



NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN DÜNYA EKONOMİSİ VE TEKNO-POLİTİĞİNDEKİ YERİ

Prof. Dr. Fırat Burat*

Özet

Nadir toprak elementleri (NTE), enerji dönüşümü, elektrikli ulaşım, savunma sanayi ve dijital teknolojilerin temel girdileri olarak küresel ekonomi ve jeopolitiğin merkezine yerleşmiş durumdadır. Bu nedenle, artık yalnızca bir madencilik konusu değil, aynı zamanda sanayi politikası, enerji güvenliği ve ulusal strateji meselesidir. Günümüzde asıl belirleyici olan unsur sadece rezerv büyüklüğü değil, bu kaynakları zenginleştirme, kimyasal olarak ayırma, rafine etme ve yüksek katma değerli nihai ürünlere dönüştürme kapasitesidir. Dolayısıyla NTE bağlamında gerçek güç, yer altındaki potansiyelden ziyade değer zincirinin orta ve alt basamaklarında yer alabilmekten ve bu zinciri teknoloji temelli bir sanayi yapısıyla entegre edebilmekten geçmektedir.

Stratejik ve Kritik Mineral Çağı

Yer altı kaynakları, ülkelerin ekonomik kalkınmasında tarihsel olarak belirleyici rol oynamıştır. Tarım ve sanayinin temel girdilerini oluşturan madenler, ekonomik büyümenin omurgasıdır. Ancak günümüzde bazı madenler, klasik ekonomik önemlerinin ötesine geçerek stratejik ve jeopolitik anlam kazanmıştır.

Bir madenin "stratejik" olarak tanımlanabilmesi; dünya rezervlerinin önemli bölümüne sahip olunması, savunma ve ileri teknoloji sektörlerinde vazgeçilmez olması ve alternatifsiz nitelik taşıması gibi kriterlere bağlıdır. "Kritik" kavramı ise genellikle yüksek ekonomik önem ile yüksek tedarik riskinin kesiştiği noktayı ifade eder (Schrijvers vd., 2020; Nassar & Fortier, 2021). NTE'leri bu iki tanımın tam merkezinde yer almaktadır.

Güncel literatürde, "kritiklik" değerlendirmeleri esas olarak tedarik zincirinin son aşamasındaki aktörler tarafından yönlendirilir. Üretimde açığı olan ülkeler ve belirli endüstriler veya uygulamalar için ihtiyaç duyulan minerallerin tedarikiyle ilişkili riskleri belirlemeyi ve değerlendirmeyi amaçlar (Schrijvers vd., 2020; U.S. Department of Energy, 2023). Enerji ve dijital geçişlerle ilgili artan talep, küresel tedarik zincirlerinin artan karmaşıklığı ve bu dinamiklerin yarattığı jeopolitik gerginlikler riskleri daha da arttırmaktadır. Minerallere erişim ve üretimle ilişkili artan riskleri yönetmek için, tedarik kesintilerine karşı en savunmasız olan ülkeler ve endüstriler, zayıf kaynaklarını daha iyi belirlemek ve madencilik üretim değer zincirleri boyunca sıkışma noktalarını ve küresel tedarik zincirlerindeki ilgili zayıflıkları anlamak için risk değerlendirmeleri yapmaktadır (Nassar & Fortier, 2021).

* TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yönetim Kurulu Üyesi



Enerji Dönüşümü ve Mineral Yoğun Ekonomi

2050 yılına kadar net sıfır CO2 emisyonuna ulaşma zorunluluğu, küresel ekonomiyi fosil yakıtların egemen olduğu bir ekonomiden yenilenebilir enerji teknolojilerinin egemen olduğu bir ekonomiye dönüştürmek için kritik öneme sahip olacak çeşitli hammaddelerin üretiminin ve uluslararası ticaretinin önemli ölçüde artırılmasını gerektirecektir (Hund vd., 2023). Bu tür teknolojiler genellikle fosil yakıtlı muadillerine göre mineralleri daha yoğun kullanır. Örneğin, tipik bir elektrikli otomobil, geleneksel bir otomobilin altı katı mineral girdisi bir kara rüzgar santrali ise, gazla çalışan bir santralden dokuz kat daha fazla mineral kaynağı gerektirir. Bu nedenle, yeşil dönüşüm küresel olarak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltırken, diğer hammaddelerin üretimi ve verimli uluslararası değişimi üzerindeki baskıyı yoğunlaştıracaktır. Örneğin, enerji sektöründeki yeni yatırımlarda yenilenebilir kaynakların payının artması nedeniyle, yeni bir güç üretim kapasitesi birimi için gereken ortalama mineral miktarı 2010'dan bu yana %50 artmıştır. Geleneksel olarak endüstriyel üretimi destekleyen görece bol miktarda bulunan ham maddeler (örneğin alüminyum, bakır, demir cevheri) de yeşil sektörlerde ve bunları mümkün kılan



