüm, 2020-2030 yılları arasında her yıl ortalama 12 milyar ABD doları olmak üzere toplamda 135 milyar ABD doları yatırım gerektirmektedir (SHURA, 2020a: 22). Grafik 2'de de görüleceği üzere bu yatırımların büyük bir kısmı, yeni rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin kurulmasına, bunlara bağlı işleyen enerji depolama birimlerinin oluşturulmasına, konutların ısınma ve elektrik ihtiyacının yenilenebilir kaynaklar ile karşılanmasına ve ulaşımda elektrifikasyonun yaygınlaştırılmasına yöneliktir.

**Grafik 2. 2020-2030 Döneminde Türkiye'nin Elektrik Sektörünün Dönüşümü İçin Gerekli Yatırımlar, (milyar ABD doları cinsinden). Kaynak: SHURA, 2020a.**



Türkiye'de yatırımların teşvik edilmesi amacıyla Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun denetiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması oluşturulmuştur. Bu mekanizma ile rüzgâr ve güneş enerji altyapısının geliştirilmesinin yanı sıra yenilenebilir enerji ekipmanlarının Türkiye'de üretilmesi ve bu anlamda Türkiye'nin bölgesinde yenilenebilir enerji ekipmanlarının ve teknolojilerinin tedarikçisi haline gelmesi hedeflenmiştir (Bayraktar, 2018). Yatırımlar, büyük ölçüde Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) ihaleleriyle (YEKA-1, YEKA-2, YEKA-RES 1, YEKA-RES 2)

gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda YEKA-1 ile 1000 MW gücünde Türkiye'nin en büyük güneş enerjisi santralının ve yerli üretim fotovoltaik güneş modülü fabrikasının, YEKA-2 ile 1000 MW gücünde güneş enerjisi santralının ve lityum-iyon batarya sisteminden oluşan bir enerji depolama altyapısının (Özgür, 2020: 311, 313) YEKA-RES 1 ve YEKA-RES 2 ile toplamda 2000 MW gücünde rüzgâr enerji santrallerinin ve yılda 150 türbin üretim kapasiteli bir fabrikanın kurulması planlanmıştır (Teneler, 2020: 283, 289). YEKA-1 kapsamında inşa edilen ilk fabrika, Ağustos 2020'de %70'in üzerinde yerlilik oranı ile üretime başlamış ve dünyadaki yirmi entegre fotovoltaik güneş paneli fabrikasından biri haline gelmiştir (SHURA, 2020b: 32).

Tüm bu projelerin en dikkat çekici unsuru, güneş panellerinin, rüzgâr türbinlerinin üretiminde yerlilik (yurtiçinde üretim) şartının aranmasıdır. Rüzgâr türbinlerinin yerlilik puanları toplamı YEKA 1'de en az 65, YEKA 2'de en az 55 olarak belirlenmiştir (Teneler, 2020: 294). Yenilenebilir enerji altyapısının yerli sanayi, yerli üretim ve yerli teknolojiler ile geliştirilmesi AR-GE projeleriyle desteklenmektedir. 11.Kalkınma Planı (2019-2023) kapsamında hazırlanan Enerji Teknolojilerinde Yerli Üretim Çalışma Grubu Raporu'nda elektrik enerjisinin depolanmasına yönelik kimyasal batarya teknolojilerinin (lityum, akışkan bataryalar vb.), güneş enerjisine uygun depolama teknolojilerinin, yeni nesil, yüksek verimli fotovoltaik hücre ve modül teknolojilerinin geliştirilmesi AR-GE başlıkları arasında yer almaktadır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018: 43, 44).

Yerlilik şartını desteklemek amacıyla TÜBİTAK tarafından Rüzgâr Enerjisi Santrali Teknolojilerinin Geliştirilmesi (MİLRRES) ve Güneş Enerjisi Teknolojilerinin Ülkemize Kazandırılması (MİLGES) projeleri başlatılmıştır. MİLRRES ile rüzgâr enerjisi santrali lisansı alan üreticilerin türbin ihtiyacının yurt içinden karşılanabilmesi için rüzgâr türbin tasarımı ve geliştirilmesi hedeflenmiş ve bu kapsamda türbinin çeşitli parçaları üretilerek yüzde 80'den fazla yerlilik oranına ulaşılmıştır. Ayrıca MİLGES ile güneş hücreleri geliştirilmiş ve hücre teknolojisinin üretiminin aktarılması da hedeflenmiştir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018: 35, 36).

