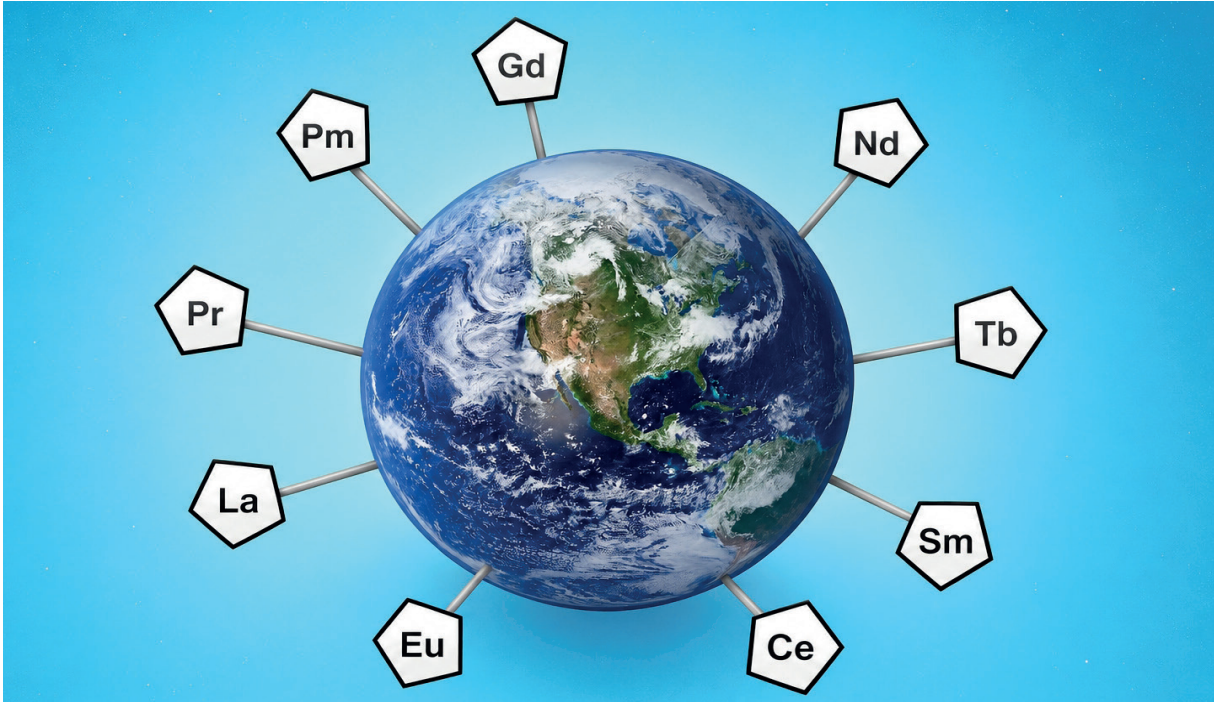




ÜLKELERİN NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ, STRATEJİLERİ VE BAZI PROJELER

Doç. Dr. Burak BİROL*

ÖZET

Nadir toprak elementleri (NTE), sahip oldukları benzersiz manyetik, optik ve katalitik özellikler sayesinde modern yüksek teknoloji üretiminin temel girdileri arasında yer almakta ve enerji dönüşümü, dijitalleşme ve savunma sanayii gibi stratejik sektörlerde kritik bir rol oynamaktadır. Elektrikli araç motorları, rüzgâr türbinleri ve ileri elektronik sistemler gibi teknolojilere olan talebin artması, küresel ölçekte NTE ihtiyacını hızla yükseltmektedir. Bununla birlikte, nadir toprak elementlerinin madencilikten rafinasyona uzanan değer zincirinin sınırlı sayıda ülke tarafından kontrol edilmesi, küresel arz güvenliği açısından önemli kırılganlıklar yaratmaktadır. Özellikle Çin'in üretim ve ayrıştırma kapasitesindeki belirgin hâkimiyeti, bu kaynakları jeoekonomik ve jeopolitik rekabetin önemli bir unsuru hâline getirmiştir.

Bu çerçevede ABD, Avrupa Birliği, Japonya ve Avustralya gibi ülkeler tedarik zincirini çeşitlendirmeye, yerli üretim kapasitesini artırmaya ve geri dönüşüm teknolojilerini geliştirmeye yönelik stratejiler geliştirmektedir. Artan küresel rekabet ortamında Türkiye de Beylikova başta olmak üzere sahip olduğu potansiyel rezervler ve yürütülen kurumsal stratejiler ile nadir toprak elementleri değer zincirinde yer alma yönünde önemli bir potansiyele sahiptir. Küresel talebin hızla arttığı bu alanda yeni üretim projeleri, ileri ayrıştırma teknolojileri ve sürdürülebilir üretim yaklaşımları, nadir toprak elementleri tedarik sisteminin geleceğini şekillendiren temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

1.Giriş

Nadir toprak elementleri (NTE), modern sanayi ve ileri teknolojilerin gelişiminde oynadıkları kritik rol nedeniyle literatürde sıklıkla yüksek teknoloji ekonomisinin “vitaminleri” veya “tohumları” olarak tanımlanmaktadır. Toplamda 17 elementten (15 lantanit ile skandiyum ve itriyum) oluşan bu grup, benzersiz manyetik, optik ve katalitik özellikleri sayesinde akıllı telefonlar, rüzgâr türbinleri, elektrikli araç motorları ve savunma sanayii sistemleri gibi çok sayıda stratejik uygulamanın vazgeçilmez girdileri arasında yer almaktadır.

