

KRİTİK ve STRATEJİK Madenler Çalıştayı

• Bildiriler Kitabı •



*Editörler

Prof. Dr. Fırat Burat
Araş. Gör. Tülay Türk
Prof. Dr. A. Ekrem Yüce

2 Aralık 2025, İstanbul



İstanbul Şubesi

**KRİTİK ve STRATEJİK
MADENLER ÇALIŞTAYI**

Editör

Prof. Dr. Fırat BURAT

Arş. Gör. Tülay TÜRK

Prof. Dr. A. Ekrem YÜCE

© Tüm Hakları Saklıdır.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap ya da bu kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde çoğaltılamaz.

ISBN : 978-605-01-1732-5

Baskı : Everest Basım Reklam ve Matbaa Hiz. San. ve Tic. Ltd. şti.
Maltepe Mah. Litros Yolu Sok. (No: 2-4) 2. Matbaacılar Sitesi
5. Kat F Blok Kapı No: 3NF7, Zeytinburnu-İstanbul
Tel: +90 212 434 51 34 E-posta: info@everestbasim.com

TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Kültür Mahallesi Yüksel Caddesi No:40, 06420 Kızılay, Çankaya - Ankara
Tel: + 90 (312) 425 10 80 Web: www.maden.org.tr E-posta: maden@maden.org.tr

TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi

Büyükdere Cad. Çınar Apt. No: 95 Kat:8 Daire:31
Mecidiyeköy, Şişli-İstanbul
Tel: +90 (212) 356 74 10 E-posta: istanbul@maden.org.tr

Destekleriyle



ÖNSÖZ

Mineraller, mineral konsantreleri, kimyasal bileşikler, metaller ve yüksek teknoloji ürünlerinin orijini doğal hammadde kaynakları olarak tanımlanmakta, toplumların sosyoekonomik gelişim süreçlerinde bu kaynaklara olan gereksinim hızla artmaktadır. Sürekli gelişen teknolojiler, nüfus artışı ve hammadde kaynaklarının Dünya üzerindeki dengeli olmayan dağılımları, bu kaynaklara erişim, üretim ve tedarik süreçlerinde giderek artan riskleri içermektedir. Ekonomik önem, arz/talep riskleri, sıfır karbon ayak izi, yeşil üretim süreçleri, dijital ve döngüsel ekonomik modeller ve sürdürülebilirlik kavramlarının bütünlük olarak değerlendirilmesiyle, Dünya ülkeleri “hammadde kaynaklarının” temini, üretimi ve kullanımı aşamalarında kaynak koruma yönünde yeni modeller oluşturmakta, kaynakların sınıflandırılmasında “Kritik” ve “Stratejik” terimlerine dayanan politikalar oluşturmaktadır.

Dijitalleşme ve yeşil enerjinin ihtiyacı olan Nadir Toprak Elementleri (NTE) ile ülkelerin geleceğe dair hammadde ihtiyaçlarını önceleyen kritik-stratejik madenler/mineraller siyasetin de ana gündemlerinden biri haline gelmiştir. Avrupa Birliği’nden Amerika’ya, Çin’den Rusya’ya birçok ülke teknolojik, ekonomik ve politik değişimlere hazırlıklı olmak amacıyla Kritik-Stratejik Madenlere dair raporlar, mevzuatlar hazırlayarak alt yapılarını buna göre düzenlemeye çalışmaktadır. Ülkemizde de 2025 yılının başında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan **Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu** kamuoyu ile paylaşılmıştır.

Güncel siyasi gelişmelerle gerek dünya gerekse ülke gündemine gelen ve toplumun tüm kesimlerinin dikkatini çeken konu Odamız tarafından 2 yıl önce gündeme alınmış ve konunun tüm yönleriyle tartışılacağı Kritik ve Stratejik Madenler Çalıştayı düzenleme kararı alınmıştır. TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi olarak, güncel gelişmeler ve yaşanan değişimlerin değerlendirilmesi, tartışılması ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan ülkemiz açısından Kritik-Stratejik 37 minerali içeren raporun da irdelenmesi ve konuya dair bir gelecek projeksiyonunun ortaya çıkarılması için 2 Aralık 2025 tarihinde İTÜ Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi Konferans Salonunda, akademisyenler, kamu ve özel sektör temsilcileri ve öğrencilerden oluşan toplam 207 katılımcının yer aldığı Kritik-Stratejik Madenler Çalıştayı yapılmıştır. Konularında uzman 10 konuşmacının yer aldığı Çalıştay programı kapsamında, sunumların sonunda ayrıca bir değerlendirme paneli de gerçekleştirilmiştir.

Kritik ve Stratejik Madenler Çalıştayı, Türkiye’nin mineral hammaddeler alanındaki mevcut durumunu; mevzuat, kaynak potansiyeli, ekonomi, teknoloji ve geri dönüşüm boyutlarıyla çok yönlü biçimde ele alan önemli bir ortak akıl platformu olmuştur. Çalıştay’da sunulan bildirimler ve yapılan tartışmalar, kritik ve stratejik madenlerin yalnızca bir madencilik konusu değil; ekonomik güvenlik, sanayileşme, enerji dönüşümü ve ulusal strateji meselesi olduğunu açıkça ortaya koymuştur.

Çalıştay kapsamında ortaya konulan değerlendirme ve önerilerin; ilgili kamu kurumları, sanayi paydaşları ve karar vericiler tarafından dikkate alınmasının, Türkiye’nin kritik ve stratejik madenler alanında uzun vadeli, sürdürülebilir ve bağımsız bir yol haritası oluşturmasına yönelik çalışmalarda da önemli bir referans kaynak olması temennisiyle Çalıştay’da emeği olan herkese teşekkürlerimizi sunarız.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu..... Leman Çetiner	1
Maden Mevzuatı Açısından Kritik ve Stratejik Madenler Fatih Pekdemir, Behzat Gökçen Demir, Özgün Türkeli, Kürşad Durmaz	11
Demir, Titanyum, Manganez, Nikel, Grafit, Antimuan: Kritik / Stratejik Açından Değerlendirilmesi.... Sait Uysal	23
Makroekonomi- Kritik Mineral Hammaddeler - Dış Ticaret Türkiye Dış Ticaret Verileri Caner Zambak	31
Nadir Toprak Elementleri ve Toryum..... Gülhan Özbayoğlu	53
Türkiye Bor Kaynakları ve Bor A(r)tıklarındaki Lityum'un Kritik/Stratejik Açından Değerlendirilmesi.. Şafak Gökhan Özkan	67
Türkiye'de Bakır Madenciliği'nin Durumu Mehmet Canbazoğlu	83
Kobalt Madenciliği'ne Genel Bir Bakış Mehmet Canbazoğlu	99
İleri Düzey Teknolojiler için Gerekli Metallerinin Önemi ve Üretim Yöntemlerine Genel Yaklaşım . Servet Timur, Esra Tanısalı Baştürkücü, Selim Ertürk	113
Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nun Analizi ve Kömürün Konumu Üzerine Bir Değerlendirme Nejat Tamzok	123
Çalıştay Programı	135

Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu

Leman Çetiner

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanı, Ankara,
Türkiye, leman.cetiner@enerji.gov.tr

ÖZET: Bu çalışma, Türkiye'nin ulusal çıkarları doğrultusunda madenlerin kritiklik ve stratejik önemini değerlendiren kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Küresel eğilimlere paralel olarak, arz kesintisi veya fiyat artışı durumunda ekonomik sorunlara yol açabilecek "kritik madenler" ve ulusal güvenlik için hayati öneme sahip "stratejik madenler" belirlenmiştir. Çalışma, 63 aday madenden 37'si için kritiklik puanı hesaplamış, bu puanlamada tedarik, fiyat, talep ve dış ticaret verileri gibi parametreler kullanılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda madenlerin 8'inin "Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler", 19'unun "Önemli Kritik Madenler" ve 10'unun "Potansiyel Kritik Madenler" kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, savunma sanayisine yönelik olarak 26 madenden oluşan bir stratejik madenler listesi oluşturulmuştur. Bu madenlerin 10 tanesi hem kritik hem de stratejik olarak kabul edilmektedir. Rapor sonucunda Türkiye'nin kritik madenler için kapsamlı bir yol haritasına ve tedarik zinciri güvenliğini sağlamaya yönelik bir strateji belgesine ihtiyaç duyduğunu belirtmektedir. Bu doğrultuda, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025 yılında "Kritik Madenler Strateji Belgesi" hazırlama çalışmalarına başlamıştır.

Anahtar kelimeler: Kritik Madenler, Stratejik Madenler, Türkiye, Madencilik Politikası, Arz Güvenliği, Tedarik Zinciri

ABSTRACT: This study provides a comprehensive analysis assessing the criticality and strategic importance of minerals for Türkiye's national interests. In line with global trends, "critical minerals" that could cause economic problems in the event of a supply disruption or price increase, and "strategic minerals" that are vital to national security, were identified. The study calculated a criticality score for 37 of the 63 candidate minerals, using parameters such as supply, price, demand, and foreign trade data. As a result of this evaluation, it was determined that 8 of the minerals were in the "Highly Critical Minerals" category, 19 in the "Significantly Critical Minerals" category, and 10 in the "Potentially Critical Minerals" category. In addition, a list of 26 strategic minerals was created for the defense industry. Ten of these minerals are considered both critical and strategic. The report concludes that Türkiye needs a comprehensive roadmap for critical minerals and a strategy document to ensure supply chain security. In this regard, the Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources begun preparation of a "Critical Minerals Strategy Document" in 2025.

Keywords: Critical Minerals, Strategic Minerals, Türkiye, Mining Policy, Security of Supply, Supply Chain

1. KRİTİK MADENLERİN KÜRESEL ÖNEMİ VE TÜRKİYE İÇİN ANLAMI

Günümüzde, küresel ekonomiyi ve insanlığın yaşam biçimini şekillendiren en temel unsurlardan biri, şüphesiz madenlerdir. Hızla ilerleyen teknoloji ve endüstriyel gelişimler, savunma sanayiden telekomünikasyona, yenilenebilir enerji üretiminden sağlık sektörüne kadar pek çok alanda çeşitli minerallere olan bağımlılığı artırmaktadır. Bu madenler, modern toplumların sürdürülebilirliği, güvenliği ve refahı için hayati bir rol oynamaktadır. Bir ülkenin ekonomik gücünü ve askeri kapasitesini doğrudan etkileme potansiyeline sahiptirler. Örneğin, nadir toprak elementleri, güdümlü füzelerden elektronik cihazlara ve rüzgâr türbinlerine kadar birçok modern teknolojinin ayrılmaz bir parçasıdır.

Maden kaynakları dünya genelinde eşit bir şekilde dağılmamıştır. Bazı hammaddelerin üretimi, belirli ülkelerde yoğunlaşmıştır. Çin, nadir toprak elementleri piyasasına hakimken, Şili dünyanın en büyük bakır üreticisidir. Güney Afrika ve Rusya ise platin grubu elementlerin en büyük üreticilerindedir. Bu durum, piyasa fiyatlarında ani dalgalanmalara ve potansiyel arz güvenliği sorunlarına yol açmaktadır. Ayrıca, madencilik faaliyetlerinin çevre ve sağlık üzerindeki etkileri, mineral arzı üzerinde yeni kısıtlamalar oluşturmaktadır.

Bu küresel tablo, ülkeleri maden emtiaları arzı, talebi ve üretimi konusunda proaktif politikalar geliştirmeye zorlamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği gibi gelişmiş ülkeler ve birlikler, kritik ve stratejik maden çalışmalarını yürüterek kısa ve orta vadeli tabii kaynak politikalarını belirlemektedirler. Bu çalışmalar, maden ürünlerinin kaynak miktarından başlayarak rezerv ve üretim değerlerini analiz etmekte ve ithalat-ihracat durumlarını değerlendirmektedir. Bu sayede arz riski, ekonomik önem ve ithalat bağımlılığı gibi parametreler nicel verilerle ortaya konulmakta, böylece tabii kaynak politikası belirleme sürecinde temel bir adım atılmaktadır.

Türkiye için de bu gereklilik ortadadır. “Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler” raporu, ülkemizin kendine özgü ihtiyaçlarını ve potansiyelini dikkate alarak, kritik ve stratejik madenlerini belirlemek amacıyla hazırlanmıştır. Amacımız, kaynaklarımızın etkin bir şekilde kullanılmasına, Ar-Ge ve teknolojiye yapılan yatırımların artmasına ve yerli sanayi sisteminin geliştirilmesine katkı sağlamaktır. Bu, doğrudan ulusal çıkarlarımız ve ülkemizin geleceği ile ilgilidir.

2. KRİTİK MADENLERİN TANIMI VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

Bu çalışmada, madenlerin kritiklik derecesini belirlemek için kapsamlı bir metodoloji çalışması yürütülmüştür. Uluslararası benzer çalışmalar (Avrupa Komisyonu (European Commission, 2023), Amerika Birleşik Devletleri (USDOE, 2023), Japonya (METI, 2023), Birleşik Krallık (BEIS, 2022) ve Avustralya (DISR, 2023) incelenmiş ve Türkiye’ye özgü verilerle uyumlu hale getirilerek metodoloji oluşturulmuştur.

2.1. Temel Tanımlar

- **Kritik Madenler:** Arz kesintisi veya yüksek fiyat artışı halinde ciddi ekonomik sorunların veya tedarik güvenlik zafiyetinin doğabileceği, sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan madenlerdir.
- **Stratejik Madenler:** Ulusal güvenlik ve ekonomik refah için temel öneme sahip olan ve iç veya dış etkenler nedeniyle arzı kısıtlanabilir madenlerdir.

2.2. Aday Maden Belirleme

Çalışmanın ilk adımı olarak küresel olarak önem taşıyan 63 aday maden tespit edilmiştir. Bu liste oluşturulurken, uluslararası kritik ve stratejik maden listeleri, TÜİK’in dış ticaret verileri (TÜİK, 2023), Herfindahl-Hirschman indeksi ve daha önce yapılan çalışmalar göz önünde

bulundurulmuştur. Belirlenen 63 aday maden, geniş bir yelpazeyi kapsamakta olup Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Aday Madenler (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Aday Madenler						
Altın	Bor	Fosfat	Kalay	Manyezit	Pomza	Tantalyum
Alüminyum / Boksit	Cıva	Galyum	Kaolin	Metalik Silisyum	Potasyum	Tellür
Antimuan	Çinko	Germanyum	Kireçtaşı	Molibden	Renyum	Titanyum
Arsenik	Demir	Grafit	Kobalt	NTE*	Rodyum	Toryum
Bakır	Diatomit	Gümüş	Kömür	Nikel	Rubidyum	Trona
Barit	Doğal Taşlar	Hafniyum	Krom	Niyobyum	Selenyum	Tungsten
Bentonit	Elmas	İndiyum	Kurşun	Paladyum	Sezyum	Uranyum
Berilyum	Feldspat	Jips	Lityum	Perlit	Skandiyum	Vanadyum
Bizmut	Florit	Kadmiyum	Manganez	Platin	Stronsiyum	Zirkonyum

* NTE: Nadir Toprak Elementleri

2.3. Kritiklik Puanı Hesaplaması

Aday madenler arasından 37 maden için kritiklik puanı hesaplamaları yapılmıştır (Tablo 2). Bu madenlerin seçimi yapılırken, küresel kritik ve stratejik maden listeleri, yenilenebilir enerji sektöründeki kullanımları, dış ticaret verileri, piyasa durumu ve politik istikrar gibi faktörler dikkate alınmıştır.

Tablo 2. Aday Madenler Arasından Seçilen ve Kritiklik Puan Hesaplaması Yapılan Madenler (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Kritiklik Puan Hesaplaması Yapılan Madenler		
Alüminyum	Florit	Lityum
Antimuan	Galyum	Manganez
Arsenik	Germanyum	Manyezit
Bakır	Grafit	Molibden
Barit	Gümüş	Nadir Toprak Elementleri
Bentonit	İndiyum	Nikel
Berilyum	Kadmiyum	Niyobyum
Bizmut	Kalay	Paladyum
Bor ve Borat Mineralleri	Kaolin	Platin
Cıva	Kobalt	Titanyum
Çinko	Kömür	Trona
Demir	Krom	
Feldspat	Kurşun	

2.4. Kritiklik Değerlendirme Alt Kategorileri ve Ağırlıklandırmalar

Kritiklik puanı, beş ana kategori altında toplanan toplam 12 alt kategorinin değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Bu kategoriler ve puanlardaki ağırlıkları şöyledir:

- **Tedarik Riski (%25):** Tükenme süresi, rezerv yoğunluğu, cevher üretim yoğunluğu, ülke rezerv yoğunluğu ve ülke üretim yoğunluğu alt kategorilerini içerir.
- **Fiyat Riski (%25):** Fiyat değişikliği ve fiyat değişkenliği alt kategorilerini içerir.
- **Talep Riski (%25):** Maden üretim miktarındaki değişiklik ve iç talep değişikliği alt kategorilerini içerir.

- **Geri Dönüşüm Riski (%20):** Stoklar ve geri dönüştürülebilirlik alt kategorilerini içerir.
- **Potansiyel Risk (%5):** Kullanım kısıtlamaları olasılığı alt kategorisini içerir.

Bu alt kategorilerin her birine 0, 1, 2 veya 3 puan verilmiştir. Örneğin, rezerv yoğunluğu hesaplanırken, küresel rezervin %90'ından fazlasına sahip madenlere 3 puan, %80-90 arası için 2 puan, %70-80 arası için 1 puan ve %70'ten az olanlar için 0 puan verilmiştir. Toplamda, en yüksek kritiklik puanı 35 olarak belirlenmiştir. Derecelendirme kuralları Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Derecelendirme Kuralları (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Kategoriler	Alt kategoriler	Derecelendirme Kuralları			
		0	1	2	3
Tedarik riski	Tükenme süresi	>150 yıl	100-150 yıl	50-100 yıl	50 yıl>
	Rezerv yoğunluğu	<%70	%70-80	%80-90	%90<
	Cevher üretim yoğunluğu	<%70	%70-80	%80-90	%90<
	Ülke rezerv yoğunluğu	>10%	5-10%	2,5-5%	2,5%<
	Ülke üretim yoğunluğu	>10%	5-10%	2,5-5%	2,5%<
Fiyat riski	Fiyat değişikliği	<%125	%125-150	%150-200	%200<
	Fiyat değişkenliği	<%125	%125-150	%150-200	%200<
Talep riski	Maden üretim miktarındaki değişiklik	<%125	%125-150	%150-200	%200<
	İç talep değişikliği (ton)	<105%	105-110%	110-120%	120%<
Geri dönüşüm kısıtlaması	Stoklar	Hazırlandı	Hazırlanmadı	-	-

2.5. Dış Ticaret Verilerinin Rolü

Dış ticaret verileri, kritiklik değerlendirmesinde ek bir parametre olarak kullanılmıştır. İthalat ve ihracat rakamları, ham ve işlenmiş cevher/ara ürün kategorilerinde ayrı ayrı incelenmiştir.

- Yüksek ithalat bedeline sahip madenler, potansiyel dışa bağımlılık riski nedeniyle öne çıkmıştır.
- Yüksek ihracat değerine sahip madenler ise, olası ticaret kısıtlamaları durumunda potansiyel refah kaybı riski taşıdıkları için önemli kabul edilmiştir.
- Dış ticaret hacmi 10 milyon ABD Doları üzeri veriler dikkate alınmıştır.
- Dış ticaret hacmi 10 milyon ile 450 milyon ABD Doları arasında olan madenlere, risk değerlendirme puanlarına göre 3,5-35 arası puanlar verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. İhracat/İthalat Puanlaması (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

İhracat/İthalat (\$)	Puan
<10.000.000	0
10.000.000 - 50.000.000	3,5
50.000.000 - 100.000.000	7
100.000.000 - 150.000.000	10,5
150.000.000 - 200.000.000	14
200.000.000 - 250.000.000	17,5
250.000.000 - 300.000.000	21
300.000.000 - 350.000.000	24,5
350.000.000 - 400.000.000	28
400.000.000 - 450.000.000	31,5
>450.000.000	35

3. NİHAİ PUAN DEĞERLENDİRMESİ

Nihai puan, risk puanlamasının %70'i, ihracat puanının %10'u ve ithalat puanının %20'si toplanarak elde edilmiştir. Bu yaklaşım, bor ve trona gibi Türkiye'nin pazar lideri olduğu madenlerin ihracat değerleri sayesinde kritik maden olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Çalışma sonucunda, 37 maden üç ana kritiklik kategorisinde sınıflandırılmıştır.

3.1. Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler

Kritiklik puanı 16 ve üzerinde olan bu madenler, Türkiye için en yüksek öneme sahip olarak belirlenmiştir. Bu madenler hem küresel arz riskleri hem de Türkiye'nin ekonomik ve endüstriyel ihtiyaçları açısından büyük önem taşımaktadır. Tablo 5'de ülkemiz için belirlenen yüksek öneme sahip kritik madenler ve başlıca kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 5. Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler Listesi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler	Önemi/Başlıca Kullanım Alanı
Lityum	Özellikle elektrikli araç bataryaları ve enerji depolama sistemleri için hayati öneme sahiptir.
Gümüş	Elektronik ve yenilenebilir enerji teknolojilerinde yaygın olarak kullanılır.
Titanyum	Hafif, dayanıklı ve korozyona karşı dirençli bir metal olup havacılık ve savunma sanayi için kritiktir.
Demir	Çelik ve alaşımların temel hammaddesidir.
Manganez	Çelik ve alaşımların üretiminde kullanılır.
Çinko	Korozyon önleyici kaplamalar ve çeşitli alaşımlar için önemlidir.
Bakır	Elektrik ve elektronik endüstrisinin vazgeçilmezidir.
Alüminyum	Hafiflik ve dayanıklılık gerektiren birçok sektörde (otomotiv, havacılık vb.) kullanılır.

3.2. Önemli Kritik Madenler

Kritiklik puanı 10 ile 16 arasında olan 19 maden, "Önemli Kritik Madenler" kategorisinde yer almaktadır. Bu madenler, yüksek öneme sahip madenler kadar acil bir risk taşımaları da, arz güvenliği ve ekonomik istikrar açısından yakından takip edilmelidir. Tablo 6'da ülkemiz için belirlenen yüksek öneme sahip kritik madenler ve başlıca kullanım alanları verilmiştir.

3.3. Potansiyel Kritik Madenler

Kritiklik puanı 10'dan düşük olan 10 maden, "Potansiyel Kritik Madenler" olarak belirlenmiştir. Bu madenler, mevcut koşullarda daha az riskli görünse de, gelecekteki teknolojik gelişmeler, piyasa değişimleri veya üretimdeki azalmalar gibi faktörler nedeniyle kritiklik dereceleri artabilir. Tablo 7'de ülkemiz için belirlenen yüksek öneme sahip kritik madenler ve başlıca kullanım alanları verilmiştir.

3.4. Stratejik Madenler

Savunma Sanayii Başkanlığı ile yapılan iş birliği çerçevesinde, ulusal güvenlik açısından kilit rol oynayan 26 stratejik maden listesi oluşturulmuştur. Bu madenlerin 10 tanesi hem kritik hem de stratejik maden olarak belirlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 6. Önemli Kritik Madenler Listesi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Önemli Kritik Madenler	Önemi/Başlıca Kullanım Alanı
Nikel	Paslanmaz çelik ve süper alaşımların üretiminde kritik bir bileşendir.
NTE	Akıllı telefonlardan elektrikli araçlara kadar birçok ileri teknoloji ürününde kullanılır.
Kömür	Sanayi ve enerji üretimi için hayati bir kaynaktır.
Paladyum	Otomotiv endüstrisinde katalitik konvertörler için vazgeçilmezdir.
Kobalt	Şarj edilebilir piller ve süper alaşımların üretiminde kullanılır.
Bizmut	Kurşun yerine kullanılan, alaşım ve tesisat endüstrisi için önemlidir.
Arsenik	Elektronik sanayisinde yarı iletkenlerin üretiminde kullanılır.
Molibden	Çeliğin sertliğini ve tokluğunu artıran önemli bir alaşım elementidir.
Galyum	LED teknolojisi ve yarı iletken endüstrisi için hayati öneme sahiptir.
Kurşun	Enerji depolama çözümleri ve batarya üretiminde kullanılır.
Kadmiyum	Batarya üretimi ve galvanizleme gibi endüstriyel faaliyetler için önemlidir.
İndiyum	Dokunmatik ekran ve sıvı kristal ekran (LCD) üretiminde kullanılır.
Germanyum	Fiber optik kablolar ve güneş pilleri gibi yüksek teknoloji ürünlerinde kullanılır.
Niyobyum	Yüksek mukavemetli çelik ve süper alaşımların üretiminde kullanılır.
Kalay	Lehimleme ve korozyon önleyici kaplamalar için kritik öneme sahiptir.
Cıva	Maden arama ve işletmeciliği için stratejik bir metaldir.
Antimuan	Yüksek kapasiteli akümülatörler ve alev geciktiricilerin üretiminde kullanılır.
Barit	Petrol ve doğalgaz sondajında kullanılan, ikamesi zor bir mineraldir.
Grafit	Lityum-iyon bataryaların anot üretiminde temel bir maddedir.

* NTE: Nadir Toprak Elementleri

Tablo 7. Potansiyel Kritik Madenler Listesi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Potansiyel Kritik Madenler	Önemi/Başlıca Kullanım Alanı
Berilyum	Hafifliği, dayanıklılığı ve yüksek ısıya karşı direnci sayesinde uzay ve havacılık gibi kritik sektörlerde kullanılır.
Florit	Alüminyum ve çelik üretimi ile kimya endüstrisi için önemli bir madendir.
Krom	Paslanmaz çelik ve diğer alaşımların üretiminde korozyon direncini artırmak için kullanılır.
Bor	Cam, seramik ve deterjan endüstrileri başta olmak üzere birçok alanda kullanılan çok yönlü bir madendir.
Platin	Otomotiv sektöründe katalitik konvertörlerde ve mücevherat yapımında yaygın olarak kullanılır.
Manyezit	Ateşe dayanıklı (refrakter) malzeme üretiminde ve magnezyum kaynağı olarak kullanılır.
Feldspat	Seramik, cam ve dolgu malzemeleri gibi endüstrilerde kullanılan önemli bir madendir.
Kaolen	Kağıt, seramik ve kozmetik gibi endüstrilerde dolgu ve kaplama malzemesi olarak kullanılır.
Trona	Soda külü (sodyum karbonat) kaynağı olup cam ve deterjan üretiminde kullanılır.
Bentonit	Sondaj çamurlarında, dökümhanelerde ve inşaat projelerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılır.

Tablo 8. Stratejik Maden Listesi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025)

Maden Adı	Savunma Sanayisinde Başlıca Kullanım Alanları
*Alüminyum	Çelik ve diğer alaşımlar
*Çinko	Çelik ve diğer alaşımlar
*Demir	Çelik ve diğer alaşımlar
Hafniyum	Türbinli motor süperalaşımları
İterbiyum	Lazer uygulamaları
İtriyum	Türbinli motor süperalaşımları ve lazer uygulamaları
Karbon	Çelik ve diğer alaşımlar
*Kobalt	Türbinli motor süperalaşımları ve çelik alaşımları
*Krom	Çelik ve diğer alaşımlar
Lantan	Türbinli motor süperalaşımları
Magnezyum	Çelik ve diğer alaşımlar
*Manganez	Çelik ve diğer alaşımlar
*Molibden	Çelik ve diğer alaşımlar
Neodimyum	Lazer uygulamaları
*Nikel	Çelik ve diğer alaşımlar
*Niyobyum	Türbinli motor süperalaşımları ve çelik alaşımları
Renyum	Savunma Sanayii Süper Alaşım Geliştirme Projeleri
Rutenyum	Savunma Sanayii Süper Alaşım Geliştirme Projeleri
Seryum	Türbinli motor süperalaşımları
Silisyum	Çelik ve diğer alaşımlar
Tantalyum	Türbinli motor süperalaşımları
*Titanyum	Çelik ve diğer alaşımlar
Tungsten	Çelik ve diğer alaşımlar
Uranyum	Enerji kaynağı ve askeri uygulamalar
Vanadyum	Çelik ve diğer alaşımlar
Zirkonyum	Çelik ve diğer alaşımlar

* Hem kritik hem de stratejik madenlerdir.

Stratejik madenlere olan talep, miktar bazında daha az olabilir, ancak tedarik zincirindeki herhangi bir aksaklık kısa sürede ciddi güvenlik zafiyetlerine neden olabilir. Bu madenlerin birçoğu, diğer madenlerin üretimi sırasında yan ürün olarak veya atıklardan elde edilmektedir. Bu durum, üretim yöntemlerinin sınırlı olması nedeniyle daha detaylı bir planlama gerektirmektedir.

4. SONUÇ VE GELECEK PROJEKSİYONLARI

Bu çalışma, Türkiye'nin ulusal çıkarları doğrultusunda madenlerin kritiklik ve stratejik önemini değerlendiren çok parametrelili bir analizin bulgularını sunmaktadır. Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nun yöntemi temelinde, madenlerin arz, talep, fiyat ve çevresel risklerinin yanı sıra dış ticaret verileri de dikkate alınarak 37 maden için kapsamlı bir kritiklik puanı değerlendirilmesi yapılmıştır. Analizler sonucunda, bu madenler üç ana kategoriye ayrılmıştır.

- **Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler:** Kritiklik puanı 16 ve üzeri olan lityum, gümüş, titanyum, demir, manganez, çinko, bakır ve alüminyum olmak üzere 8 maden bu kategoriye dahil edilmiştir.

- **Önemli Kritik Madenler:** Kritiklik puanı 10-16 arasında değişen 19 maden (nikel, nadir toprak elementleri, kömür, paladyum, kobalt, bizmut, arsenik, molibden, galyum, kurşun, kadmiyum, indiyum, germanyum, niyobyum, kalay, cıva, antimuan, barit ve grafit) bu kategoride değerlendirilmiştir.
- **Potansiyel Kritik Madenler:** Kritiklik puanı 10'dan düşük olan berilyum, florit, krom, bor, platin, manyezit, feldspat, kaolen, trona ve bentonit bu grupta yer almaktadır.

Ülkemizin kritik maden listesinde yer alan madenler diğer ülkelerin listeleriyle karşılaştırılmış olup bu madenlerin toplam kaç ülkede kritik listede yer aldığı Tablo 9'da gösterilmiştir.

Ülkemizin "Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler" kategorisinde yer alan ve lityum (15 ülke), titanyum (13 ülke) ve alüminyum (12 ülke) gibi madenler, ABD, AB, Kanada, Avustralya, Birleşik Krallık gibi birçok ülke tarafından kritik olarak kabul edilmektedir. Bu durum, bu madenlerin modern sanayi (yeşil enerji, havacılık, ileri teknoloji vb.) için evrensel olarak hayati olduğunu ve küresel tedarik zincirlerinde ortak bir risk oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca gümüş (1 ülke) ve demir (6 ülke) gibi madenlerin Türkiye için yüksek öneme sahipken, küresel ölçekte daha az ülke tarafından kritik görülmesi dikkat çekicidir. Bu durum, Türkiye'nin kendi jeopolitik konumu, sanayi yapısı veya arz güvenliğine ilişkin benzersiz riskler nedeniyle bu madenlere stratejik öncelik vermektedir.

Ülkemizin "Önemli Kritik Madenler" kategorisinde yer alan paladyum (15 ülke), kobalt (15 ülke) ve nikel (14 ülke) gibi madenlerin yüksek sayıda ülke (ABD, AB, Kanada, Brezilya, Avustralya, G. Kore, Birleşik Krallık vb.) tarafından kritik olarak tanımlanması, bu metallerin başta elektronik ve enerji depolama sistemleri olmak üzere ileri teknoloji uygulamalarındaki vazgeçilmez rolüne işaret etmektedir. Cıva (2 ülke), kadmiyum (3 ülke) gibi madenlerin düşük sayıda ülke tarafından kritik görülmesi, bu madenlerin kritiklik durumunun bölgesel veya ulusal sanayi odaklarına bağlı olduğunu göstermektedir.

Ülkemizin "Potansiyel Kritik Madenler" kategorisinde yer alan trona (1 ülke) ve bentonit (1 ülke) gibi madenlerin sadece Türkiye için kritik görülmesi, bu kaynakların Türkiye'nin ulusal sanayisi için önem taşıdığını ve ülkenin kendi kendine yeterliliği açısından öncelikli olduğunu vurgulamaktadır.

Raporda belirtilen tüm madenler, mevcut koşullar altında Türkiye için kritik maden konumundadır. Ancak kritiklik puanları, bu madenlerin önceliklendirilmesi için bir yol haritası sunmaktadır. Örnek olarak, 10 yıl önce dünya için çok önemli olmayan grafit gibi bir maden, bugün tüm ülkelerin stok ve üretim planlaması yaptığı bir maden haline gelmiştir. Bu durum, kritiklik puanlarının sürekli olarak güncellenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu rapor, ülkemizin yeşil enerji dönüşümü, ileri teknoloji uygulamaları ve savunma sanayi gelişimi için ihtiyaç duyulan madenler açısından bir projeksiyon sunmaktadır. Aynı zamanda, tedarik zinciri güvenliği, stok planlaması, cevher ihracat standartları ve üretim planlamasını içeren kapsamlı bir yol haritasının hazırlanması gerektiğini de ortaya koymuştur. Bu hedefler doğrultusunda, Bakanlığımız tarafından 2025 yılı içerisinde "Kritik Madenler Strateji Belgesi" hazırlama çalışmalarına başlanmıştır.