Türkiye'de yeni enerji teknolojilerine yönelik yerli üretimin gerçekleştirileceği diğer bir alan, elektrikli ve hibrit araçların satışının her geçen gün arttığı otomotiv ve ulaşım sektörüdür. SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi tarafından yapılan değerlendirmelere göre Türkiye'de bataryalı ve plug-in hibrit elektrikli araç satışlarının 2030'da toplam binek araç satışlarının %55'ine ulaşacağı ve elektrikli araçların, toplam araç stokunun %10'unu temsil edeceği öngörülmektedir (SHURA, 2020c: 9). Bu pazar potansiyelinin önemli bir kısmı, Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin (TOGG) gerçekleştireceği üretimle karşılanacaktır. Türkiye'nin ilk yerli elektrikli otomobili TOGG marka araçların 2022'de yollarda olması ve 10 yıl içerisinde 1 milyon adet aracın üretilmesi ön görülmektedir (TOGG, 2020). Yerli araçların bataryalarının Türkiye'de üretilmesi için dünyanın önde gelen lityum-iyon batarya üreticisi ABD menşeli Farasis Energy Inc. ile TOGG arasında anlaşma imzalanmıştır (Dünya,



2020). Yine bu kapsamda Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı'nın bir kuruluş olan Aspilsan Enerji A.Ş. tarafından enerji depolama da dâhil olmak üzere birçok sektörde kullanılacak, yılda 21 milyon adet pil üretimini gerçekleştirmeyi hedefleyen bir fabrika inşa sürecindedir (Anadolu Ajansı, 2020).

### **5. Türkiye’de Kritik Minerallerin Üretimine Yönelik Çalışmalar ve Alternatif Tedarik Seçenekleri**

Türkiye, fosil yakıt tüketiminden yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yeni enerji teknolojilerine geçiş yaparak, enerji ithalat bağımlılığını azaltmayı, enerji arz güvenliğini arttırmayı, enerji ithalatından kaynaklı dış ticaret açığını azaltarak ekonomisini güçlendirmeyi ve çevre kirliliğini önleyerek küresel ısınma ile mücadelede uluslararası sorumluluğunu yerine getirmeyi hedeflemektedir. Bu açıdan enerji dönüşümünün ekonomik, siyasi, çevresel açıdan birçok pozitif etkisi söz konusudur. Ancak dış politikada kritik minerallerin bir silaha dönüşebileceğini gösteren örneklerden hareketle, enerji dönüşümü arz güvenliği bağlamında yeni riskleri de beraberinde getirmektedir. Zira enerji dönüşümü ile fosil yakıtlara ve dolayısıyla enerji ithalatına olan bağımlılık azalırken, yenilenebilir enerji altyapısının gelişmesiyle ve modern teknolojilerin yaygınlaşmasıyla kritik minerallere olan bağımlılık ise artmaktadır. Dolayısıyla enerji dönüşümde iddialı hedefleri olan, rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin üretiminde yerlilik koşulu arayan ve yerli elektrikli otomobilini üreterek ulaşımda elektrifikasyonu genişletmeyi hedefleyen Türkiye açısından, bu minerallerin güvenli, uygun fiyatlarda ve kesintisiz bir şekilde tedarik edilebilmesi, Türkiye'nin enerji güvenliğinin ve teknoloji bağımsızlığının önceliklerinden biri haline gelmektedir.

Bu kapsamda kamu kurumlarının yayınladığı strateji belgelerinde bu konuda sınırlı da olsa farkındalık oluşmaya başlamış ve Türkiye’de kritik minerallerin elde edilmesine yönelik araştırmalara yoğunlaşmıştır. 2019-2023 Stratejik Planı’nda elektrikli araçların pillerinde kullanılan kobalt ve lityum minerallerinin üretiminin sınırlı olması nedeniyle bu minerallerin fiyatlarında yaşanacak artışlar risk olarak değerlendirilmiştir. Bu riskin etkisini azaltmak için belirlenen stratejiler arasında ise lityum ve kobalta yönelik ülke potansiyelinin belirlenmesi yer almıştır (ETKB, 2019: 95). AB’nin kritik mineraller listesinde yer alan (Avrupa Komisyonu, 2020b) ve dünya rezervlerinin yaklaşık %73’ünün (Eti Maden, 2020) Türkiye’de bulunduğu bor madeni, AR-GE süreçlerinin yoğunlaştığı minerallerin başında gelmektedir. Bu kapsamda yerli elektrikli araçların bataryalarında kullanılmak üzere alternatif minerallerden lityum üretimi gerçekleştirmek için yapılan araştırmalar başarı ile sonuçlanmıştır. Eti Maden A.Ş. öncülüğünde yürütülen araştırma sonucu, bor madeninin işlenmesi sırasında lityum elde edebilecek bir teknoloji geliştirilmiş ve bor madeninin rafine edilmesi sırasında açığa çıkan sıvı depolanarak içerisindeki lityum geri kazanılabilmektedir. ETKB tarafından da kabul gören bu teknolojiye uygun, yıllık 10 ton lityum üretim kapasitesine sahip bir tesis, 2020’nin son ayında devreye alınabilmektedir (TRT Haber, 2020). Lityumun yanı sıra kobalt da bakır ve nikel yataklarında yan ürün