Küresel ekonominin dijitalleşme ve karbon-nötr büyüme hedefleri doğrultusunda yeniden yapılandığı günümüzde, özellikle temiz enerji teknolojileri, batarya sistemleri ve ileri savunma uygulamalarındaki hızlı genişleme, NTE'lere

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü



yönelik talebin önümüzdeki on yıllarda keskin biçimde artmasına yol açmaktadır. Uluslararası kuruluşlar, bu talebin 2040 yılına kadar mevcut seviyelerin birkaç katına ulaşabileceğini öngörmektedir.

Buna karşın, nadir toprak elementlerinin arzı, jeolojik bulunurluktan ziyade ekonomik olarak çıkarılabilir ve işlenebilir rezervlerin sınırlılığı nedeniyle ciddi yapısal kısıtlarla karşı karşıyadır. Madencilikten ayrıştırma ve rafinasyona uzanan süreçlerin teknik karmaşıklığı, yüksek sermaye gereksinimi ve çevresel maliyetleri, küresel NTE tedarik zincirlerinde kalıcı kırılmalara yol açmaktadır. Bu koşullar altında NTE arzı, salt ticari bir konu olmaktan çıkarak, devletlerin sanayi politikaları, ulusal güvenlik stratejileri ve jeopolitik rekabet dinamikleriyle iç içe geçen stratejik bir alan hâline gelmiştir.

2.Önemli Üretici ve Rezerv Sahibi Ülkeler

Çin:Küresel NTE ekosisteminin merkezidir. 2024 yılı madencilik kotası 270.000 ton, rafinasyon kotası ise 254.000 tondur. 44 milyon tonluk rezerviyle dünya lideridir. 17 elementin tamamını işleyebilen tek ülkedir; özellikle neodimyum (Nd), praseodim (Pr) gibi hafif NTE'ler ile disprosyum (Dy) ve terbiyum (Tb) gibi ağır NTE'lerin ana tedarikçisidir.

Avustralya: 2024 yılı üretimi yaklaşık 13.000 ton olarak tahmin edilmektedir. 3,4 milyon tonluk rezerve sahiptir. En önemli projesi olan Nolans, özellikle miknatıs yapımında kullanılan neodimyum ve praseodim (NdPr) odaklıdır. Myanmar (Burma): 2024 yılında 31.000 ton üretim yapması beklenmektedir. Özellikle ağır NTE kaynakları açısından zengindir ve bu cevheri işlenmek üzere büyük oranda Çin'e ihraç etmektedir.

Rusya: 18 milyon ton ile dünyanın en büyük dördüncü rezervine sahiptir. 2024 üretimi 2.500 ton civarındadır. Rusya, son dönemde gübre üretiminden kalan fosfogips (phosphogypsum) atıklarından NTE geri kazanımı stratejisine odaklanmıştır.

Vietnam: 22 milyon tonluk devasa bir rezerve sahip olmasına rağmen üretimi yıllık 300 ton seviyesindedir. Dong Pao madeni, ülkenin en büyük yataklarından biri olarak Japon ortaklığıyla geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Brezilya: 21 milyon ton rezerve sahiptir; ancak 2024 üretimi sadece 20 ton olarak öngörülmektedir.

Hükümet, 2024'te arama ve ESG standartlarını iyileştirmek için 200 milyon dolarlık bir fon açıklamıştır. Hindistan: 6.9 milyon ton rezerve sahip olup yıllık 2.900 ton üretim yapmaktadır. Genellikle savunma sanayi ihtiyaçlarını karşılamak üzere hafif NTE rafinasyonu gerçekleştirmektedir.

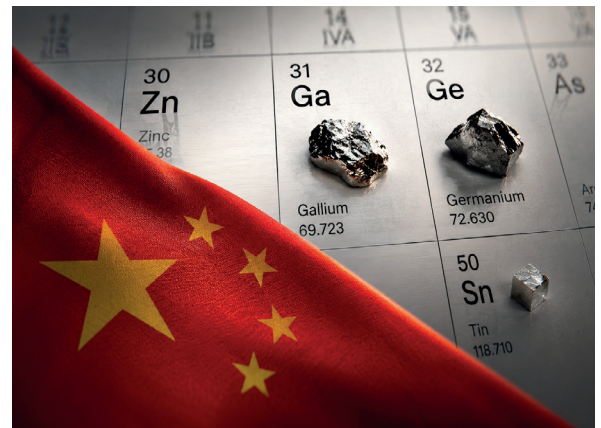
3.Ülkelerin Nadir Toprak Elementleri Politikası