Bu strateji belgesi, sadece kamu kurumlarının değil, özel sektörün de bu hedefleri benimsemesi için gerekli teşvik mekanizmalarını içerecektir. Kritik madenlerin etkin yönetimi, Türkiye'nin ekonomik ve ulusal güvenliğini güçlendirecek, daha sürdürülebilir ve rekabetçi bir geleceğin inşasına katkı sağlayacaktır.

Tablo 9. Türkiye ile Diğer Ülkelerin Kritik Maden Listesinde Yer Alan Madenlerin Karşılaştırması

Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler	Lityum	15
	Gümüş	1
	Titanyum	13
	Demir	6
	Manganez	14
	Çinko	6
	Bakır	10
	Alüminyum	12
Önemli Kritik Madenler	Nikel	14
	NTE	13
	Kömür	4
	Paladyum	15
	Kobalt	15
	Bizmut	11
	Arsenik	5
	Molibden	11
	Galyum	12
	Kurşun	4
	Kadmiyum	3
	İndiyum	10
	Germanyum	10
	Niyobyum	11
	Kalay	8
	Cıva	2
	Antimuan	11
	Barit	5
	Grafit	13
	Potansiyel Kritik Madenler	Berilyum
Florit		8
Krom		8
Bor		5
Platin		15
Manyezit		10
Feldspat		3
Kaolen		1
Trona		1
Bentonit		1

* NTE: Nadir Toprak Elementleri

KAYNAKLAR

- BEIS. (2022), *Resilience for the Future: The United Kingdom's Critical Minerals Strategy*, Department for Business, Energy & Industrial Strategy.
- DISR. (2023), *Australia Critical Minerals Strategy 2023–2030*, Department of Industry, Science and Resources.
- European Commission. (2023), *Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – "Final Report"*, Brussels: European Commission.
- METI. (2023), *Kritik Minerallerin İstikrarlı Arzını Sağlamaya Yönelik Girişimlere İlişkin Politika, Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı*, https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic_security/metal/torikumihoshin.pdf adresinden alındı
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2025), *Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler*, Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- TÜİK. (2023), *TÜİK Dış Ticaret İstatistikleri*, <https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/disticaret.zul?param1=25¶m2=4&sitcrev=0&isicrev=0&sayac=5802> adresinden alındı
- USDOE. (2023), *Notice of Final Determination on 2023 DOE Critical Materials List*.

Maden Mevzuatı Açısından Kritik ve Stratejik Madenler

Fatih Pekdemir

*Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye,
fatih.pekdemir@mapeg.gov.tr*

Behzat Gökçen Demir

*Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye,
behzatgokcen.demir@mapeg.gov.tr*

Özgün Türkeli

*Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye,
ozgun.turkeli@mapeg.gov.tr*

Kürşad Durmaz

*Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye,
kursad.durmaz@mapeg.gov.tr*

ÖZET: Madenler, insanlık tarihinin birçok döneminde önemli hammadde kaynakları olarak aranmış ve işletilmiştir. Bu kapsamda madenlerin aranması ve işletilmesi için gerekli olan madencilik faaliyetleri de tarihsel süreçte önemli bir faaliyet alanı olmuştur. Günümüzde madenler, kritik ve stratejik tanımlamaları ve sınıflandırılmaları ile gündeme gelmektedir. Gelişmiş birçok ülke, özellikle ekonomileri ve savunma sanayileri açısından önemli olan kritik ve stratejik maden listelerini belirlemiştir. Ülkeler, belirlemiş oldukları bu listeleri dönem dönem güncellemektedir. Türkiye'nin kritik ve stratejik madenleri de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu kapsamında belirlenmiştir. Bu rapor kapsamında, sekizi yüksek öneme sahip, on dokuzu önemli ve onu ise potansiyel kritik olmak üzere otuz yedi maden kritik maden olarak belirlenmiştir. On kritik madenin (krom, kobalt, molibden, nikel, niyobyum, titanyum, alüminyum, çinko, demir, manganez) içerisinde yer aldığı toplamda yirmi altı maden ise stratejik maden olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada söz konusu raporda yer alan madenlerin, maden mevzuatındaki yeri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Özellikle maden arama ve işletme ruhsat sayıları ile üretimleri konularına değinilerek, literatüre bu konularda katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Maden Kanunu, Maden Yönetmeliği, kritik maden, stratejik maden

1. GİRİŞ

Dünya genelinde yaşanan arz ve talep riskleri, sürdürülebilirlik, ekonomik gelişmeler, yeşil üretim süreçleri gibi birçok önemli husus dikkate alınarak ülkeler tarafından hammadde kaynaklarının temin edilmesi, üretilmesi ve kullanılması noktalarında kaynakların korunabilmesi açısından kritik ve stratejik terimlere dayanan yeni modeller oluşturulmaktadır. Ülkelerin üretim sektörleri açısından oldukça gerekli olan ve ikamesi düşük hammaddeler genellikle ithal edilmekte ve temini öncelikli hammadde özelliği taşımaktadır. Bu hammaddeler tedarik riskleri yönüyle de değerlendirilmektedir.

Tedarik riski olan hammaddelerden görece daha öncelikli olanlar kritik hammaddeler, bu hammaddelerden ülkenin ekonomik ve savunma güvenliğini tehlikeye atacağı öngörülenler ise stratejik hammaddeler olarak değerlendirilmektedir (Yüce, Burat ve Zambak, 2025). Enerji ve savunma teknolojilerinin hızla yaygınlaşmasıyla birlikte kritik minerallere olan talebin artmaya devam edeceği değerlendirilmektedir. Mevcut politikalar senaryosuna (STEPS) göre, 2040 yılına kadar lityum talebinin beş kat, grafit ve nikel talebinin iki kat, kobalt ve nadir toprak elementleri talebinin %50-60 oranında, bakır talebinin ise %30 oranında artacağı öngörülmektedir (Gül, 2025).

Türkiye'nin kritik ve stratejik madenlerinin belirlenebilmesi için öncelikli olarak Avrupa Birliği (Avrupa Komisyonu, 2023), Amerika Birleşik Devletleri (USDOE, 2023), Japonya (METI, 2023), Birleşik Krallık (BEIS, 2022) ve Avustralya (DISR, 2023) stratejileri gibi küresel çalışmalar incelenmiş ve uygulanmış metotlar analiz edilmiştir. Yapılan inceleme, değerlendirme ve çalışmalar sonucunda Türkiye'nin kritik ve stratejik madenleri belirlenmiştir. Kritik madenler; arz kesintisi veya yüksek fiyat artışı halinde ciddi ekonomik sorunların veya tedarik güvenlik zafiyetinin doğabileceği, sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan madenler, stratejik madenler ise ulusal güvenlik ve ekonomik refah için temel öneme sahip olan ve iç veya dış etkenler nedeniyle arzı kısıtlanabilir madenler olarak tanımlanmıştır (ETKB, 2025).

Türkiye'de madenlerin aranabilmesi, üretilebilmesi, üzerlerinde hak sahibi olunabilmesi ve terk edilebilmesine yönelik usul ve esaslar 3213 sayılı Maden Kanunu ile düzenlenmiştir. 15.06.1985 tarih ve 18785 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden Kanununda yıllar içerisinde birçok kez değişiklik yapılmıştır. Maden Kanununda maden; "yer kabuğunda ve su kaynaklarında tabii olarak bulunan, ekonomik ve ticari değeri olan petrol, doğal gaz, jeotermal ve su kaynakları dışında kalan her türlü madde" olarak tanımlanmıştır. Madenler, Maden Kanununun mer'î hükümleri açısından I., II., III., IV. ve V. grup olmak üzere beş ana grup altında sınıflandırılmış, 11.12.2022 tarih ve 32040 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maden Yönetmeliğinin 5 inci maddesinde ise daha detaylı olarak belirtilmiştir. Ayrıca, Kanunun 2 nci maddesinde madenlerin özellikleri ile sayılan gruplar içerisinde yer almayan bir madenin grubunun tespitinin Yönetmelik ile belirleneceği hüküm altına alınmıştır (Maden Kanunu, 1985; Maden Yönetmeliği, 2022). Bu çalışmanın konusu oluşturan madenler, Maden Kanununun 2 nci maddesinde sayılan maden grupları içerisinde IV. grubun (a), (b), (c) ve (ç) bentlerinde yer almaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2025 yılında yayımlanan Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nda yer alan kritik ve stratejik madenler değerlendirilmeye alınmıştır. Bu madenlere yönelik olarak Maden Kanununda yer alan düzenlemeler genel olarak ele alınmış, detaylı olarak bütün süreçlere değinilmemiştir. Ayrıca, maden sahalarında gerçekleştirilen maden arama veya işletme faaliyetleri çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Bu çalışma kapsamında, özellikle kritik maden olarak belirlenen madenlere yönelik arama ve işletme ruhsat sayıları ile üretim miktarları araştırılmıştır. Bu madenlerin maden ruhsat sayıları ve üretim miktarları da Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) verilerinden elde edilmiştir. Maden ruhsatları açısından arama ruhsatları ve işletme izinli işletme ruhsatları değerlendirmeye alınmış, işletme izni düzenlenmeyen işletme ruhsatları kapsam dışında tutulmuştur.

3. MADEN MEVZUATINDA KRİTİK VE STRATEJİK MADENLER

Ülkelerin hammadde teminleri, küresel ekonomi ve diplomasi politikaları açısından son otuz yıl içerisinde önemli bir husus haline gelmiştir. Özellikle küresel sanayi ürünlerinin ticareti pazarında önemli paya sahip ülkeler, temin edilememesi halinde ekonomilerini etkilemesi yüksek olan hammaddeler ile ilgili kritik hammadde listeleri hazırlamıştır. Bu listeler belirli dönemlerde güncellenmektedir. Bu hammaddelerin kritik ve stratejik olarak tanımlanmaları, temelde ülkeler için belirli algoritmalar kullanılarak ekonomik önem ve temin riski parametreleri hesaplanması ile yapılmaktadır (Yüce ve ark, 2025). Genel anlamda kritik minerallerin temel özellikleri; (a) ikame edilemezlik (lityum, kobalt ve nikel madenlerinin enerji depolama sistemleri için vazgeçilemez olduğu gibi), (b) jeopolitik yoğunlaşma ve (c) talep artışı olarak sınıflandırılabilir (Gül ve Pekdemir, 2024).

Dünyadaki gelişmelere benzer şekilde Türkiye'nin kritik ve stratejik madenlerinin belirlenebilmesi amacıyla ilk olarak toplamda altmış üç aday maden belirlenmiştir. Aday madenler, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'nin ithalat-ihracat rakamları, Herfindahl-Hirschman İndeksi, önceki çalışmalar, küresel kritik ve stratejik maden listeleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirme ve çalışmalar sonucunda sekizi yüksek öneme sahip, on dokuzu önemli ve onu ise potansiyel kritik olmak üzere otuz yedi maden kritik maden olarak, on kritik madenin (krom, kobalt, molibden, nikel, niyobyum, titanyum, alüminyum, çinko, demir, manganez) içerisinde yer aldığı toplamda yirmi altı maden ise stratejik maden olarak belirlenmiştir (ETKB, 2025).

24.07.2025 tarih ve 32965 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 7554 sayılı Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile Maden Kanununda önemli değişiklikler yapılmıştır. Bu değişikliklerde, kritik ve stratejik madenlere yönelik olarak Maden Kanununun 7 nci ve 8 inci maddesinde düzenlemeler yer almıştır (Resmi Gazete, 2025a).

7554 sayılı Kanun ile Maden Kanununun 8 inci maddesi, başlığı ile birlikte yeniden düzenlenmiştir. Bu düzenleme ile özetle, kritik ve stratejik maden tanımlaması yapılarak, bu madenlerin nasıl tespit edileceği, bir önceki yıldaki üretim miktarının yüzde onunu geçmemek kaydıyla belirli bir oran veya miktarda stoklanmalarına Cumhurbaşkanı tarafından karar verilebileceği ve bu madenlere yönelik madencilik faaliyetleri açısından acele kamulaştırma yapılabileceği hüküm altına alınmıştır. Bu kapsamda ilgili mevzuat metni aşağıdaki şekildedir:

“Stratejik veya kritik madenler:

Madde 8

(1) Arz kesintisi veya yüksek fiyat artışı hâlinde ciddi ekonomik sorunlar veya güvenlik zafiyeti doğurabilecek, sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan madenler, kritik maden olarak kabul edilir.

(2) Ulusal güvenlik ve ekonomik refah için yüksek öneme sahip olan ve iç veya dış etkenler nedeniyle arzı kısıtlanabilecek madenler, stratejik maden olarak kabul edilir.

(3) Stratejik veya kritik madenler, Millî Savunma Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ticaret Bakanlığı ile ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının görüşleri alınarak Bakanlık tarafından tespit edilir.

(4) Stratejik veya kritik madenlere ilişkin madencilik faaliyetleri için 4/11/1983 tarihli ve 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu hükümleri doğrultusunda acele kamulaştırma yapılabilir.

(5) Bir önceki yıldaki üretim miktarının yüzde onunu geçmemek kaydıyla stratejik veya kritik madenlerin belirli bir oran veya miktarda ruhsat sahiplerince stoklanmasına Cumhurbaşkanınca karar verilebilir.”

7554 sayılı Kanun ile kritik ve stratejik madenler ile ilgili olarak, yapılan tanımlama (8 nci madde değişikliği) dışında Maden Kanununun 7 nci maddesinin son fıkrası da yeniden düzenlenmiştir: “Üçüncü veya dördüncü fıkra uyarınca ilgili kurum tarafından IV. grup ile stratejik veya kritik madenlere izin verilmeyen hallerde; sahanın rezerv potansiyeli, yeri, cinsi ve ekonomiye katkısı gibi hususlar dikkate alınarak Bakanlıkça yapılacak başvuru üzerine izin hakkında nihai karar, üstün kamu yararı çerçevesinde Kurul tarafından verilir. Kurul, madencilik faaliyeti lehine karar verirse ilgili kurum bir ay içinde izin kararını Genel Müdürlüğe gönderir ve ruhsat düzenlenir”. Özetle, söz konusu hüküm ile kritik ve stratejik madenlere yönelik madencilik faaliyetleri açısından izinlerin alınamaması durumunda nihai kararın üstün kamu yararı çerçevesinde Kurul tarafından verileceği düzenlenmiştir. Bu kapsamda Maden İzinleri Kurulunun Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik 13.11.2025 tarih ve 33076 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu Yönetmelik hükümlerinde Kurul Başkanının Cumhurbaşkanı tarafından görevlendirilen Cumhurbaşkanı Yardımcısı olacağı, Kurulun Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı, Hazine ve Maliye Bakanı, Sanayi ve Teknoloji Bakanı ile izinler hakkında karar vermeye yetkili Bakanlıkların veya idarelerin bağlı, ilgili, ilişkili bulunduğu bakanlıkların bakanlarından oluşacağı düzenlenmiştir (Resmi Gazete, 2025b).

3.1. Ruhsatlandırma ve İzin Süreçleri ile Genel Esaslar

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2025 yılında yayımlanan Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu’na göre kritik maden olarak belirlenen madenler genel olarak IV. grubun (a), (b) ve (c) bendinde yer almaktadır (Tablo 1, 2, 3). Ayrıca, on kritik madenin (krom, kobalt, molibden, nikel, niyobyum, titanyum, alüminyum, çinko, demir, manganez) içerisinde yer aldığı yirmi altı stratejik maden incelendiğinde ise bu madenlerin de IV. grubun (a), (b) ve (c) bentlerinde yer aldığı uranyumun ise IV. grubun (ç) bendinde yer aldığı anlaşılmaktadır. Stratejik madenler içerisinde sayılan ancak maden mevzuatında açıkça sayılmayan diğer madenlerin de IV. grup maden olarak değerlendirileceği düşünülmektedir. 7554 sayılı Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile Maden Kanununun 16 ncı maddesinde, IV. grubun farklı alt bentlerine ait ruhsatların ise üst üste verilebileceği yönünde düzenleme yapılmıştır (Resmi Gazete, 2025a). Bu grup madenler açısından başka bir istisna ise kamu kurum ve kuruluşlarına ait IV. grup (b) bendinde yer alan madenlere ilişkin ruhsatların rezerv kaybına sebep olmayacak şekilde, elektrik üretimine yönelik olmak üzere Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı onayı ile ayrı ruhsatlara bağlanabileceği (bölünebileceği) hükmüdür (Maden Kanunu, 1985).

Tablo 1. Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler Listesi (ETKB, 2025)

Maden	Maden Grubu
Lityum	IV. grup (a)
Gümüş, Titanyum, Demir, Manganez, Çinko, Bakır, Alüminyum	IV. grup (c)

**Titanyum, titan olarak değerlendirilmiştir.*

Tablo 2. Önemli Kritik Madenler Listesi (ETKB, 2025)

Maden	Maden Grubu
Barit, Grafit	IV. grup (a)
Kömür	IV. grup (b)
Nikel, Nadir Toprak Elementleri, Kobalt, Bizmut, Arsenik, Molibden, Galyum, Kurşun, Kadmiyum, İndiyum, Germanyum, Niyobyum, Kalay, Cıva, Antimuan	IV. grup (c)

**Paladyum maden mevzuatında sayılmamıştır.*

Tablo 3. Potansiyel Kritik Madenler Listesi (ETKB, 2025)

Maden	Maden Grubu
Fluorit, Bor, Manyezit, Feldspat, Kaolen, Trona, Bentonit	IV. grup (a)
Berilyum, Krom, Platin	IV. grup (c)

3.1.1. Arama ruhsat aşaması

IV. grup madenlerin ilk ruhsat aşaması arama ruhsatıdır. Arama ruhsatına, MAPEG tarafından belirlenecek şekilde (ihale veya müracaat yolu ile) hak sağlanabilmektedir. Arama ruhsat müracaatı, işletme ruhsat taban bedeli (2025 yılı için 143.805 TL) yatırılarak, ilk müracaat taahhünamesi ve belgeleri (Maden Yönetmeliği ek-6) ve dilekçe (ruhsat müracaat formu, Maden Yönetmeliği ek-5) ile üç nüsha halinde MAPEG'e doğrudan veya MAPEG internet sayfasında (www.mapeg.gov.tr) yayımlanan müracaat formu ile elektronik ortamda yapılabilmektedir.

Arama ruhsatına hak sağlamak için müracaat edilen alan, çakışmalı durumdaki mevcut haklar dikkate alınarak değerlendirilir. Talep edilen alanın hak sağlamaya uygun olan kısmına ait bilgileri içeren belge müracaat tarihinde müracaat sahibine verilir. Ayrıca sonuçlar, MAPEG internet sayfasında ilan edilir (müracaat sahibine ayrıca yazılı bir tebligat yapılmamaktadır).

Arama ruhsat dönemi olan tüm ruhsat grupları için arama ruhsatının düzenlendiği tarihten itibaren bir yıllık süre ön arama dönemidir. Genel arama dönemi, ön arama döneminin sonundan itibaren başlamak üzere IV. grup madenlerde iki yıldır. Detay arama dönemi ise genel arama döneminin sonundan itibaren başlamak üzere IV. grup madenlerde dört yıldır. Detay arama faaliyet raporunun uygun bulunması halinde IV. grup (b), (c) ve (ç) bendi maden arama ruhsatlarında detay arama dönemini takiben fizibilite çalışmalarına ihtiyaç duyularak gerekçesi ile birlikte MAPEG'e müracaatta bulunulması ve talebin uygun bulunması hâlinde, detay arama dönemi sonrasında iki yıllık bir fizibilite dönemine hak sağlanır. IV. grup (a) bendi maden arama ruhsatlarında ise detay arama dönemi son arama dönemidir.

Arama ruhsatlarında arama ruhsat süresinin sonuna kadar kaynak ve rezerv bilgilerini içeren işletme projesi verilerek işletme ruhsat talebinde bulunulmaması halinde arama ruhsatı iptal edilir. Genel olarak, IV. grup madenlerde detay arama dönemi, IV. grup (b), (c) ve (ç) bendi madenlerde ise talep edilmesi ve Genel Müdürlükçe uygun bulunması halinde fizibilite dönemine ilişkin yükümlülükler yerine getirilmeden işletme projesi verilememekte ve işletme dönemine geçilememektedir. Bir diğer önemli husus ise arama ruhsat dönemleri olan ön arama ve genel

arama dönemleri sonunda o döneme ilişkin kanuni açıdan açıdan teknik ve mali yükümlülüklerin yerine getirilmemesi halinde yatırılan teminat irat kaydedilerek arama ruhsatı iptal edilir (Maden Kanunu, 1985; Maden Yönetmeliği, 2022; MAPEG, 2025a).

Tablo 4. Kritik ve stratejik madenlere yönelik arama ruhsatları (2.552 adet) içerisinde belirtilen madenlerin arandığı belirtilen/beyan edilen ruhsat sayıları (MAPEG, 2025)

Maden	Kritiklik Derecesi	Bulunduğu ruhsat sayısı
Lityum	Yüksek Öneme Sahip	22
Gümüş	Yüksek Öneme Sahip	822
Titanyum (<i>titan olarak</i>)	Yüksek Öneme Sahip	4
Demir	Yüksek Öneme Sahip	766
Manganez	Yüksek Öneme Sahip	77
Çinko	Yüksek Öneme Sahip	952
Bakır	Yüksek Öneme Sahip	1.018
Alüminyum	Yüksek Öneme Sahip	130 (129'u boksit)
Nikel	Önemli	68
Nadir Toprak Elementleri	Önemli	3
Kömür	Önemli	192..
Paladyum	Önemli	1
Kobalt	Önemli	2
Molibden	Önemli	20
Kurşun	Önemli	856
Antimuan	Önemli	19
Barit	Önemli	12
Grafit	Önemli	14
Fluorit	Potansiyel	1
Krom	Potansiyel	185
Manezit	Potansiyel	8
Feldspat	Potansiyel	95
Kaolen	Potansiyel	15
Bentonit	Potansiyel	49

*Kritik ve stratejik madenlerine yönelik arama yapılacağı belirtilmiş/beyan edilmiş toplam arama ruhsat sayısı 2.552'dir. Maden ruhsatlarında birden fazla maden olabileceğinden bir ruhsat her maden için ayrı ayrı sayıya dahil edilmiştir.

** taş kömürü+linyit

MAPEG verilerine göre, Kasım 2025 tarihi itibarıyla kritik ve stratejik madenlerine yönelik arama yapılacağı belirtilmiş/beyan edilmiş 2.552 arama ruhsatı bulunmaktadır. Maden arama faaliyetleri sırasında veya işletme izni düzenlenmesi aşamasında özellikle kompleks oluşumlu metalik madenlerde isimlendirme yapılırken birden fazla maden ismi yer alabilmektedir. Örnek olarak; jeolojik oluşumda yer alan ve ekonomik olarak işletilebilir bakır, çinko ve kurşun madenleri için bakır+çinko+kurşun şeklinde bir isimlendirme yapılabilmektedir. Bu durum arama ruhsat sahasında üç madenin potansiyel olduğunu gösterebilmektedir. Bu çalışma kapsamında sunulan arama ruhsat sayıları (Tablo 4); belirtilen madenin tek isimli veya varsa kompleks olarak yer aldığı toplam ruhsat sayısıdır. Sadece bakır madeni olarak yer alan arama ruhsat sayısı yüz otuz dört iken, bakırın kompleks madenlerden biri olarak yer aldığı ruhsat sayısı sekiz yüz seksen dördttür. Bu sekiz yüz seksen dört ruhsat içerisinde bakır ile birlikte kurşun, çinko, altın, gümüş başta olmak üzere birçok

maden yer almaktadır. Başka bir ifade ile kritik ve stratejik madenlere yönelik toplam 2.552 ruhsat sahası içerisinde bakır madenin arandığı ruhsat sayısı bin on sekizdir. Bu verilere göre bakır madeni aramaya konu ilk sıradaki maden olmaktadır. Bakır madeninden sonra sırasıyla 952 ruhsat sahasında çinko, 856 ruhsat sahasında kurşun, 822 ruhsat sahasında gümüş ve 766 ruhsat sahasında demir madeni arama faaliyetinde bulunulması planlanmıştır. Bu verilerden görüleceği üzere aranılacak madene konu ruhsat sayısı açısından ilk beş sırada yüksek öneme sahip kritik madenlerden dört maden yer almıştır (Tablo 4).

3.1.2. İşletme ruhsat aşaması

Arama ruhsat süresi sonuna kadar arama faaliyetlerine ait arama dönemleri ile ilgili yeterlilik (teknik ve mali gereklilik) şartlarının yerine getirilmesi gerekir. IV. grup madenler için detay arama faaliyet raporu (eğer geçiş yapıldı ise IV. grup (b), (c) ve (ç) bendi maden arama ruhsatlarında fizibilite raporu) ile MAPEG'in yetkilendirdiği tüzel kişiler tarafından maden mühendisinin sorumluluğunda hazırlanan işletme projesinin (Maden Yönetmeliği ek-13) verilmesi ve diğer yükümlülüklerin yerine getirilmesi halinde işletme ruhsat talebinde bulunulabilir.

Arama faaliyeti sonrasında görünür ve muhtemel rezerv sınırlarının ve büyüklüğünün tespit edilebilmesi için madenin tenör/kalite dağılımı, madenin cinsine göre cevher damar kalınlıkları, kömür için kalori değeri belirlenir. İşletme projesinin hazırlanmasında kullanılacak verilerin belirlenebilmesi için gerekli aramaların yapılmış olması ve bu faaliyetlerin rezerv bilgilerinin IV. gruplar için hazırlanmış detay arama faaliyet raporu (veya fizibilite raporu) ile belgelenmesi zorunludur. Bu kapsamda, arama ruhsat döneminde ortaya çıkarılan rezerve ilişkin dayanakları ile birlikte belge ve bilgilerin verilmesi zorunludur.

Maden işletme ruhsatı düzenlendikten sonra madenin işletilmesi mümkün değildir. Bu nedenle işletme ruhsatı düzenlenmesinden sonra üretilecek madene ilişkin işletme izninin de alınması gereklidir. İşletme izni taleplerinin değerlendirmeye alınabilmesi için; (a) Maden Kanununun 7 nci maddesi gereği ilgili kamu kurum ve kuruluşlarından alınması gerekli izinlerin verildiğine dair belgelerin Genel Müdürlüğe sunulması (mülkiyet izni, ÇED kararı, işyeri açma ve çalışma ruhsatı ve varsa diğer izinler), (b) aktif edilmiş kayıtlı elektronik posta adresinin (KEP) veya UETS adresinin bulunması, (c) geçmiş dönemlere ait ruhsat harcı, ruhsat bedeli, çevre ile uyum teminatı ve Devlet hakkı borcu olmaması, (ç) yetkilendirilmiş tüzel kişi sözleşmesinin bulunması, (d) mevzuatın ilgili hükümleri kapsamında ibraz edilmesi gereken belgelerin tamamının eksiksiz bir şekilde ibraz edilmesi şarttır. Aksi takdirde talep reddedilir.

IV. gruplar ruhsatlarda süre uzatımları dahil ruhsat süresi elli yılı geçmeyecek şekilde projesine göre MAPEG tarafından belirlenir. Elli yıldan doksan dokuz yıla kadar sürenin uzatılmasına Cumhurbaşkanı yetkilidir. Ruhsat süresinin sonuna gelen ruhsat alanları başka bir işleme gerek kalmaksızın varsa buluculuk ve görünür rezerv geliştirme hakları da düşürülerek ihalelik saha konumuna getirilir. Ancak, kamu kurum ve kuruluşlarına ait ruhsatlarda süre sınırları uygulanmamaktadır. Kamu kurum ve kuruluşları tarafından ihale edilen ruhsat sahalarında ise ruhsat süresinin başlangıcı hak sahibi adına ruhsatın düzenlendiği tarihtir.

IV. grup (a) ve (c) bendi madenlerin projelerinin değerlendirilmesi esnasında mahallinde tetkik heyetlerinin ruhsat sahalarından nadir toprak elementlerinin tespitine yönelik numune almaları MAPEG tarafından istenebilir. Analiz sonuçlarına göre numunelerde ekonomik olarak değerlendirilebilecek nadir toprak elementi olduğunun tespit edilmesi halinde ruhsat sahibi ile Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü arasında ortak arama projesi geliştirilir. Bu çerçevede yapılan proje ortaklığının ticari ve teknik içeriği taraflarca karşılıklı müzakere edilerek belirlenir.

İşletme ruhsat döneminde, ruhsat alanı içerisinde arama faaliyetleri yapılabilmektedir. Ayrıca, IV. grup işletme ruhsatının düzenlendiği tarihten itibaren muhtemel rezerv alanlarının on yıl içinde ulusal maden kaynak ve rezerv raporlama koduna (UMREK) göre kaynak ve/veya rezerv haline getirilmeyen alanları ruhsattan taksir edilir. İşletme ruhsatlarında muhtemel rezerv alanlarının UMREK koduna göre kaynak ve/veya rezerv alanı haline getirilmesine yönelik yapılacak faaliyetler için Maden Kanununun 17 nci maddesinin dokuzuncu fıkrası hükmü uygulanır. İşletme ruhsatlarında, işletme izin alanı dışında kalan alanlarda görünür rezervin tespitine yönelik yapılacak arama faaliyetlerinde alınması gerekli izinler arama ruhsatları ile aynı hükümlere tabidir.

Tablo 5. Kritik madenlerin, işletme izinleri içerisinde yer aldığı işletme ruhsat sayıları (MAPEG, 2025b)

Maden	Kritiklik Derecesi	İşletme İzinli
Gümüş	Yüksek Öneme Sahip	132
Demir	Yüksek Öneme Sahip	158
Manganez	Yüksek Öneme Sahip	50
Çinko	Yüksek Öneme Sahip	169
Bakır	Yüksek Öneme Sahip	150
Alüminyum	Yüksek Öneme Sahip	41 (boksit:35)
Nikel	Önemli	32
NTE	Önemli	1
Kömür	Önemli	276 *
Kobalt	Önemli	3
Molibden	Önemli	9
Kurşun	Önemli	169
Kadmiyum	Önemli	3
Cıva	Önemli	1
Antimuan	Önemli	18
Barit	Önemli	28
Grafit	Önemli	2
Fluorit	Potansiyel	8
Krom	Potansiyel	400
Bor	Potansiyel	7
Manyezit + Hidromanyezit	Potansiyel	105
Feldspat	Potansiyel	181
Kaolen	Potansiyel	52
Trona	Potansiyel	2
Bentonit	Potansiyel	59

*taş kömürü+linyit

IV. grup (ç) bendi maden (uranyum, toryum, radyum gibi elementleri içeren radyoaktif mineraller ve diğer radyoaktif maddeler) ruhsatlarına yönelik işletme izni verilebilmesi için Nükleer Düzenleme Kurumundan yetkilendirme alınması zorunludur. IV. grup (ç) bendi ruhsat sahalarında alınacak tedbirler ile Maden Yönetmeliğinin 82 inci maddesinin dokuzuncu ve onuncu fıkraları kapsamında yapılacak faaliyetler hakkında Nükleer Düzenleme Kurumunun uygun görüşü alınır (Maden Kanunu, 1985; Maden Yönetmeliği, 2022).

2840 sayılı Bor tuzları, Trona ve Asfaltit Madenleri ile Nükleer Enerji Hammaddelerinin İşletilmesini, Linyit ve Demir Sahalarının Bazılarının İadesini Düzenleyen Kanun gereğince, kritik madenler içerisinde yer alan bor tuzları ile stratejik madenler içerisinde yer alan uranyumun aranması ve işletilmesi Devlet eliyle yapılabilmektedir. İlgili Kanun gereği, bu madenler için geçmiş dönemlerde (6309 sayılı Maden Kanunu kapsamında) düzenlenen gerçek ve özel hukuk tüzel kişilerine verilmiş ruhsatlar iptal edilmiştir.

MAPEG verilerine göre, Kasım 2025 tarihi itibarıyla işletme izinli ruhsatlarda kritik maden sayıları açısından ilk beş sırayı sırasıyla 400 ile krom (357'sinde krom, 43'ünde krom ile birlikte farklı madenler), 283 ile kömür grubu (liniyit, taşkömürü), 181 ile feldispat, 169 ile kurşun ve çinko madenleri almıştır (Tablo 5).

3.1.3. Maden üretim miktarları

Türkiye'nin belirlenmiş olan kritik madenlerine yönelik olarak son beş yıldaki maden üretim (2020-2024 yılları) miktarları incelendiğinde; 2024 yılına ait üretim miktarlarında önceki yıllara göre bazı madenlerde artış bazılarında ise azalma olduğu görülmektedir. 2024 yılında yüksek öneme sahip kritik madenlerden; yaklaşık olarak 65,85 ton gümüş, 20,2 milyon ton demir, 67,4 bin ton manganez, 316,8 bin ton çinko, 5,4 milyon ton bakır ve 4,5 milyon ton alüminyum (alüminyum ve boksit) üretim yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu üretimler içerisinde gümüş üretim değeri metal, diğer madenlerin ise üretim değeri tüvenan maden olarak belirtilmiştir (Tablo 6). 2024 yılında önemli kritik madenlerden yaklaşık olarak 839,9 bin ton nikel, 521,8 bin ton kobalt, 252,8 bin ton kurşun, 82,6 bin ton antimuan, 260,5 bin ton barit ve 26,3 bin ton grafit üretilmiştir. Ayrıca 1,3 milyon ton taş kömürü ve 86,7 milyon ton linyit üretimi yapılmıştır (Tablo 7). 2024 yılında potansiyel kritik madenlerden; 38,7 bin ton florit, 9,3 milyon ton krom, 5,9 milyon ton bor tuzları, 1,6 milyon ton manezit (manezit+hidromanezite), 8,9 milyon ton feldispat, 1,9 milyon ton kaolen, 17,4 milyon ton trona ve 2,5 milyon ton bentonit üretilmiştir (Tablo 8).