olarak üretilebilmiştir. 2014'de nikelden kobalt elde edilebilmiş ve bu üretimde 2016'da ihracat yapılabilecek bir potansiyele ulaşılmıştır. (Yaylalı vd., 2020: 38,46).

Bu minerallerin dışında nadir toprak elementlerinin elde edilmesine yönelik arama, üretim ve zenginleştirme çalışmaları da yapılmaktadır. Türkiye'de Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan aramalar sonucunda Eskişehir-Beylikova, Malatya-Kuluncak, Sivas ve Burdur'da nadir toprak elementleri yatakları tespit edilmiştir. Eskişehir-Beylikova'daki yaklaşık 52 milyon ton nadir toprak elementi rezervinin ortalama tenörü (bir cevherin içerisinde bulunan değerli metal miktarı) %3,14 olarak hesaplanmıştır. Isparta-Sofular ve Kayseri-İncesu'da da potansiyel miktarda nadir toprak elementleri rezervlerine ulaşılmıştır (TENMAK, 2020). Ayrıca ETKB'nin başlattığı çalışma ile laboratuvar ölçeğinde %99'un üzerinde saflık derecesinde uranyum, toryum, lantanyum, paraseodmiyum, neodimyum, seryum ve ağır nadir toprak oksitler kazanılabilmiş ve bu başarı sonucu ETKB, endüstriyel çapta bir tesisin kurulmasını gündemine almıştır. Bu tesiste üretilecek nadir toprak elementleriyle uç ürünler elde edilecek ve bu uç ürünler yerli elektrikli TOGG marka araçlarda kullanılacaktır (T24, 2021). Nadir toprak elementlerine yönelik diğer bir önemli gelişme ise Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile ETKB'nin bünyesinde Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü'nün (NATEN) kurulmasıdır. NATEN, nadir toprak elementlerinin ve diğer kritik elementlerin yerli kaynaklarımızdan elde edilebilmesini ve ihtiyaç duyulan uç ürünlerin üretilebilmesini misyon edinmiştir (NATEN, 2019).

Geri dönüşüm, Türkiye'nin kritik mineral talebinin karşılanabileceği seçenekler arasında yer almaktadır. Yapılan araştırmalara göre elektronik atıklardan elde edilebilecek geri dönüşüm, minerallere yönelik artan talebi karşılayamasa da arz üzerindeki baskıyı azaltabilecek bir potansiyel oluşturmaktadır (Akçıl, Sun ve Panda, 2020) ve gelecekte geri dönüşüm sistemlerinin maliyetlerindeki azalmanın, kritik mineral üretimini arttırması beklenmektedir (Overland, 2019: 37). Türkiye, elektronik ürünlerin geri dönüşümü açısından azımsanmayacak önemli bir potansiyele sahiptir. Örneğin sadece Türkiye'de bulunan 10 milyon adetten fazla Apple marka cep telefonunda potansiyel olarak 79 ton kobalt, 110 kg altın, 150 ton alüminyum, 3,2 ton nadir toprak elementi, 630 kg gümüş, 8,3 ton tungsten, 2,9 ton kalay, 1 ton bakır ve 1400 ton çelik bulunmaktadır (Pekdemir, 2020: 24).