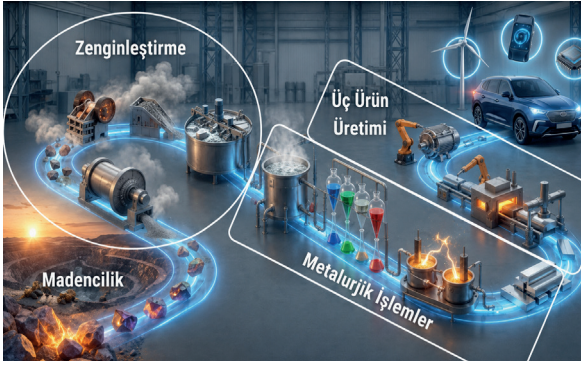
Nadir toprak elementleri, yüksek teknoloji üretimi, enerji dönüşümü ve savunma sanayii uygulamalarındaki kritik rolleri nedeniyle ülkelerin sanayi ve ulusal güvenlik politikalarının önemli bir bileşeni hâline gelmiştir. Küresel tedarik zincirinde yaşanan yoğunlaşma ve jeopolitik riskler, birçok ülkeyi nadir toprak elementleri alanında uzun vadeli stratejiler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu kapsamda ülkeler; madencilik faaliyetlerinin artırılması, rafinasyon kapasitesinin geliştirilmesi, geri dönüşüm teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve uluslararası iş birliklerinin güçlendirilmesi gibi farklı politika araçlarını devreye almaktadır.

3.1. Çin'in NTE Politikası

1960'lardan itibaren nadir toprak elementleri (NTE) üretiminde erken bir avantaj elde eden Çin, bu kaynakları yalnızca jeolojik bir varlık olarak değil, uzun vadeli sanayi ve güç projeksiyonu aracı olarak konumlandırmıştır. 2010'lu yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin NTE tedarikinin yaklaşık %80'inin Çin'den ithal edilir hâle gelmesi, Çin'in düşük maliyetli üretim, devlet destekleri ve görece pek sıkı olmayan çevresel düzenlemeler yoluyla küresel piyasada bilinçli bir arz fazlası yarattığı yönünde değerlendirilmektedir. Deng Xiaoping'in 1987'de dile getirdiği "Ortadoğu'nun petrolü varsa, Çin'in nadir toprakları vardır" ifadesi, bu yaklaşımın erken dönemde stratejik bir vizyona dayandığını göstermektedir.

2024–2025 döneminde Çin, küresel NTE madenciliğinin %60–61'ini, rafinasyon ve ayrıştırma kapasitesinin ise %90'dan fazlasını kontrol etmektedir. 1 Ekim 2024'te yürürlüğe giren "Nadir Toprak Elementleri Yönetimi Yönetmeliği", NTE kaynaklarını açık biçimde devlet mülkiyetine almış; çıkarım, işleme ve ticareti yetkilendirilmiş kuruluşlarla sınırlandırmıştır. Merkezi





üretim planlaması, izlenebilirlik yükümlülükleri ve ihracatın ulusal güvenlik mevzuatına bağlanması, NTE arzının kurumsal olarak sıkı biçimde denetlendiğini göstermektedir. Böylece yönetmelik, Çin'in NTE ekosistemi üzerindeki yapısal hâkimiyetini pekiştirirken, bu kaynakların uluslararası düzeyde jeopolitik bir etki unsuru hâline gelmesini de kurumsal olarak mümkün kılmaktadır.

2025 yılında Çin bu stratejisini bir adım ileri taşıyarak, Nisan ve Ekim aylarında iki büyük ihracat kontrol dalgası başlatmıştır. Yurt dışında üretilen bir ürünün %0,1'den fazla Çin menşeli NTE içermesi veya Çin teknolojisiyle üretilmiş olması hâlinde lisans zorunluluğu getirilmesi, küresel tedarik zincirlerinde fiili bir denetim alanı yaratmıştır. Her ne kadar Çin hükümeti, 7 Kasım 2025'te ikinci dalga ihracat kontrollerinin 10 Kasım 2026'ya kadar geçici olarak askıya aldığını duyursa da bu durum, nadir toprak elementlerinin Çin tarafından jeoekonomik ve jeopolitik bir araç olarak kurumsallaştırıldığını ortaya koymaktadır.

3.2. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin NTE Politikası

ABD'nin 2025'te hız kazanan NTE politikası, Çin merkezli işleme ve türev ürün hâkimiyetini doğrudan ulusal güvenlik riski olarak tanımlamaktadır. 15 Nisan 2025 tarihli Section 232 Yürütme Emri, NTE içeren işlenmiş mineralleri ve türev ürünleri savunma sanayii ve ileri teknolojiler için vazgeçilmez girdiler olarak konumlandırmakta; tarifeler, ithalat kısıtlamaları ve yerli üretim teşviklerini içeren kapsamlı bir soruşturma süreci öngörmektedir.

Bu yaklaşım, yalnızca ticaret ve sanayi politikasıyla sınırlı kalmayarak arz coğrafyasının genişletilmesini de kapsamaktadır. 24 Nisan 2025 tarihli "Offshore Kritik Minerallerin Serbestleştirilmesi" Yürütme Emri, NTE dâhil kritik mineraller için derin deniz ve kıta sahanlığı kaynaklarını stratejik bir ulusal güvenlik alanı olarak tanımlamakta; hızlandırılmış ruhsatlandırma, haritalama ve yatırım mekanizmalarıyla deniz tabanı madenciliğini ABD'nin uzun vadeli arz güvenliği vizyonuna entegre etmektedir. Kara temelli Çin-dominant tedarik zincirlerine alternatif olarak deniz tabanı kaynaklarının devreye alınması, ABD'nin NTE stratejisinde jeoekonomik rekabetin yeni bir fazına geçildiğini göstermektedir.