Tablo 6. Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenlerin Üretim Miktarları (MAPEG, 2025b)

Maden	Maden üretimi (ton)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Gümüş	98,27	162,67	143,26	96,13	65,85
Demir	21.454.648	16.051.307	17.703.929	16.765.922	20.282.301
Manganez	101.765	86.654	105.415	102.051	67.433
Çinko	318.882	442.421	479.923	458.815	316.885
Bakır	4.277.206	5.485.095	5.218.543	5.918.121	5.451.971
Alüminyum	3.010.809	3.315.865	4.275.214	3.574.223	4.556.924

Tablo 7. Önemli Kritik Madenlerin Üretim Miktarları (MAPEG, 2025b, 2025c)

Maden	Maden üretimi (ton)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Nikel	1.787.714	1.030.670	1.286.313	1.627.271	839.939
Kömür*	86.425.146	92.506.146	103.892.168	81.902.721	88.163.134
Kobalt	480.519	440.251	461.061	467.761	521.877
Kurşun	276.285	330.109	384.865	386.796	252.867
Antimuan	46.712	76.518	193.464	69.373	82.698
Barit	283.16	256.076	344.322	215.946	260.595

*taş kömürü+linyit

Tablo 8. Potansiyel Kritik Madenlerin Üretim Miktarları (MAPEG, 2025b, 2025c)

Maden	Maden üretimi (ton)				
	2020	2021	2022	2023	2024
Fluorit	19.896	10.347	17.251	32.406	38.701
Krom	6.164.598	6.960.682	8.278.123	8.159.767	9.300.745
Bor	6.556.072	9.435.579	5.703.452	4.171.502	5.953.723
Manyezit	1.560.818	1.927.280	1.820.067	1.333.727	1.604.180
Feldspat	10.050.911	12.936.959	15.781.540	9.478.457	8.983.207
Kaolen	1.224.745	1.748.013	2.289.367	1.348.022	1.996.713
Trona	14.612.653	17.381.069	17.626.419	17.476.650	17.469.410
Bentonit	1.658.837	2.020.355	2.018.993	2.494.366	2.528.367

4. SONUÇLAR

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalar sonucunda sekizi yüksek öneme sahip, on dokuzu önemli ve onu ise potansiyel kritik olmak üzere otuz yedi maden kritik maden olarak, on kritik madenin (krom, kobalt, molibden, nikel, niyobyum, titanyum, alüminyum, çinko, demir, manganez) içerisinde yer aldığı toplamda yirmi altı maden ise stratejik maden olarak belirlenmiştir (ETKB, 2025). Bu çalışma kapsamında, bu madenlerin maden mevzuatındaki yeri, ruhsat sayıları ve üretim miktarları araştırılmıştır.

Kritik ve stratejik maden olarak belirlenen madenler içerisinde maden mevzuatında sayılan madenler IV. grubun (a), (b), (c) ve (ç) bentlerinde yer almaktadır. Gelecek yıllarda yapılacak değerlendirmeler sonucunda mevcut diğer kritik ve stratejik madenlerin de IV. grup madenler içerisinde yer alabileceği değerlendirilmektedir.

Maden Kanununda, 24.07.2025 tarih ve 32965 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 7554 sayılı Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile yapılan değişiklik ile kritik ve stratejik maden tanımlaması yapılarak, Kanuna bu madenlere yönelik düzenleme eklenmiştir. Ayrıca, kritik ve stratejik madenlere için izin olarak alınanması durumunda üstün kamu yararı çerçevesinde Kurul tarafından karar verilecektir. Bu Kurul ile ilgili usul ve esaslar 13.11.2025 tarih ve 33076 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Maden İzinleri Kurulunun Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik hükümlerinde yer almaktadır.

Arama ruhsat sayılarında yüksek öneme sahip ve önemli kritik madenler öne çıkarken, işletme izinli ruhsatlar açısından potansiyel kritik madenler öne çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında tecrübelerini ve bilgilerini paylaşan MAPEG Uzmanı Jeofizik Yük. Müh. Saim GÜL'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bor Tuzları, Trona ve Asfaltit Madenleri ile Nükleer Enerji Hammaddelerinin İşletilmesini, Linyit ve Demir Sahalarının Bazılarının İadesini Düzenleyen Kanun, 1983. Resmî Gazete (Sayı: 18076). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2840.pdf>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2025. Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu. Sf. 21. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/Tu%CC%88rkiye_Kritik_ve_Stratejik_Madenler_Raporu.pdf
- Gül, S. ve Pekdemir, F., 2024. Türkiye İçin Kritik ve Stratejik Mineraller: Enerji Geçişinde Yeni Ufuklar, *MAPEG Dergi*, 5 (11-12), 8-15.
- Gül, S., 2025. Kritik Mineraller ve NTE. MAPEG (yayınlanmamış).
- Maden Kanunu. (1985). Resmî Gazete (Sayı: 18785). <https://mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.3213.pdf>
- Maden Yönetmeliği, 2022. <https://mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/yonetmelik/7.5.39873.pdf>
- MAPEG, 2025a. 2025 Yılı Mali Yükümlülükler. <https://www.mapeg.gov.tr/Sayfa/Duyuru/4665%202025-Yili-Mali-Yukumlulukler>
- MAPEG, 2025b. Yıllar İtibarıyla Maden Üretim Miktarları (MAPEG verilerinden alınmıştır)
- MAPEG, 2025c. Maden İstatistikleri, Maden Üretim Değerleri. <https://www.mapeg.gov.tr/Sayfa/MadenistatistikResmi> Gazete, 2025a. Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (Kanun No. 7554). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/07/20250724-1.htm>
- Resmi Gazete, 2025b. Maden İzinleri Kurulunun Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/11/20251113-11.pdf>
- Yüce, A.E., Burat, F. ve Zambak, C., 2025. Kritik/Stratejik Mineral Listeleri ve Genel Değerlendirmeler, *Türkiye 29. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (IMCET 2025)*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Bildirileri, 9-19. <https://imcet.org.tr/uploads/oda-sunumlari-kitabi.pdf>

Demir, Titanyum, Manganez, Nikel, Grafit, Antimuan: Kritik / Stratejik Açıdan Değerlendirilmesi

Sait UYSAL

Manisa, Türkiye, saituysal@gmail.com

ÖZET: Kritik mineraller, günümüzde ülkelerin ekonomik güvenliği, savunma sanayi yetenekleri ve teknolojik bağımsızlığı için belirleyici bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin sanayileşme hedefleri doğrultusunda, özellikle dış ticaret açığına neden olan demir ve titanyum gibi hammaddelerin yerli kaynaklardan temini büyük önem taşımaktadır. Manisa-Alaşehir bölgesindeki metagabro kütlelerinin titanyum-vanadyum potansiyeli ve benzer jeolojik yapıdaki Finlandiya modelleri, bu dışa bağımlılığı azaltmak adına önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte, küresel enerji dönüşümünün merkezinde yer alan elektrikli araç teknolojileri, lityum pillerin ana bileşenleri olan nikel, manganez ve grafit talebini hızla artırmıştır. Türkiye, özellikle Kastamonu ve Kahramanmaraş'taki grafit rezervleri ile bu yeni teknolojik çağda stratejik bir konuma sahiptir. Ayrıca savunma sanayi ve enerji depolama sistemlerinde kritik öneme sahip olan ve küresel arzı büyük oranda tekelleşmiş antimuan madeni açısından da Türkiye ciddi bir rezerv avantajına sahiptir. Bu kaynakların doğru stratejilerle ekonomiye kazandırılması, sadece hammadde güvenliğini sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda Türkiye'nin küresel tedarik zincirindeki stratejik konumunu da güçlendirecektir.

Anahtar kelimeler: Demir, Titanyum, Manganez, Nikel, Grafit Antimuan, Kritik Mineraller

1. KRİTİK MİNERALLER VE TÜRKİYE

Dünya çapında bugüne kadar çok sayıda kritik mineral listelerinin yayınlandığını ve bunlar arasında bazı ortak noktalar olsa da aslında genelde birbirlerinden farklı olduklarını görmekteyiz. Dolayısı ile aslında tek bir kritik mineral tanımının olmadığını ve ülkelerin ya da organizasyonların belli temeller belirleyerek bu listelerin oluşturdukları söylenebilir.

Kritik mineraller için her ne kadar bir genelleme yapmak kolay olmasa da yayınlanan listeler incelendiğinde Kritik Minerallerin belli başlı özellikleri taşıdıkları söylenebilir. Bunlar;

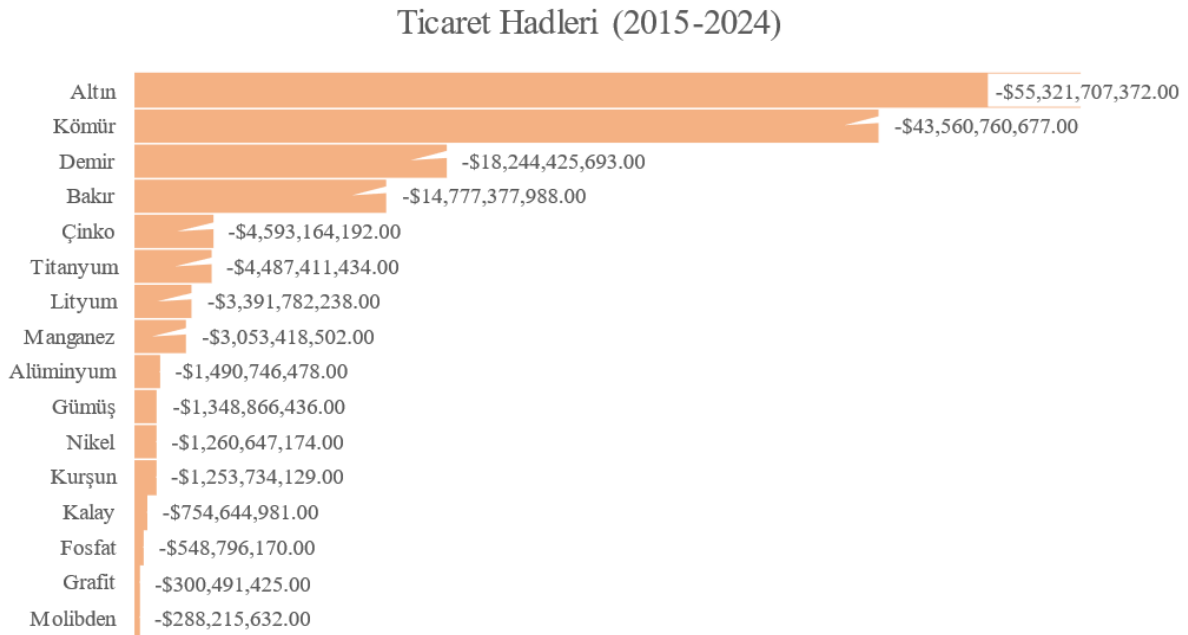
- Ülkeler kritik olarak tanımladıkları minerallerde büyük oranda dışa bağımlıdırlar
- Kritik olarak adlandırılan mineraller ülke için önemli ana endüstrilerde gerekli ayrıca teknoloji ve savunma sanayi için önemli girdileri oluştururlar
- Dışa bağımlı olmasına bu ürünlerin üretimi, işlenmesi belli ülke ya da bölgelerde yoğunlaşmışlar
- Önümüzdeki yıllarda ilgili minerallerin taleplerinde ciddi artışların olacağı öngörülmektedir.

Tüm bu kriterler içerisinde ülkelerin bu konu üzerinde bu denli durmalarının temelinde aslında bu minerallerde dışa bağımlı olmaları ve bu durumun ülke için bir risk oluşturması yatmaktadır.

1.1. Türkiye'nin Dışa Bağımlılığı

Türkiye için de kritik minerallerin belirlenmesinde dışa bağımlılığı gösterge olarak aldığımızda, ülkemizin son 10 yıllık dönemde en çok hangi maden ya da minerallerde dış ticarete açığı verdiğini incelememiz faydalı olacaktır. Aşağıdaki grafikte Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınladığı veriler baz alınarak oluşturulmuş bir sıralama yer almaktadır.

Tablo 1. 2014-2025 Yılları Arası Toplam Dış Ticaret Açığı En Yüksek Olan Madenler (ETKB, 2024)



Altının bir değer koruma aracı olarak kullanıldığını ve aslında tüketilen değil saklanılan bir metal olduğunu, kömürün de bir enerji hammaddesi ve fosil yakıt olduğunu ve genelde kritik minerallerin fosil kaynaklar hariç bırakılarak değerlendirildiğini dikkate aldığımızda, karşımıza en çok dış ticaret açığı verdiğimiz ürün olarak Demir çıkmakta ve Titanyum, bakır ve çinkoyu takip etmektedir.

2. DEMİR VE TİTANYUM

Bir ülkede demir çelik üretimi ülke ekonomisinin ana unsurlarından birini oluşturmaktadır. Ülkemizde maalesef bu endüstri içerisinde cevherden metal üretimi yapabilen entegre tesis sayımız oldukça az fakat ağırlıklı olarak hurda metal, sünger ya da pik demir gibi ithalat ile sağlanan hammaddelere dayanan ark ocaklı üretim tesisleri çok daha fazladır. Bu durumun doğal sonucu olarak bu sektörde çok yüksek bir dış ticaret açığı ve dışa bağımlılığı görmekteyiz.

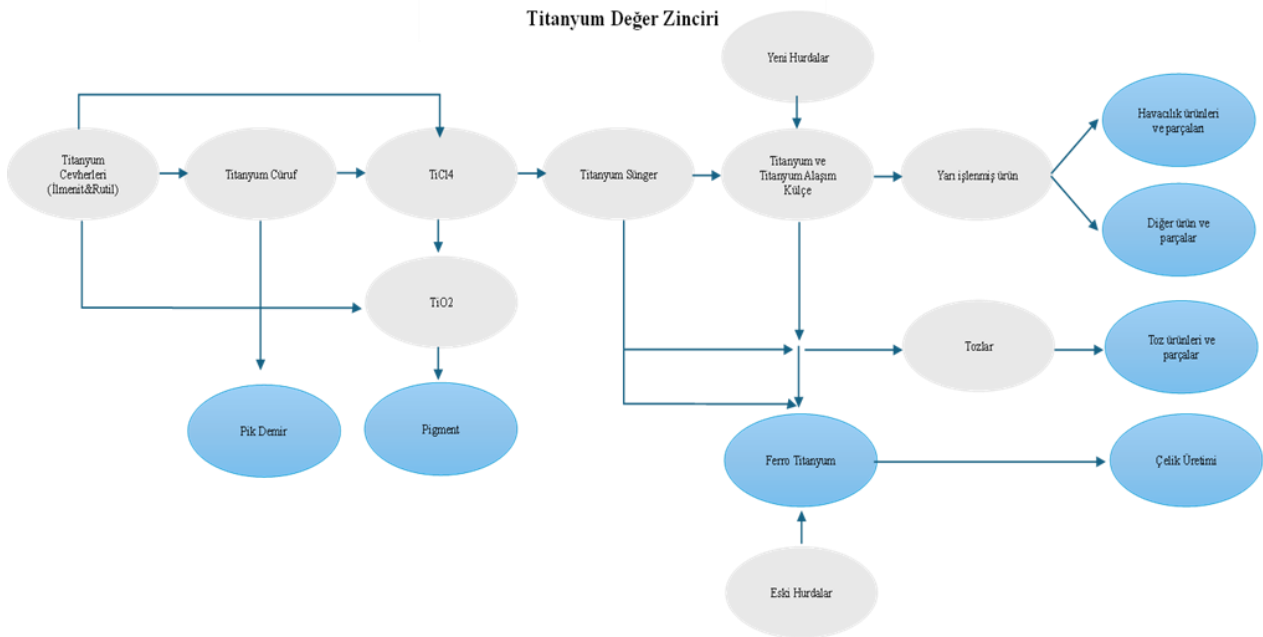
Aynı şekilde titanyum da boya, metal gibi ana endüstrilerde kullanılmakta ve ülkemizde hali hazırda üretimi bulunmamaktadır.

Ülkemiz açısından bu durumun yerli kaynaklarla çözülmesi elbette ana öncelik olmalıdır. MTA kayıtları ve raporları incelendiğinde Titanyum ile ilgili olarak verilen bilgilerde: Titanyum yatakları

Primer (kayaç yatakları) ve sekonder (plaser yatakları) olarak iki grupta ifade edildiği, primer haldeki TiO_2 zuhurları kontak metamorfik yataklarda ve pegmatitlerde değişik oranlarda bulunduğu, anortositik veya gabroik kayalarda önemli ticari büyüklükte yatakların var olduğundan bahsedilmiştir. Bu kapsamda MTA tarafından çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Menderes Masifi içinde yer alan metagabro ve gabro kütlelerinin titanyum içeriklerinin belirlenmesi amacı çerçevesinde yürütülen Manisa-Alaşehir-Belenkaya ruhsat sahası çalışmasında; Manisa-Alaşehir-Azıtepe Metagabro kütlelerinde %1-8 rutil, %1-13,5 ilmenit mineral içeriği tespit edilmiştir. Dissemine cevherleşme mevcut olup; cevheri oluşturan ana mineraller ilmenit, titanomanyetit, rutil ve manyetitten oluşmaktadır. Metagabro birimi %25'e varan $TiO_2+Fe_2O_3$ metalik mineral içeriğine sahiptir. Türkiye primer tip yataklarında ortalama %6 TiO_2 içeriği ile en büyük değer tespit edilmiştir. Dolayısı ile elimizdeki bu verilere istinaden bu yatağa biraz daha yakından baktığımızda daha da ilginç verilerin olduğu orta çıkmakta.

Bu metagabro kütlesi ile ilgili olarak, Menderes Masifi içinde yer alan en büyük metagabro kütlesi olduğu, petrolojik ve metalojenik özelliklerinden dolayı diğer metagabro kütlelerinden farklılıklar sergilediği söylenmiştir. Diğer metagabro kütlelerden ayıran en önemli özelliği, köken kayaca ait ilksel mineralojik, petrografik özelliklerin birçoğunun korunmuş olmasıdır. Bununla birlikte, bileşimindeki yüksek orandaki titanyumoksit ve demiroksit minerallerinin (ilmenit, titanomanyetit, rutil, manyetit, vb.) varlığı kütleyi diğer metagabro kütlelerinden farklı kılmaktadır. Azıtepe Metagabrosu bu özellikleri nedeniyle yüzey ve sondajlarla ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Kütle, Alaşehir-Azıtepe Köyü'nün 2 km batısında yüzeylenmektedir. Yaklaşık 0,9 x 1,1 km boyutlanmaktadır. Kalınlığı yüzeyde 140 - 150 m arasında iken, yapılan sondajlar sonucunda kalınlığının 350 m 'den fazla olduğu ortaya konulmuştur. Tabanında gnayslarla, tavanında ise mikaşist, kuvarsit ve kuvars şistlerle dokanak oluşturmaktadır. Bu veriler ışığında bir değerlendirme yapıldığında titanyum ve demir içeren yaklaşık 346 milyon metreküplük bir kütleden bahsedildiğini, bunun ağırlık olarak 500 milyon tonun üzerinde olabileceğini hesaplayabilmekteyiz.



Şekil 1. Titanyum Değer Zinciri ve Yan Ürünleri

Söz konusu potansiyelin ne ifade edebileceğini bir kıyaslama ile ortaya koyacak olursak Finlandiya’da bulunan ve ön ekonomik değerlendirmesi ve teknik raporları yayınlanmış manyetit gabro olarak adlandırılan Mustavaara Vanadyum-Demir-Titanyum Projesi iyi bir örnek olabilir. 20 yıllık maden ömrü planlanan projede, cevherin pirometalurjik olarak işlenmesi ile pik demir, ferrovanadyum ve titanyum yan ürünleri üretilmesi planlanmıştır. Yıllık ortalama 329 bin ton pik demir ve 4600 ton FeV80 (ferrovanadyum) üretimi proje ile öngörülmektedir. Pik demir fiyatlarının ortalama 450 Dolar/ton, FeV80 fiyatlarının 26,500 dolar/ton civarında olduğu düşünüldüğünde yıllık güncel fiyatlarla 270 milyon dolarlık bir gelir hedeflendiğini ve yine güncel fiyatlarla proje toplam gelir potansiyelinin 5 milyar doların üzerinde olabileceğini hesaplayabiliriz. Ve bu hesapların 100 milyon tonluk bir kaynak için yapıldığını da unutmamak gerekir.

Ülkemizdeki daha önce bahsedilen metagabro kütlesi dikkate alındığında bunun 5 katı kadar daha büyük bir potansiyelin söz konusu olabileceğini söylememiz mümkün. Mustavaara projesinde titanyum oranlarının düşük olması sebebiyle önemli bir titanyum yan ürün geliri hesaplanmamış, fakat ülkemizdeki örneğimizde titanyum oranlarının da nispeten yüksek olması muhtemel ferrotitanyum yan ürünlerinden de gelir elde etme potansiyeline sahip olabileceği söylenebilir.

Görüleceği üzere tek bir proje ile en az üç farklı ürünün üretilebildiği, hem önemli dış ticaret açığının gidermekle birlikte benzer projelerin ülkemizin farklı yerlerinde üretime geçirilmesi ile titanyum ve vanadyum konusunda ülkemizin önemli bir üretici olması mümkün görünmektedir.

Özellikle yüksek enerji fiyatları sebebiyle pik demir üretiminin ekonomik olmadığı yönündeki bulgular, böyle bir proste üretilecek pik demirden çok daha yüksek ton başı fiyata sahip yan ürünler elde edilmesi ile ekonomik hale gelebilecektir. Ülkemizdeki demir çelik sanayinin büyük oranda ark ocaklı tesisler olması ve hurda demir gereksinimleri, bu sayede ekonomik bir şekilde birincil ve yerli kaynaklardan üretilebilecek pik demir ile karşılanabilecek ve ülkemizin bu alanda dışa bağımlılığını azaltma konusunda da önemli bir rol oynayacaktır.

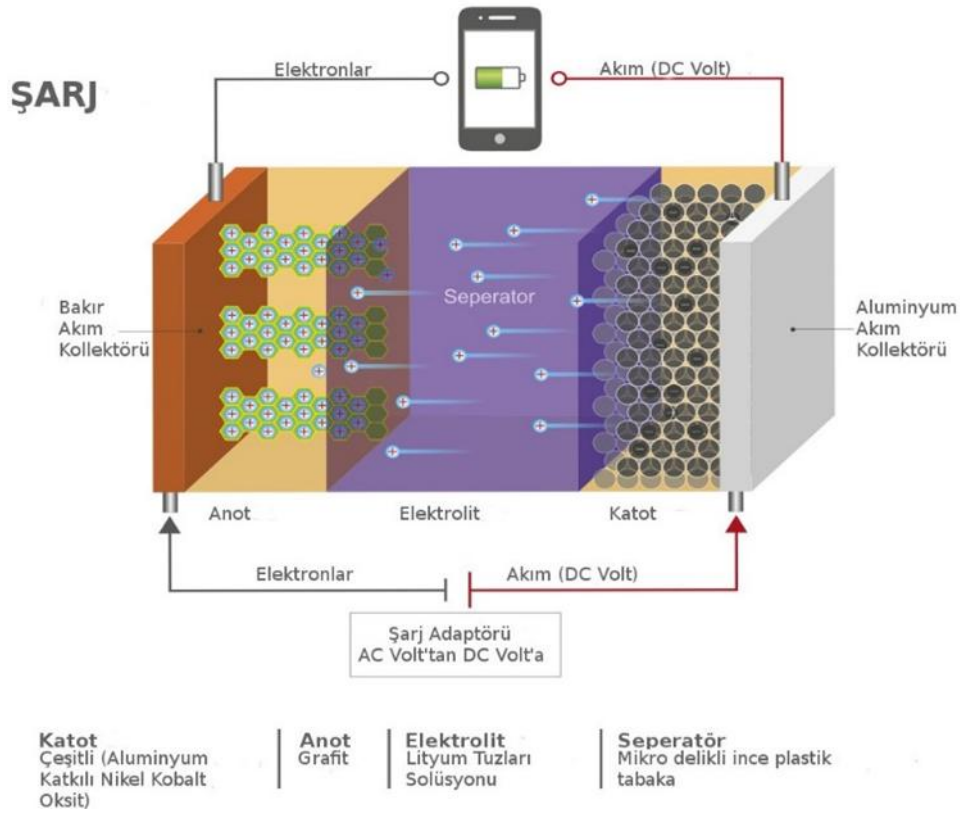
3. LİTYUM PİLLER: NİKEL, MANGAN VE GRAFİT

Bir lityum pil, katot (pozitif kutup- Nikel+Mangan+Kobalt yada Lityum+ Demir+ Fosfat) ve anot (negatif kutup - Grafit) olmak üzere iki elektrottan oluşan, bunların arasında lityum iyonlarının hareket etmesini sağlayarak elektrik şarjını/deşarjını gerçekleştiren elektrolit, ayrıca kimyasal karışmayı önleyip sadece iyon geçişine izin veren bir seperatörden oluşmaktadır. Lityum piller LFP, NMC gibi kısaltmalarla ve hatta karışım oranları ile isimlendirilir ya da sınıflandırılırlar, bunlar o pilde kullanılan katot karışımı ifade etmektedir. NMC katotun N-nikel, M-mangan ve C- kobalttan oluştuğunu, takip eden örneğin 811 gibi rakamda 8 birim nikel karşılık 1 er birim mangan ve kobalt karışımını ifade eder. Lityum pillerde katot farklılık gösterse de anot kısmı ağırlıklı olarak grafitten oluşmaktadır.

Lityum bataryaların önemli bir kısmı son dönemde hızla gelişen elektrikli araçlar tarafından kullanılır, elektrikli aracın yaklaşık olarak maliyetlerinin %25’ini oluşturur ve 5 önemli kritere göre değerlendirilir;

- Enerji Yoğunluğu; Bataryanın litre ya da kg başına ne kadar enerji depolayabileceğini gösterir. Elektrikli araçlarda enerji tüketimine bağlı olarak aracın kaç km’lik bir menzile sahip olacağının ana göstergesidir.

- Güç Yoğunluğu; Bataryanın ne kadar hızlı şarj ya da deşarj olabileceğini gösterir. Özellikle aracın hızlı şarj edilmesi için önemlidir.
- Çevrim ömrü; Bataryanın kaç kez şarj/deşarj edilebildiğini dolayısı ile kullanım ömrünü gösterir.
- Emniyet; Lityum bataryalar aşırı şarj, fazla ısınma ve ani güçlü darbe gibi durumlarda ciddi tehlikeler arz eder ve patlama riskini barındırır. Cep telefonlarımızda kullandığımız bataryanın patlaması bir insanı ciddi anlamda yaralayabilirken, bunların binlercesinin bir araya getirilmesi ile oluşan elektrikli araç bataryaları böyle bir durumda bir bomba etkisi oluşturabilir. Bu yüzden batarya emniyeti en önem verilen konulardandır.
- Maliyet; Bataryaların maliyetlerinin belli bir seviyede tutulması ve hatta düşürülmesi hedeflenerek, nihai ürün olan elektrikli araçların fiyatlarının makul seviyelere çekilmesi hedeflenir.



Şekil 2. Bir Lityum Pilin Yapısı

Tüm bu kriterlerin sağlanmasında Lityum'un yanı sıra Nikel, Mangan ve Grafit oldukça önemli rol oynamaktadır.

Grafit; karbonun doğal formudur. Kimyasal formül olarak "C" ile ifade edilir ve karakteristik olarak altıgen kristal yapıya sahiptir. Mermer, şist ve gnays gibi metamorfik kayalar içerisinde oluşmaktadır. Diğer iki önemli karbon allotropu ise kömür ve elmadır.

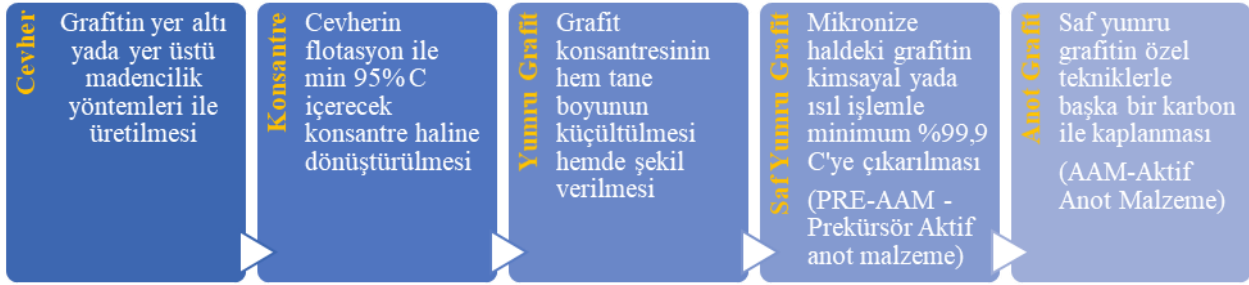
Grafiti doğal ve sentetik olarak iki ana sınıfı ayrılır ve doğal grafitinde üç farklı türü bulunmaktadır;

- Sentetik Grafit
- Doğal Grafit

- o Pul (Flake) Grafit
- o Amorf Grafit (mikrokristalin/kriptokristalin)
- o Damar Tipi (Vein) ya da Sri Lanka grafiti

Doğal grafitlerden Pul ve Damar tipi grafitler, grafitleşme derecesi ve elektrik özellikleri yüksek olan, iyi kristal yapıya sahip grafitlerdir.

Doğal grafitlerden Pul ve Damar tipi grafitler, grafitleşme derecesi ve elektrik özellikleri yüksek olan, iyi kristal yapıya sahip grafitlerdir. Sentetik grafit üretim prosesi 3000 derecenin üzerinde bir ısı gerektirmesi ve ayları bulan üretim süresi sebebiyle maliyet yönünden dezavantajlı iken doğal grafit maliyet yönünden de avantajlı konumdadır. Doğal grafitin madenden çıkıp pillerde anot olarak kullanılması için çeşitli aşamalardan geçmesi gerekir. Bu aşamalar;



Şekil 3. Grafit anot aşamaları

MTA kayıtlarında grafitle ilgili olarak 6.886.736 ton %2-17 Sabit karbon içerikli, zenginleşebilir grafit potansiyelinin belirlendiği bilgisine yer verilmiştir. Türkiye’de en azından UMREK ya da uluslararası kodlarda kaynak ya da rezerv raporu ile tespit edilmiş bir potansiyel var mıdır diye incelendiğinde; MTA kayıtlarında son yıllarda iki adet grafit sahası ile ilgili UMREK koduna uygun kaynak çalışması yapıldığı anlaşılmaktadır. MTA’nın Kastamonu-Doğanyurt, grafit sahasında, MTA yapılan çalışmalar sonucunda 4,5 milyon ton %6,06 grafitik karbon içerikli kaynak tahmini ortaya konmuştur.

MTA’nın Kahramanmaraş-Göksun-Fındıklıkoyak Köyü, projesinde yapmış olduğu çalışmalar sonucunda 2,3 milyon ton %5,6 grafitik karbon içerikli kaynak tahmini ortaya konmuştur.

4. ANTIMUAN

Antimonun kritikliği, ikamesi zor olan endüstriyel fonksiyonlarından kaynaklanır. Başlıca kullanım alanı, antimon trioksit (Sb_2O_3) formunda, plastiklerden tekstillere, kablolardan elektronik devre kartlarına kadar geniş bir ürün yelpazesinde alev geciktirici olarak kullanılmasıdır. Yangın güvenliği standartlarının giderek katılaştığı günümüzde, bu özellik antimonu vazgeçilmez kılmaktadır.

Diğer kilit kullanım alanları şunlardır:

- Savunma ve Havacılık Sanayii: Antimon, askeri uygulamalarda mühimmatların (zırh delici, izli mermi) sertleştirilmesinden, gece görüş sistemleri ve kızılötesi dedektörlere kadar birçok alanda kullanılır. Bu sebeple ulusal güvenlik için doğrudan stratejik bir metaldir.

- Enerji Sektörü: Geleneksel kurşun-asit akülerin ömrünü ve performansını artıran alaşımların üretiminde kritik bir rol oynar. Ayrıca, yeni nesil sıvı metal piller gibi yenilikçi enerji depolama teknolojilerinde de potansiyel barındırır.
- Yüksek Teknoloji: Yarı iletken endüstrisinde, diyot ve entegre devrelerin üretiminde "doping" maddesi olarak kullanılır. PET plastik üretiminde ise katalizör görevi görür.