Türkiye'nin kritik mineralleri tedarik edebileceği diğer bir alternatif kaynak, Afrika ve Orta Asya'daki madenlerde yatmaktadır. Afrika ve Orta Asya ülkelerinin, küresel aktörler arasındaki rekabeti kızıştıracak şekilde bir üretim bölgesine dönüşme potansiyeli bulunmaktadır. Afrika kıtasının özellikle doğu ve güney kesiminde Güney Afrika, Madagaskar, Malavi, Kenya, Namibya, Mozambik, Tanzania, Zambiya ve Burundi gibi ülkeler önemli miktarda nadir toprak elementleri rezervlerine ev sahipliği yapmaktadır (Raimondi, 2021). Orta Asya'da

ise ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu'na (USGS) göre Kazakistan (160 saha), Kırgızistan (75 saha), Tacikistan (60 saha), Özbekistan (87 saha) ve Türkmenistan'da (2 saha) toplamda 384 nadir toprak elementi ve nadir metal sahasının bulunmaktadır (USGS, 2018). Potansiyellerinin farkında olan Afrika ve Orta Asya ülkeleri ise yabancı yatırımları çekmeye ve maden sahalarını uluslararası işbirliklerine açmaya isteklidir. Bu yaklaşımları Türkiye açısından yeni fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu coğrafyalarda Türkiye, yalnız değildir ve en büyük rakipleri Çin, ABD, Kanada, AB, Avustralya ve Japonya'dır. Özellikle uzun yıllardır Afrika ülkeleri ile dostane diplomatik ve ticari ilişkiler geliştiren ve 2006-2017 arasında Sahraaltı Afrika'daki madencilik yatırımları 33 milyar ABD dolarına ulaşan (Ericson, Löff ve Löff, 2020: 167) Çin en önemli rakiptir. Ayrıca 2010'da Çin ve Japonya arasında yaşanan mineral krizinin ardından, Kanada'nın Kırgızistan ile Almanya ve Japonya'nın ise Kazakistan ile madenlerin keşif haklarının da içeren ikili anlaşmalar imzaladığı (Smith, 2012) dikkate alındığında, bölgenin kritik minerallere ihtiyaç duyan ülkelerin rekabet alanına dönüştüğü görülmektedir.

### Sonuç

Çin, AB, Hindistan ve ABD gibi enerji tüketimi oldukça yüksek olan ve yeni enerji teknolojisi ile bağlantılı ürünler üreten büyük ekonomilerin hızlı bir enerji dönüşümü sürecinde olması, kritik minerallere olan küresel talebin tırmanmasına yol açmaktadır. Minerallerin rezervlerinin, üretiminin ve ihracatının belirli ülkelerin tekelinde toplanması ise bazı minerallere yönelik arz-talep dengesizliğinin ortaya çıkmasına ve minerallerin tedarikinde uluslararası ticareti kısıtlayacak girişimlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Ayrıca kritik mineral rezervlerinin önemli bir kısmının, kırılgan veya aşırı kırılgan olarak kategorize edilen, yolsuzluk, siyasi istikrarsızlık, iç çatışma ve ekonomik sorunlar yaşanan ülkelerde bulunması da yenilenebilir enerjiye ve bağlantılı teknolojilere yatırım yapan ülkeleri tedirgin etmektedir. 1973 petrol krizi sırasında, petrol üreten Arap ülkeleri tarafından tüketici ülkelere karşı uygulanan ambargolar ve ihracat kısıtlamaları, enerji dönüşümü sürecinde kritik mineralleri üreten ve ihraç eden ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Böylece kritik mineraller, üretici ve rezerv sahibi ülkelerin elinde yeni enerji silahı haline gelmekte, 20.yüzyılın petrol silahı, 21. yüzyılda kritik mineral silahına dönüşmektedir. Bu silah, enerji dönüşümüne yoğunlaşan ülkeler için yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirliğini ve teknoloji bağımsızlığını tehlikeye atmaktadır. Özetle günümüze kadar büyük ölçüde fosil yakıtlarla ilişkilendirilen küresel enerji güvenliği mimarisine, kritik mineraller ve bu minerallerin üreticisi olan tedarikçi ülkelerin güvenilirliği de dâhil olmaktadır.

Küresel enerji güvenliğinin bu yeni mimarisi, yenilenebilir enerjiye ve bağlantılı modern teknolojilere yatırım yapan Türkiye'nin de bir strateji geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye için fosil yakıtlardaki tedarikçi ülke bağımlılığının kritik minerallerde tedarikçi ülke bağımlılığına dönüşme riski, küresel gelişmeler ve son yıllarda minerallerin artan arz-talep dengesizliği nedeniyle tırmanmaktadır. Şimdiye kadar genelde bölgesel siyasi krizler ve

diplomatik gerilimler nedeniyle petrol ve doğal gaz akışında kesintiler ile karşılaşan Türkiye'nin benzer bir tecrübeyi mineraller açısından yaşamaması kuvvetle muhtemeldir. Kritik minerallere yönelik olası tedarik sorunu, özünde fosil yakıtlar gibi kısa vadede ulusal güvenliği tehlikeye atacak bir nitelik taşımasa da uzun vadede Türkiye'nin ekonomik gelişimini ve teknolojik bağımsızlığını zayıflatacak bir tehlike arz etmektedir