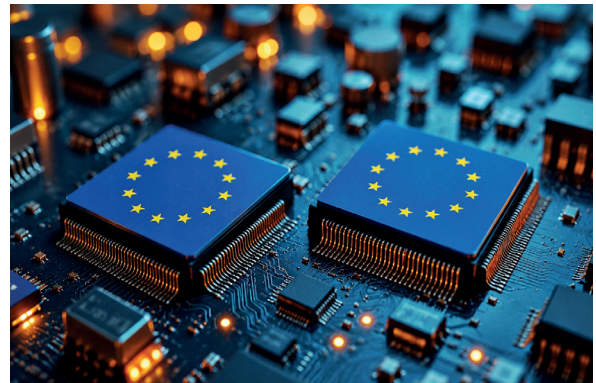
ABD politikası, ikili ve çok taraflı ortaklıklarla desteklenmektedir. Avustralya ve Japonya ile yapılan anlaşmalar, NTE değer zincirinin madencilikten işleme ve türev ürünlere kadar uzanan aşamalarında ortak finansman, uzun vadeli alım anlaşmaları, fiyat istikrarı mekanizmaları ve ulusal güvenlik temelli varlık denetimleri yoluyla Çin'e bağımlılığı azaltmayı hedeflemektedir. Malezya ve Tayland ile yapılan mutabakatlar ise Güneydoğu Asya'yı ABD öncülüğündeki "yüksek standartlı" NTE ekosistemine entegre ederek, işleme, rafinasyon ve katma değerli üretimi teşvik eden alternatif tedarik rejimleri oluşturmayı amaçlamaktadır. Güney Kore ile geliştirilen ortaklıklar ve ABD'de kurulması planlanan entegre NTE işleme ve miktatsız üretim tesisleri, bu müttefik temelli yaklaşımın türev ürün boyutunu güçlendirmektedir.

Kanada merkezli Cyclic Materials'ın Arizona'da nadir toprak geri dönüşümüne yönelik ilk ABD ticari tesisine yaptığı yatırım ve İçişleri Bakanlığı'nın enerji ve kritik mineraller için izin süreçlerini azami 28 güne indirme kararı, ABD'nin Çin-dominant NTE tedarik zincirlerine karşı yerli üretim, geri dönüşüm ve hızlandırılmış madencilik kapasitesi inşa etme hedefini yansıtmaktadır. Ayrıca 30 Nisan 2025'te imzalanan ABD-Ukrayna Mineral Anlaşması ile Ukrayna'nın zengin rezervlerine erişim sağlanarak Çin bağımlılığına alternatif bir hat oluşturulmuştur. Bu bütüncül yaklaşım, ABD'nin Çin'in yapısal hâkimiyetine karşı yalnızca ticari değil, aynı zamanda jeopolitik ve sanayi temelli bir karşı-strateji inşa ettiğini ortaya koymaktadır.

3.3 AB Kritik Hammaddeler Tüzüğü (CRMA) ve NTE

Avrupa Birliği'nin 2024'te yürürlüğe giren Kritik Hammaddeler Tüzüğü (CRMA), NTE'leri yeşil dönüşüm, savunma ve dijitalleşme açısından stratejik girdiler olarak tanımlamakta ve yüksek dış bağımlılığı yapısal bir risk olarak ele almaktadır. Özellikle kalıcı miktatsızlar, elektrikli araçlar, rüzgâr türbinleri ve savunma sistemleri için kritik öneme sahip olan NTE'lerde Çin kaynaklı yoğunlaşma, bu tüzüğün temel müdahale gerekçesini oluşturmaktadır.

CRMA, NTE değer zincirinde madencilik-işleme-geri dönüşüm entegrasyonunu güçlendirmeyi





hedeflemekte; 2030 yılına kadar NTE tüketiminin %10'unun yerli madenlerden, %40'ının yerli rafinasyondan ve %15'inin geri dönüşümden karşılanmasını öngörmektedir. Buna ek olarak, NTE'ler dâhil hiçbir stratejik hammaddede tek bir üçüncü ülkeye bağımlılığın %65'i aşmaması hedeflenerek, arzın jeopolitik risklere karşı çeşitlendirilmesi amaçlanmaktadır. Tüzüğün diğer bir dikkat çekici boyutlarından biri, kalıcı mıknatıslar üzerinden NTE'lere özgü döngüsellik ve şeffaflık yükümlülükleri getirmesidir. Buna göre, mıknatıs içeren ürünlerin NTE bileşimine ilişkin etiketleme zorunluluğu getirilmekte; geri dönüşüm, ikincil hammadde kullanımı ve atık yönetimi üye devletler için bağlayıcı politika alanları hâline getirilmektedir. Stratejik Projeler, hızlandırılmış izin süreçleri ve AB içi-dışı ortaklıklar (Global Gateway ve Mineral Güvenliği Ortaklığı dâhil) yoluyla NTE arzının güvence altına alınması hedeflenmektedir. Bu çerçevede CRMA, AB'nin nadir toprak elementlerini yalnızca sanayi girdisi değil, ekonomik güvenlik ve stratejik özerklik unsuru olarak yeniden konumlandığını göstermektedir.