Antimonun stratejik değeri, arz zincirindeki aşırı yoğunlaşma ile katlanarak artmaktadır. Küresel antimon maden üretiminin yarısından fazlası tek başına Çin tarafından kontrol edilmektedir. Rusya ve Tacikistan gibi diğer büyük üreticiler de hesaba katıldığında, Batılı ekonomilerin tedarik güvenliği jeopolitik istikrarsızlıklara, ticaret politikalarına ve ihracat kısıtlamalarına karşı son derece kırılgandır. COVID-19 pandemisi ve devam eden jeopolitik gerilimler, bu tür merkezîyetçi tedarik zincirlerinin ne kadar riskli olduğunu açıkça göstermiştir.

Bu riskler, sanayileşmiş ülkeleri acil olarak alternatif ve güvenilir tedarik kaynakları aramaya itmektedir. Türkiye, dünya genelinde bilinen en önemli antimon yataklarına sahip ülkelerden biridir. Özellikle Balıkesir, Kütahya, Tokat, İzmir ve Bilecik gibi bölgelerde yoğunlaşan rezervler, doğru bir strateji ile hem ulusal sanayinin ihtiyacını karşılayabilir hem de Türkiye'yi Avrupa için vazgeçilmez bir tedarik ortağı yapabilir.

KAYNAKLAR

- Pehlevan, M., 2019. Kastamonu-Doğanyurt S: 201201287 (Er: 3122249) No'lu IV. Grup Ruhsat Sahasına Ait Maden Jeolojisi ve Kaynak Tahmini Raporu. MTA. Rapor No: 13796.
- Seppä, V.M., Rantala, E. ve Lovén, P., 2021. PRELIMINARY ECONOMIC ASSESSMENT on the Mustavaara Vanadium project, Finland. *NI 43-101 Technical Report*. https://strategic-res.com/site/assets/files/3721/ni43-101_technical_report_pea_on_the_mustavaara_vanadium_project_finland.pdf
- Sümer, E.Ö. 2005, Menderes Metamorfitleri İçinde Yer Alan Gabro ve Metagabroların Petrolojik ve Metalojenik Özellikleri (Manisa-Alaşehir Güneybatısı). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Şahiner, M., Gençbay, B. ve Dinlen, İ., 2021, Madencilik Sektörüne Ait Temel Ekonomik Göstergeler. MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
- URL-1: <https://www.metal.com/Pig-Iron>
- URL-2: <https://vanadiumprice.com/>
- URL-3: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/Titanyum.pdf>
- Uysal S., 2020. Cevherden Bataryaya Grafit. *Madencilik Türkiye*, sayı 84, sf: 68-70
- Yığmatepe, M., 2019. Kahramanmaraş-Göksun-Fındıklıkoyak Köyü S:201201296 (Er:3079520) No'lu IV. Grup Ruhsat Sahasına Ait Grafit Kaynak Kestirim ve Maden Jeolojisi Raporu. MTA. Rapor No: 13817.

Makroekonomi- Kritik Mineral Hammaddeler - Dış Ticaret Türkiye Dış Ticaret Verileri

Caner Zambak

Türkiye Madenciler Derneği Çevre Koordinatörü, İstanbul, canerzambak@gmail.com

ÖZET: Ülkelerin ekonomik gücünün başatı olan imalat sanayii, gelişmiş üretim teknolojilerine sahip olsa dahi, enerji ve hammadde teminine bağımlıdır. Son çeyrek asırda uluslararası gündemin en önemli konusu olan Global İklim Değişikliği ile Mücadele, özellikle gelişmiş ülkeleri, sera gazı salımlarını azaltmaya yönelik yeşil enerji ve ileri teknolojilerle üretime dayalı, Global Ekonomik Güç olma yarışı içerisine sokmuş bulunmaktadır. Ancak, yeşil enerji olarak tanımlanan güneş, rüzgar, hidrojen enerjisi ve ileri teknoloji üretimleri, hammadde gereksiniminde çok büyük artışlar ortaya çıkaracaktır. Bu bağlamda, gelişmiş ülkeler ithalat bağımlısı oldukları veya olacaklarını öngördükleri hammaddelerin ilerideki dönemlerdeki temin risklerini irdeleyerek, ülkeleri için gerekli belirli hammaddeleri Kritik/Stratejik olarak nitelendirmektedir.

Serbest Dış Ticareti yapılan hammaddelerdeki dış ticaret açığı ülke içi teminde yetersizlik olduğunun göstergesidir. İmalat sanayi hammadde emtialarının dış ticaret verilerinin ayrıntılı olarak irdelenmesi sonucunda ortaya çıkan, dış ticaret açıkları ülkeler için temini öncelikli hammaddelerin belirlenmesinde önemli bir kriter niteliği taşır. Bu makalede, imalat sanayii hammaddelerinin önemi makroekonomi bağlamında irdelenmekte ve metaller, hurda/cüruf, kimyasallar ve metalik/endüstriyel mineral cevherler olarak gruplandırılmış hammadde emtialarının Gümrük Tarife İstatistik Pozisyon (GTİP) kodları bazında 2023, 2024 ve 2025(Ocak-Haziran) yıllarına ait Türkiye dış ticaret verileri özetlenmektedir. \$ ve tonaj olarak derlenen dış ticaret açıkları ve fazlalıkları Türkiye Kritik/Stratejik Hammadde Listesi için önemli girdi niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Makroekonomi, Merkantalizm, Kritik/Stratejik Hammaddeler, Dış Ticaret

1. MAKROEKONOMİ BAĞLAMINDA HAMMADDELER

Ekonomi (*İktisat*) genel bir tanım olarak: toplumların, sürekli artan ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için:

- Mevcut/Olası kaynaklar en etkin şekilde kullanılarak,
- Gerekli mal ve hizmetlerin Üretim, Dağıtım ve Tüketimini, ve
- Bunların Toplumsal Refah için Adil bölüşümünü

sağlayan politikaları irdeleyen bir sosyal bilim dalıdır. Bu bağlamda, mikro düzeyde hane halkı ve firmaların üretime ve tüketime yönelik gelişmeler, makro düzeyde ise maliye ve para politikalarının ulusal ve uluslararası etkiler irdelenir.

Makroekonomideki en önemli bileşen, ekonominin zaman içinde ürettiği mal ve hizmetlerin toplam değeri olarak tanımlanabilen Gayrisafi Milli (*Yurt İçi*) Hasıladır (GSMH/GSYİH). Üretim, Gelir ve Harcama Yöntemleri, cari veya sabit fiyatlara dayalı uygulamalar gibi farklı yaklaşımlarla hesaplanan GSMH, ülkenin ekonomik büyüklüğünün (*ekonomik güç*) bir ölçütü niteliği taşır.

Makroekonomide irdelenen temel konular:

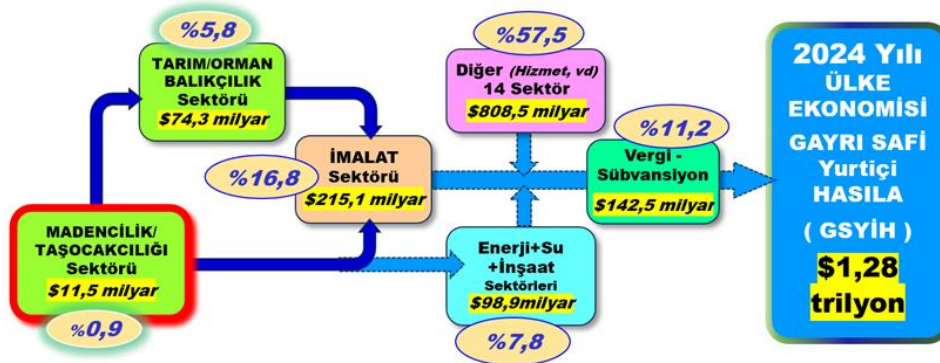
- Ekonomik Büyümenin (GSMH) Artırılması
- Dış Ticaret – İhracat/İthalat
- Enflasyonun Yönetilmesi
- Kamu Maliyesi ve Dış Ödemeler Yönetimi
- Para Politikaları – Merkez Bankası (Faiz/Açık Piyasa işlemleri)

başlıkları altında özetlenebilir. Bu yazı konusuna olan ilgisi açısından, “İktisadi Faaliyet Kollarına göre” GSMH (GSYİH) bileşenleri Tablo 1’de verilmiştir.

Şekil 1’deki grafikte görüleceği üzere, ekonomide katma değer yaratan İmalat sektörü Madencilik ve Tarım/Orman ve Balıkçılık sektörlerinin sağladığı hammadde girdilerine bağımlıdır. Aynı grafikte görüleceği üzere, tarım dahil tüm diğer katma değer yaratan ekonomik sektörlerin mineral hammadde üreticisi Madencilik Sektörüdür.

Tablo 1. Gayrisafi Milli Hasıla Hesaplama Bileşenleri

Gayrisafi Yurt İçi Hasıla - GSYİH Sektörleri (İktisadi faaliyet kollarına göre A21 düzeyinde)		
B	Madencilik ve taşocakçılığı	3 Sektör (ÜRETİM)
C	İmalat sanayi	
A	Tarım, ormancılık ve balıkçılık	
D	Elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtımı	3 Sektör (Altyapı)
E	Su temini; kanalizasyon, atık yönetimi ve iyileştirme faaliyetleri	
F	İnşaat	
G	Toptan ve perakende ticaret; motorlu kara taşıtları ve motosiklet onarımı	14 Sektör (Ticari/Sosyal Hizmet)
H	Ulaştırma ve depolama	
I	Konaklama ve yiyecek hizmeti faaliyetleri	
J	Bilgi ve İletişim	
K	Finans ve sigorta faaliyetleri	
L	Gayrimenkul faaliyetleri	
M	Mesleki, bilimsel ve teknik faaliyetler	
N	İdari ve destek hizmet faaliyetleri	
O	Kamu yönetimi ve savunma; zorunlu sosyal güvenlik	
P	Eğitim	
Q	İnsan sağlığı ve sosyal hizmet faaliyetleri	
R	Kültür, sanat, eğlence, dinlence ve spor	
S	Diğer hizmet faaliyetleri	
T	Hanehalklarının işverenler olarak faaliyetleri	
Vergi-Sübvansiyonlar		Vergi, Sübvansiyon
Gayrisafi Yurt İçi Hasıla - (Yukarıdaki bileşenlerin toplamı)		



Şekil 1. 2023 yılı Sektörel GSYİH, Sektörel Katma Değer (\$) ve Katkı Payları (%) (TÜİK, 2025a)

1.1. Merkantilizm/Neomerkantalizm ve Hammaddeler

Önceleri '**Kritik**' daha sonraları da '**Kritik ve Stratejik**' ön adları ile sıfatlanan '**Hammaddeler**', global düzeyde günümüzün en fazla irdelenen; hatta, gün be gün değişiklikler gösteren, uluslararası politika konularından biri haline gelmiştir. Kritik ve Stratejik Hammaddeler (**KSM**) kavramı, aslında 15. asırdan beri uygulanmakta olan Merkantilist ekonomi politikalarının en önemli unsurlarından biridir.

Tablo 2'de ilke ve amaçları özetlendiği üzere, klasik tanımıyla, Merkantilizm "Bir ekonominin ihracatını en üst düzeye çıkartmayı ve ithalatını en aza indirmeyi hedefleyerek, ticaret yoluyla servet birikimini vurgulayan, milliyetçi bir ekonomi politikasıdır".

Tablo 2. Merkantilizm – Temel İlkeler, Öncelikli Alanlar ve Uygulama

MERKANTALİZM	
Temel ilkeleri:	Öncelikli amacı:
<ul style="list-style-type: none">• <i>Sömürgecilik ve kolonileşme – Hammadde Temini</i>• <i>Himayecilik – dahilde teşvik/destek sağlama</i>• <i>Üretimde harice göre imalat tekniği üstünlüğü</i>• <i>Dış Ticarete Fazlalık yaratma</i>• <i>Global düzeyde büyük bir ekonomik güç olma</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Ülkedeki değerli madenlerin (altın, gümüş, vd.) miktarını arttırmak,</i>• <i>İhracatı arttırıp, ithalatı azaltmak</i>• <i>Ülke ekonomisini güçlendirmek</i>
Gerektiğinde :	
<ul style="list-style-type: none">• <i>ülkedeki değerli madenlerin ihracatı engellenir ve ithalatı sınırlandırılır..... ve</i>• <i>bu ilke ve amaçlar doğrultusunda ülkeler savaşa girmeye dahi hazırdır....</i>	

Kolonyalizm (*sömürgecilik*) özetle, askeri gücü yüksek bir ülkenin bir başka ülkede kurduğu siyasi otorite idaresi altında, getirilen yerleşimcilerce işgal edilip, o ülkenin özellikle doğal varlıklarını ekonomik olarak sömürme uygulaması olarak tanımlanabilir. 1600'lü yıllarda, İngiltere, Fransa, İspanya, Portekiz başta olmak üzere, Avrupa ülkelerince uygulaması hızlanan ve İkinci Dünya Savaşına kadar Uzak Doğu, Afrika ve Güney Amerika'ya kadar hızla artan sömürgecilik uygulamalarının temel amacı, sömürge ülkelerindeki doğal kaynakları kendi ülkelerine aktarmak ve dış ticaret getirileri ile devlet hazinelerindeki altın/gümüş gibi değerli metal rezervlerini artırmak idi. Birleşmiş Milletler'de 1960 yılında kabul edilen bir kararla sömürge ülke ve halklarına bağımsızlık tanınmış ve bazı eski sömürge ülke grupları genel dünya düzenine uyum sağlamada destek verilmesi amacıyla Birleşmiş Milletler vesayeti (*UN Trusteeship*) altına alınmıştır. 1994 yılında Birleşmiş Milletler vesayeti altındaki son eski sömürge ülkeleri de bağımsızlıklarını ilan etmiş ve üye ülke sayısı 185'e ulaşan Birleşmiş Milletler'deki Vesayet Konseyinin misyonu tamamlanmış bulunmaktadır. Bu olgu, temel ilkelerinin başında gelen "sömürge" ciliğin resmen ortadan kalkmış olması, teorik olarak, 'Merkantilist Ekonomi Politikalarının sonu' olarak algılanabilir; ancak,

Bir önceki paragraf "ancak" ile sonlandı; çünkü, sömürgeciliğin resmen bitmiş olması, ekonomik güçleri ihracat fazlalığı üzerine kurulu olan gelişmiş ülkelerin her geçen gün artmakta olan hammaddelere ihtiyacı, yeni bir ekonomi politikası olarak 'Neo-Merkantilizm'i ortaya çıkartmıştır. Klasik ve Yeni Merkantilizm arasındaki temel farklılık, hammaddelere erişim yaklaşımları ve dış

ticaret/finansman uygulamalarındaki devlet müdahalelerinin artmasındadır. Salt hammadde temini açısından bakıldığında, Merkantilizmdeki 'İşgalci Sömürgecilik' ilkesinin yerini, Neomerkantilizmde doğal kaynak sahibi ülkelerle yapılan:

- yasa/kayıt dışı ticaret (*kaotik çatışma/çekişmeler içinde olan az gelişmiş ülkelerle*), ve
- Diplomatik/Ekonomik İşbirliği/Ortaklık

uygulamaları almıştır.

2. İMALAT SEKTÖRÜ VE HAMMADELER (KRİTİK/STRATEJİK)

Makroekonominin lokomotifi olan İmalat Sanayii, *üretim teknolojileri, enerji, işgücü ve finansman olanakları mevcut olsa dahi*, 'Hammadde' olmaksızın üretim yapamaz, dolayısı ile ekonomik değer yaratamaz. Ülkeler, ekonomik güçlerini sürdürbilme/artırmaya yönelik olarak, ihtiyaçları olan hammaddeleri kendi ülkelerinde üretememeleri durumunda, global pazarlardan temin etmeye çalışmaktadır.

Ancak, günümüzde, gelişmekte olan ülkeler, özellikle imalat sanayiinde kullandıkları ve/veya hammaddelere ulaşmakta ve bunları işlemekte zorlanırken, gelişmiş ülkeler ekonomilerini daha da güçlendirmek için, kendi ülkelerinde bulunmayan ve/veya yeterince temin edemedikleri hammaddelerin ithal yoluyla tedarikinde sorunlar yaşamaktadır.

Hammaddelerin '**birincil kaynağı**' doğal varlıklardır (hava/su/toprak-mineraller/fosil yakıtlar/flora/fauna). Birincil hammaddeler, belirli işlemler sonrasında, '**ikincil hammadde**' (ara ürün/malzeme) ya da son ürün haline getirilirler.

Ülke dahilinde yeterince üretilmeyen, gıda maddeleri üretimi açısından hayati önem taşıyan, imalat sanayisi açısından bakıldığındaysa ülkelerin hedeflediği ekonomik gelişmeler için çok gerekli, ikame olasılığı düşük olan hammaddeler (emtiyalar) alıcı ülkeler için "Temini Öncelikli Hammadde" niteliği taşır ve genelde ithalat yoluyla mutlaka temin edilir. Ancak, küresel pazarlarda temin etme güçlüğü'nün görece artması ve/veya belirli hammaddeler için milliyetçi ihracat kısıtlama politikalarının uygulanması veya öngörülmesi halinde, söz konusu hammaddeler "tedarik riskleri" açısından da değerlendirilmektedir.

Ülke için yaratacağı ekonomik katkıların büyüklüğü/önemi ile öngörülen tedarik risk faktörü birlikte değerlendirildiğinde, "Temini Öncelikli Hammaddeler" in bazıları diğerlerine göre "*görece daha öncelikli*" bir nitelik taşıyanlar "**Kritik Hammaddeler**" ve bu kritik hammaddelerden, ülkenin ekonomik ve savunma güvenliğini (*veya çıkarlarını*) tehlikeye atacağı öngörülenler ise "**Stratejik Hammaddeler**" olarak gruplandırılmaktadır.

Hammadde temini, son 30 yıl içinde, ülkelerin global ekonomi/diplomasi politikalarının önemli bir konusu haline gelmiştir. Özellikle global sanayi ürünlerinin ticareti pazarında önemli pay sahibi olan ülkeler, gerek duydukları hammaddeleri temin edememe durumunda ekonomilerinin gelişmesini sekteye uğratma olasılığı yüksek olan hammaddeler için, belirli periyotlarda güncellenen "**Kritik Hammadde Listeleri**" hazırlama çabası içine girmiştir.

Hammaddelerin Kritik/Stratejik olarak tanımlamaları, temelde ülkeler için belirli algoritmalar kullanılarak ‘ekonomik önem’ ve ‘temin riski’ parametreleri hesaplanması ile yapılmaktadır (European Commission, 2017; Nassar ve diğ., 2025).

2010 yılından itibaren ABD, AB ve Japonya tarafından, belirli zaman aralıklarında, ülkelerinin ekonomisi açısından önem taşıyan ürünler için gerekli hammaddeler, dahilden ve küresel pazarlardan tedarik riskleri açısından değerlendirilmekte ve güncellenmiş Kritik Hammadde Listeleri hazırlanmaktadır. 2016 yılından itibaren, bu listelerdeki hammaddelerin çoğunda temin sorunu olmayan, Çin de kendi Kritik Hammadde Listesini, Stratejik olanları da belirterek, beyan etmeye başlamıştır. 2020 sonrasında, AB de kendi listesindeki bazı hammaddeleri ‘Stratejik Hammadde’ olarak tanımlamaya başlamıştır. Karşılaştırmalı bir örnek olarak, yeşil enerji ve ileri teknoloji ürünleri üretimine yönelik olarak beş ülke tarafından beyan edilmiş Kritik Hammadde listeleri Tablo 3’de verilmiştir. Aralık 2024’de NATO tarafından açıklanan savunma sanayi metalleri listesi de tablo 5’in son kolonundadır. Bu tablodaki ABD listesi 7 Kasım 2025’de güncellenmiş, AB listesinin de 2026’da güncellenmesi planlanmıştır.

Tablo 3’de listelenen hammaddelerden, AB’nin listesindeki 16’sı ve Çin için 23’ü ‘Stratejik Hammadde’ olarak tanımlanmıştır. AB’nin Stratejik Hammadde tanımı ‘temin riski’ üzerine kurulu olmasına karşın, Çin tarafından listelenen Stratejik Hammaddelerin önemli bir kısmı, olası temin risklerinden ziyade, diğer ülkelere uygulanmak istenen ‘ihracat kısıtlamaları’ nedeniyle.

Tablo 3. Seçili Ülkelerin Kritik/Stratejik Hammadde Listeleri

Hammadde	AB 2023 Rev	USA 2025 Rev	Japonya 2018	G. Kore 2020	ÇİN 2016 (2024 Rev)	NATO 2024 (*)
Ağır NTEler (9)	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Hafif NTEler (6)	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Kobalt	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Lityum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Grafit (Doğal)	AB	ABD	Japonya	---	Çin	NATO
Galyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Germanyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Tungsten	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Magnezyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
PGM’ler (5)	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO (Pt)
Manganez	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Titanyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	---	NATO
Silikon Metal	AB	ABD	Japonya	G.Kore	---	---
Bor (Cevher ve İşlenmiş)	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Nikel	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Bakır	---	---	---	---	Çin	---
Antimon	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Berilyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Aluminyum (+Boksit)	AB	ABD	---	---	Çin	NATO (Al)
Vanadyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Niobyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Tantal	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Bizmut	AB	ABD	Japonya	G.Kore	---	---
Hafniyum	AB	ABD	Japonya	G.Kore	---	---
Barit	AB	ABD	Japonya	G.Kore	---	---
Florspar/Flor	AB	ABD	Japonya	---	Çin	---
Fosfor	AB	---	---	G.Kore	Çin	---
Skandiyum	AB	ABD	---	---	Çin	---
Arsenik	AB	ABD	---	G.Kore	---	---
Helyum	AB	---	---	---	---	---
Feldispat	AB	---	---	---	---	---
Stronsiyum	AB	---	Japonya	G.Kore	---	---
Fosfat kayası	AB	ABD	---	---	---	---
Kokluk Kömür	AB	ABD	---	---	Çin	---
Kalay	---	ABD	---	G.Kore	Çin	---
Krom	---	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Zirkonyum	---	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Molibden	---	---	Japonya	G.Kore	Çin	---
Potas	---	ABD	---	---	Çin	---
Rubidyum	---	ABD	Japonya	---	Çin	---
Sezyum	---	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Tellür	---	ABD	Japonya	G.Kore	---	---
İndiyum	---	ABD	Japonya	G.Kore	---	---
Selenyum	---	---	Japonya	G.Kore	Çin	---
Renyum	---	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	---
Talyum	---	---	Japonya	G.Kore	---	---
Kadmium	---	---	---	G.Kore	---	---
Çinko	---	ABD	---	---	---	---
Gümüş	---	ABD	---	---	---	---
Kürsün	---	ABD	---	---	---	---
Uranyum	---	ABD	---	---	Çin	---
Demir	---	---	---	---	Çin	---
Altın	---	---	---	---	Çin	---
KHM Sayısı: 50	AB	ABD	Japonya	G.Kore	Çin	NATO
Beş Ülke için :	34	43	35	36	36	12
SHM Sayısı	16	---	---	---	23	---

(*) NATO beyanı - Savunma Sanayii Metalleri (11 Aralık, 2024), ABD Revizyonu (7 Kasım, 2025)

2.1. Hammadde Grupları

Ürün üretim faaliyetleri için temel girdiler (a) üretim teknolojisi, (b) hammadde, (c) enerji, (d) işgücü ve (e) finansmandır. Bu girdilerin tümünün varlığı durumunda, her bir girdi için kalite/miktar yeterliliği, temin güvenliği gibi konular üretim etkinliğini denetleyen faktörler olarak ortaya çıkar.

Bu yazıda, doğalgaz ve petrol dışındaki, sanayi girdisi **mineral kökenli hammaddeler**'in yanısıra, metal element kimyasalları, temel sarf kimyasalları (*amonyak, asit ve kostikler*), asal gazlar, katı yakıtlar (*kömür, kok+petrokok*) ve tarım sektörünün çok önemli bir girdisi olan kimyasal/mineral gübreler de dahil olmak üzere, dış ticaret verileri (Tablo 4) irdelenmektedir.

Tablo 4. Bu Yazıda İrdelenen Hammadde Emtia (*Mal*) Grupları

İmalat Sanayi Hammaddeleri	Metal	Dökme, Külçe, İngot,..	- İşlenmemiş formda
	Metal-Mamul	Haddelenmiş, Sac, Profil, Tel	- yarı mamul formda
	Endüstriyel Mineral	Cevher/Konsantre – Ham/ işlenmiş	
	Kimyasallar	Metal Element ve Temel Sarf Kimyasalları, Asal Gazlar, Kimyasal/Mineral Gübreler	
Enerji+Karbon Hammaddeleri	Katı Yakıt, Kok <i>Petrol, Doğalgaz...</i>	Taşkömür, Kokluk Kömür, Kok, Linyit	+ Petrokok
Metalik Cevherler		Cevher/Konsantre – Ham/ işlenmiş	
Geri Kazanım için Atıklar (Artıklar)	Metalik	Hurda, Toz, Döküntü Kül, Cüruf Değerli Metal içeren Elektronik Atıklar	

3. DIŞ TİCARET – HAMMADDE EMTİALARI VERİ TABANI

Dünya Gümrük Organizasyonu (WCO) tarafından da takip edildiği üzere, Türkiye'nin dış ticaret veri tabanı TÜİK tarafından 'Harmonize Sistem' altında yayınlanmaktadır. Bu veri tabanı, ticareti yapılan emtia (*mal-commodity*) türünün Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (*GTİP*) kodlaması altında, yıllar ve ülkeler bazında, tonaj ve \$/€/£ olarak ihracat/ithalat değerlerini içermektedir (TÜİK, 2025b).

Uluslararası Harmonize sistemde yapılan düzenlemelere göre, bazı emtiaların GTİP listelerindeki kodlamalarda gerekli değişiklikler yapılmakta ve her yıla ait GTİP listeleri yayınlanmaktadır. 2024 yılı tüm GTİP listesinde 15865 adet 12 dijital emtia kalemleri bulunmaktadır. Bu yazıda işlenen konular bağlamında, Tablo 4'de gösterilen hammadde gruplarında, *kimyasal emtiaları haricindeki*, 2022-2025 yılları için TÜİK veri tabanındaki 298 adet HS6'lı, 622 adet HS12'li (*toplam 920*) GTİP kodlu ihracat/ithalat verilerini (*tonaj ve \$ olarak*) içeren bir veri tabanı kullanılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. İrdelenen her bir emtia grubundaki GTİP kalemleri sayısı

Emtia Grupları	İrdelenen GTİP Kodları Sayısı	
	HS6'lı	HS12'li
Altın, Gümüş (Kimyasalları dahil)	9	6
PGM'ler (Kimyasalları dahil)	11	3
NTE'ler (Kimyasalları dahil)	0	18
Metal-Alaşimsız	22	16
Metal-Alaşımlı	25	11
Metal Mamul- Alaşimsız	116	24
Metal Mamul- Alaşımlı	88	0
Metalik-Cevher/Konsantre	0	37
Endüstriyel Mineral-Cevher/Konsantre	0	96
Metalik-Toz, dök., hurda/ Kül/Çuruf	27	18
Metalik- Elektronik atık, Geri Kazanım için	0	2
Kimyasallar (Metal Tablolarındaki elementler)	1	242
Katı Yakıtlar	0	13
Asal Gazlar	0	5
Temel Sarf Kimyasalları - Amonyak, Asit, Kostikler	0	14
Gübre, Kimyasal/Mineral	0	46
Çimento, Kireç, Alçı	0	14
Doğal Taşlar	0	35
TOPLAM : 920 Emtia kalemi	298	622

TÜİK dış ticaret veri tabanındaki verilere dayalı olarak hazırlanan, bu veri tabanındaki 545 GTİP kaleminin her biri, içerdiği emtiayı tanımlamak üzere ayrı ayrı kodlanmıştır. Bu kodlamada, her bir emtia içeriği için:

- Element, madde adı
- Metal (dökme, ingot türü işlenmemiş - alaşimsız/alaşımli)
- Metal Mamul (yarı mamul, haddelenmiş, sac, profil vd. - alaşimsız/alaşımli)
- Metalik Hurda/Toz/döküntü; Kül/Çüruf
- Cevher/Konsantre, Kimyasal

grup tanımlamaları kullanılmıştır. 2024 yılına ait işlenmemiş alaşımli alüminyum metal ve alüminyum cevheri için 'kodlanmış emtia veri' örnekleri aşağıda verilmektedir (Tablo 6). 'Metal Mamul' olarak gruplandırılmış emtialar, metallerden yapılmış 'eşya, alet, makine gibi' sanayi üretim ürünlerini kapsamamaktadır.

Tablo 6. Alüminyum için Kodlanmış Emtia Veri Örnekleri

Emtia Grup Kodları	Grup Adı	Yıl	HS6	GTİP HS12	Element / Hammadde	GTİP HS6 / HS12 adı	Ulke adı	İHRACAT		İTHALAT		
								Ton	1000\$	Ton	1000 \$	
101,2	1,2	Metal- Alaşımli	2024	760120	Al	Alaşımli	İşlenmemiş alüminyum alaşımli	İspanya	15.504	\$41.965	4.887	\$12.137
	3,1	Cevher/ Konsantre	2024	260600000000	Al	Cevher/Kons.	Alüminyum cevherleri ve zenginleştirilmiş alüminyum cevherleri	Çin	3.142.929	\$134.189	34.571	\$17.009

Taranmamış kolonlar TÜİK Dış Ticaret verileridir.

4. HAMMADDE EMTİALARI – KONSOLİDE TÜRKİYE DIŞ TİCARET VERİLERİ

Merkantilist politikanın temel amaçlarından biri 'ithalatı azaltmak, ihracatı artırmak'; diğer bir deyişle, parasal dış ticaret açığını azaltmaktır. Aynı kapsamda, hammadde temini açısından da, fiziksel hammadde dış ticaret açığı miktarının (tonaj olarak) azaltılması hedeflenir.

Serbest Dış Ticareti yapılan emtia'nın (*mal*) genel temin durumunun irdelenmesinde:

- Dış Ticaret Açığı – İç teminde yetersizlik/sorun olduğunun,
- Dış Ticaret Fazlası – İç teminde sorun olmadığını

göstergesidir. Dış ticaret Açığı/Fazlası: Parasal (\$, €, TL) ve Tonaj olarak tanımlanabilir.

Tablo 4'de belirtilen hammadde gruplarının 2023, 2024 ve 2025(Ocak-Haziran) yıllarına ait Konsolide 'İthalat-İhracat' verileri Tablo 7'de ABD Doları (\$) ve miktar (ton) olarak verilmektedir.

Tablo 7. Hammadde Emtialarının Konsolide Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

EMTİA GRUPLARI		HAMMADDE EMTİA GRUPLARI İhracat-İthalat Değerleri (\$) (x1000\$)				HAMMADDE EMTİA GRUPLARI İhracat-İthalat TONAJ (Ton)			
		2025 Q2	2024	2023	2022	2025 Q2	2024	2023	2022
		İHRACAT – İTHALAT (x1000\$)				İHRACAT – İTHALAT (Ton)			
Altın	Metal	-9.467.656	-13.619.608	-25.195.048	-17.957.092	-102	-186	-422	-337
	Kimyasal	73.722	-1.111	-903	-748	141	510	0.153	-0.252
	Hurda, Toz	-28	7	20	65	0 (?)	0.125 Kg	0.579 Kg	1.863 Kg
Gümüş	Metal	-187.438	-314.780	-386.704	-303.572	29	-114	-292	-246
	Kimyasal	-302	-1.239	-1.298	-1.186	-4	-10	-6	-4
PGM - Metal		-22.096	-30.983	-20.711	21.385	16.453	-8	-16	-18
PGM - Hurda, Cüruf		40.767	57.273	81.173	98.201	744	993	1.292	6.891
Hafif NTE'ler	Metal	-101	-149	-129	-118	-8	-13	-10	-9
	Kimyasal	2.417	6.427	-1.481	-1.656	-119	-298	-315	-310
Ağır NTE'ler	Metal	-15	-2	28	-9	-0,052	-0,122	99,051	-0,206
	Kimyasal	-6	-8.411	-12.750	-7.918	-17	-22	-19	-17
Metal (*)	Alaşımsız	-2.720.602	-5.085.120	-4.643.346	-6.310.436	-2.605.231	-3.949.448	-3.463.105	-3.524.332
	Alaşımlı	-660.324	-1.235.272	-1.561.658	-1.755.254	-388.700	-661.539	-780.666	-699.183
Metal Mamul (**)	Alaşımsız	-1.621.860	-3.579.625	-5.912.374	-421.613	876.022	-2.326.260	-4.520.216	2.062.486
	Alaşımlı	-529.803	-1.397.262	-1.910.591	-1.316.062	-1.280.984	-1.515.578	-1.960.197	-1.451.327
Metalik - Hurda	Demir Hariç	-303.623	-494.506	-489.537	-892.429	-91.530	-169.979	-189.503	-298.049
Metalik - Kül/Curuf	Demir Hariç	-19.995	-42.642	-34.234	-54.146	-146.914	-353.092	-411.853	-504.337
Metalik - Hurda	Demir	-3.433.810	-8.088.898	-7.333.773	-9.463.452	-9.290.777	-19.896.789	-18.604.889	-20.768.083
Metalik - Kül/Curuf	Demir (Tufal)	28.346	39.717	34.802	40.995	676.400	1.360.091	1.119.269	1.484.231
Elektronik Atık -Metal Geri Kazanım için		3.426	20.128	16.563	2.702	1.296	10.836	7.925	1.398
KatıYakıt-Kokluk Kömür		-2.449.135	-5.912.278	-6.238.755	-9.344.552	-22.070.455	-45.865.097	-43.001.139	-40.799.732
Metalik Cevher/Kons.	Demir	-418.045	-1.036.301	-842.648	-1.117.336	-3.914.992	-8.038.544	-6.141.195	-6.585.600
	Demir Hariç	1.020.616	2.231.315	1.808.842	1.820.683	3.214.026	7.819.109	6.138.602	5.695.406
End. Mineral-Cevher/Kons.		650.673	1.288.641	1.634.320	1.799.876	7.510.576	15.466.717	15.147.743	18.724.384
Kimyasallar - Metalik elementler		-168.350	-370.324	-462.748	-422.902	-62.775	-205.458	-282.789	-116.326
Gübre - Kimyasal/Mineral		-209.085	-364.223	-570.489	-1.136.498	-527.336	-1.403.299	-1.562.304	-1.841.295
Temel Sarf Kimyasalları (Amonyak, Asit ve Kostikler)		-301.595	-1.242.525	-1.997.317	-2.018.054	-1.070.158	-3.587.750	-4.629.663	-3.199.848
Asal Gazlar - He, Ar, Ne, Kr, Xn ve H		-6.822	-17.322	-27.375	-7.994	-2.025	-8.447	-13.683	-3.650
TOPLAM Altın, Gümüş Hariç		-11.119.024	-25.262.341	-28.484.186	-30.486.589	-29.156.503	-63.323.875	-63.146.630	-51.817.321
TOPLAM Altın, Gümüş		-9.581.701	-13.936.730	-25.583.933	-18.262.533	64	201	-719	-586
TOPLAM		-20.700.725	-39.199.071	-54.068.119	-48.749.121	-29.156.439	-63.323.674	-63.147.349	-51.817.907

(*) İşlenmemiş- Külçe, vd - Karbürler ve Madlar dahil (**) Yarı işlenmiş - Haddelenmiş - Sac, Tel, Profil, vd

Tablo 7'deki hammadde gruplarındaki element/hammadde emtialarının 'İhracat – İthalat' verileri, daha ayrıntılı olarak yazının sonunda, aşağıdaki başlıklar altındaki özet tablolarda verilmektedir.