Türkiye muhtemel tedarik sorunlarının üstesinden gelebilmek ve arz riskini azaltabilmek için politikalar geliştirmelidir. Öncelikle mevcut potansiyele göre enerji dönüşümü için ihtiyaç duyulan kritik minerallerin listesi oluşturulmalıdır. Bu listede yer alan minerallerin güvenli bir şekilde, kesintisiz olarak ve uygun maliyetlerle tedarik edilebilmesi için stratejiler ve planlar belirlenmeli ve bunlara ETKB'nin yayınladığı strateji belgelerinde yer verilmelidir. Gelecekte ihtiyaç duyulacak minerallerin taleplerinin net bir şekilde belirlenmesi, bu hammaddelerin ithalatında tedarikçi ülkelere olan bağımlılığın tespit edilmesi, minerallerin tedarikinde arz riskinin belirlenmesi, tedarikçi ülkelerin güvenilirliğinin değerlendirilmesi ve alternatif tedarik seçeneklerinin geliştirilmesine yönelik bir strateji oluşturulmalıdır. Tedariki riskli olan mineraller için tedarikçi ülkeleri çeşitlendirecek adımlar atılmalıdır.

Riskli minerallerde ithalata bağımlılığı azaltılabilecek güvenli bir tedarik zinciri oluşturulmalıdır. Ulusal maden rezervlerinin geliştirilmesi, bu tedarik zincirinin en önemli halkasıdır. Bu açıdan maden arama faaliyetleri, daha çok enerji dönüşümü için ihtiyaç duyulan kritik minerallere yoğunlaştırılmalı ve bu araştırmalara daha fazla ekonomik kaynak ayrılmalıdır. Yurtdışındaki madencilik faaliyetlerinin geliştirilmesi ise tedarik zincirinin diğer bir halkasını oluşturmaktadır. Bu açıdan yakın coğrafyalar, Orta Asya ve Afrika önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu bölgelerde güçlü rakipler ile mücadele etmek zorunda olan Türkiye, son yıllarda Afrika'daki diplomatik faaliyetleri sayesinde bölge ülkeleriyle yakınlaşma fırsatı bulmuştur. Ayrıca Türkiye'nin Orta Asya Türk Cumhuriyetleri ile tarihi ve kültürel bağlarının bulunması da bu ülkeleri ile ticari işbirlikleri açısından önemli bir yumuşak güç olarak değerlendirilmektir. Bu fırsatları avantaja dönüştürebilmek için bölge ülkelerindeki minerallerin çıkarılması ve Türkiye'ye getirilmesi için Afrika ve Orta Asya'da mineral zengini ülkeler ile madencilik alanında yeni işbirlikleri kurulmalıdır. Türkiye'de MTA, NATEN ve Eti Maden gibi alanında uzmanlaşmış kuruluşlar ve özel sektöre bağlı şirketler, bölge ülkeleri ile maden arama ve geliştirmeye yönelik işbirlikleri kurmalı ve projeler geliştirmelidir. Ayrıca son 20 yılda Afrika ve Orta Asya'da bir anlamda Türk dış politikasının uygulayıcısına dönüşen ve bölge ülkeleri ile yakın ilişkilerin devamını sağlayan Türk İşbirliği ve Koordinasyon Ajansı Başkanlığı'nın (TİKA) bu sürece dâhil edilmesi önemlidir.

Kritik minerallerin geri dönüştürülebilir bir yapıya sahip olması nedeniyle yatırımlar geri dönüşüm teknolojilerine de yoğunlaştırılmalıdır. Geri dönüşüm yoluyla elde edilecek mineraller ulusal talebin karşılanmasına katkıda

bulunacaktır. Bu açıdan minerallerin geri dönüşüm tekniklerinin araştırılmasına ve bu alanda yatırım yapılmasına öncelik verilmelidir. Ayrıca bordan lityum, nikel ve bakırdan kobalt elde edilmesi örneklerinde olduğu gibi, Türkiye’de bulunan çeşitli madenlerden enerji dönüşümünde ihtiyaç duyulan diğer minerallerin de elde edilebilmesi için AR-GE yatırımları artırılmalı ve teşvik mekanizmaları geliştirilmelidir. Türkiye’de daha önce temizlik ürünlerinin üretiminde kullanılan bor madeni, ilk defa katma değer yaratan bir ürün haline getirilerek, sanayiye yönelik lityum talebinin ülke içi kaynaklar ile karşılanması noktasında önemli ancak başlangıç olarak sayılabilecek bir adım atılmıştır. Bor rezervleri açısından dünyanın en zengin ülkesi olan Türkiye için bu yatırım, enerji dönüşümündeki diğer yatırımları, arz güvenliğini ve teknoloji bağımsızlığını destekleyecek önemli bir başarıdır.