RESourceEU Eylem Planı, AB'nin kritik hammaddeler ve özellikle nadir toprak elementleri (NTE) alanında Çin merkezli tedarik bağımlılığını azaltmak ve 2024'te yürürlüğe giren Kritik Hammaddeler Yasası'nın (CRMA) hedeflerini hızlandırmak amacıyla Aralık 2025'te kabul edilen bütüncül bir ekonomik güvenlik stratejisidir. Plan, NTE değer zincirinde özellikle kalıcı mıknatıslara odaklanarak, 2030'a kadar tek ülkeye bağımlılığı çıkarımda %95'ten %42'ye, işleme ve geri dönüşümde %100'den %60'a, mıknatıs üretiminde ise %90'dan %80'e indirmeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda Avrupa Kritik Hammaddeler Merkezi'nin kurulması, stratejik stoklama ve ortak satın alma mekanizmalarının devreye alınması ve InvestEU ile İnovasyon Fonu üzerinden yaklaşık 3 milyar avroluk finansmanın stratejik projelere yönlendirilmesi öngörülmektedir.

Planın ikinci ayağını, NTE arz güvenliğini kalıcı hâle getirmeyi amaçlayan döngüsellik, piyasa koruması ve jeopolitik iş birliği araçları oluşturmaktadır. Kalıcı mıknatıs hurdalarının AB dışına ihracatına kısıtlamalar getirilmesi, geri dönüşüm içeriği ve etiketleme

yükümlülüklerinin genişletilmesiyle iç piyasada ikincil hammadde arzının güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Buna paralel olarak büyük şirketlere tedarik zinciri risk analizi yükümlülükleri getirilmesi, stratejik projelerin FDI taramasında daha sıkı denetlenmesi ve Brezilya, Ukrayna, Batı Balkanlar ile G7 çerçevesinde yeni ortaklıkların geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu yönüyle RESourceEU, AB'nin NTE krizine karşı finansman, düzenleme ve diplomasi araçlarını birleştiren, jeoekonomik riskleri azaltmaya odaklı bir "stratejik müdahale rejimi" olarak konumlanmaktadır.

3.4. Japonya'nın NTE Stratejisi

2010 yılında Çin'in nadir toprak elementleri (NTE) ihracatını fiilen kısıtlamasıyla karşı karşıya kalan Japonya, bu şoku kapsamlı ve uzun vadeli bir arz güvenliği ve sanayi politikası dönüşümünün tetikleyicisi olarak değerlendirmiştir. Japon NTE stratejisi, METI ve JOGMEC öncülüğünde dört temel sütun üzerine inşa edilmiştir: (i) tedarik kaynaklarının çeşitlendirilmesi, (ii) teknolojik ikame ve NTE kullanım azaltımı, (iii) geri dönüşüm ve "urban mining", ve (iv) stratejik stoklama ve kamu finansmanı. Bu çerçevede Japonya, Lynas üzerinden Avustralya ile uzun vadeli "offtake" anlaşmaları yaparak Çin dışı madencilik ve işleme kapasitesini finanse etmiş; aynı zamanda Vietnam, Hindistan ve Kazakistan gibi ülkelerde yukarı akış (upstream) projelere kamu destekli yatırımlar yönlendirmiştir.

Akademik çalışmalar, Japon firmalarının özellikle kalıcı mıknatıslar ve elektrik motorlarında dysprosium ve terbium kullanımını azaltan malzeme mühendisliği çözümleri geliştirdiğini ve bu sayede yüksek riskli ağır NTE'lere olan bağımlılığı yapısal olarak düşürdüğünü ortaya koymaktadır. Buna paralel olarak Japonya, elektronik atıklardan NTE geri kazanımını sistematik bir sanayi politikasına dönüştürmüştür; "urban mining" yaklaşımı, hem arz güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik bağlamında literatürde örnek vaka olarak incelenmiştir. 2020'li yıllarda ise Japon NTE stratejisi, ekonomik güvenlik kavramının merkezine yerleşmiş; 2022 Ekonomik Güvenlik Yasası ve deniz tabanı minerallerine yönelik Ar-Ge programlarıyla, NTE'ler savunma sanayii, ileri teknoloji ve jeopolitik risk yönetimi bağlamında devlet destekli stratejik varlıklar olarak yeniden tanımlanmıştır.