• Metaller (<i>İşlenmemiş/Haddelenmiş, Alaşimsız/Alaşımli – Eşya Hariç</i>)	Tablo 10 ve 11
• Metalik Hurdalar	Tablo 12
• Metalik Kül/Cüruflar	
• Metalik Cevher/Konsantreler	Tablo 13 ve 14
• Endüstriyel Mineraller, Cevher/Konsantreler	Tablo 15
• Kimyasallar (<i>Metaller tablolarındaki elementler</i>)	Tablo 16
• Temel Sarf Kimyasalları (<i>Amonyak, H₂SO₄, HNO₃, HCl, Kostikler</i>)	
• Asal Gazlar	Tablo 17
• Kimyasal/Mineral Gübreler	
• Altın/Gümüş, Platin Grubu Metaller (PGM) ve NTE'ler	Tablo 18
• Katı Yakıtlar (<i>kömür, Kok + Petrokok</i>)	Tablo 19

İmalat sanayi hammaddeleri olmayan; ancak, ülke ekonomisine önemli katkı sağlayan çimento/kireç/alçı ve doğaltaş dış ticaret verileri de, *bilgi için*, ayrı bir tabloda (Tablo 20) verilmektedir.

5. TÜRKİYE İMALAT SANAYİ HAMMADDELERİ DIŞ TİCARETİ – GENEL BULGULAR

Ayrıntıları Tablo 9'dan Tablo 18'e kadar olan tablolarda verilen imalat sanayii hammadde gruplarının son dört yıllık 'ithalat-ithalat' dış ticaret verilerinin konsolide edildiği Tablo 7'deki 'eksi değerler', parasal değer (\$) ve ton olarak dış ticaret açıklarını göstermektedir. Bu tablodaki element ve emtia bazındaki imalat sanayi hammaddelerinin dış ticaret açığı/fazlalığı Tablo 8'de özetlenmiştir.

Tablo 8. 2024 Yılı Dış Ticaret *Tonaj* Açığı/Fazlalığı olan Hammaddeler ve Toplam \$ Değerleri

Hammadde Emtia Grupları		Dış Ticaret Açığı (tonaj)	Dış Ticaret Fazlalığı (tonaj)
Metal Formda	İşlenmemiş - <i>dökme vd</i>	Diğer tüm metaller	Antimon ve Alüminyum
	Yarı mamul - <i>haddeli vd</i>	Diğer tüm metaller	Bakır
Cevher ve Konsantreler	Metalik	Demir, Titanyum, Zirkonyum, Molibden, Kobalt, Volfraam, Kalay, Nikel, Lityum	Diğer tüm cevherler
	Endüstriyel Mineral	Fosfat Kayası, Döküm Kumu, Florspat, Potas, Silisyum, Grafit, Talk Kaolen, Bentonit- <i>İşlenmiş</i>	Diğer tüm cevherler
Geri Kazanım için Metalik Atıklar (<i>Artıklar</i>)	Hurda, Toz, Döküntü	Demir, Alüminyum, Bakır, Magnezyum, Çinko, Kobalt, Manganez, Molibden, X Bizmut, Renyum, Hafnium	Kalay, Çinko, Tungsten, Titanyum, Nikel, Tantal, Berilyum
	Kül/Cüruf	Diğer (<i>tanımsız-büyük miktar</i>), Çinko, Alüminyum, Bakır, Nikel	Demir (<i>Tufal/diğer</i>)
	Elektronik atıklar	---	Değerli Metal içeren Elektronik Atıklar
Kimyasallar	Metalik elementler	Diğer tüm elementler ve temel sarf kimyasalları, asal gazlar ve kimyasal/mineral gübreler	Kurşun, Kobalt, Bakır, Çinko, Magnezyum, Bor Nitrik ve Hidroklorik Asit Kripton/Ksenon (gaz)
Enerji, Kok ve Petrokok	Katı Yakıt ve İzabe için	Taşkömür, Kokluk Kömür, Kok + Petrokok	Linyit (<i>çok az miktarda</i>)
Platin Grubu Metaller (PGM'ler)	Platin, Palladyum, Rodyum, İridyum, Os/Ru	Diğer PGM'ler - <i>Metal/kimyasal</i>	Platin ve Palladyum metal Diğer (?) PGM hurdalar
Nadir Toprak Elementleri	Hafif NTE'ler	Tüm NTE'ler - <i>Metal formda</i>	Diğer (?) HNT kimyasal
	Ağır NTE'ler	Ağır NTE'ler - <i>Metal/Kimyasal</i>	---
2024 Yılı Dış Ticaret Toplamı (\$) Altın/Gümüş HARIÇ		-\$45.9 Milyar	\$20.7 Milyar
Altın / Gümüş		Altın ve Gümüş - <i>Metal</i>	Altın Kimyasalları (?)
Altın/Gümüş 2024 Yılı Dış Ticaret Toplamı		-\$15.4 Milyar	\$1.4 Milyar

5.1. Türkiye İmalat Sanayi Hammaddeleri Dış Ticareti – Miktarlar (Ton)

Hali hazırdaki imalat sanayimiz için yapılan hammadde **Dış Ticaret (DT) tonajlarına** bakıldığında:

Metallerde (Tablo 10 ve 11):

- Büyük tonajlarda ihtiyaç duyulan metaller olarak demir, alüminyum, bakır, çinko, kurşun, nikel kalay, titanyum, magnezyum, volfram, kobalt DT Açığına öne çıkmakta; ancak,
- Toplamda dış ticaret açığı (\$) olmasına rağmen, alüminyum ve bakırın yarı mamullerinde DT Fazlalığı görülmektedir.
- Yeşil enerji ve ileri teknoloji hammaddeleri metallerinin tümüne yakınında (PGM, Nadir Toprak Elementleri dahil), düşük tonajlarda DT Açığı bulunmakta; ancak antimonda DT fazlalığı görülmektedir.

Metalik Hurda-Kül/Cüruflarda (Tablo 12):

- Demirde yıllık 19 milyon ton üzerinde olmak üzere, alüminyum, magnezyum ve çinko hurda-kül/cüruf ticaretinde DT Açığı
- Tungsten, titanyum ve nikel hurdalarında DT Fazlalığı bulunmaktadır.
- Kül/Cüruf formunda "diğer" olarak tanımlanmış emtiada yıllık 300.000 ton üzerinde DT Açığı verildiği görülmektedir.

Metalik Cevher/Konsantrelerde (Tablo 13 ve 14):

- Demirde yıllık 7-8 milyon ton düzeyinde; zirkonyum, titanyum, molibden, nikel, lityum için DT Açığı
- Diğer metal cevherlerinde DT Fazlalığı bulunmaktadır.

Endüstriyel Hammaddelerde (Tablo 15):

- Fosfat kayası, döküm kumu, florspat, potas, silisyum (>%99,5 Silis), grafit ve talk için DT Açığı,
- Diğer endüstriyel mineral hammaddelerinde DT Fazlalığı bulunmaktadır. Ancak, kaolen ve bentonit gibi bazı killerin işlenmiş formlarında DT Açığı olduğu görülmektedir.

Kimyasal (Metalik) Hammaddelerde (Tablo 16):

- Magnezyum, Çinko, Kurşun, Bor kimyasallarında (hatta kobalt) DT Fazlalığı,
- Diğer tüm element kimyasallarında DT Açığı bulunmaktadır.

Diğer Kimyasal Hammaddelerde (Tablo 17):

- Tarım sektörünün önemli girdisi olan kimyasal/mineral gübrelerde yıllık ~1,5 milyon ton DT Açığı,
- Temel sanayi sarf kimyasalları olan amonyak, kostik ve sülfürik asitte DT Açığı; Nitrik ve hidroklorik asitte DT Fazlası,
- Asal gazlarda, Kripton ve Ksenon haricinde, genel olarak DT Açığı bulunmaktadır.

Altın/Gümüş, Platin Grubu Metaller (PGM) ve NTE'ler (Tablo 18):

- Son dört yılda, Altın'da 186-422 ton/yıl; Gümüş'te 114-246 ton/yıl aralığında değişen miktarlarda DT Açığı, kimyasallarında DT Fazlası,
- Platin metalinde genel DT Fazlalığı, Palladyum metalinde (2025 yılında) DT Fazlalığı, tüm PGM kimyasallarında DT Açığı,
- Ülkemizde üretimi bulunmamasına rağmen, Platin ve diğer PGM'lerin hurda ve küllerinde, 1000 ton/yıl'dan fazla tonajlarda DT Fazlalığı bulunmaktadır.
- Nadir toprak elementlerinin tümünde, seryum dışındakiler 1 ton/yıl'dan çok az olmak üzere, DT Açığı bulunmaktadır.

Katı Yakıt, Kok ve Petrokok (Tablo 19):

- Petrol/Doğalgaz dışında sanayinin önemli enerji hammaddeleri olan taşkömürlerde yıllık 30 milyon tondan fazla, Kokluk kömürde 4-5 milyon ton, antrasitte 1 milyon ton düzeyinde DT Açıkları,

- İzabe sektörünün hammaddesi olan Kok kömüründe 1 milyon ton/yıl'ın üzerinde DT Açığı,
- Özellikle çimento sektörünün enerji hammaddesi olan petrokokda 3-4 milyon ton/yıl DT Açığı vardır.

5.2. Türkiye İmalat Sanayi Hammaddeleri Dış Ticareti – Parasal Değer (ABD doları, \$)

Dış ticaret açığı/fazlalığı, ihracatın ithalattan çıkarılması ile hesaplanmaktadır. Bu veriler, yapılan ticaretteki ülke toplam gider veya gelirini belirtir. Dış ticaret pazarının büyüklüğü (Dış Ticaret Hacmi) ise ithalat ve ihracat toplamı olarak tanımlanır ve emtiaların ülke ekonomisi ve dış ticaretindeki öneminin bir ölçütüdür. Türkiye'nin Tablo 7'deki hammaddelerin Konsolide Dış Ticaret verilerinin toplam değerleri Tablo 9'da özetlenmiştir.

Tablo 9. İrdelenen Hammadde Emtialarının Dış Ticaret Konsolide Değerleri (Milyar \$)

Yıllar		2025 (ilk 6 ay)	2024	2023	2022
		Milyar \$			
Tüm diğer İmalat Sanayi Hammaddeleri	Dış Ticaret HACMİ (İhracat + İthalat)	\$33.1	\$66.6	\$66.1	\$85.6
	Dış Ticaret AÇIĞI (İhracat - İthalat)	-\$11.1	-\$25.2	-\$28.5	-\$30.5
Altın/Gümüş	Dış Ticaret HACMİ (İhracat + İthalat)	\$11.3	\$16.8	\$27,0	\$19.8
	Dış Ticaret AÇIĞI (İhracat - İthalat)	-\$9.6	-\$14,0	-\$25.6	-\$18.3

6. ÖZET

Bu yazıda, imalat sektör hammaddelerinin ithalat ve ihracat verileri irdelenmiştir. Tonaj olarak dış ticaret açığı olan hammaddelerin teminindeki olası sorunlar, bu hammaddelerle katma değer yaratan alt imalat sanayi faaliyetlerinde ortaya çıkacak olası yavaşlama ve duruşlar, katma değerli malların ülke ekonomisine arzı ve ihracat gelirlerinde azalmaya neden olur. Hammadde temin güvenliği konusu, özellikle yeşil enerji üretim/depolama ve ileri teknoloji ürünleri için gerekli hammaddelerin global düzeyde **Kritik** ve hatta **Stratejik** olarak tanımlanmasını gündeme getirmiş ve gelişmiş ülkeler arasında ekonomik/politik güç çekişmelerine neden olmaktadır.

Tablo 8'de adları belirtilen hammaddelerin Dış Ticaret Açığı olanlarının tümüne yakını, Tablo 3'de verilen, gelişmiş ülkeler tarafından beyan edilmiş Kritik/Stratejik Hammadde listesindedir. Bu durum, sözkonusu hammaddeler için global pazarlarda, büyük rakiplere göre farklı miktarlarda olsa dahi, Türkiye için de bir olası '**Temin Riski**' konusudur.

Tablo 9'da görüleceği üzere, bu yazıda irdelenen, altın/gümüş dışındaki imalat sanayi hammaddeleri yıllık 66+ milyar ABD dolarlık bir ticaret hacmine sahiptir; ancak, yılda 25-30 milyar ABD doları dış ticaret açığı bulunan Türkiye için büyük '**Ekonomik Önem**' arz etmektedir.

Bölüm 5'de özetlenen bulguların ışığı altında, yakın gelecekteki global hammadde tedarik risklerine karşı, ülke ekonomisinde önemli bir paya sahip olan imalat sanayi hammaddelerinin:

- Cevher, metal ve kimyasal formlarının dahilinde üretim miktarlarının artırılması,
- Hurda, cüruf/kül türü metalik artıklarının ihracat yerine dahilinde geri kazanılması,

- İthalat ile ortaya çıkabilecek global temin risklerinin azaltılmasına yönelik 'Sanayi ve Ticaret Politikalarının' uygulama ivmesinin artırılması gereklidir.

Tablo 10. 2024 ve 2025Q2 Yılları Metal Emtia Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

Metal	2025 (Ocak-Haziran)				2024			
	İHRACAT - İTHALAT				İHRACAT - İTHALAT			
	Alaşımız+Alaşımız		TOPLAM Metal		Alaşımız+Alaşımız		TOPLAM Metal	
	Metal (*) (Külçe, vd)	Metal (**) (Haddeli, vd)			Metal (*) (Külçe, vd)	Metal (**) (Haddeli, vd)		
Ton	Ton	Ton	1000\$	Ton	Ton	Ton	1000\$	
Demir	-2.525.477	-1.172.698	-3.698.175	-\$2.178.078	-4.628.053	-2.205.686	-6.833.739	-\$4.905.041
Alüminyum	1.197.045	-504.817	692.228	-\$831.939	-820.066	18.388	-801.678	-\$1.459.720
Bakır (****)	-209.620	22.211	-187.410	-\$1.789.724	-385.385	34.320	-351.065	-\$3.287.394
Çinko (****)	-128.546	-4.894	-133.441	-\$397.950	-287.998	-9.681	-297.679	-\$882.217
Kurşun	-53.916	0	-53.916	-\$116.281	-138.052	0	-138.052	-\$321.770
Nikel (****)	-2.219	-530	-2.748	-\$55.881	-4.656	-1.116	-5.771	-\$132.327
Kalay	-1.680	-78	-1.758	-\$58.023	-3.126	-146	-3.272	-\$102.695
Titanyum (***)	-711	0	-711	-\$85.081	-1.731	-0,006	-1.731	-\$162.603
Mangan	-1.474	0	-1.474	-\$3.089	-4.874	0	-4.874	-\$10.414
Volfram (***)	-35	-1	-37	-\$3.550	-100	-7	-107	-\$9.384
Krom	-110	-8	-118	-\$1.232	-103	0,004	-103	-\$1.373
Zirkonyum	-5	0	-5	-\$598	-8	0	-8	-\$855
Kobalt	-249	0	-249	-\$7.420	-585	0	-585	-\$16.010
Molibden (***)	-23	0	-23	-\$3.309	-41	0	-41	-\$4.806
Kadmiyum	-21	0	-21	-\$109	-16	0	-16	-\$102
Antimon	242	0	242	\$12.846	404	0	404	\$8.517
Magnezyum	-2.348	0	-2.348	\$2.714	-1.262	0	-1.262	\$12.162
Galyum	-50	0	-50	-\$849	-50	0	-50	-\$1.029
Niyebyum	-9	0	-9	-\$1.090	-4	0	-4	-\$634
Berilyum	-0,010	0	-0	-\$4	-0,306	0	-0,306	-\$14
Vanadyum (***)	-0,001	0,001	0	-\$0	-0,178	0,006	-0,172	-\$58
Germanyum	0,008	0	0	\$39	-0,082	0	-0,082	-\$245
Renyum	0	0	0	\$0	-0,030	0	-0,030	-\$60
Hafniyum	0,202	0	0	-\$54	0,012	0	0,012	-\$1.683
Tantal (***)	-0,332	0	-0	-\$194	0,427	0	0,427	-\$166
İndiyum	0	0	0	\$0	0	0	0	\$0
Bizmut	0	0	0	\$0	0	0	0	\$0
Tellür	0	0	0	\$0	0	0	0	\$0
Cs, Rb	0	0	0	\$0	0	0	0	\$0
Karbür, Si	0	-8.813	-8.813	-\$11.761	0	-13.173	-13.173	-\$15.863
Karbür, Bor	0	-53	-53	-\$1.588	0	-15	-15	-\$1.014
Karbür, Diğer	0	-1	-1	-\$180	0	-1,929	-1,929	-\$249
TOPLAM				-\$5.532.387				-\$11.297.047

(*) Külçe, vd - işlenmemiş, (**) Haddelenmiş - Sac, Tel, Profil, vd, (***) Karbürler dahil, (****) Matlar dahil

Tablo 11. 2024 yılı Alaşimsız/Alaşimli Metal Emtia Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

Metal	İHRACAT - İTHALAT						TOPLAM Metal	
	Alaşimsız		Alaşimli		Alaşimsız+Alaşimli		Ton	1000\$
	Metal (*) (Külçe, vd) Ton	Metal (**) (Haddeli, vd) Ton	Metal (*) (Külçe, vd) Ton	Metal (**) (Haddeli, vd) Ton	Metal (*) (Külçe, vd) Ton	Metal (**) (Haddeli, vd) Ton		
Demir	-2.477.028	-374.249	-2.151.025	-1.831.437	-4.628.053	-2.205.686	-6.833.739	-\$4.905.041
Alüminyum	-1.022.601	-264.185	202.535	282.573	-820.066	18.388	-801.678	-\$1.459.720
Bakır (****)	-2.715	52	-382.670	34.269	-385.385	34.320	-351.065	-\$3.287.394
Çinko (****)	-286.186	-9.681	-1.812	0	-287.998	-9.681	-297.679	-\$882.217
Kurşun	-147.236	0	9.184	0	-138.052	0	-138.052	-\$321.770
Nikel (****)	-4.616	-133	-39	-983	-4.656	-1.116	-5.771	-\$132.327
Kalay	-3.200	-146	74	0	-3.126	-146	-3.272	-\$102.695
Titanyum (***)	-11	-0,006	-1.720	0	-1.731	-0,006	-1.731	-\$162.603
Mangan	-4.241	0	-634	0	-4.874	0	-4.874	-\$10.414
Volfram (***)	-3	-7	-97	0	-100	-7	-107	-\$9.384
Krom	-110	0,004	7	0	-103	0,004	-103	-\$1.373
Zirkonyum	-0,154	0	-7	0	-8	0	-8	-\$855
Kobalt	-516	0	-70	0	-585	0	-585	-\$16.010
Molibden (***)	-9	0	-32	0	-41	0	-41	-\$4.806
Kadmiyum	0	0	-16	0	-16	0	-16	-\$102
Antimon	418	0	-14	0	404	0	404	\$8.517
Magnezyum	-1.392	0	130	0	-1.262	0	-1.262	\$12.162
Galyum	-0,023	0	-50	0	-50	0	-50	-\$1.029
Niyebyum	-0,825	0	-3,184	0	-4	0	-4	-\$634
Berilyum	0	0	-0,306	0	-0,306	0	-0,306	-\$14
Vanadyum (***)	-0,178	0	0	0	-0,178	0,006	-0,172	-\$58
Germanyum	-0,050	0	-0,032	0	-0,082	0	-0,082	-\$245
Renyum	0	0	-0,030	0	-0,030	0	-0,030	-\$60
Hafniyum	0	0	0,012	0	0,012	0	0,012	-\$1.683
Tantal (***)	-0,300	0	0,727	0	0,427	0	0,427	-\$166
İndiyum	0	0	0	0	0	0	0	\$0
Bizmut	0	0	0	0	0	0	0	\$0
Tellür	0	0	0	0	0	0	0	\$0
Cs, Rb	0	0	0	0	0	0	0	\$0
Karbür, Si	0	-13,173	0	0	0	-13,173	-13,173	-\$15.863
Karbür, Bor	0	-15	0	0	0	-15	-15	-\$1.014
Karbür, Diğer	0	-1,929	0	0	0	-1,929	-1,929	-\$249
TOPLAM (\$)								-\$11.297.047

(*) Külçe, vd işlenmemiş, (**) Haddelenmiş - Sac, Tel, Profil, vd, (***) Karbürler dahil, (****) Matlar dahil

Tablo 12. 2023, 2024 ve 2025Q2 Yılları Metalik Hurda ve Kül/Cüruf Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

Element	2025 (Ocak-Haziran)		2024		2023	
	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$
Demir	-9.290.777	-\$3.433.810	19.896.789	-\$8.088.898	-18.604.889	-\$7.333.773
Alüminyum	-71.933	-\$147.999	-178.281	-\$336.080	-183.737	-\$317.771
Bakır	-20.008	-\$162.831	-36.417	-\$280.235	-39.015	-\$273.491
Magnezyum	-3.147	-\$6.851	-8.347	-\$21.629	-5.005	-\$12.542
Çinko	-1.341	-\$4.194	-3.966	-\$9.334	-2.155	-\$3.709
Antimon	0	\$0	-65	-\$88	0	\$0
Kobalt	-11	-\$300	-24	-\$648	0	\$0
Manganez	-25	-\$49	-19	-\$40	0	\$0
Krom	0	\$0	-18	-\$34	-84	-\$136
Molibden	-1	-\$52	-0	-\$39	-3	-\$294
Niobyum	0	\$0	0	\$0	0	\$0
Vanadyum	0	\$0	0	\$0	0	\$0
Zirkonyum	0	\$0	0	\$0	0	\$0
Kalay	6	\$216	3	\$109	5	\$197
Çinko	72	\$205	126	\$314	96	\$271
Tungsten	293	\$5.869	477	\$9.015	124	-\$1.078
Titanyum	120	\$733	730	\$3.218	0	\$0
Nikel	4.455	\$11.967	55.874	\$141.670	40.312	\$120.320
Bizmut	-11	-\$204	-52	-\$721	-41	-\$1.267
Hafniyum	-0	-\$2	-0	-\$31	-0	-\$37
Renyum	-0	-\$136	-0	-\$18	0	\$0
Tantal	0	\$4	0	\$65	0	\$0
Berilyum	0	\$1	0	\$1	0	\$1

İthalat	-\$3.756.428	-\$8.737.795	-\$7.944.099
İhracat	\$18.995	\$154.391	\$120.789
İhracat - İthalat	-\$3.737.434	-\$8.583.404	-\$7.823.309

METALİK KÜL / CÜRUF DIŞ TİCARETİ						
Element	2025 (Ocak-Haziran)		2024		2023	
	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$
Diğer (?)	-132.909	-\$8.231	-334.065	-\$23.786	-397.634	-\$21.367
Çinko	-6.725	-\$6.337	-10.875	-\$11.321	-7.835	-\$11.434
Alüminyum	-2.520	-\$2.499	-4.022	-\$4.294	-4.425	-\$2.896
Bakır	-4.769	-\$2.934	-4.141	-\$3.251	-1.958	\$1.463
Kurşun	0	\$0	-0,002	-\$0	0	\$0
Arsenik	0,006	-\$0	0	\$0	0,001	\$0
Titanyum	0	\$0	0	\$0	0	\$0
Nikel	9	\$6	11	\$10	0	\$0
Demir (Tufal)	676.400	\$28.346	1.360.091	\$39.717	1.119.269	\$34.802

İthalat	-\$20.001	-\$42.652	-\$35.697
İhracat	\$28.351	\$39.728	\$36.265
İhracat - İthalat	\$8.351	-\$2.924	\$568

Tablo 13. 2023, 2024 ve 2025Q2 Yılları Metalik Cevher/Konsantre Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

(Bor, Lityum ve Stronsiyum dahil)

Metalik Cevher/Konsantre	2025 (Ocak – Haziran)			2024			2023		
	İHRACAT Ton	İHRACAT-İTHALAT Ton	1000\$	İHRACAT Ton	İHRACAT-İTHALAT Ton	1000\$	İHRACAT Ton	İHRACAT-İTHALAT Ton	1000\$
Altın	32.181	32.177	\$119.430	67.569	67.526	\$203.744	59.644	57.057	\$163.191
Gümüş	23	23	\$385	1	1	\$104	1	1	\$161
Demir - Non-aglomere	767.812	-2.366.350	-\$235.191	2.101.056	-4.460.622	-\$524.370	2.185.929	-3.274.976	-\$390.635
Demir - Aglomere	43.962	-1.612.776	-\$203.280	69.887	-3.702.308	-\$540.298	50.878	-2.967.197	-\$462.886
Zirkonyum	321	-3.586	-\$6.318	126	-5.587	-\$11.123	91	-4.581	-\$10.566
Titanyum	49	-3.587	-\$5.487	165	-7.938	-\$14.486	233	-28.849	-\$20.778
Molibden - Kavrulmuş	0	-199	-\$5.179	20	-264	-\$7.380	0	-199	-\$5.963
Molibden - Ham	0	0	\$0	0	-19	-\$59	0	-0	\$5
NTE-Basnezit vd – Sc,Y	5	-601	-\$183	302	38	-\$75	98	-10	-\$10
Lityum	1	-86	-\$124	13	-179	-\$736	8	-118	-\$676
Nikel	0	-129	-\$102	54	49	\$51	226	225	\$225
Kobalt	0	-0,047	-\$5	0	-0	-\$0	0	-0	-\$5
Volfram	0	-0	-\$0	0	0	\$0	0	0	\$0
Toryum	0	0	\$0	0	-0	-\$0	0	0	\$0
Uranyum	0	0	\$0	0	0	\$0	0	0	\$0
Nb,Ta, Vanadyum	1	1	\$2	0	-0	-\$0	0	-2	-\$7
Kalay	33	33	\$61	21	21	\$91	90	90	\$42
Antimon	1.979	623	\$40.546	4.867	4.622	\$41.387	5.054	4.316	\$18.730
Manganez	5.376	4.316	\$205	33.368	31.666	\$3.830	46.746	45.385	\$6.388
Selestin - Sr	19.544	18.867	\$3.255	37.265	36.562	\$6.168	46.792	45.590	\$7.930
Dolo-Öğütülmemiş-Ham	9.153	9.153	\$127	13.649	13.629	\$387	906	891	\$72
Dolo-Öğütülmüş-Ham	12.251	12.232	\$969	32.252	32.250	\$1.818	50.388	50.209	\$1.865
Manyezit-Ham	34.817	34.475	\$3.434	52.992	52.950	\$5.423	40.756	40.521	\$4.370
Pirit-Bakırlı	0	-27	-\$12	0	-55	-\$32	0	-87	-\$45
Pirit-Kavrulmuş	0	-1	-\$2	0	-3	-\$2	63.249	63.243	\$4.623
Pirit-Diğer	64.573	64.161	\$20.440	125.061	124.443	\$28.401	38.676	37.823	\$6.295
Kurşun	64.494	63.418	\$97.909	123.315	122.679	\$198.727	130.628	128.472	\$192.544
Bakır	199.186	199.186	\$303.499	473.517	473.455	\$662.129	392.252	391.977	\$486.884
Bor	298.790	298.790	\$102.384	668.105	668.105	\$237.713	482.720	482.720	\$190.517
Çinko	354.255	354.032	\$209.123	742.873	739.316	\$401.997	853.296	837.408	\$345.697
Krom	467.821	383.930	\$96.863	1.380.083	1.239.690	\$352.523	1.465.526	1.372.565	\$365.430
Boksit - Al	1.836.56	1.810.95	\$59.855	4.409.085	4.350.216	\$148.863	2.754.153	2.715.063	\$62.876
Diğer Metal Cevherleri	1	-1	-\$34	367	321	\$217	27	-129	-\$87
TOPLAM	4.213.189	-700.967	\$602.571	10.336.012	-219.435	\$1.195.014	8.668.365	-2.595	\$966.187

Tablo 14. 2023, 2024 ve 2025Q2 Yılları Metalik Cevher/Konsantre Konsolide Dış Ticaret Verileri (“-“ değerler dış ticaret açığıdır)

(Lityum, Bor, Stronsiyum dahil)

Element	2025 (Ocak-Haziran)		2024		2023	
	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$	İHR-İTH Ton	İHR-İTH 1000\$
Altın	32.177	\$119.430	67.526	\$203.744	57.057	\$163.191
Gümüş	23	\$385	0,940	\$104	0,514	\$161
Demir	-3.914.992	-\$418.045	-8.038.544	-\$1.036.301	-6.141.195	-\$842.648
Titanyum	-3.587	-\$5.487	-7.938	-\$14.486	-28.849	-\$20.778
Zirkonyum	-3.586	-\$6.318	-5.587	-\$11.123	-4.581	-\$10.566
Molibden	-199	-\$5.179	-282	-\$7.439	-199	-\$5.958
Kobalt	-0,047	-\$5	-0,054	-\$0	-0,055	-\$5
Volfram	-0,001	-\$0	0	\$0	0	\$0
Kalay	33	\$61	21	\$91	90	\$42
Nikel	-129	-\$102	49	\$51	225	\$225
Antimon	623	\$40.546	4.622	\$41.387	4.316	\$18.730
Manganez	4.316	\$205	31.666	\$3.830	45.385	\$6.388
Magnezyum	55.860	\$4.530	98.830	\$7.628	91.621	\$6.307
Kurşun	63.418	\$97.909	122.679	\$198.727	128.472	\$192.544
Bakır	199.186	\$303.499	473.455	\$662.129	391.977	\$486.884
Çinko	354.032	\$209.123	739.316	\$401.997	837.408	\$345.697
Krom	383.930	\$96.863	1.239.690	\$352.523	1.372.565	\$365.430
Alüminyum	1.810.958	\$59.855	4.350.216	\$148.863	2.715.063	\$62.876
Diğer (?)	-0,819	-\$34	321	\$217	-129	-\$87
Nb,Ta,V	1,000	\$2	-0,001	-\$0	-0,040	-\$0
Sc, Y	-601	-\$183	38	-\$75	-10	-\$10
Lityum	-86	-\$124	-179	-\$736	-118	-\$676
Stronsiyum	18.867	\$3.255	36.562	\$6.168	45.590	\$7.930
Bor	298.790	\$102.384	668.105	\$237.713	482.720	\$190.517
Toryum	0	\$0	-0,001	-\$0	0	\$0
Uranyum	0	\$0	0	\$0	0	\$0
İthalat		-\$435.478		-\$1.070.160		-\$880.736
İhracat		\$1.038.049		\$2.265.174		\$1.846.923
İhracat - İthalat		\$602.571		\$1.195.014		\$966.187

Tablo 15. 2023, 2024 ve 2025Q2 Yılları Endüstriyel Mineral Hammadde Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