### Kaynakça

- Akçil, A., Sun, Z. ve Panda, S. (2020). COVID-19 Disruptions to Tech-Metals Supply Are A Wake-Up Call. *Nature*. Kasım 2020. Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.nature.com/articles/d41586-020-03190-8>
- Avrupa Komisyonu. (2020a). *Critical Raw Materials*. Erişim 9 Şubat 2021, [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en)
- Avrupa Komisyonu. (2020b). *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path Towards Greater Security and Sustainability*. COM(2020) 474. Brussels. Erişim 9 Şubat 2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>
- Avrupa Komisyonu. (2020c). *Policy and Strategy for Raw Materials*. Erişim 9 Şubat 2021, [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en)
- Avrupa Komisyonu. (2020d). *Raw Materials*. Erişim 9 Şubat 2021, <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/raw-materials>
- Bakan Dönmez: Yerli Otomobilimizde Nadir Toprak Elementleri Kullanılacak. (20 Temmuz 2020). T24. Erişim 24 Ağustos 2021. <https://t24.com.tr/haber/bakan-donmez-yerli-otomobilimizde-nadir-toprak-elementleri-kullanilacak,891766>
- Bayraktar, A. (2018). Energy Transition in Turkey. *Turkish Policy Quarterly*, 17(3), 19-26.
- BloombergNEF. (2020). *New Energy Outlook 2020*, Erişim 9 Şubat 2021, <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
- Carley, S., Evans, T. P., ve Konisky, D. M. (2018). Adaptation, Culture, and the Energy Transition in American Coal Country. *Energy Research & Social Science*, 37, 133-139.
- Church, C. ve Crawford, A. (2020). *Minerals and The Metals for The Energy Transition: Exploring The Conflict Implications for Mineral-Rich, Fragile States*. M. Hafner ve S. Tagliapietra (Ed.), *The Geopolitics of The Global Energy Transition*, Springer, 73.
- Climate Action Tracker. (2020). *Turkey*. Erişim 9 Şubat 2021, <https://climateactiontracker.org/countries/turkey/>
- Dewit, A. (2020). Heavy Metal: Critical Raw Materials and the Energy Transition. *Rikkyo Economic Review*, 74(2), 1-108.
- Erdin, C. ve Özkaya, G. (2019). Turkey’s 2023 Energy Strategies and Investment Opportunities for Renewable Energy Sources: Site Selection Based on ELECTRE. *Sustainability*, 11 (7), 2136.
- Ericsson, M., Löf, O., ve Löf, A. (2020). Chinese Control Over African And Global Mining—Past, Present and Future. *Mineral Economics*, 33(1), 153-181.