3.5. Avustralya'nın NTE Stratejisi

Avustralya'nın "2023–2030 Kritik Mineraller Stratejisi", ülkeyi küresel enerji geçişinde sadece bir hammadde tedarikçisi olmaktan çıkarıp, işlenmiş minerallerle dünya lideri bir "yenilenebilir enerji süper gücü" haline getirmeyi hedefleyen kapsamlı bir ulusal çerçeve sunmaktadır. Bu vizyonun merkezinde, madenlerin yerli imkanlarla uç ürünlere dönüştürülmesini sağlayan egemen işleme kapasitesinin (sovereign capability) inşa edilmesi ve katma değerli ihracat yoluyla ekonomik getirinin maksimize edilmesi yer almaktadır. Stratejik olarak belirlenen altı odak alanı; projelerin finansal risklerden arındırılması, uluslararası ortaklıkların tesisi ve altyapı yatırımlarıyla desteklenerek, 2030 yılına kadar Avustralya'nın küresel tedarik zincirlerinde hem ham hem de rafine edilmiş kritik mineraller açısından vazgeçilmez, dayanıklı ve sürdürülebilir bir aktör konumuna gelmesini amaçlamaktadır. Stratejinin operasyonel başarısı, kamu destekli finansman araçları ile yüksek çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) standartlarının entegrasyonuna dayanmaktadır. Bu kapsamda, Kuzey Avustralya Altyapı Fonu (NAIF) aracılığıyla tahsis edilen 500 milyon dolarlık kaynak ve Iluka Resources'ın nadir toprak rafinerisi gibi stratejik projelere sağlanan milyar dolarlık krediler, özel sektör yatırımlarını teşvik ederek projeleri ticari olarak uygulanabilir kılmaktadır. Eş zamanlı olarak, Birleşik Devletler, Birleşik Krallık ve Japonya gibi "benzer düşünceye sahip" ortaklarla kurulan stratejik ittifaklar, tedarik zincirlerinin çeşitlendirilmesi ve pazar konsantrasyonunun azaltılması açısından hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, First Nations (İlk Milletler) topluluklarıyla kurulan hak temelli ortaklıklar ve dünyaca tescilli ESG performansı, Avustralya'nın küresel pazarda "güvenilir ve etik tedarikçi" kimliğini pekiştirerek sürdürülebilir bir sanayi büyümesini teminat altına almaktadır.

Bunun yanında Avustralya ikili düzeyde ABD, Japonya, Güney Kore, Hindistan, Birleşik Krallık ve AB gibi başlıca müttefiklerle kritik mineraller, temiz enerji ve net-sıfır teknolojileri odaklı ortaklıklar kurarak tedarik zincirlerini çeşitlendirmeyi ve Çin dışı işleme–rafineri kapasitesini güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Çok taraflı düzeyde ise IEA, Minerals Security Partnership, Sustainable Critical Minerals Alliance, ISO, OECD ve Quad gibi platformlarda aktif rol

üstlenerek; ESG standartlarının yerleştirilmesi, şeffaf veri paylaşımı, teknik standartların geliştirilmesi ve sorumlu madencilik normlarının küreselleştirilmesini hedeflemektedir. Buna ek olarak, Austrade aracılığıyla offtake anlaşmaları, ortak yatırımlar ve aşağı akış (downstream) projelerine yönelik ticari eşleştirmeler desteklenmekte; yayımlanan Australian Critical Minerals Prospectus ile ileri aşamadaki projeler uluslararası yatırımcılara sunulmaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, Avustralya'yı yalnızca bir hammadde tedarikçisi değil, yüksek standartlı ve müttefik temelli kritik mineral ekosisteminin merkezi aktörlerinden biri olarak konumlandırmaktadır.

3.6. Kanada'nın NTE Stratejisi

Kanada'nın "Kritik Mineraller Stratejisi", NTE'ni ekonomik büyüme ve öncelikli tedarik zincirleri için en yüksek potansiyele sahip altı öncelikli minerallerden biri olarak tanımlamaktadır. Stratejinin temel vizyonu, Kanada'yı ham madde ihracatçısı olmaktan çıkarıp, "madenden geri dönüşüme" kadar tüm değer zincirini (upstream, midstream, downstream) kapsayan entegre bir endüstriyel ekosistem haline getirmektedir. Bu kapsamda NTE'ler; özellikle elektrikli araç motorları, rüzgâr türbinleri ve savunma teknolojileri için kritik olan kalıcı miktatısların üretiminde temel yapı taşı olarak kabul edilmekte ve yerli imalatın yakıtı olarak görülmektedir. Kanada, bu stratejiyle Kuzeybatı Toprakları'ndaki (Nechalacho madeni) zengin rezervlerini, Saskatchewan gibi bölgelerde kurulan türünün ilk örneği olan işleme ve ayrıştırma tesisleriyle birleştirerek küresel piyasadaki rekabet gücünü artırmayı hedeflemektedir. Stratejinin operasyonel boyutu, yaklaşık 4 milyar dolarlık bir bütçe ve hedeflenen teşvik mekanizmalarıyla desteklenmektedir. NTE arama faaliyetlerini teşvik etmek amacıyla yatırımcılara %30 oranında "Kritik Mineral Arama Vergi Kredisini" (CMETC) sunulmakta, ayrıca Stratejik İnovasyon Fonu (SIF) aracılığıyla ileri işleme ve rafinaj projelerine 1,5 milyar dolarlık doğrudan destek sağlanmaktadır. Jeopolitik açıdan Kanada, NTE arzının birkaç ülkede yoğunlaşmasından kaynaklanan riskleri azaltmak için müttefikleriyle (ABD, AB, Japonya) tedarik zinciri direncini artırmayı ve "tercih edilen güvenilir tedarikçi"





olmayı amaçlamaktadır. Bu süreçte, yerli halklarla (Indigenous Peoples) ekonomik uzlaşma stratejik bir öncelik olarak ele alınmakta; Nechalacho projesinde olduğu gibi maden çıkarma operasyonlarının doğrudan yerli toplulukların liderliğinde veya ortaklığında yürütülmesi, Kanada'nın yüksek ESG (Çevresel, Sosyal ve Yönetişim) standartlarını küresel bir avantaj olarak konumlandırmasını sağlamaktadır.