Endüstriyel Mineral Cevher/Konsantr		2025 (Ocak – Haziran)			2024			2023		
		İHRACAT Ton	İHRACAT-İTHALAT		İHRACAT Ton	İHRACAT-İTHALAT		İHRACAT Ton	İHRACAT-İTHALAT	
			Ton	1000\$		Ton	1000\$		Ton	1000\$
Fosfat kayası	Fosfat kayası- Ham	0	-119.236	-\$15.303	7	-240.901	-\$27.601	2.983	-575.104	-\$80.490
	Fosfat kayası- Öğütülmüş	2.505	-244.023	-\$29.742	15.284	-579.617	-\$69.831	8.972	-159.477	-\$16.282
Kum-Kuvarslı	Kum-Kuvarslı	21.812	-387.837	-\$29.008	45.659	-889.392	-\$56.858	40.254	-818.567	-\$45.713
Florspat	Florspat	50	-78.134	-\$10.287	6.409	-97.547	-\$15.219	1.258	-71.287	-\$11.790
Potas	Potas	156	-6.643	-\$7.076	534	-12.131	-\$13.160	487	-11.290	-\$16.246
Silisyum, <99,5	Silisyum, 17%99,5	1.079	-7.312	-\$12.190	1.306	-14.298	-\$28.332	534	-13.742	-\$32.638
Silisyum, >99,5	Silisyum, GT%99,5	2	-800	-\$12.026	0	-366	-\$9.768	22	-1.179	-\$34.514
	Grafit-Doğal - Diğer	669	-1.869	-\$3.148	2.131	-10.492	-\$12.640	1.513	-4.461	-\$6.439
Grafit	Grafit-Sunul	3	-549	-\$443	9	-1.008	-\$957	8	-1.192	-\$1.502
	Grafit-mamul	211	-11.598	-\$12.170	707	-20.859	-\$25.034	597	-30.303	-\$38.560
	Grafit-Doğal - Diğer	32	-798	-\$2.463	90	-4.271	-\$8.622	93	-3.484	-\$8.483
Talk	Talk	6.174	-13.715	-\$3.600	13.610	-30.408	-\$9.498	13.056	-27.355	-\$8.150
Diatomit, vd	Diatomit, vd	0	0	\$0	491	-1.401	-\$1.386	1.244	-2.018	-\$2.157
Mika	Mika	499	91	-\$357	1.407	497	-\$447	1.169	405	-\$657
Diğer-Mineraller?	Diğer-Mineraller ???	72.963	56.357	-\$12.238	241.954	200.686	-\$38.699	232.651	192.332	-\$57.907
Kaolin	Kaolin- Ham	182.784	80.215	-\$8.850	439.012	286.528	-\$12.805	380.574	220.250	-\$17.651
	Kaolin- Öğütülmüş	5.279	-73.701	-\$20.688	9.752	-97.186	-\$34.520	15.174	-103.423	-\$36.437
Kaolinli kil	Kaolinli kil -Ham	31.708	9.197	-\$2.771	33.298	114	-\$4.141	95.995	46.952	-\$5.311
	Kaolinli kil - Öğütülmüş	475	-15.653	-\$3.059	622	-36.133	-\$8.883	614	-33.250	-\$8.380
Kil-Refrakter	Kil-Refrakter	0	0	\$0	219.989	115.924	-\$22.112	232.103	94.261	-\$27.301
Kuvars	Kuvars-Ham	406	359	\$37	469	384	\$64	557	495	\$91
	Kuvars-Mikronize	252	227	\$58	1.777	1.516	\$241	1.470	1.245	\$127
Kuvarsit-Ham	Kuvarsit-Ham	103.288	102.611	\$14.392	255.817	254.874	\$33.171	255.944	254.678	\$35.976
	Kuvarsit-Ham	24.885	24.823	\$552	38.657	38.621	\$1.093	39.550	39.476	\$871
Pamza	Pamza	235.094	235.062	\$17.746	449.549	449.530	\$37.931	379.901	379.860	\$30.941
Perlit	Perlit - Ham	261.229	261.206	\$18.133	539.041	538.971	\$41.256	488.841	488.767	\$39.450
	Perlit - Genleştirilmiş	1.704	1.648	\$570	3.416	3.308	\$1.121	2.317	2.184	\$540
Vermikülit	Vermikülit - Genleştirilmiş	5.092	4.756	\$1.643	10.253	9.542	\$2.828	6.247	5.695	\$1.383
	Vermikülit - Ham	144	-2.252	-\$1.194	3.604	-1.478	-\$2.189	511	-4.612	-\$2.722
Kükürt	Kükürt	168.083	-16.809	-\$5.070	327.030	-42.237	-\$5.708	411.778	105.976	\$25.295
Aşırdırcı Taşlar	Aşırdırcı Taşlar	21.540	18.906	\$1.672	59.409	57.283	\$5.490	75.520	72.264	\$4.569
Alçıtaşı	Alçıtaşı	113.034	31.137	-\$505	432.588	348.417	\$7.417	341.272	278.763	\$2.509
Kum-Diğer	Kum-Diğer	45.793	38.465	\$2.911	62.669	62.438	\$5.416	50.127	50.049	\$5.502
Kalsit	Kalsit	197.639	186.919	\$14.839	381.300	359.182	\$30.052	415.801	397.239	\$33.651
Kireçtaşı/Kastin	Kireçtaşı/Kastin	1.248.260	1.248.161	\$2.272	2.825.889	2.825.830	\$12.978	2.575.774	2.575.728	\$9.073
Tuz	Tuz-Sıvalı	114.748	86.912	\$13.883	284.320	251.448	\$33.260	353.052	352.623	\$36.862
	Tuz-Gıda	83.135	81.249	\$8.372	208.675	206.248	\$20.675	249.681	247.601	\$25.230
	Tuz-Diğer	37.809	30.721	\$2.696	71.700	62.523	\$6.498	80.989	74.996	\$6.327
	Tuz-Tuzla	0	0	\$0	2.207	2.202	\$358	1.192	1.189	\$211
	Tuz-Saf	1.155	-29	-\$640	2.298	220	-\$961	1.764	-208	-\$883
Barit	Barit - Mikronize	20.780	8.098	\$6.094	55.251	42.859	\$17.521	43.466	40.521	\$14.046
	Barit - Öğütülmüş	31.856	31.498	\$5.458	96.471	96.120	\$14.564	118.721	96.544	\$15.753
	Barit - Ham	66	-2.192	-\$326	6.685	-8.197	-\$1.195	28.266	-3.073	\$141
Bentonit	Bentonit - Öğütülmemiş	246.322	246.299	\$27.280	553.508	553.282	\$61.582	532.258	528.766	\$57.319
	Bentonit - Asit Aktive	40.263	39.443	\$17.144	64.818	60.642	\$26.085	51.674	47.164	\$21.338
	Bentonit - Aktive	10.842	-11.846	-\$1.275	16.094	-20.613	-\$4.310	81.009	36.936	\$12.402
Feldispat	Feldispat - Ham	771.315	771.297	\$27.209	1.515.238	1.515.198	\$50.124	1.338.550	1.338.541	\$46.069
	Feldispat - Öğütülmüş	277.174	263.605	\$12.522	479.025	447.581	\$24.678	405.296	375.491	\$23.449
	Feldispat - Flote	670.897	667.877	\$57.060	1.010.776	1.010.776	\$96.674	911.586	911.375	\$85.979
	Feldispat - Diğer	1.187.559	1.181.355	\$46.006	2.199.406	2.183.209	\$82.458	2.216.325	2.203.120	\$80.799
	Lösit, Nefelin, Siyenit	117	-3.039	-\$1.213	1.622	-1.157	-\$934	3.828	508	-\$591
Soda	Soda	2.571.527	2.451.849	\$504.646	5.356.545	5.068.483	\$993.653	5.183.073	4.974.141	\$1.376.196
TOPLAM		9.101.401	7.444.476	\$663.815	18.872.472	15.466.717	\$1.288.641	18.255.023	15.147.748	\$1.634.322

Tablo 16. 2023, 2024 ve 2025Q2 Yılları Kimyasal Hammadde Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

(Elementlerin oksit, hidroksit, karbonat, sülfat, nitrat, klorür ve diğer kompleks tuzları)

Element	2025 (Ocak-Haziran)			2024			2023		
	İHRACAT	İHRACAT - İTHALAT		İHRACAT	İHRACAT - İTHALAT		İHRACAT	İHRACAT - İTHALAT	
	Ton	Ton	1000\$	Ton	Ton	1000\$	Ton	Ton	1000\$
Alüminyum	44.490	-57.073	-\$57.008	100.651	-74.262	-\$96.455	87.465	-93.864	-\$103.406
Manganez	117	-2.702	-\$2.048	517	-5.626	-\$4.033	291	-5.142	-\$3.430
Titanyum	10	-1.359	-\$3.855	24	-3.663	-\$11.013	28	-4.786	-\$13.861
Krom	271	-947	-\$4.468	322	-2.428	-\$8.351	263	-2.542	-\$9.140
Nikel	520	-516	-\$3.910	306	-1.268	-\$7.002	194	-1.379	-\$9.434
Antimon	395	-400	-\$8.735	467	-1.052	-\$17.005	78	-1.511	-\$16.486
Demir	4.286	-363	-\$3.929	8.330	-1.212	-\$11.606	6.983	-2.867	-\$12.749
Volfram	58	-284	-\$12.224	19	-577	-\$19.868	0.552	-549	-\$18.117
Molibden	15	-147	-\$3.956	48	-232	-\$6.414	27	-250	-\$7.408
Kalay	0.058	-24	-\$785	0.726	-58	-\$1.624	0.169	-37	-\$1.049
Kadmiyum	7	-0.941	-\$73	12	-5.799	-\$152	7.816	-7.994	-\$135
Zirkonyum	77	7.193	-\$118	70	-354	-\$1.760	91	-142	-\$828
Vanadyum	0.072	-0.321	-\$7	0.513	-3.432	-\$79	0.013	-6.051	-\$160
Lityum	2.399	-137	-\$1.531	2.451	-246	-\$4.397	2.526	-337	-\$16.386
Stronsiyum	0.081	-308	-\$631	1.685	-477	-\$986	0.160	-539	-\$1.097
Selenyum	1.269	-49	-\$948	0.918	-105	-\$1.712	0.915	-102	-\$1.527
Berilyum	0	0	\$0	0	0	\$0	0	-3.751	-\$20.944
Bizmut	0.003	-0.625	-\$88	0.131	-0.231	-\$51	0.008	-0.179	-\$19
Tellür	0.001	-0.058	-\$111	0.009	-1.670	-\$394	0.008	-0.107	-\$192
Germanyum	0	0	\$0	0.000	-0.012	-\$2	0.004	-0.077	-\$8
Cs, Rb	0.054	0,038	\$3	0.132	0,072	\$37	0,092	0,010	-\$4
Kurşun	260	176	\$623	781	658	\$1.937	1.017	822	\$2.442
Kobalt	467	200	\$154	526	47	-\$4.711	200	-151	-\$8.154
Bakır	13.051	8.951	\$20.600	22.203	12.500	\$25.074	22.714	17.313	\$33.492
Çinko	38.748	36.539	\$42.408	41.312	37.701	\$47.998	27.730	23.311	\$31.882
Magnezyum	151.116	100.275	\$8.976	251.555	145.909	\$14.313	197.593	91.997	\$6.503
Fosfor	20.274	-149.653	-\$111.776	53.196	-331.483	-\$216.140	54.545	-347.600	-\$249.928
Potasyum	2.350	-31.317	-\$26.639	5.060	-44.722	-\$39.438	4.072	-52.273	-\$55.558
Flor	114	-3.950	-\$4.564	468	-6.526	-\$10.746	319	-9.882	-\$11.451
Baryum	152	-5.317	-\$4.508	188	-11.119	-\$8.551	201	-12.698	-\$9.008
Sodyum	57.000	40.404	-\$88	113.800	79.913	-\$708	151.482	107.255	-\$712
Bor	21.597	21.527	\$26.327	33.435	33.322	\$40.265	28.488	28.309	\$36.765
Arsenik	1.324	-155	-\$422	5.283	-257	-\$584	12	-122	-\$932
Brom	0.033	-0,015	-\$5	2.746	1,158	-\$64	0,660	-0,019	-\$67
İyot	1.062	-3,669	-\$294	1,979	-6,415	-\$594	16,355	8,843	-\$573
TOPLAM	310.890	10.448	-\$96.621	532.658	-101.374	-\$248.360	496.359	-173.912	-\$337.350

Ga, Hf, Ta, Re, In, Nb, Th, U dış ticareti yok.

NTE, PGM Au ve Ag kimyasalları bu tabloya dahil edilmemiştir.

Tablo 17. Gübre, Temel Sarf Kimyasalları ve Asal Gaz Emtialarının Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

Emtia	Hammadde	2025 (Ocak – Haziran)		2024		2023	
		İHRACAT - İTHALAT		İHRACAT - İTHALAT		İHRACAT - İTHALAT	
		Ton	1000\$	Ton	1000\$	Ton	1000\$
Gübre Mineral/Kimyasal	Azotlu	-720.924	-\$1.034.957	-3.050.740	-\$950.136	-3.510.870	-\$1.347.778
	N,P,K Kompozit	-155.913	-\$267.620	-295.426	-\$216.375	-831.779	-\$507.544
	Potasslı	-178.221	-\$83.151	-225.203	-\$69.893	-245.312	-\$125.770
	Fosfatlı	-15.100	-\$14.650	-16.381	-\$6.121	-41.702	-\$16.225
TOPLAM Mineral/Kimyasal Gübre		-1.070.158	-\$1.400.377	-3.587.750	-\$1.242.525	-4.629.663	-\$1.997.317
Amonyak	Amonyak	-211.689	-\$239.695	-334.703	-\$153.920	-675.033	-\$357.981
Kostik	Kostik-Na	-257.491	-\$161.306	-512.711	-\$157.456	-499.449	-\$183.910
	Kostik- Ca	-42	-\$76	-40	-\$71	-50	-\$119
Asit	Sülfürik Asit	-62.416	-\$61.716	-563.056	-\$53.209	-371.787	-\$25.656
	Nitrik Asit	1.640	-\$389	1.828	\$58	1.880	-\$250
	Hidroklorik Asit	2.661	-\$859	5.384	\$374	-17.865	-\$2.572
TOPLAM Temel Sarf Kimyasalları		-527.336	-\$464.041	-1.403.299	-\$364.223	-1.562.304	-\$570.489
Asal Gaz	Helyum	-63	-\$17.515	-142	-\$11.009	-143	-\$15.682
	Argon	-2.034	-\$7.655	-8.482	-\$6.176	-13.672	-\$11.298
	Hidrojen	-6	-\$298	-6	-\$296	-11	-\$315
	Neon	-0,005	-\$6	-0,023	-\$6	-0,001	-\$0,022
	Kr,Xn	78	-\$56	182	\$166	142	-\$80
TOPLAM Asal Gazlar		-2.025	-\$25.530	-8.447	-\$17.322	-13.683	-\$27.375

Tablo 18. Altın/Gümüş, PGM ve NTE Emtialarının Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

Element	Metaller						Kimyasallar						
	2025 (Ocak-Haziran)		2024		2023		2025 (Ocak-Haziran)		2024		2023		
	IHR-İTH Ton	IHR-İTH 1000\$	IHR-İTH Ton	IHR-İTH 1000\$	IHR-İTH Ton	IHR-İTH 1000\$	IHR-İTH Ton	IHR-İTH 1000\$	IHR-İTH Ton	IHR-İTH 1000\$	IHR-İTH Ton	IHR-İTH 1000\$	
Altın	-102	-\$9.467.656	-186	-\$13.619.608	-422	-\$25.195.048	141	\$73.722	510	-\$1.111	0,153	-\$903	
Gümüş	29	-\$187.438	-114	-\$314.780	-292	-\$386.704	-4	-\$302	-10	-\$1.239	-6	-\$1.298	
TOPLAM Altın,Gümüş	-73	-\$9.655.094	-300	-\$13.934.388	-714	-\$25.581.752	137	\$73.420	500	-\$2.350	-6	-\$2.201	
PGM	Platin	16.770	-\$1.369	10	\$1.383	0,33	\$4.397	-0,044	-\$8	-0,108	-\$8	-0,066	-\$16
	Palladyum	-8,712	-\$236	8,274	\$1.554	0,243	\$8.420	---	---	---	---	---	---
	Rodyum	-7	-\$273	-0,008	-\$273	0	-\$26	---	---	---	---	---	---
	Ir, Os, Ru	-285	-\$1.175	-0,506	-\$1.175	-0,339	-\$864	---	---	---	---	---	---
	Diğer	-14	-\$18.059	-22	-\$17.796	-11	-\$9.489	-1,973	-\$15.911	-3,407	-\$14.670	-5,126	-\$23.131
	TOPLAM PGM	16.455	-\$21.112	-4	-\$16.307	-11	\$2.438	-2,017	-\$15.919	-3,515	-\$14.678	-5,192	-\$23.147
Hafif NTE	Ce, La >%95	-8,01	-\$147	-13	-\$146	-10	-\$129	-161	-\$1.192	-409	-\$1.168	-310	-\$1.116
	Pr, Nd, Sm >%95	0 (?)	-\$3	-0,016	-\$3	-0,003	\$0	-2,59	-\$206	-1,929	-\$200	-3,352	-\$310
	Diğer	---	---	---	---	---	---	-0,041	-\$4	-0,026	\$2	-0,472	-\$49
TOPLAM Hafif NTE'ler	-8	-\$150	-13	-\$149	-10	-\$129	-119	\$1.851	-298	\$6.428	-314	-\$1.480	
Ağır NTE	Sc >%95	-0,003	\$0	-0,001	\$0	0	\$0	-0,01	-\$5	-0,046	\$0	-0,018	-\$9
	Sc, Y <%95	-0,005	\$0	-0,001	\$0	-0,049	-\$1	---	---	---	---	---	---
	Sc, Y >%95	-0,033	\$1	-0,084	\$5	99	\$32	---	---	---	---	---	---
	Gd, Tb, Dy >%95	-0,011	-\$1	-0,007	-\$1	-0,006	-\$1	-4,217	-\$5.958	-8,436	-\$5.956	-7,464	-\$6.284
	Eu, Hm, Er, ... >%95	0 (?)	-\$5	-0,029	-\$5	-0,006	-\$1	-12	-\$3.325	-13	-\$2.456	-12	-\$6.457
	TOPLAM Ağır NTE'ler	-0,052	-\$5	-0,122	-\$1	99	\$29	-17	-\$9.288	-21	-\$8.412	-19	-\$12.750
Hurda ve Kül/Cüruf													
Altın - Toz,Dök,Hurda	0 (?)	-\$28	0,125	\$7	0,579	\$20							
PGM	Platin - Toz, dök, hurda	53	\$772	128	\$1.479	91	\$3.406						
	Diğer Toz, dök, hurda	691	\$39.993	864	\$55.764	1.201	\$77.722						
	Diğer kül/cüruf-Metal	0	\$0	0,906	\$30	-0,101	\$46						
	TOPLAM Hurda, Cüruf	744	\$40.738	993	\$57.280	1.292	\$81.193						

Tablo 19. Katı Yakıt Emtialarının Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

Tür	2025 (Ocak-Haziran)			2024			2023		
	İTHALAT Ton	İHRACAT-İTHALAT		İTHALAT Ton	İHRACAT-İTHALAT		İTHALAT Ton	İHRACAT-İTHALAT	
		Ton	1000\$		Ton	1000\$		Ton	1000\$
Taşkömür	17.816.030	-17.684.290	-\$1.742.505	34.245.183	-33.918.995	-\$3.531.481	34.905.228	-34.522.046	-\$4.284.709
Kokluk Kömür	2.267.560	-2.267.560	-\$433.460	5.481.911	-5.478.660	-\$1.375.748	4.528.128	-4.527.693	-\$1.240.999
Kok/Sömikok	327.101	-270.046	-\$80.467	1.422.757	-1.299.073	-\$435.504	871.002	-633.659	-\$207.131
Petrokok	1.504.317	-1.473.093	-\$142.250	4.237.052	-4.209.078	-\$425.511	2.715.727	-2.589.972	-\$372.671
Antrasit	406.271	-392.100	-\$52.744	1.008.239	-991.809	-\$149.469	760.788	-740.192	-\$135.559
Taşkömür/Topak	0	205	\$61	0	935	\$217	0	994	\$226
Linyit	0	16.428	\$2.229	0	31.582	\$5.218	0	11.429	\$2.088
TOPLAM	22.321.278	-22.070.455	-\$2.449.135	46.395.141	-45.865.097	-\$5.912.278	43.780.874	-43.001.139	-\$6.238.755

Tablo 20. Doğaltaş ve Çimento/Alçı ve Kireç Emtialarının Dış Ticaret Verileri ("-" değerler dış ticaret açığıdır)

DOĞAL TAŞLAR DIŞ TİCARETİ

Tür	İhracat 1000\$	2025 (Ocak-Haziran)		İhracat 1000\$	2024		İhracat 1000\$	2023	
		İhracat Ton	İhracat-İthalat 1000\$		İhracat Ton	İhracat-İthalat 1000\$		İhracat Ton	İhracat-İthalat 1000\$
		Diğer Taşlar							
İnşaat Taşları	\$31.875	116.480	\$30.630	\$61.163	236.454	\$59.368	\$51.076	211.559	\$50.388
İşlenmiş	\$6.291	37.999	\$2.487	\$12.504	88.669	\$7.017	\$10.917	80.304	\$3.612
Micir/Agrega	\$3.976	213.133	\$3.949	\$37.583	1.201.672	\$37.545	\$6.266	475.089	\$6.114
Traverten	\$62.642	137.397	\$62.468	\$117.949	268.662	\$117.759	\$106.113	239.674	\$105.760
Kayağan T.	\$1.831	2.335	\$1.025	\$2.569	2.196	\$94	\$2.523	1.831	-\$461
Granit									
İşlenmiş	\$10.434	-27.970	-\$15.153	\$19.369	-63.995	-\$27.691	\$13.528	-118.254	-\$38.044
Plaka	\$3.849	27.158	\$3.849	\$9.693	73.073	\$9.680	\$10.032	79.116	\$9.972
Blok	\$5	-5	-\$2	\$30	-1.933	-\$95	\$88	-1.597	\$7
Mermer									
Granül	\$10.062	294.844	\$9.933	\$23.804	670.053	\$23.704	\$19.256	599.908	\$19.181
Blok	\$5.855	30.289	\$3.632	\$16.693	87.578	\$12.598	\$21.197	116.195	\$17.675
Plaka	\$235.655	1.217.558	\$233.733	\$586.128	3.011.892	\$583.895	\$633.785	3.254.037	\$629.987
Yontu	\$567.967	1.046.436	\$551.529	\$1.100.667	2.209.938	\$1.069.333	\$1.066.330	2.251.203	\$1.040.536
TOPLAM	\$940.441	3.095.654	\$888.079	\$1.988.152	7.784.260	\$1.893.207	\$1.941.109	7.189.066	\$1.844.727

ÇİMENTO, ALÇI ve KİREÇ DIŞ TİCARETİ

Tür	İhracat Ton	2025 (Ocak-Haziran)		İhracat Ton	2024		İhracat Ton	2023	
		İhracat Ton	İhracat-İthalat 1000\$		İhracat Ton	İhracat-İthalat 1000\$		İhracat Ton	İhracat-İthalat 1000\$
		Çimento							
Portland, Beyaz ve Şaplı	7.793.910	7.779.275	\$485.023	13.645.344	13.624.061	\$862.108	15.660.215	15.630.836	\$1.065.619
Klinker	3.893.098	3.799.969	\$163.821	5.415.939	5.372.285	\$225.993	4.038.392	3.830.112	\$184.023
Alçı									
Alçı	234.741	232.318	\$24.449	605.950	598.566	\$49.980	994.883	988.986	\$80.116
Kireç									
Kireç	52.940	50.087	\$6.121	97.316	92.204	\$11.810	73.315	68.929	\$9.192
TOPLAM	11.974.688	11.861.649	\$679.413	19.764.549	19.687.116	\$1.149.892	20.766.804	20.518.864	\$1.338.951

KAYNAKÇA

European Commission, 2017. Methodology for establishing the EU list of critical raw materials: guidelines. *EU Publications Office*, 23 sayfa, DOI: 10.2873/769526 <https://doi.org/10.2873/769526>

Nassar, N.T., Pineault, D., Allen, S.M., McCaffrey, D.M., Padilla, A.J., Brainard, J.L., Bayani, M., Shojaeddini, E., Ryter, J.W., Lincoln, S., ve Alonso, E., 2025. Methodology and technical input for the 2025 U.S. list of critical minerals—Assessing the potential effects of mineral commodity supply chain disruptions on the U.S. economy (Open-File Report 2025–1047). *U.S. Geological Survey*. <https://doi.org/10.3133/ofr20251047>

- TÜİK, 2025a. Ulusal Hesaplar Veri Tabanı, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulusal-hesaplar-113>
- TÜİK, 2025b. Dış Ticaret Veri Tabanı, <https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/menu.zul>
- Yüce, A.E., Burat, F., Zambak, C., 2025. Kritik/Stratejik Mineral Listeleri ve Genel Değerlendirmeler, *IMCET 2025*, 29. Uluslararası Madencilik Kongre ve Sergisi, Antalya, 11-14 Kasım, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Bildirileri, Edt: Nejat Tamzok, sayfa 9-19, ISBN: 978-605-01-1702-8.
- Zambak, C., 2022. Global Kritik/Stratejik Hammadde Tedariki – Atık Geri Kazanımı. *Recycling Industry, Grup E Yayıncılık*, sayı 176, sayfa 72-79.
- Zambak, C., 2022. Hammaddelerin Kritikliği/Stratejikliği ve Türkiye, *İTÜ Vakfı Dergisi*, Sayı 89, sayfa 22-31 – Ekim, https://www.ituvakif.org.tr/_files/ugd/8db14c_4fc94fa069844bc3b272b3200af9f01f.pdf
- Zambak, C., 2024. Global Kritik/Stratejik Hammaddeler ve Türkiye'nin Hammadde Dış Ticaret İrdelemesi. *MadencilikTürkiye Dergisi*, Sayı 117, sayfa 102-108, Mart
- Zambak, C., Yüce, A.E., Ergunalp, D., 2023. Dünya'da Hammadde Üretimi ve Tedarikinde Kritiklik/Stratejilik: Türkiye'de Mevcut Durum ve Gelecek Projeksiyonu. *IMCET 2023*, 28. Uluslararası Madencilik Kongre ve Sergisi, Antalya, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 28 Kasım-1 Aralık, sayfa 940-948, ISBN: 978-605-01-1589-5

Nadir Toprak Elementleri ve Toryum

Gülhan Özbayoğlu

ODTÜ, Ankara, Türkiye, gulhanozbayoglu@gmail.com

ÖZET: Nadir toprak elementleri (NTE), benzersiz fizikokimyasal özellikleriyle, özellikle rüzgar türbinleri, elektrikli araç motorları, kalıcı mıknatıslar, güneş panelleri ve savunma teknolojileri gibi birçok temiz ve düşük karbon teknolojileri için vazgeçilmez bileşenleridir. NTE'nin arasında gelecekte en çok prometyum, neodimyum, disprozyum, ve terbiyuma ihtiyaç duyulacaktır. Halen başlıca üretim Çin'deki Bayan Obo, ABD'deki Mountain Pass ve Avustralya'daki Mount Weld'den yapılmaktadır. Çin en büyük NTE'i rezervine sahip olup küresel NTE pazarında da üretimin büyük kısmını kontrol etmesiyle önemli bir konuma sahiptir. NTE endüstrisinin geleceği, onun üretiminde sera gazına katkıda bulunan asit ve enerji tüketimini azaltacak modellere geçiş yapmasına bağlıdır.

Toryum doğal bir radyoaktif element olup nükleer enerji üretiminde fosil yakıtlara ve uranyuma alternatif bir enerji kaynağıdır. Toryum bazlı nükleer reaktörler uranyum reaktörlerine nazaran daha emniyetlidir. Toryumun yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması, düşük atık üretmesi ve doğada bol miktarda bulunması nedeniyle uranyuma nazaran daha avantajlı konuma sahiptir. Bu durum onu geleceğin nükleer yakıtı yapmaktadır.

Bu makalenin amacı, nadir toprak elementleri ve toryumun doğadaki bulunuşu, kullanımı ve üretim yöntemleri hakkında bilgi sunmak ve ileriye dönük beklentilerden bahsetmektir.

Anahtar kelimeler: Nadir toprak elementleri, toryum, kullanımları

1. NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

NTE, yüksek ekonomik değere ve temin edilme riskine sahip olmaları, temiz enerji, elektronik ve savunma sanayi uygulamaları nedeniyle kritik mineraller olarak sınıflandırılmaktadır. Bu elementler ileri teknolojiler (metalurji, optik cam, seramik üretimi, petrokimya sanayi, nükleer teknolojisi, elektrik-elektronik teknolojisi, tekstil sanayi, yeşil enerji teknolojisi, tıp uygulamaları, savunma sistemleri) için gereklidir. Bu elementleri değerli kılan husus; içeriğinde buldukları malzemeleri hafifletirken aşırı sıcaklığa, aşınmaya, korozyona karşı dayanıklı parçaların üretimine uygunluklarından ve kendilerine has mekanik, termal, elektriksel iletkenlik, optik ve yüksek manyetik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca NTE, artan iklim değişikliği tehdidine karşı emisyonları azaltmak, fosil yakıtların yerini alabilecek temiz enerji teknolojilerinin (rüzgar türbinleri, güneş panelleri ve elektrikli arabalar gibi) uygulanmasında en iyi seçenek olarak gözükmektedir. Günümüzde akıllı telefonlar, akıllı ev cihazları ve tıp görüntüleme cihazları bu kritik elementlere olan gereksinimi arttırmış ve NTE pazarı talep karşılığında yetersiz kalmıştır. Ülkeler gereksinimlerini karşılamak için yeni yatakların arayışına girmişlerdir.

1.1. Nadir Toprak Elementlerinin Özellikleri

Nadir Toprak Elementleri, periyodik cetvelin lantanit serisinde yer alan atom numaraları 57 ile 71 arasından değişen 15 element ile genellikle kimyasal olarak benzer özellikler gösteren skandiyum (Sc-atom numarası 21) ve itriyum (Y- atom numarası 39) elementlerini de kapsayan, toplamda 17 elementi içermektedir. Bu elementler doğada saf olarak değil bileşikler içinde bulunmaktadır. Bu elementler yerkabuğunda yaygın olarak bulunmalarına rağmen ekonomik olarak işlenebilirliği oldukça zor ve düşük tenörlü rezervlere sahip olmaları nedeniyle “nadir” olarak adlandırılırlar. Çoğunlukla konsantrasyonlarının düşük olması onların safsızlaştırılmalarını zorlaştırmakta ve büyük miktarlarda hammaddenin büyük masraflarla işlenmesini gerektirmektedir.

Skandiyum ve itriyum dışındaki tüm NTE farklı iyon çapları nedeniyle atom ağırlıklarına göre “Ağır NTE grubu” (atom numaraları 63-71 evropiyum, gadolinyum, terbiyum, disprosyum, holmiyum, erbium, tulyum, iterbiyum ve lutesyum) ve “Hafif NTE grubu (atom numaraları 57- 62 olan Lantanyum, Seryum, Praseodim, Neodimyum, Prometyum, Samaryum)” olarak sınıflandırılır. İtiryum 39 olan düşük atom ağırlığına rağmen iyon çapı ve özellikleri dolayısıyla ağır NTE grubunda, atom numarası 21 olan skandiyum da hafif NTE grubunda yer almaktadır. Prometyum (Pm- atom numarası 61) NTE içinde tek radyoaktif özellik gösteren elementtir (Balaram 2023). Ağır NTE doğada daha seyrek bulunur ve çıkarılması daha zor olduğundan genellikle daha yüksek ticari değere sahiptir.

Nadir toprak elementleri kararlı bileşiklerinde +3 değerliklidir. Seryum, terbiyum ve praseodim +4; samaryum, evropiyum, tulyum ve iterbiyum +2 değerlik de olabilmektedir. Lantanit grubundaki elementlerde atom numarası arttıkça iyonlaşma derecesi artar. Birçok lantanitin iyon halinin kendine has (gümüş ve demir) rengi bulunmaktadır.

1.2. Nadir Toprak Elementlerinin Doğadaki Bulunuşları

Dünya genelinde NTE birincil olarak üretimlerinin %95`ini bastnasit, monazite ve ksenotim olmak üzere üç mineralden sağlamaktadır. Özellikle monazite ve bastnazit ticari önem arz etmektedir. Ayrıca apatit, allanite ve iyon adsorbe eden killer de önemli kaynaklardır. İkincil NTE içeren kaynaklar arasında atık mıknaatıslar, floresan lambalar, katalizörler ve şarj edilebilir piller bulunmaktadır. Ayrıca, kömür ve uçucu küller potansiyel NTE kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Monazit kompozisyon olarak nadir toprak fosfat minerali ((Ce,La,Nd,Th)PO₄) olup yaklaşık %70 NTO (RE₂O₃) içermektedir. Monazit konsantreleri ise yaklaşık %55- 65 NTO içermektedir. Monazit birçok jeolojik ortamda bulunmasına rağmen ekonomik olarak genellikle Hindistan, Brezilya, Avustralya, Güney Afrika ve A.B.D. gibi ülkelerin alüvyon ve deniz kumu yataklarında, ağır minerallerle birlikte görülmektedir.