teknolojilerde önemli olmaya devam edecektir. NTE (özellikle neodimyum ve disprozium), lityum, kobalt, nikel gibi diğer malzemeler de yeni teknolojilerde yaygın kullanım alanları bulmakta ve bu nedenle taleplerinin önemli ölçüde artması beklenmektedir (Gielen, 2021). Örneğin IEA, önümüzdeki yirmi yılda temiz enerji sektörünün kobalt, doğal grafit veya lityum gibi malzemelere olan talebinin yirmi kattan kırk kata çıkacağını tahmin etmektedir. Genel olarak, yeşil dönüşümün varsayılan hızına bağlı olarak, minerallere olan talebin (enerji ve diğer sektörlerden) 2020 ile 2030 arasında ortalama dört ila altı kat artacağı tahmin edilmektedir (IEA, 2023).

NTE'ler: Rezervden Çok İşleme Gücü

NTE'ler bağlamında en önemli gerçek, küresel gücün rezerv büyüklüğünde değil, değer zincirinin hangi aşamasında yer aldığıdır. Madencilik yalnızca ilk adımdır. Asıl katma değer:

- Zenginleştirme
- Kimyasal ayırma
- Yüksek saflıkta oksit üretimi
- Kalıcı miktatsız ve alaşım üretimi

aşamalarından oluşmaktadır.

Bu süreçler ciddi farklı mühendislik bilgi birikimi ve altyapıları, solvent ekstraksiyon teknolojileri ve çevresel kontrol gerektirmektedir. Küresel ölçekte işleme kapasitesinin sınırlı sayıda ülkede yoğunlaşmış olması, NTE'leri jeopolitik bir emtia (doğal kaynak) haline getirmiştir. ABD Enerji Bakanlığı ve Avrupa Birliği'nin kritik maden stratejileri, tedarik risklerini azaltmak ve işleme kapasitesini artırmak amacıyla oluşturulmuştur. Bu çabalar, mineral güvenliğinin artık ulusal güvenlik boyutuna ulaştığını göstermektedir.

Kritikliğin Değerlendirilmesi: Arz Riski ve Jeopolitik Gerilim

Güncel literatürde kritiklik değerlendirmeleri çoğunlukla tedarik zincirinin son aşamasındaki aktörler tarafından yürütülmektedir. Ülkeler ve sanayi sektörleri, arz kesintisi risklerini belirlemek amacıyla nicel modeller geliştirmektedir (Schrijvers vd., 2020). Arz riski; üretimin coğrafi yoğunlaşması, ithalat bağımlılığı ve ikame imkanlarının sınırlılığı gibi faktörlere dayanmaktadır (Nassar & Fortier, 2021). Öte yandan üretici konumunda olan ülkeler, bu kaynakları jeopolitik bir pazarlık unsuru olarak değerlendirebilmektedir. Küresel sistemde mineral politikaları artık yalnızca ekonomik değil, diplomatik araçlar olarak da kullanılmaktadır.

Türkiye'nin Konumu: Potansiyel ve Tekno-Politik Eşik

Sanayileşmenin hızlanması, nüfus artışı, deniz aşırı ticaretin yaygınlaşması, tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve teknolojik gelişmeler gibi faktörler enerji talebini süregelen biçimde artırmaktadır. Büyüyen enerji talebi ise çevre ve doğal kaynaklar üzerinde daha fazla baskı yaratmakta ve zaman zaman arz güvenliğine

yönelik endişeleri arttırmaktadır. Enerji talebi bu şekilde büyürken hem çevresel sürdürülebilirliğin hem de toplumsal huzur ve refahın temini için enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması en öncelikli seçenek haline gelmektedir. Enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm aşamalarda en yüksek etkinlikte değerlendirilmesini ifade eden enerji verimliliği, yeni ve yenilikçi teknolojilerin kullanımıyla üretimin, hizmet sunumunun, konfor standartlarının veya sosyal refahın olumsuz yönde etkilenmesine meydan vermeden enerji tüketiminin azaltılmasını sağlamaktadır. Bu yönüyle sürdürülebilir kalkınmanın en önemli bileşenlerinden birisi olan enerji verimliliği; enerji sektöründeki diğer ulusal hedefleri tamamlayan, düşük karbonlu ekonomiye geçişi destekleyen ve sürdürülebilirliğe katkı sağlayan bir alandır (Yüce vd., 2025).

Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın resmi açıklamasına göre, Eskişehir–Beylikova sahasında yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda yaklaşık 694 milyon ton nadir toprak elementi içeren cevher rezervi tespit edilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023). Bu kaynak özellikle hafif NTE'ler açısından dikkat çekicidir. Ancak uluslararası deneyimler göstermektedir ki rezerv büyüklüğü tek başına stratejik güç anlamına gelmemektedir.

Türkiye için asıl eşik:

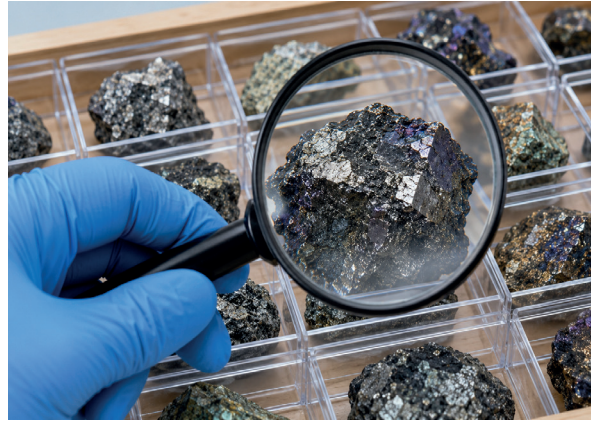
- Konuyla ilgili Ar-Ge çalışmalarının desteklenmesi
- Kimyasal zenginleştirme ve ayırma kapasitesinin geliştirilmesi
- Pilot ölçekli entegre tesislerin kurulması
- Endüstriyel ölçekte ileri malzeme üretimine geçiş olarak öne çıkmaktadır.

Ayrıca, kömür hazırlama atıkları ve endüstriyel artıkların NTE geri kazanımı açısından değerlendirilmesi, ikincil kaynak potansiyeli sunmaktadır. Bu yaklaşım, döngüsel ekonomi ile stratejik maden politikasını bütünleyici bir rol oynayacaktır.

Jeopolitik Denge Politikası ve Türkiye

Türkiye'nin stratejik yeraltı kaynaklarının ekonomik değeri ve uluslararası yerini inceleyen İTO raporunda, hammadde rezervlerinin yalnızca ekonomik değil stratejik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır (Alkin vd., 2003).

Küresel sistemde ABD–Çin rekabeti mineral güvenliği alanında da belirgindir. Türkiye'nin hem Batı ile hem de Asya ile ilişkilerini sürdürebilmesi, kritik mineraller alanında denge politikası yürütmesine imkan



tanıyabilir. Türkiye, kendisini tarafsız ve güvenilir bir tedarikçi olarak konumlandırabilirse:

- Sabit yatırımları çekebilir
- Batarya üretim zincirlerinde yer alabilir
- Savunma sanayinin mineral güvenliğini güçlendirebilir

Ancak, bu strateji, ham madde ihracatına dayalı bir modele sıkışmadan, değer zincirinin orta basamaklarına yatırım yapmayı gerektirmektedir.

Sonuç: NTE'ler Yeni Güç Parametresi

2050 net sıfır hedefleri doğrultusunda dünya ekonomisi mineral yoğun bir yapıya dönüşmektedir (IEA, 2021). Bu dönüşüm, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltırken, kritik minerallere olan bağımlılığı artırmaktadır. NTE'ler bu dönüşümün merkezindedir. Küresel güç dengesi giderek daha fazla şu soruya bağlı hale gelmektedir:

“Kim çıkarıyor?” değil, “Kim işliyor ve yüksek katma değerli ürüne dönüştürüyor?”

Türkiye açısından mesele, jeolojik potansiyeli stratejik avantaja dönüştürmektir. Bunun yolu ise öncelikle yerli emtialarda (doğal kaynaklarda) hammadde veya yarı mamul ürün pazarlama yaklaşımından kesinlikle uzaklaşılmalı, ulusal kaynakların öncelikle kendi gereksinimlerimiz için nihai ürünlere dönüştürülmesinde gerekli Ar-Ge ve Ür-Ge yatırımlarına ağırlık verilmesi, çevreye duyarlı bir madencilik ile birlikte teknoloji, kimyasal işleme ve sanayi entegrasyonundan geçmektedir.

NTE'ler artık yalnızca bir maden grubu değil; enerji dönüşümünün, savunma sanayinin ve küresel teknolojik rekabetin temel parametrelerinden biridir.