3.7. Diğer Ülkelerdeki NTE Stratejileri

Hindistan ve Güney Kore, nadir toprak elementleri (NTE) ve kritik mineraller stratejilerini teknolojik bağımsızlık ve ulusal güvenlik odaklı bir "kendi kendine yetme" modeli üzerine inşa etmektedir. Hindistan, 2025 yılında başlattığı Ulusal Kritik Mineral Misyonu (NCMM) ile 30 kritik mineral belirlemiş ve bunlardan 24'ünü merkezi hükümetin münhasır ihale yetkisine alarak yerli arama faaliyetlerini (1.200 proje hedefiyle) hızlandırmıştır. Hindistan'ın stratejisi, enerji geçişi ve savunma sanayii ihtiyaçlarını güvence altına almak için hem yerli üretimi ve geri dönüşümü artırmayı hem de KABİL gibi kamu iştirakleri aracılığıyla Arjantin ve Avustralya gibi ülkelerde denizaşırı varlıklar edinmeyi içermektedir.

Güney Kore ise teknolojik hegemonyasını korumak amacıyla birçok NTE'yi "kritik mineral" olarak sınıflandırmış ve Ulusal Kaynak Güvenliği Konseyi aracılığıyla kaynak güvenliğini en üst seviyeye çıkarmıştır. Kore stratejisi, Çin'e olan ham madde bağımlılığını azaltmak için derin deniz aramalarına (Tamhla 3 araştırma gemisi gibi) yatırım yapmayı, stratejik stoklama tesisleri kurmayı ve batarya gibi yeşil teknolojilerde Ar-Ge liderliğini sürdürmeyi hedeflemektedir.

Brezilya ve Afrika ise mineral zenginliklerini sadece ham madde olarak ihraç etmek yerine, bu kaynakları yerli sanayileşme ve ekonomik dönüşüm için bir kaldıraç olarak kullanmayı amaçlayan "katma değer" odaklı stratejiler izlemektedir. Brezilya, Ulusal Kritik ve Stratejik Mineraller Politikası (PNMCE) aracılığıyla "mineral güvenliği" ve ulusal egemenliğini güçlendirmeyi, ham maddelerin ülke içinde işlenmesini zorunlu kılan yerel içerik kurallarını ve vergi teşviklerini devreye sokmayı planlamaktadır. Brezilya'nın yaklaşımı, enerji geçişinin yanı sıra gıda güvenliği için hayati önem taşıyan agromineralleri de kapsamakta ve döngüsel ekonomi ile batarya geri dönüşümüne öncelik vermektedir.

Benzer şekilde, 2025 yılında kabul edilen Afrika Yeşil Mineraller Stratejisi (AGMS), kıtanın yeşil mineral rezervlerini ham halde ihraç etme modelinden vazgeçerek, mineral bazlı yerel sanayileşme ve elektrifikasyonu hedefleyen dört sütunlu bir yol haritası sunmaktadır. Afrika stratejisi, AfCFTA çerçevesinde bölgesel değer zincirleri oluşturmayı, işlenmemiş minerallerin ihracatını kısıtlamak için Ortak Dış Tarife (CET) uygulamayı ve yerel teknik becerileri geliştirmek için Bölgesel Mükemmeliyet Merkezleri kurmayı öngörmektedir.

3.8. Türkiye'nin NTE Stratejisi

Türkiye'nin NTE stratejisi, ham madde ihracatına dayalı geleneksel modelden vazgeçerek rafinasyon, metalurji ve mınatıs üretimini kapsayan uçtan uca entegre bir sanayi ekosistemi kurmayı hedeflemektedir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda Türkiye'de Eskişehir-Beylikova, Malatya-Kuluncak, Sivas ve Burdur illerinde stratejik öneme sahip Nadir Toprak Elementleri (NTE) yatakları tespit edilmiş olup; bu sahalar arasında özellikle barit, fluorit ve bastnasit içeren Eskişehir-Beylikova yatağı, yaklaşık 52 milyon tonluk toplam rezerv miktarı ve %3,14 oranındaki ortalama NTE tenörü ile öne çıkmaktadır. Bu rezervin ekonomik ve ticari bir değer ifade edebilmesi için Beylikova'daki rezervlerin uluslararası geçerliliğe sahip JORC veya UMREK standartlarına göre doğrulanma ve sertifikasyon sürecinin tamamlanması yatırımcı güveni ve projenin ekonomik uygulanabilirliği açısından temel bir gerekliliktir.

Türkiye'nin NTE stratejisi, "Milli Enerji ve Maden Politikası" çerçevesinde, yüksek teknoloji ve savunma sanayii ekosistemleri için kritik hammadde arz güvenliğini bir "stratejik kaldıraç" olarak konumlandırmaktadır. Bu vizyonun bilimsel ve teknolojik merkez üssü olarak yapılandırılan TENMAK, bünyesindeki Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN) aracılığıyla; yerli kaynaklardan NTE eldesi, saflaştırma teknolojileri ve bu elementlerin ileri teknoloji ürünlerine entegrasyonu süreçlerini koordine etmektedir. Stratejinin kurumsal mimarisi; TAEK, BOREN ve NATEN'in Ar-Ge altyapıları ile yetkin insan kaynağını tek çatı altında birleştirerek, projelerin





finansman ve verimlilik kapasitesini maksimize eden güçlü bir operasyonel sinerji yaratmayı hedeflemektedir. Somut bir performans göstergesi olarak, 2028 yılına kadar NTE teknolojileri ile ilgili proseslerin gerçekleştirme oranının %80 seviyesine çıkarılması planlanmaktadır.