Bastnazit bir floro karbonat minerali (Ce,La)FCO₃ olup Çin`in Baotou, Mianning ve Weishan bölgelerinde ve A.B.D.`nin California bölgesinde Mountain Pass`teki yataklarda bulunmaktadır. Monazitten önceleri başlıca nadir toprak minerali olarak faydalanılmaktaysa da son 50 yıldır bastnazit NTE`nin üretiminde başlıca mineral olarak yer almıştır. Bastnazit

mineral olarak kompozisyonunda fazlaca hafif nadir toprak elementlerini içermekte olup dağılım şu şekildedir: Seryum %50, lantan %34, neodimyum %11, praseodim %4, samaryum %0,5 gadolinyum %0,2, evropiyum %0,07. Bastnazitteki NTO mineralin %75`ini kapsamaktadır.

Ksenotim, ana bileşeni itriyum ortofosfat (YPO_4) olan nadir toprak fosfat mineralidir. %52-62 Y_2O_3 içermektedir. Apatite ($Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$), allanite ($(Ce,Ca,Y)_2(Al,Fe^{3+})_3(SiO_4)_3OH$), ve loparite ($(Ce,La,Na,Ca,Sr)(Ti,Nb)O_3$) de önemli kaynak olarak bilinmektedir .

1.3. Nadir Toprak Elementlerinin Teknolojik ve Endüstriyel Kullanım Alanları

NTE kritik mineraller arasındadır ve ileri teknolojiler (yarı iletken çipler, temiz enerji ve enerji depolama teknolojileri, savunma sistemleri) için gereklidir. Bu elementlerin önemi; aşırı sıcaklığa, aşınmaya, korozyona karşı dayanıklı parçaların üretiminde vazgeçilemez olmalarından kaynaklanmaktadır. NTE`lerin çok azı büyük hacimlerde sarf edilmesine karşın çoğunun kullanımı küçük miktarlardadır. Kullanıldığı maddelere yüksek sıcaklık dayanımı kazandıran NTE`nin manyetik, optik özellikleri ve elektriksel iletkenlik gibi fiziksel nitelikleri onların nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi için gerekli teknolojinin üretilmesinde, yeşil ve çevre dostu teknolojilerde kritik önem taşımaktadır. Örneğin Neodimyum-Demir-Bor (NdFeB) kalıcı mıknatısları açık deniz rüzgar türbinleri, sabit diskler, ses sistemleri ve hibrid otomobil ve elektrikli araç motorlarında kullanılmakta ve küresel mıknatıs üretiminin değer olarak %60`ından fazlasını oluşturmaktadır (Ormerod vd, 2023). Günümüzde, kalıcı mıknatıslarda kullanılan NTE`den Nd, Pr, Dy ve Tb, işlenen tüm nadir toprak elementlerinin değerinin %90`ından fazlasını kapsamaktadır (Balaram,2019).

Lantanyum ve seryum; ekran camı, lensler ve parlaklık artırıcı kaplamalarda değerlendirilmektedir. NTE ayrıca savunma sanayinde hedef güdümlü füzeler, gece görüş sistemleri, radar teknolojileri ve lazer silah sistemlerinde kullanılmaktadır. Hidrojen yakıt hücrelerinde, bazı NTE`ler katalizör malzemesi olarak görev yapmaktadır.

Tablo 1`de özellikleri ve kullanım alanları verilen nadir toprak elementlerinin sektörel alanlardaki kullanım dağılımı şu şekildedir: Temiz enerji sistemleri %24, savunma sanayi %20, otomotiv (elektrikli araçlar) %18, elektronik %15, cam-seramik-katalizör %10 ve diğer sektörler %13.

Tablo 1. Nadir Toprak Elementleri, Bazı Özellikleri ve Kullanım Alanları

Element	Harf	Atom no	Atom ağırlık	Yoğunluk gr/cm ³	Uygulamalar
Skandiyum	Sc	21	44,95	2,989	X tüpleri, yarı iletkenler, aydınlatma, havacılıkta hafif alüminyum skandiyum alaşımlarında
İtriyum	Y	39	88,90	4,469	Aydınlatma, şarj edilebilir piller, LED ve LCD ekranlarında, Fosfor, yüksek sıcaklık süperiletken üretiminde,
Lantan	La	57	138,90	6,146	Yakıt hücresi, enerji depolama, optik cam, petrol rafinasyonunda katalist, atık su arıtımı,
Seryum	Ce	58	140,11	8,160	Radyasyon kalkanı, su arındırma, cam ve seramiğe sarı renk vermede, petrol rafinerinde parçalama katalizörü olarak, dizel yakıtı katkısı
Praseodim	Pr	59	140,90	6,773	Mıknatıs ve lazerler, havacılıkta dayanıklı metal alaşımının üretiminde, rüzgar türbünü
Neodimyum	Nd	60	144,24	7,008	Elektrikli araç, mıknatıs, kızıl ötesi lazerler, disk sürücüsü, seramik ve camlara mor renk vermede
Prometyum	Pm	62	145	7,264	Kalp pilleri, güdümlü füzeler ve radyolar
Samaryum	Sm	62	150,30	7,520	Nükleer reaktör kontrol çubukları, nükleer tıp, lazer ve sabit mıknatıs, elektrikli araç
Evropiyum	Eu	63	151,96	5,244	LCD ve floresan lamba, kırmızı mavi fosfor üretiminde
Gadolinyum	Gd	64	157,25	7,901	Hafıza çipleri ve Nükleer reaktör kalkanı, Yüksek kırılma endeksli cam
Terbiyum	Tb	65	158,92	8,230	Lazerler ve yeşil fosfor, floresan lamba, yakıt hücrelerinin üretiminde elektrikli araç, rüzgar türbünü
Disprosiyum	Dy	66	162,50	8,551	Mıknatıslar, lazerler, nükleer reaktör, bilgisayar parçaları, enerji tasarrufu cihazları
Holmiyum	Ho	67	164,93	8,795	Mıknatıslar, lazerler, nükleer reaktör
Erbiyum	Er	68	167,26	9,066	Nükleer reaktör kontrol çubukları, fiber optik teknolojisinde, kızıl ötesi lazer üretimi
Tulyum	Tm	69	168,93	9,321	Taşınabilir X ışını makinası, nükleer tıpta
İterbiyum	Yb	70	173,04	6,966	Şarjlı piller, fiber optik, kızıl ötesi lazerler, nükleer tıp, paslanmaz çelik
Lutesyum	Lu	71	174,97	9,841	Yüksek kırılma endeksli cam, yaş tayininde

1.4. NTE Rezervleri ve Üretimleri

Nadir toprak elementleri doğada genellikle yaygın, ama ekonomik olarak işlenmesi güç ve düşük tenörlü mineraller şeklinde bulunur. Başlıca NTE üreticilerinin geniş rezervleri bulunmaktadır. Küresel ölçekte NTE rezervlerinin yaklaşık %90'ı birkaç ülkenin elinde yoğunlaşmıştır. Çin tek başına bilinen tüm rezervlerin %37'sine sahiptir. Fakat bazı büyük rezervlere sahip Brezilya gibi ülkelerin üretimleri düşüktür. Çin dünya NTE'nin %70'ini üretmekte ve dünya NTE prosesinin %97'ini kontrol etmektedir (Critical Minerals Market Review 2023).

Dünyanın nadir toprak oksitleri (NTO) rezervleri 2010 ve 2024 yılları arasında incelendiğinde 2013 ve 2022 yıllarında rezervlerin sırasıyla 140 ve 130 milyon ton NTO olarak tepe yaptığı, fakat 2024'te rezervlerin 90 milyon metrik tona düştüğü görülmektedir (Statista 2024, USGS 2025, Filipenco 2025). 2024'teki NTO rezervinin 44 milyon metrik tonluk kısmı Çin'de bulunmaktadır. Diğer taraftan NTO üretimi 2023'te 376 bin ton olarak gerçekleşmişken 2024'te üretim 396 bin tona yükselmiştir. Bunda Çin, Nijerya ve Tayland'ın artan üretim ve zenginleştirme işlemlerinin katkısı büyük olmuştur. 2024'te toplam üretimin 270 bin tonu Çin tarafından karşılanmıştır. Çin'deki en büyük üretici Kuzey Çin'de özerk bir bölge olan İç Moğolistan'daki Bayan Obo madeni olup bu maden devlete ait Baotou Demir Çelik Grubuna aittir. Avrupada İsveç LKAB şirketi, 1,2 milyon ton NTO içeren Kiruna'daki Per Geijer yatağını bulduğunu açıklamıştır (Magnetics, 2025). Tablo 2`de USGS 2024 verilerine göre rezervleri 1 milyon tonun üzerindeki ülkelerin rezerv ve üretim bilgileri sunulmaktadır.

Ülkelerin 2024 NTO üretim dağılımları ise şu şekildedir: Çin %69,77, USA %11,6, Myanmar %7,9, Avustralya %3,33, Tayland %3,33, Nijerya %3,33, Hindistan %0,74, Rusya %0,64, Madagaskar %0,51, Vietnam %0,08 (Statista, 2025).

ABD, Japonya, Almanya ve Fransa tüketimde Çin'den sonra büyük tüketici ülkelerdir. ABD, Japonya ve Avrupa Birliği ülkeleri, yeterli kaynaklarının olmaması, mevcutların da üretim maliyetleri açısından Çin ile rekabet edememeleri nedeniyle NTE bakımından Çin'e bağımlıdırlar. Ayrıca üretilen NTE'lerin işlenmek için Çin'e gönderilmek zorunda olması da darboğaz oluşturmaktadır. Çin, yalnızca rezerv ve üretim bakımından değil, aynı zamanda rafinasyon, alaşım üretimi ve müknaşım gibi yüksek katma değerli ürünlerde de küresel pazarı hakimiyeti altına almakta ve diğer ülkeleri stratejik alternatifler geliştirmeye zorlamaktadır. Çin NTE'ler konusundaki hâkimiyetini yitirmemek için ülke içi üretim ve dış tedarike yönelik yeni düzenlemeleri hayata geçirerek NTE üretim teknolojisinin yurt dışına transferini yasaklamıştır.

Küresel NTE pazarı 2024'te 5,1 milyar \$ iken 2030'da 7,39 milyar dolarlık bir pazara ulaşması beklenmektedir (Marketsand market,2025). ABD ile Çin arasında rekabet farklı zeminlerde sürerken, artan fiyatlar ve tedarik sıkıntısı gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri ve Avrupa'yı fazlasıyla etkilemektedir. Bu nedenle ABD, Japonya, Almanya ve Fransa gibi ülkeler geri dönüşüm ile Ar-Ge çalışmalarına önem verip NTE'lerin yerini alabilecek yeni kaynak ve maddelerin arayışlarına girmişlerdir.

Tablo 2. Ülkelerin NTO Rezervleri, Üretimleri ve Açıklamalar (USGS, 2025, Statista2024, Filipenco 2025, Pistilli 2025)

Ülke	2023/2024 NTO rezervi Milyon MT	2023/2024 NTO Üretim x1000 MT	Açıklamalar
Çin	44/44	255/270	En büyük üretici ve rafinasyon sahibi, Aralık 2023'te NT mıknatıs üretimi için teknoloji ihracatını yasakladı. Myanmar'dan ağır nadir toprakları ithal etmektedir
Brezilya*	21/21	0,14/0,02	Serra Verde şirketi Goias'da Pela Ema NTE yatağından Nd, Pr, Tb ve Dy üretimi yapmaktaydı.2024'te üretim düştü, 2026'da 5 ton üretim bekleniyor
Hindistan	6,9/6,9	2,9/2,9	Dünya sahil kumlarının %35 ine sahip, 2024'te mıknatıs tesisi kurmayı planlamıştı
Avustralya	5,7/5,7	16/13	Lynas firması ülkedeki Mount Weld madeni ve konsantrasyon tesisinin yanı sıra Malezya'da NTE rafinerisi işletmekte. Şirket Çinli olmayan dünyanın en büyük NTE tedarikçisi
Rusya	10/3,8	2,5/2,5	Hammadde potansiyeli yüksek, üretim kısıtlı
Vietnam	3,5/3,5	0,3/0,3	Ülke 2030'a kadar 2,02 MT üretim yapacağını açıklamıştı, ama 2023'te 6 yöneticisi tutuklandı ve plan sekteye uğradı
ABD	1,8/1,9	41,6/45	MP Materials şirketinin Mountain Pass'te bastnazit üretimi faaliyette, Üretilen NTO'lerinin bir kısmı NTE mıknatıslarına ve öncü ürünlere Fort Worth tesisinde dönüştürmekte. Biden yönetimi 4 NTE üretecek teknoloji için 17,5 milyon USD ayırdı.
Grönland	1,5	Üretim yok	
Dünya ≈	>90	300/350	

*Myanmar 2024'te NTE üretiminde 2. sırayı almıştır,

1.5. NTE'nin Zenginleştirilmesi ve Ayrıştırılması

Açık işletme, yeraltı madenciliği ve solüsyon madenciliği ile çıkarılan volkanik ve hidrotermal yataklarındaki nadir toprak minerallerini içeriklerinde bulunan diğer minerallerden ayırmak için kırma, öğütme, eleme, sınıflandırma gibi fiziksel işlemlerin yanında flotasyon veya gravite (sallantılı masa, spiraller) veya manyetik/elektrostatik gibi zenginleştirme işlemlerine gereksinim duyulmaktadır. NTE içeren cevherler genellikle barit, florit, kalsit, silikat ve demir mineralleriyle birlikte bulunduğundan cevherlerden NTE'lerin yanı sıra manyetit, florit, barit, hematit de yan ürün olarak kazanılmaktadır. Sahil kumlarından monazitin kazanımında konik ayırıcılar, spiral ayırıcılar ve sallantılı masa kullanılmaktadır. Gravite zenginleştirme sonrasında manyetik ve elektrostatik ayırma yöntemleriyle yüksek tenörlü (%97) monazit konsantrasyonu elde edilmektedir. Bastnazit

flotasyonunda kullanılan toplayıcılar arasında hidrosamatlar, yağ asitleri, dikarbonik asitler bulunmaktadır. Kullanılan çöktürücüler ise sodyum silikat, sodyum hekzaflosilikat, lignin sulfonate ve sodyum karbonattır.

Fiziksel yöntemlerle elde edilen bastnazit, monazite ve karışık nadir toprak konsantrelerine uygulanan kimyasal prosesler oksitleyici kavurma- HCl liçi, kostik soda ile bozundurma ve yüksek sıcaklıkta derişik sülfürik asit ile kavurma aşamalarını içermektedir. İyon adsorpsiyon killere uygulanan yöntemler ise doğrudan yerinde (in situ) liç, çöktürme ve solvent ekstraksiyonu basamaklarını içermektedir (Cheng, S., vd.,2024). Kimyasal işlemlerde florokarbonat ve fosfat formundaki katı NTE, iyon değişimi veya solvent ekstraksiyon öncesi sıvı formdaki karbonat veya klorürlere dönüştürülmektedir. Kimyasal işlemler aynı zamanda safsızlıkları gidererek NTO`ni %90 seviyesine yükseltmektedir. Kimyasal işlemlerde inorganik asitler [sülfürik asit (H₂SO₄), hidroklorik asit (HCl), ve HNO₃], alkaliler (NaOH and Na₂CO₃), ve elektrolitler ((NH₄)₂SO₄, NH₄Cl, ve NaCl) kullanılmaktadır. H₂SO₄ ve alkaliler başlıca monazit ve bastnazit gibi fosfat ve karbonat-florür cevherlerine uygulanmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki asitli kavurma Çin`de yaygın olup HF, SO₂, SO₃, ve SiF₄ gibi gazların oluşumuna neden olmakta, çıkan egzoz gazları su tarayıcıları (scrubber) ile tutulmaya çalışılmaktadır.

Solvent ekstraksiyon NTE`inin ayrı ayrı veya toplu halde veya karışık olarak elde edilmesini sağlamaktadır. Çözücülerin tipi ve solusyonların cinsi işlemin ekonomikliğini ve teknik performansını etkilemektedir.

NTE'ler kimyasal olarak çok benzerdir, bu nedenle ayırma genellikle istenen bireysel veya bileşik NTE'lerini ayırmak için birden fazla çözücü kullanılarak bir dizi ekstraksiyon gerektirmektedir. İşlemdaki bu adım büyük miktarlarda asit, su ve radyoaktif yan ürünler içerir, bu nedenle yeterli çözücülerin elde edilmesi ve atıkların arıtılması önemli maliyet faktörleridir (Ormerod, vd., 2023). Tablo 3`de düşük tenörlü cevherden NTE'nin kazanımı özetlenmiştir

Tablo 3. Düşük tenörlü cevherden NTE`nin kazanımı (Navarro ve Zhao, 2014)

	Fiziksel zenginleştirme	Kimyasal işlemler	Ayırma	İndirgeme Rafinasyon Safılaştırma
Açık işletme Yerinde (in-situ) liç	Gravite, Manyetik, Flotasyon,	Asidik, Alkali, İyon değiştiricisi	Solvent Ekstraksiyon SX, İyon değiştiricisi	Elektrolik kazanma Eritme Katı durum elektrotransport
%0,05-%10 NTO cevheri	Karbonat, florür veya fosfat konsantreleri	Karışık karbonat ve florürler ≈%90 NTO	Tekil %99+NTO	Tekil % 99,99 NTE

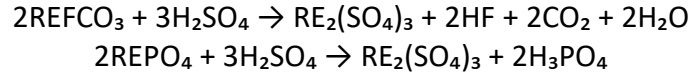
Bastnazitten NTE`nin kazanımı için uygulanan endüstriyel yöntemler aşağıda verilmiştir:

a) *Oksitleyici kavurma-HCl Liçi-Kostik dönüştürme (Cheng vd,2024; Xie, vd,2014)*

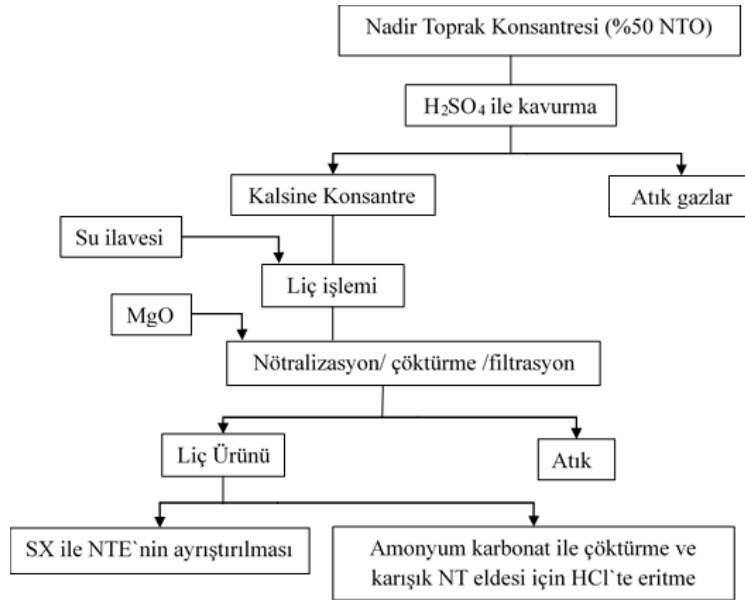
Bu, Çin'deki Sichua'nda olduğu gibi sadece bastnazit konsantrelerine uygulanan yöntemdir. Sistemde kullanılan asit tüketimini azaltmak ve karbonat minerallerini bozundurmamak için bastnazit konsantresi ~700 °C'de kavrularak REFCO₃ bileşiği RE₂O₃'a dönüştürülmektedir. Seryumun çoğu oksitlenerek çözünmeyen (CeO₂)'e dönüştürülmüştür. Seryumun dışındaki 3 değerli NTE seçmeli olarak sulu HCL asitte çözünmekte ve CeO₂ ile REF₃ atıkta kalmaktadır. Atıklar NaOH ile CeO₂ ve REF₃ hidroksitlerine dönüştürülmektedir. Seryum hidroksit H₂O₂ gibi bir redükleyiciyle liç edilmektedir. Yöntemin darboğazları zor ve pahalı yöntemle uzaklaştırılabilen çok miktarda florür içeren atık su çıkarmasıdır.

b) Sülfürik Asitle pişirme (baking) Yöntemi

Bu yöntem halen Çin'deki Bayan Obo yatakları ile Avustralya'daki Mt. Weld yataklarında uygulanmakta olup dünya nadir toprak üretiminin yarısından fazlasını karşılamaktadır (Demol vd., 2019). Konsantreler derişik H₂SO₄ ile karıştırılmakta ve ≥200 °C'a ısıtılmaktadır. Böylece bastnazit ve monazit suda çözünebilir sülfatlara dönüştürülmektedir.



Kalsine edilmiş ürün suyla liç edilmekte ve safsızlıklar (P, Fe, Th) çöktürülmektedir. Liç solüsyonu NTE'ini ayrıştırmak için solvent ekstraksiyonuna tabi tutulmaktadır. Şekil 1'de Baotou'da NT konsantrelerine uygulanan liç yönteminin şeması verilmiştir (Xie vd.,2014). Yöntemin darboğazları enerji yoğun olması, çok miktarda su ihtiyacı duyulması, F ve S içeren atık gazı ve amonyaklı atık su çıkarmasıdır. Ayrıca toryum çözünmeyen pirofosfata dönüştürüldüğünden radyoaktif atık problemi doğurmaktadır.



Şekil 1. Baotou'da NT konsantrelerine uygulanan liç yöntemi (Xie vd.,2014)

c) Solvent Ekstraksiyon (SX) Yöntemi

Bu yöntem NTE'ini tek tek ayırmada kullanılan en uygun ticari teknolojidir (Merroune vd., 2024). Yöntem yüzlerce mixer-settler basamağını içermektedir. Yöntemde birbirine karışmayan iki solvent kullanılarak NTE'inin sulu fazdan organik faza transferi sağlanmaktadır. Sulu faz ve organik faz bu tanklarda birbirlerine ters yönde akıtılmakta ve herbir tankta

ayrılması istenilen bir NTE`nin organik faza diğerlerinden fazla geçmesine çalışılmaktadır. Bu işlem yüzlerce kez tekrarlanınca NTE`nin her biri organik fazda toplanarak sulu fazdakilerden ayrılmakta, bazen her element için farklı ekstrant karışımları kullanmak gerekebilmektedir. Elementleri seçimli olarak bünyesine alan ekstrantlar 3 grupta (asidik, bazik ve solvatlayıcı) toplanmaktadır (Salman, vd., 2022).

- i) Asidik (Katyon) değiştiriciler: Organofosforlar (-POOH), karboksilik asitler (-COOH), sulfonik asitler (-SO₃H). Burada H bir metal katyonu ile değişmektedir. Organofosforlu asitlerden en çok kullanılanlar D2EHPA (di-2-ethylhexylphosphoric acid) ve HEHEHP (P₅O₇)dir. D2EHPA düşük pH`da etkiliyse de sıyırılması zordur. HEHEHP ise çok popüler olup düşük asitte sıyırma sağlayabilmektedir. Ayrıca Versatic 10 ve naftanik asitler gibi karboksilik asitler de bu gruba dahildirler. Bunlar ağır toprak elementlerini hafiflerine göre daha iyi çekmektedirler.
- ii) Bazik anyon değiştiriciler: Bunlar primer, sekonder, tersiyer ve kuvaterner amonyum tuzlar gibi kuvvetli aminlerdir. Aliquat 336 (kuvaterner amonyum tuzu) diğer ekstrantların aksine hafif NTE`ni ağır NTE`nden daha çabuk çıkarmaktadır.
- iii) Solvatlayıcı ekstrantlar: Bunlar -C= ve -P=O grupları içeren ketonlar, eterler fosfatlar gibi organik bileşiklerdir. 3değerli NT`ları klorlu veya nitratlı solüsyonlardan almak için TBP (tributylphosphate) kullanılmaktadır. TBP ile hafif NTE`nin çıkarılması elementlerin atom sayısı ile artmaktadır. (Xie ve diğerleri 2014)

1.6. Türkiye'nin Nadir Toprak Elementleri Potansiyeli

1975`lerden beri ülkemizde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan aramalar sonucunda ilk zamanlar 3,42 NTO tenöre sahip 1 milyon ton rezerv tespit edilmişti. MTA, 2011 yılından itibaren sistematik arama ve sondaj faaliyetlerini yürütmüş ve 52 milyon ton rezerv tespit etmiştir; 2020 sonrası analiz ve değerlendirme sonucunda Eskişehir-Beylikova sahasının yanı sıra Malatya-Kuluncak, Sivas ve Burdur`da toplam 694 milyon ton rezerv tespit edilmiştir. Eskişehir-Beylikova sahasında NTE minerali olarak bastnazitin yanı sıra florit, barit, demir mineralleri ve toryum da bulunmaktadır. NTE`nin kazanılmasında MTA adına ilk çalışan ekip İtalyan`lar olmuştur. Daha sonra ODTÜ ve diğer kurumlar çalışmalarda bulunmuşlardır (Özbayoğlu, 1993; Özbayoğlu, Atalay, 2000).

Eti Maden tarafından sahada 2022 yılında başlatılan çalışmalar sonucunda Türkiye'nin ilk NTE Pilot Üretim Tesisi, 2023 yılında devreye alınmıştır. NTE alanında yapılan araştırmaları izlemek ve teşvik etmek amacıyla NTE Araştırma Enstitüsü (NATEN) kurulmuştur. Yıllık kapasitesi 1200 ton cevher işleme olan tesisin amacı, cevherden barit ve florit içeriğini flotasyonla almak ve hafif NTE`ni (özellikle La, Ce, Nd, Pr) konsantre etmek ve solvent ekstraksiyonu ve kavurma hatları ile ayrıştırmaktır. Bu pilot tesisle, endüstriyel ölçekli işletme için bilgi ve deneyim kazanmak amaçlanmış ve tesisten alınacak neticeler sonucunda ileride kurulacak yılda 570 bin tonluk cevheri işleyecek ve yaklaşık yılda 10 bin tonluk nadir toprak oksiti üretecek endüstriyel tesisin kurulması hedeflenmiştir. 28 Mart 2020 tarihli Resmî Gazete`de yayımlanan 57 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesine göre NTE çalışmalarının Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) bünyesinde sürdürülmesi kararlaştırılmıştır.

2. KRİTİK HAMMADDE TORYUM

Toryum genelde uranyum veya nadir toprak elementleri ile birlikte bulunan, doğada kurşunun varlığına hemen hemen eşit oranda, uranyumunkinin ise 3- 4 kat daha fazla varlık gösteren, zayıf radyoaktiviteye sahip, nükleer enerji üretiminde kullanılabilen, metalik, kimyasal bir elementtir. 35 farklı ülkede bulunan toryumun toplam rezervinin 6 milyon tonun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Başlıca rezervler Hindistan, Brezilya Avustralya, ABD, Mısır ve Türkiye`de bulunmakta ve bunlar toplam rezervlerin %47`sini kapsamaktadır.

2.1. Doğadaki Bulunuşu ve Özellikleri

Toryum, periyodik tablonun 7.periyodunun aktinitler grubunda yer alan 2.elementtir. Toryumun atom numarası 90 olup Th sembolü ile gösterilir. Gümüşü renkte, düşük derecede radyoaktif bir metaldir. Toryum doğal olarak stabil olmayan 6 izotopa sahiptir Bunlardan önemli olanı yarı ömrü 14 milyar yıl olan toryum 232 (²³²Th) `dır ki bu izotop doğal toryumun çoğunluğunu kapsamaktadır.

Bölünebilir (fisil) uranyumun tersine toryum üretken-doğurgan (fertil) olarak sınıflandırılır. Doğrudan bölünebilir bir izotop değildir. Ancak nötron bombardımanı altında ²³²Th`un bir nötron yakalayıp önce karasız ²³³Th izotopuna dönüşür ki onun yarı ömrü sadece 22 dakikadır; sonra da çift beta bozunmasıyla nükleer yakıt olan fisil ²³³U`e dönüşmektedir. Bu nedenle, toryum reaktörlerini başlatmak için plütonyum veya zenginleştirilmiş uranyum gibi harici bir fisil kaynağa ihtiyaç vardır (World Nuclear Association, 2024).

Doğal toryum, monazit (Ce,La,Pr,Nd,Th,Y)PO₄, torit -O₄SiTh(Th,U)SiO₄ ve torianit-ThO₂ gibi minerallerde bulunur. Çoğunlukla nadir toprak elementlerinin madenciliği sırasında yan ürün olarak çıkarıldığından ucuz olması nedeniyle avantajlıdır.

Toryumun önemli bir özelliği yüksek erime noktasına ve iyi ısısal iletkenliğe sahip olmasıdır; bu özellikleri nükleer uygulamada güvenlik ve randıman açısından katkı sağlamaktadır. Bunun yanında toryum reaktörleri nükleer silah üretimi için kullanılabilen plütonyum izotoplarını üretmemektedir, yani, düşük silahlanma potansiyeli avantajına sahiptir Ayrıca klasik uranyum döngüsüne göre daha az radyotoksik ve daha kısa yarı ömürlü atıklar üretmesi diğer avantajlarıdır (Vikipedi, 2025)

2.2. Toryumun Kullanım Alanları ve Rezervleri

Toryum metali endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahiptir; uzay teknolojisinde, motor şaftı yapımında, cam teknolojisinde (yüksek güçlü mercek yapımı), deşarj tüplerinde, mikrop öldürmede, lüks lambaların ışık veren kısmında, kaynak elektrotlarının dışlarını kaplamada ve roket ve uçakların yapımındaki Mg alaşımında kullanılmaktadır. Toryumun magnezyumlu alaşımları malzemenin yüksek sıcaklıklardaki sertliğini ve sürtünme direncini arttırmaktadır.

Toryum, düşük karbon enerjisinde geleceğin potansiyel kaynağı olarak gözükmektedir (World Nuclear Association, 2024). Nükleer enerji ham maddesi olmasının dışında metalik

toryum vakum tüpleri için azot ve oksijen giderici olarak kullanılmaktadır. Toryum florür yüksek sıcaklık seramiklerinde, toryum oksit nükleer yakıtlarda, tıpta ve elektronik alet yapımında kullanılmaktadır.

USGS'in son verilerine göre dünya toryum rezervi 6,4 milyon ton olup rezervlerde ilk sırayı 850 bin tonla Hindistan alırken, 630 bin tonla Brezilya ikinci ülkedir. Diğer ülkeler arasında Avustralya ve ABD'nin her biri 600 bin ton ve Mısır da 380 bin ton olarak sıralanmaktadır (USGS 2024). USGS verileri yurdumuzdaki rezervi içermemektedir.

2.3. Toryum Tabanlı Nükleer Reaktör Teknolojileri

Toryum reaktörlerinin ticarileşmesi henüz başlangıç aşamasındadır. Toryum reaktörlerinde en büyük sorun, nükleer yakıt çevrimi sorunudur. Toryum-232, bazı proseslerle toryum-233'e dönüşebilmektedir. Toryum-233 de uranyum-235 gibi bölünebilir (fisil) bir maddedir. Bu parçalanma sonucunda büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Yakıt çevrimi sorunu nedeniyle, bugün için toryumla çalışan ticari ölçekte santraller bulunmamakla birlikte, bu santrallerin prototipleri İngiltere, Almanya ve ABD'de uzun zamandır denenmektedir. Ancak, Hindistan, Çin, Norveç ve ABD gibi çeşitli ülkelerde pilot projeler ve ulusal araştırma programları yürütülmektedir. Toryum için özel olarak tasarlanmış reaktör sistemleri arasında Erişik Tuz Reaktörleri ve Sıvı Florür Toryum Reaktörü bulunmaktadır. Çin 2023 yılında toryum bazlı erimiş tuz reaktörünün test çalışmasına başlayan ilk ülke olmuştur. (Stratejik Düşünce Enstitüsü, 2025)

2.4. Türkiye'de Toryum Potansiyeli

Türkiye'de, geçmiş yıllarda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalar sonucunda, Eskişehir-Sivrihisar'da 380.141 ton %0,02-%0,05 ThO₂ tenörlü toryum rezervine tespit edilmiştir. Toryumun, bastnasit, monazit ve florokarbonat içerikli kompleks yapıyla birlikte olduğu bildirilmiştir. 2020 yılında MTA tarafından Malatya-Kuluncak sahasında 3,8 milyon ton 2,032 ppm tenörlü toryum kaynağı keşfedilmiştir. ETKB'nin internet sayfasında bildirildiğine göre ETİ MADEN tarafından Eskişehir Beylikova-Sivrihisar'da 694 milyon ton 788 ppm ThO₂ kaynağı tespit edilmiştir. Toryum madeni, bor ve uranyumda olduğu gibi 2840 sayılı devlet eliyle işletilecek madenler hakkındaki kanun kapsamında olup toryum aramalarını MTA yapmakta, işletmesi Eti Maden uhdesinde bulunmaktadır.