- Eti Maden. (2020). Türkiye'nin Yükselen Değeri Bor. Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.etimaden.gov.tr/turkiyede-bor>
- Exter, P. V., Bosch, S., Schipper, B., Sorecher, B. ve Klejin, R. (2018). Metal Demand for Renewable Electricity Generation in the Netherlands: Navigating a Complex Supply Chain. *Metabolic*, Üniversit Leiden, Copper
- Financial Times. (2021). China Targets Rare Earth Export Curbs to Hobble US Defence Industry. (16 Şubat 2021), Erişim 30 Mart 2021, <https://www.ft.com/content/d3ed83f4-19bc-4d16-b510-415749c032c1>
- Goodenough, K. M., Schilling, J., Jonsson, E., Kalvig, P., Charles, N., Tuduri, J., Deady, E. A., Sadeghi, M., Schiellerup, H., Müller, A., Bertrand, G., Arvanitidis, N., Eliopoulos, D. G., Shaw, R. A., Thrane, K., & Keulen, N. (2016). Europe's Rare Earth Element Resource Potential: An Overview of REE Metallogenetic Provinces and Their Geodynamic Setting. *Ore Geology Reviews*, 72, 838–856.
- Gürbüz, Ö. (2020). İklim Krizi ve Türkiye, Makine Mühendisleri Odası, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2020 Oda Raporu, MMO/717, Ankara.
- Hao, H., Liu, Z., Zhao, F., Geng, Y. Ve Sarkis, J. (2017). Material Flow Analysis of Lithium in China. *Resources Policy*, 51, 100-106.
- Johansson, B. (2013). Security Aspects of Future Renewable Energy Systems—A Short Overview. *Energy*, 61, 598-605.
- Kalantzakos, S. (2020). The Race for Critical Minerals in An Era of Geopolitical Realignments. *Italian Journal Of International Affairs*. 55(3), 1-16.
- Körts, M. (2020). The Strategic Importance of Rare Earth Minerals for NATO, EU and The United States and Its Implications for The Energy and Defense Sectors. *Energy Security: Operational Highlights* (24-40). The NATO Energy Security Center of Excellence.
- Manberger, A. ve Johansson, B. (2019). The Geopolitics of Metals and Metalloids Used for The Renewable Energy Transition, *Energy Strategy Reviews*, 26, 1-10.
- Menezes, D.R. (2021). The Case for a Five Eye Critical Minerals Alliance: Focus on Greenland, Polar Research and Policy Initiative, London.
- Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN). (2019). 2019 Yılı Faaliyet Raporu. Erişim 23 Ağustos 2021. <https://naten.tenmak.gov.tr/attachments/article/6/858391-naten-2019-faaliyet-raporu.pdf>
- Overland, I. (2019). The Geopolitics of Renewable Energy: Debunking Four Emerging Myths. *Energy Research & Social Science*, 49, 36-40.
- O'Sullivan, M. Overland, I. ve Sandalow, D. (2017), *The Geopolitics of Renewable Energy*. Center on Global Energy Policy Columbia University|SIPA 1255 Amsterdam Ave. New York.
- Özgür, E. (2020). Türkiye'de Güneş Enerjisi, Makine Mühendisleri Odası, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2020 Oda Raporu, MMO/717, Ankara.
- Pecharsky, Vitalij K. , Gschneidner, Karl A. ve Jr. (2019). Rare-Earth Element. *Encyclopedia Britannica*, Erişim 23 Ağustos 2021, <https://www.britannica.com/science/rare-earth-element>.
- Pekdemir, A.D. (2020). Klasik Madencilikten Kent Madencilğine -E-Atıklardan Metallerin Kazanımı. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*. 29, 49-62.
- Raimondi, P.P. (2021). The Scramble for Africa's Rare Earths: China is not Alone. *Italian Institute for International Political Studies*. Erişim 24 Ağustos 2021, <https://www.ispionline.it/en/publication/scramble-africas-rare-earths-china-not-alone-30725>