Operasyonel düzeyde ise Eti Maden tarafından Eskişehir’de hayata geçirilen Beylikova Florit, Barit ve Nadir Toprak Elementleri İşletme Müdürlüğü, kompleks cevherlerin ekonomiye kazandırılması ve pilot tesislerden büyük ölçekli endüstriyel üretime geçiş süreçlerinde merkezî bir rol üstlenmektedir. Türkiye’nin On İkinci Kalkınma Planı ile uyumlu olan bu strateji, NTE ve lityum üretiminde dünyanın majör oyuncularından biri haline gelmeyi ve madencilik ürünlerini ham madde olarak ihraç etmek yerine, yurt içinde işleyerek savunma, otomotiv, enerji ve sağlık sektörlerine yönelik "yüksek katma değerli uç ürünlere" dönüştürmeyi esas almaktadır. Bu süreçte, teknoloji transferine dayalı ortaklıklar teşvik edilmekte ve küresel ölçekte know-how sahibi ülkelerle stratejik proje iş birlikleri geliştirilmektedir.

TENMAK bünyesinde yürütülen stratejik planlama kapsamında, nükleer enerji, kritik mineraller ve ileri enerji teknolojilerine yönelik kurumsal hedefler uzun vadeli bir perspektifle belirlenmiştir. NATEN strateji dokümanında yer alan bu yaklaşım doğrultusunda, kurumsal gelişim hedefleri yirmi yıllık bir zaman dilimi içerisinde dört adet beş yıllık dönem halinde planlanmış ve her dönem için öncelikli faaliyet alanları tanımlanmıştır. Türkiye’nin NTE stratejisindeki en kritik darboğaz, elementlerin birbirinden yüksek saflıkta ayrıştırılması için gereken solvent ekstraksiyon (SX) teknolojisidir. Şu anki üretim saflığı yaklaşık %92-93 seviyesinde olup, ticari kullanım için bu oranın %99,5 ve üzerine çıkarılması şarttır. Bu kapsamda TENMAK (NATEN) ve TÜBİTAK MAM üzerinden yerli ayrıştırma prosesleri geliştirilmekte, özellikle toryumun güvenli bir şekilde ayrıştırılması için nükleer standartlarda tesisleşme yürütülmektedir.

4. Sonuç

Nadir toprak elementleri, günümüzde enerji dönüşümü, dijital teknolojiler ve savunma sanayii gibi stratejik sektörlerin temel girdilerinden biri haline gelmiş ve bu nedenle küresel jeoekonomik rekabetin merkezinde yer almaya başlamıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler, küresel NTE tedarik zincirinin yüksek derecede yoğunlaşmış bir yapıya sahip olduğunu ve özellikle Çin’in madencilik, rafinasyon ve ileri malzeme üretimi aşamalarında belirgin bir hakimiyet kurduğunu ortaya koymaktadır.

Son yıllarda ABD, Avrupa Birliği, Japonya ve Avustralya gibi ülkeler tarafından geliştirilen politikalar, bu bağımlılığı azaltmaya yönelik kapsamlı bir tedarik güvenliği stratejisinin oluştuğunu göstermektedir. Bu stratejiler genel olarak üç temel eksen etrafında şekillenmektedir: yeni madencilik projelerinin geliştirilmesi, işleme ve rafinasyon kapasitesinin artırılması ve geri dönüşüm teknolojilerinin yaygınlaştırılması. Buna paralel olarak, uluslararası ortaklıklar ve müttefik temelli tedarik zinciri modelleri de giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Küresel ölçekte yürütülen projeler incelendiğinde, nadir toprak elementleri sektöründe yalnızca yeni maden sahalarının devreye alınmasının yeterli olmadığı; ekonomik ve stratejik değer yaratabilmek için ayrıştırma teknolojileri, metalurjik prosesler ve miknatis üretimi gibi ileri aşamaların da yerli kapasite ile desteklenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesi, sektörün geleceği açısından kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, Beylikova sahası başta olmak üzere sahip olunan potansiyel rezervler ve TENMAK NATEN öncülüğünde yürütülen Ar-Ge faaliyetleri, ülkenin NTE değer zincirinde daha etkin bir rol üstlenebileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, özellikle yüksek saflıkta ayrıştırma teknolojilerinin geliştirilmesi, uluslararası standartlarda rezerv doğrulama çalışmalarının tamamlanması ve endüstriyel ölçekli işleme tesislerinin kurulması, Türkiye’nin bu alandaki rekabet gücünü belirleyecek temel unsurlar olacaktır.

Sonuç olarak, nadir toprak elementleri alanındaki küresel rekabetin önümüzdeki yıllarda daha da yoğunlaşması beklenmektedir. Bu bağlamda, madencilik faaliyetlerinin yanı sıra teknoloji geliştirme, geri dönüşüm ve uluslararası iş birliklerini içeren bütüncül politikalar, ülkelerin stratejik mineral güvenliğini sağlamasında belirleyici olacaktır.