- Resmi Gazete. (2012). Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012- 2023, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>
- Schmid, M. (2019). Rare Earths in The Trade Dispute Between The US and China: A Déjàvu. *Intereconomics*, Leibniz Information Centre for Economics, 378-384.
- Sevim, C. (2020). Yeni Enerji Jeopolitiğine Genel Bakış. *Izmir Sosyal Bilimler Dergisi*, 2 (2), 57-63.
- SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2020a). Salgın Sonrasında Enerji Dönüşümü İle Sürdürülebilir Büyüme, Erişim 9 Şubat 2021, [https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/12/Salgın\\_sonrasında\\_enerji\\_donusumu.pdf](https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/12/Salgın_sonrasında_enerji_donusumu.pdf)
- SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2020b). Türkiye Enerji Dönüşümünü Hızlandırmak için 2020 Yılı Sonrası Düzenleyici Politika Mekanizması Seçenekleri, Erişim 9 Şubat 2021, [https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/2020\\_yili\\_sonrası\\_duzenleyici\\_politika.pdf](https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/2020_yili_sonrası_duzenleyici_politika.pdf)
- SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi. (2020c). Türkiye Ulaştırma Sektörünün Dönüşümü: Elektrikli Araçların Türkiye Dağıtım Şebekesine Etkileri, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/12/Turkiye-ulasirma-sektorunun-donusumu-Elektrikli-araclarin-Turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri.pdf>
- Smith, M.G., (2012). Rare Earths Investment Race Confronts Risky Central Asian Markets. *The Central Asia-Caucasus*. Erişim 23 Ağustos 2021. <http://www.cacianalyst.org/publications/analytical-articles/item/12550-analytical-articles-caci-analyst-2012-8-22-art-12550.html>
- Statista. (2020). Carbon Dioxide Emissions in Turkey 2000-2019, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.statista.com/statistics/449827/co2-emissions-turkey/>
- Stegen, K. S. (2015). Heavy Rare Earths, Permanent Magnets, and Renewable Energies: An Imminent Crisis. *Energy Policy*, 79, 1-8.
- Swain, B. (2017). Recovery and Recycling of Lithium: A Review. *Separation and Purification Technology*, 172, 388-403.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2014). Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Ankara
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2019). 2019-2023 Stratejik Planı, Erişim 9 Şubat 2021, [https://sp.enerji.gov.tr/ETKB\\_2019\\_2023\\_Stratejik\\_Planı.pdf](https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf)
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Enerji Teknolojilerinde Yerli Üretim Çalışma Grubu Raporu, Ankara
- Teneler, G. (2020). Türkiye’de Rüzgar Enerjisi, Makine Mühendisleri Odası, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2020 Oda Raporu, MMO/717, Ankara.
- The Lithium Market. (2013). Fox Davies Capital, Erişim 9 Şubat 2021, <http://doc.xueqiu.com/1497add8471193fc2e583642.pdf>
- The U.S. Geological Survey. (2018). Interior Releases 2018’s Final List of 35 Minerals Deemed Critical to U.S. National Security and the Economy. Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.usgs.gov/news/interior-releases-2018-s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us-national-security-and>
- Ting, M. H. ve Seaman, J. (2013). Rare Earths: Future Elements of Conflict in Asia?. *Asian Studies Review*, 37(2), 234-252.
- TOGG. (2020). Üretim, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.togg.com.tr/content/uretim>
- TOGG'dan Batarya Üretimi için Önemli Adım, (20 Ekim 2020), Dünya, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.dunya.com/sirketler/toggdan-batarya-uretimi-icin-onemli-adim-haberi-485954>

- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK). (2020). Dünyada ve Türkiye'de NTE. Erişim 24 Ağustos 2021. <https://naten.tenmak.gov.tr/tr/nte-hakkinda/dunyada-ve-turkiye-de-nte.html>
- Türkiye'nin İlk Lityum İyon Pil Üretim Tesisinin Temeli Kayseri'de Atıldı. (2 Ekim 2020). Anadolu Ajansı. Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-ilk-lityum-iyon-pil-uretim-tesisinin-temeli-kayseride-atildi-1993400>
- Türkiye'nin İlk Lityum Üretim Tesisi Açıldı. (26 Aralık 2020). TRT Haber. Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/turkiyenin-ilk-lityum-uretim-tesis-acildi-541399.html>
- Türkiye Petrolleri (TP). (2019). Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu 2019, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.tpao.gov.tr/file/2005/2019-tpao-sektor-raporu-3185ed3b4af5442c.pdf>
- Türkiylmaz, O. ve Bayrak, Y. (2020). Elektrik Üretimi: Mevcut Durum ve Analizi, Makine Mühendisleri Odası, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2020 Oda Raporu, MMO/717, Ankara.
- Uluslararası Enerji Ajansı (IEA). (2020a). Clean Energy Progress After the Covid-19 Crisis Will Need Reliable Supplies of Critical Minerals, Paris, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.iea.org/articles/clean-energy-progress-after-the-covid-19-crisis-will-need-reliable-supplies-of-critical-minerals>
- Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA), (2021). Global Energy Transformation: A Road Map To 2050 (2020 Edition). Erişim 9 Şubat 2020, [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA\\_Global\\_Renewables\\_Outlook\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_Global_Renewables_Outlook_2020.pdf)
- Utility Dive. (2020). Beating China at The Lithium Game-Can The US Secure Supplies to Meet Its Renewables Targets, Erişim 9 Şubat 2021, <https://www.utilitydive.com/news/beating-china-at-the-lithium-game-can-the-us-secure-supplies-to-meet-its/572307/>
- U.S. Geological Survey (USGS). (2018). Rare Earth Element and Rare Metal Inventory of Central Asia. Erişim 23 Ağustos 2021. <https://pubs.usgs.gov/fs/2017/3089/fs20173089.pdf>
- Wilson, J. D. (2018). Whatever Happened to the Rare Earths Weapon? Critical Materials and International Security in Asia". *Asian Security*, 14(3), 358-373.
- Yaylalı, B., Yazıcı, E.Y., Celep, O. ve Deveci, H. (2020). Kritik Metal Konumundaki Kobaltın Birincil ve İkincil Kaynaklardan Üretimi. *Madencilik*. 59(1)