3. DEĞERLENDİRME

NTE'leri muhteşem fiziksel ve kimyasal özellikleriyle, toksik olmayan ve çevreyle uyumlu yapısıyla, yüksek teknolojide kilit bir rol oynamaktadır. Elektrikli araçlara olan artan talep ve ardından birçok ülke tarafından belirli bir zaman diliminde net sıfır emisyonu ulaşılmak için önerilen zorunluluklar, daha iyi geri dönüşüm ve madencilik stratejileri üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Kasım 2022 itibarıyla yaklaşık 140 ülke net sıfır emisyonu ulaşılmak için planlarını açıklamıştır. Birçok otomotiv şirketinin benzinle çalışan araç üretimini durduracağını duyurması, e-atık tedarik zincirine önemli bir destek sağlamakta ve daha sonra üretilen e-atıkların geri dönüştürülmesine ek olarak, geliştirilmiş elektrikli araçlar üzerinde araştırma ve geliştirme fırsatları yaratabilmektedir. Bugüne kadar Mercedes, General, Ford,

Volvo ve BMW 2030-2040 yılları arasında yakıt bazlı araçlardan uzaklaşacaklarını duyurmuşlardır (Ormerod, vd, 2023)

Neodimyum, praseodim, disprozium, ve terbiyum rüzgar türbinleri ve elektrikli araç motorları için hayati önem taşımakta ve onlara talep devamlı artmaktadır. Temiz enerjiye geçişte, rüzgar türbinlerinin rolü dünya çapında birçok ülkede belirleyici olacaktır. NTE'nin elektrikli araçlarda ve düşük karbon teknolojilerinde kullanımlarına karşı Çin'in dışında üretim sınırlıdır (O'Brien, Elisa, 2025).

Türkiye Eylül 2024'te ABD ve AB'nin öncülük ettiği Kritik Mineraller Tedarik Zinciri Ortaklığına katılmıştır. Aynı dönemde Çin'in liderlik ettiği BRICS grubuna katılmasıyla da Çin sermayesi, Türkiye'deki elektrikli araç üretimi projelerine yatırım yapmıştır. 25 Eylül 2025'te Washington'daki liderler görüşmesinde Beylikova'daki NTE konusunun konuşulduğu söylenmiştir. 5 Mart 2025'te ABD Temsilciler Meclisinin alt komitesinde Türkiye'deki NTE yatağının stratejik bir hedef olarak yer aldığı ifade edilmiştir. Trump'ın NTE konusunda Grönland'ı ele geçirme, Kanada'yı eyalet yapma eylemleri ve Ukrayna-Rusya Savaşı sırasında Ukrayna'nın ABD'ye borçlandığını ifade ederek karşılığında onu NTE anlaşmasına zorladığı bilinmektedir. ABD bu girişimleriyle Çin'e olan bağımlılığını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Türkiye'nin bu durumlar karşısında ulusal çıkarlarını göz önüne alarak hareket etmesi ve dikkatli olması gerekmektedir.

Artan enerji ihtiyacı ve iklim değişikliği kaygıları daha temiz enerjiye ulaşmak yönünde ülkelerin çabaları artmıştır. Toryum, nükleer enerji üretimi açısından uranyumdan daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Yerkabuğunda uranyumdan 3-4 kat daha fazla bulunması, yüksek termal iletkenlik ve erime noktasına sahip olması, silah üretimi için kullanılacak plütonyum üretmemesi ve uranyum döngüsüne göre daha az radyotoksik ve daha kısa yarı ömürlü atıklar üretmesi toryuma avantaj sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Balaram, V., 2019. Rare earth elements, applications, formation and recycling. *Geosci. Front.*, 10, 1285–1303.
- Balaram. V, 2023. Potential Future Alternative Resources for Rare Earth Elements: Opportunities and Challenges. *Minerals*, 13, 425.
- Cheng, S., Li, W., Han, X., Sun, Y., Gao, P., Zhang, X., 2024. Recent process developments in beneficiation and metallurgy of rare earths, A review, *Journal of Rare Earths*, vol 42, issue 4, pp.629-642.
- Critical Minerals Market Review 2023. Erişim linki: <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023>
- Demol, J., Ho, E., Soldenhoff, K., 2019. The sulfuric acid bake and leach route for processing of rare earth ores and concentrates: A review. *Hydrometallurgy*, Volume 188, pp. 123-139.
- Filipenco, D, 2025. Top 10 countries by rare earth elements production. Development Aid. <https://www.developmentaid.org/news-stream/post/193928/top-countries-by-rare-earth-elements-production>

- Kirk, W. S., 1980. Thorium, Minerals Facts and Problems. *USGS*, pp. 937- 945.
- Marketsandmarkets, 2025. Rare Earth Metals Market. Report Code MM 7863.
- Merroune, A., Brahim, J.A, Berrada, M., Essakhraoui, M., Achiou, I., Mazouz, H., Beniazza, R.,2024. A comprehensive review on solvent extraction technologies of rare earth elements from different acidic media: Current challenges and future perspectives. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol 139, pp 1-17.
- Mining, Metals & Minerals, 2024. Distribution of rare earths production worldwide, by country.
- Navarro,J., Zhao,F., 2014. Froniters in Energy Research. *Sec. Sustainable Energy Systems*, Volume 2, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2014.00045>.
- O'Brien,T. M. ve Alonso, E. 2025. A simplified rare earth element mining project cost estimator - a new tool for evaluating future mine supply. *Mineral Economics, Springer;Raw Materials Group (RMG)*, Luleå University of Technology, vol. 38(2), pages 237-252.
- Ormerod, J., Karati A, Baghe,I APS, Prodius, D., Nlebedim, IC. ,2023. Sourcing, refining and recycling of rare-earth magnets. *Sustainability*, <https://doi.org/10.3390/su152014901>
- Özbayoğlu G., 1993. Beylikahır nadir toprak minerallerinin zenginleştirilmesi ve metalurjik kazanımı. ODTÜ Uygulamalı Araştırma Projesi No: 91- 03- 05- 01- 06, Ankara.
- Özbayoğlu G., Atalay Ü., 2000. Beneficiation of Bastnasite by multi gravity separator. *Journal of Alloys and Compounds*, 303 -304, pp 520- 523.
- Pistili, M., 2025. Rare Earths Reserves of 8 countries. INN Investing News Network.
- Salman, A.D., Juzsakova, T., Mohsen, M., Abdullah, T.A., Le, P.C., Sebestyen. V., Sluser, B.M., Cretescu, I., 2022. Scandium Recovery Methods from Mining, Metallurgical Extractive Industries, and Industrial Wastes. *Materials*, 15, 2376. pp 1-39.
- Statista, 2025. <https://www.statista.com/statistics/270277/mining-of-rare-earths-by-country/>
- Statista,2024. Chemicals & Resources .
- Türkmen G. ve Üncü, Ü.R., 2024. Nadir toprak elementleri (yeni teknolojilerin gizemli cevheri). SD Analiz Stratejik Düşünce Enstitüsü.
- U.S. Geological Survey, 2024. Mineral Commodity Summaries.
- U.S. Geological Survey, 2025. Mineral Commodity Summaries.
- Vikipedi, Özgür Ansiklopedi, 2025. Toryum bazlı nükleer enerji.
- World Nuclear Association, 2024. Current and future generation, Thorium.
- Xie, F., Zhang, T. A., Dreisinger, D., Doyle, F., 2014. A critical review on solvent extraction of rare earths from aqueous solutions. *Minerals Engineering*, Volume 56, Pages 10-28.

Türkiye Bor Kaynakları ve Bor A(r)tıklarındaki Lityum'un Kritik/Stratejik Açından Değerlendirilmesi

Şafak Gökhan Özkan

Türk-Alman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Robotlar ve Akıllı Sistemler Anabilim Dalı Öğretim Üyesi, Beykoz, İstanbul, safak.ozkan@tau.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada Türkiye'nin gerek rezerv gerekse üretim değerleri açısından lider konumdaki bor madenlerine ait genel ve istatistiki bilgiler özetlendikten sonra, benzer şekilde lityum ile ilgili son yıllara ait istatistiki bilgiler de bir araya getirilmiş ve her iki madenin Dünyadaki stratejik ve kritik hammaddeler listelerindeki konumları incelenmiştir. Geleceğin katma değerli ekonomisinde belirleyici unsurlar arasında sadece lityum, grafit, kobalt ve nikel değil bor, nadir toprak elementleri, bakır, altın, gümüş, manganez, titanyum, demir, silisyum ve alüminyum içeren mineraller de giderek daha kritik bir rol oynamaktadır. Bu tip madenler, enerji dönüşümü, sürdürülebilirlik, yüksek teknoloji üretimi ve stratejik ekonomik avantajlar açısından büyük öneme sahip olmakla birlikte lityum, kobalt, nikel ve grafit, elektrikli araçlar (EV'ler) ve yenilenebilir enerji depolama sistemlerinin bataryalarında kullanılmaktadır. Çalışmada ayrıca, bu tip hammaddelerin birincil kaynaklardan kazanımının yanı sıra ikincil kaynaklardan, yani atık ve artıklardan geri kazanımı hakkında bilgiler verilmiş ve konunun önemi vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bor, Boratlar, Lityum, A(r)tıklardan geri kazanım, Stratejik ve kritik madenler.

1. BOR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

1.1. Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciliği

Yer kabuğunda tahminen 150 farklı bor mineralinin genellikle değişken oranlarda kristal su ve hidroksil iyonları içeren kimyasal bileşikler, tuzlar ve diğer kimyasal yapılar halinde bulunduğu bilinmektedir. Bu minerallerden ticari olarak önemi taşıyan sadece bir kaç tanesinin Dünyanın bir çok farklı bölgesinde yaygın bir şekilde madenciliği yapılmaktadır. Tablo 1'de yer kabuğundaki başlıca boratlar yaygın ticari formülleri ve kimyasal yapılarına göre sıralanmıştır.

Tablo 1. Ticari Boratların Kimyasal Yapıları (Harben, 2002; Roskill, 2015; Özkan, 2023)

Mineral	Yaygın ticari formülü	Kimyasal yapısı	% B ₂ O ₃	% H ₂ O
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ . 5 H ₂ O	Ca[B ₃ O ₄ (OH) ₃]. H ₂ O	50,81	21,91
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ . 8 H ₂ O	NaCa[B ₅ O ₆ (OH) ₆]. 5 H ₂ O	43,07	35,57
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ . 5 H ₂ O	NaCaB ₅ O ₇ (OH) ₄ . 3 H ₂ O	49,10	25,64
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ . 10 H ₂ O	Na ₂ (B ₄ O ₅) (OH) ₄ . 8 H ₂ O	36,51	47,24
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ . 4 H ₂ O	Na ₂ [B ₄ O ₆ (OH) ₂]. 3 H ₂ O	51,00	26,10
Pandermit	CaB ₁₀ O ₁₉ . 7 H ₂ O	Ca ₂ B ₅ O ₇ (OH) ₅ . H ₂ O	49,87	18,27
Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ . 6 H ₂ O	CaMg[B ₃ O ₄ (OH) ₃] ₂ . 3 H ₂ O	50,53	26,15

Boratlara jeolojik olarak yer kabuğunda oluşmasında fizikokimyasal parametreler son derece etkilidir. Bu parametreler arasında en etkili olanları, su, hidroksil iyonları ve B_2O_3 aktivitesi, sıcaklık ve basınçtır. Oluşumlarından sonraki evrelerde de değişen koşullar nedeniyle, birincil formlar korunamayabilir ve yeni borat türleri oluşabilir. Maden yataklanması açısından oluşumlarından sonra korunumları da ayrıca önemlidir. Genellikle kristal sulu, bileşik, susuz ve diğer boratlar şeklinde bir sınıflandırma yapmak mümkündür (Anthony vd. 1990; Helvacı, 2021).

Doğadaki bor cevherlerinin işlenmesi, diğer endüstriyel hammaddelerin madenciliğinde olduğu gibi genellikle sığ derinliklerden, pazara yakın olan yataklardan ve çıkarılan mineralin kullanım alanının genişliğinden kaynaklanan faktörlerin teknik, ekonomik ve sosyal etkenler de göz önünde bulundurulması ile gerçekleştirilir. Günümüzde yerin 400-500 m altına kadar inilerek ekonomik olarak bor mineralleri madenciliği yapılabilir. Bor minerallerinin işletilmesi maden yatağında bulunan yararlı minerallere duyulan talep ve maden yatağına uygulanabilecek en uygun kazı yöntemi gibi faktörlerin göz önünde bulundurulmasıyla gerçekleştirilir. Günümüzde bor madenleri genellikle sığ derinliklerden açık işletme yöntemleriyle işletilebildiği gibi ABD'deki göl sularından ve çözümlü madenciliği yoluyla derin bor yataklarından da bor işletilebilmektedir. Açık işletmelerde genellikle delme, patlatma, gevşetme, dekapaj ve basamaklandırma işlemleri uygulanmaktadır (Özkan, 2023).

Bor minerallerinin her biri için uygulanan cevher hazırlama ve zenginleştirme yöntemi, üretilecek bor ürünü için piyasada oluşan genel eğilime ve talebe bağlı olarak değişebilir. Bor cevherlerine uygulanan cevher hazırlama yöntemleri genel olarak kırma, öğütme, eleme ve sınıflandırma işlemlerini kapsar ve diğer endüstriyel ham maddeler için uygulanan yöntemlerle benzerlikler gösterir. Örneğin, iri kırma işlemleri için çeneli kırıcılar kullanılırken, ince kırma işlemleri için çekiçli ve şoklu kırıcılar tercih edilmektedir. Tüvenan bor cevherleri genellikle yüksek tenörlü olduğundan sadece kırma, eleme ve sınıflandırma işlemleri yoluyla da kolayca zenginleştirilebilmektedirler. Bor cevherleri için uygulanan en eski ve önemli cevher zenginleştirme yöntemi optik ayırma ya da eski adıyla tavuklama işlemidir. Geleneksel borat zenginleştirme yöntemleri, birincil ve ikincil kırma, yıkama, trommel eleme ve ardından elle ayırma, hidrosiklonlama ve aşındırarak yıkama gibi basit fiziksel ayırma yöntemleri kullanılarak bazı killer, Fe, As vb. gibi safsızlık içeriklerinin azaltılması ve bor içeriğinin yükseltilmesini kapsar (Özkan, 2019, 2021, 2023, 2024).

1.2. Borlu Mineral ve Bileşiklerin Kullanım Alanları

Tablo 1'de sıralanan ve çoğunlukla kristal suyu içeren bor mineralleri doğrudan mineral formunda piyasada ticari işlem görebildiği ve çok çeşitli alanlarda tüketilebildiği gibi, bu doğal boratlardan çeşitli kimyasal ve metalurjik prosesler sonucunda elde edilen farklı yapıdaki temel bor bileşikleri ve ürünlerinin katma değerli ve ticari olanları borik asit, susuz borik asit veya bor oksit, boraks deka ve pentahidrat ve susuz boraktır.

Bor mineralleri endüstride doğrudan ham cevherden elde edilen konsantreler şeklinde tüketilebildiği gibi, nihai kullanım alanı olan bütün sektörlerde daha çok rafine bor ürünleri şeklinde kullanılmaktadır. Bor minerallerinin en çok tüketildiği sanayii alanı cam sektörüdür. Ergimiş cam ara ürününe bor elementi içeren bir bileşik eklendiğinde, bu malzemenin akışkanlığını kolaylaştırır ve nihai ürünün yüzey sertliğini ve dayanıklılığını da artırır. Bor oksit özellikle; borosilikat cam, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Yörükoğlu, 2019).

Boratlar seramik endüstrisinde ise daha çok sır ve fritlerde kullanılmaktadır. Seramik sıklarda kullanılan bor oksit oranı ağırlıkça %8-24 arasında değişmektedir. Bor oksitin sıklardaki temel işlevi, cam ile malzeme arasındaki ısıl uyumu sağlamak ve sıranın ısıl genleşme katsayısını düzenlemektir.

Çimento üretiminde ağırlıkça %8 oranında tüketilen öğütülmüş kolemanit minerali, klinker ateşleme sıcaklığını düşürür ve çimentonun özelliklerini iyileştirir. Borlu çimentonun mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidrasyon ısı gibi parametreler açısından Portland çimentosuna göre daha iyi özellikler taşıdığı bilinmektedir. Düşük hidrasyon sıcaklığı, özellikle kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bor bileşikleri, yüksek sıcaklıklarda pürüzsüz, yapışkan, koruyucu ve çapaksız bir sıvı oluşturma yeteneklerinden dolayı demir dışı metal endüstrisinde koruyucu cüruf oluşturu ve ergitme hızlandırıcı olarak da kullanılmaktadır. Tablo 2’de bor mineralleri ve rafine bor ürünlerinin sektörel olarak temel kullanım alanları ve son yıllardaki bor tüketiminin sektörel dağılım oranları yaklaşık olarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Dünya Bor Tüketiminin Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı (Eti Maden, 2025; Roskill, 2015; Özkan, 2023; USGS, 2025)

Kullanım Alanı	Kullanım Oranı (%)
Cam, Seramik	50
Tarım	18
Seramik, Frit	12
Temizlik, Sabun, Deterjanlar	2
Askeri Teknolojiler, Sağlık, Nükleer Enerji ve Diğer	18

Bu kullanım alanlarından cam sektörünün kendi içindeki bor kullanım oranları %22 borosilikat cam, %15 cam yünü, %8 cam elyaf, %3 TFT-LCD olarak bilinmekte, ardından diğer temel kullanım alanları gelmektedir. Ayrıca cam gereçlerde ağırlıkça bor (B_2O_3) kullanım oranları; izolasyon fiberglaslarda %5; takviyeli fiberglaslarda %5,5-8,0; optik fiberglaslarda %6’ya kadar; borosilikat camlarda %12,5; kurşun içerikli kristallerde %0,025 ve cam kaplarda %0,7 dolayındadır. Özellikle askeri teknolojiler, sağlık, nükleer enerji, kimya, metalurji, haşere koruma, çatı kaplama, yapıştırıcı, selülozik yalıtım, yangın geciktirici, madeni yağ, kaya gazı gibi sektörler de diğer yaygın bor kullanım alanlarını oluşturmaktadır. Farklı kullanım alanlarında tüketilen borlu bileşiklerin genel kullanım alanları içerisindeki alt kullanım alanlarına örneklemeler ise Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3. Bor Bileşikleri ve Alt Kullanım Alanları (Roskill, 2025; Özkan, 2023; Yörükoğlu, 2019)

Bor Bileşikleri	Alt Kullanım Alanları
Disodyum oktaborat	Gübre sanayi, yangın söndürücü, ağaç malzemeleri koruyucusu
Sodyum metaborat	Kumaş terbiyeleme işlemleri ve fotoğrafçılık
Sodyum perborat	Diş ve ağız sağlık malzemeleri ve tekstil boyamaları
Susuz boraks	Cam yünü, porselen emayeleri, akışkan ortam hazırlayıcısı
Amonyum pentaborat	Ateşe dayanıklı malzemeler yapımı
Çinkoborat	Alev önleyici ve bakteri gelişimi önleyici, ilaç sanayii
Bor karbürler	Nükleer sızıntı kontrol araçları, aşındırıcı maddeler yapımı
Bor nitrürler	Çelik sertleştirilmesi, Kesici matkaplar, Çok sert delici uçlar
Bor hidrürler	Enerji taşıma ve depolama
Lityum teraborat	Seramik işleme
Kurşun borat	Kurşunlu camlar ve boyalar
Elementel bor	Nano boyutta süper iletkenler, Hava ve uzay araçları
Magnezyum diborür	Süper iletken miktatıslar, Tıbbi MR cihazları, Rüzgar türbinleri
Nd-Fe-B miktatısları	Maglev trenleri, Güç motorları, Yapay güneş projesi

1.3. Bor Rezerv-Üretim Bilgileri ve Güncel Gelişmeler

Son istatistiki bilgilere göre Dünyadaki toplam bor rezervinin %70-80'inden fazlası Türkiye'de bulunmakta ve bu yeraltı kaynakları içerisinde bor madenlerinin Türkiye ve Dünya için önemini ortaya koymaktadır. Türkiye'nin Batı Anadolu'da bulunan birkaç farklı yöresinde uzun yıllardır Eti Maden tarafından gerçekleştirilen bor madenciligi faaliyetleri sonucunda Türkiye'nin Dünya bor üretimindeki payı 2020'li yıllardan itibaren %60 seviyesini aşmış ve bor ürünleri ihracat rakamları son yıllarda ülke ekonomisine ciddi oranda katkı yapmaya devam etmiştir.

Dünya'daki bor rezervi ve üretim değerlerinde en önde gelen iki ülke olan Türkiye ve ABD kaynaklarına göre ulaşılabilen veriler Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Dünya Bor Rezervleri (Eti Maden, 2025; USGS, 2025)

Ülkeler	USGS'e göre rezerv (10 ³ ton B ₂ O ₃)	Eti Maden'e göre rezerv (10 ³ ton B ₂ O ₃)
Türkiye	950.000	940.000
Rusya	40.000	100.000
ABD	48.000	80.000
Şili	35.000	41.000
Çin	9.100	36.000
Peru	4.000	22.000
Arjantin	-	9.000
Bolivya	-	19.000
Kazakistan	-	15.000
Sırbistan	-	21.000

Türkiye borat yatakları Dünyanın en büyük oluşumları olarak bilinmektedir. Bu yataklar karasal ortamlarda, kil, marn ve kireçtaşları ile arakatlı olarak depolanmışlardır. Türkiye'nin bor madeni üretiminin rezerv sahaları açısından değerlendirilmesinde ise Kütahya-Emet ve Eskişehir-Kırka bölgeleri önde gelmektedir. Cevher olarak toplam bor rezervleri yaklaşık 3,22 milyar ton dolayındadır. B₂O₃ bazında Dünya bor yatakları yönünden önde gelen ülkeler arasında da en zengin rezervlere sahip olan ülke konumundaki Türkiye'de en önemli yataklar, Emet-Kütahya, Kırka-Eskişehir, Bigadiç-Balıkesir, Kestelek-Bursa' da bulunmaktadır. Eti Maden verilerine göre Türkiye'deki bor rezervlerinin dağılımı (cevher olarak) ve bulunduğu havzalar (temel bor mineraline göre) Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Türkiye'deki Bor Rezervlerinin Üretim Bölgelerine Göre % Dağılımı (Eti Maden, 2025)

Üretim Bölgesi	Rezerv (%)
Emet (Kolemanit-Üleksit-Probertit)	55,9
Kırka (Tinkal)	24,8
Bigadiç (Kolemanit-Üleksit)	19,1
Kestelek (Kolemanit)	0,2

2024 yılında dünya bor üretim kapasitesinin 5,7 milyon ton olduğu ve Eti Maden'in %48 payla ilk sırada olduğu, US Borax'ın %21 payla ve diğerlerinin de %31 payla takip ettiği görülmektedir. Tablo 6'da son yıllarda gerçekleşen bor üretim miktarlarının ülkelere göre dağılımı verilmektedir.

Tablo 6. Yıllara Göre Dünya Bor Üretimi (x10³ ton B₂O₃) (Eti Maden, 2025; USGS, 2025)

Ülkeler/Yıllar	2018	2019	2020	2021	2022	2023t	2024t
Türkiye ¹	2.432	2.040	1.680	1.700	2.200	2.500	3.000
ABD ²	by	by	by	by	by	by	by
Çin ³	168	383	380	380	200	300	340
Şili ⁴	398	352	288	290	360	420	420
Bolivya ⁴	216	214	258	200	170	140	230
Almanya ⁵	121	87	61	60	60	38	40
Rusya ⁶	75	82	80	80	80	80	80
Arjantin ⁷	71	182	135	130	130	160	160
Peru ⁷	101	111	44	246	200	300	300

t: Tahmini; by: Bilgi yok; 1 Rafine bor; 2 Üretim verisi paylaşmamaktadır; 3 Borik asit eşedeğeri; 4 Üleksit; 5 Borlu bileşikler; 6 Datolit; 7 Ham borat.

Dünya bor tüketimi ise dünya ekonomik büyümesi ve tüketen sektörlerdeki gelişmelerin etkisi ile yıllar itibarıyla değişkenlik göstermekle birlikte ortalama tüketim 3-4 milyon ton mertebesinde gerçekleşmektedir. Dünya bor pazarının parasal büyüklüğü ise yaklaşık 2 milyar USD seviyesindedir. Rezerv ve bor ticaretinde sektörde 2 ana üretici olan Eti Maden ve US Borax ön plana çıksa da, dünya bor sektörü oligopol bir yapıya sahiptir. Rezerv, kapasite ve yıllık tüketim değerleri dikkate alındığında Dünya Bor Sektörü arz fazlası olan rekabetçi bir pazardır. Türkiye ve ABD menşeli üreticiler dışında dünya bor üretiminde Rusya, Güney Amerika (Şili, Bolivya, Peru, Arjantin), İtalya, Çin, Hindistan gibi ülkelerde yer alan yerel üreticiler de sektörde yer almaktadır (Eti Maden, 2025).

Özellikle savunma sanayii için önemli olan ve ileri teknoloji nihai ürünlerin üretilmesi için önemli girdilerden olan yıllık 1.000 ton kapasiteli Bor Karbür Üretim Tesisi'nin 2019 yılı Ekim ayında Balıkesir/Bandırma'da temeli atılmış olup, 2023 yılı Şubat ayı itibarıyla tamamlanarak işletmeye alınması planlanmıştır. Çelik üretimi ve neodiyum miktatıs üretiminde kullanılan ferrobörün öncelikle ülkemiz ihtiyacının karşılanması için Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen çalışmalar neticesinde, Balıkesir/Bandırma'da 800 ton/yıl kapasiteli tesisin temeli 17 Eylül 2022 tarihinde atılmıştır. Projenin 2023 yılı Aralık ayı itibarıyla tamamlanması planlanmaktadır (İMİB, 2022; CBSBB, 2023).

Ayrıca, son yıllarda bor kullanımının artış gösterdiği tarım sektörüne yönelik olarak Granül Ürün Üretim Tesisi çalışmaları devam etmektedir. Diğer yandan, bor üretim prosesinde üretim tesislerinde açığa çıkan zayıf çözeltinin içinde bulunan bor ve lityum alınarak, lityum karbonat ve satılabilir bor ürünleri üretimi yapılmasına yönelik projeler Eti Maden Ar-Ge altyapısı ve insan kaynağının çalışmaları sonucunda gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmaların fabrika ölçeğine dönüştürülmesi öncesinde pilot tesis kurulmasına yönelik çalışmalar kapsamında, 10 ton/yıl kapasiteli pilot tesisin kurulumu tamamlanmış olup ilk lityum karbonat üretimi yapılmıştır. Yerli teknolojinin güç kaynağı olması beklenen yerli lityum için Eskişehir/Kırka'da 600 ton/yıl, Balıkesir/Bandırma'da ise 100 ton/yıl olmak üzere toplam 700 ton/yıl kapasiteli üretecek tesislerin yapımına yönelik proje çalışmaları devam etmektedir (CBSBB, 2023).

Ülkemizin sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği konusundaki vizyonu çerçevesinde, AB'nin ortaya koyduğu AYM süreci ile uyumlu bir şekilde yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda projeleri hayata geçirmeye yönelik olarak Eti Maden, Güney Marmara Kalkınma Ajansı, Enerjisa Üretim A.Ş., Aspilsan Enerji A.Ş. ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi arasında işbirliği protokolü yapılarak, Balıkesir'in Bandırma ilçesinde Türk sanayiinin ilk yeşil hidrojen tesisinin kurulumuna katkı sağlanmaktadır. Hidrolik sıvı ve yağlayıcı maddelerde katkı, ahşap koruyucu, polimerizasyon katalizörü, kaynak işlemlerinde flaks, yüksek borat esterlerinin sentezi, seramik,

organik sentezleme vb. amaçlarla kullanılan trimetil borat ile kâğıt, tekstil, metal ve ilaç endüstrisinin yanı sıra, hidrojen depolama kapasitesinden dolayı yakıt hücresi üretiminde de kullanılan sodyum bor hidrürün üretilmesi konusunda pilot tesis çalışmalarına da devam edilmektedir (CBSBB, 2023).

2. LİTYUM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Lityum Minerallerinin Özellikleri ve Madenciliği

Lityum, yer kabuğunda 145'ten fazla farklı mineralde bulunur ve en bol bulunan lityum minerali spodümen bunların en önemlisi kabul edilebilir. Lityum, genellikle kil minerallerinde de, en sık izomorf yapıda ve daha düşük konsantrasyonlarda özellikle smektit, mika ve lifli killerde bulunur; aynı zamanda bir safsızlık veya inklüzyon olarak, kafes boşluklarında ya da adsorbe edilmiş olarak da mevcut olabilir. Lityum elementi içeren ve ticari olarak önem taşıyabilecek mineraller Tablo 7'de kimyasal formülleri ve içeriklerine göre sıralanmıştır (Işık, Özkan, 2023).

2.2. Lityum Mineral ve Bileşiklerinin Kullanım Alanları

Lityum birçok endüstride gelişen teknoloji koşulları ile beraber kullanımı artan önemli bir elementtir. Dünyada birincil ve ikincil kaynaklardan kimyasal prosesler sonucunda üretilen ve çoğunlukla batarya teknolojisinde tüketilen lityumun miktar ve maliyet hesaplamalarında Li_2CO_3 (LCE-Lithium Carbonate Equivalent) veya LiOH eşdeğerlikleri baz alınmaktadır (Fakhani, Özkan, 2021).

Tablo 7. Önemli Lityum Minerallerinin Kimyasal Yapıları (Üçerler, 2023)

Mineral	Kimyasal formülü	Mineral grubu	% Li ₂ O	%Li
Spodümen	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	İnosilikat	8,03	3,73
Lepidolit	$\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{19}(\text{OH},\text{F})_2$	Fillosilikat	7,70	3,58
Zinvaldit	$\text{LiKFeAl}_2\text{F}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$	Fillosilikat	4,12	1,91
Jadarit	$\text{LiNaSiB}_3\text{O}_7(\text{OH})$	Neosilikat	7,30	3,39
Petalit	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$	Tektosilikat	4,88	2,26
Litofillit	$\text{Li}(\text{Mn},\text{Fe})\text{PO}_4$	Fosfat	9,53	4,43
Ambigonit	$(\text{Li},\text{Na})\text{AlPO}_4(\text{OH},\text{F})$	Fosfat	10,10	4,69
Ökriptit	LiAlSiO_4	Feldspatoid	11,86	5,51
Hektorit	$\text{Na}_{0,3}(\text{Mg},\text{Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$	Smektit	1,20	0,56

Lityum elektrikli arabaların ve bataryaların üretiminde anahtar malzeme rolündedir. Lityum niyobatları cep telefonları başta olmak üzere telekomünikasyon ürünlerinde ve optik modülatörlerin üretiminde ana maddelerden biri olarak yer almaktadır. Yüksek miktarda nem tutma ve kurutuculuk özelliği ile kimya sanayisinde kullanılmaktadır. Buna ek olarak güçlü bazik özelliği ile güçlü alkali bileşenlerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Lityum yüksek sıcaklık kayganlaştırıcısı özelliği ile birçok alanda kullanılmasının yanında aynı anda baz metallerinden oluşabilecek kirlenmeleri absorbe etme özelliği ile oksitlenmeyi önlemektedir. Optik sektörü yapay kristalleşme yapısı ile lityuma ihtiyaç duyarken, lityum enerji üretiminde önemli bir bileşen olma özelliğiyle roket yakıtı yapımında ve nükleer enerji ve silah endüstrisinde etkin olarak kullanılmaktadır (Üçerler, 2023).

Bataryalar: Lityum-iyon bataryaları (LiB), ilk olarak tüketici elektroniği ve telekomünikasyon cihazlarında kullanılmıştır. 1991 yılında Sony tarafından ticarileştirilmesinden bu yana, şarj edilebilirlik ve yüksek enerji yoğunluğu özellikleri ile birlikte lityum iyon bataryalarının hafifliği,

bunları taşınabilir elektronikler için 2005 yılından beri lityumun temel kullanım alanı yapmıştır ve lityum-iyon batarya pazarı, 2015 yılında 15 milyar USD dolayına ulaşmıştır.

Lityum hidrojen ve helyumdan sonra üçüncü en hafif elementtir ve bu nedenle bir lityum iyonu küçük bir alanda pozitif çok yük taşıyabilir. Lityum-iyon bataryalar, anot ve katot reaksiyonları tersten çalıştırılarak yeniden şarj edilebilir, fazla kapasite kaybı olmadan defalarca şarj edilebilir, bunlar lityum-iyon pilin büyük avantajlarıdır. LİB'ler için 2019 yılında talebin geldiği başlıca pazarlar elektrikli araçlar, cep telefonları ve taşınabilir PC'lerdir. Diğer önemli gelişme birim maliyetlerin her geçen yıl düşmesidir. LİB birim maliyetleri 2015'te %23, 2016'da %26, 2017 yılında %18 azalarak 2018 yılında 176 USD / kWh olmuştur ve beklenti birkaç yıl sonra bu maliyetin 100 USD /kWh düzeyi civarına inmesidir.

Cam ve Seramik: Lityum, cam ve seramik endüstrisinde erime viskozitesini ve sıcaklığını düşürmek (genellikle 25°C'ye kadar) için yaygın olarak kullanılmaktadır. Erime sıcaklığını düşürmek için eklenen spodümen, petalit veya diğer lityum oksitler enerji kullanımını %5-10 azaltır, emisyonları düşürür, fırınlarda kullanılan refrakter malzemelerin kullanım ömrünü uzatır. Ayrıca, lityum ilavesi düşük ısı genleşmeye sahip güçlü özel cam veya seramik ürün, mutfak eşyaları, araç ön camları üretilmesine imkân sağlar. Lityum, cam ve seramik ürünlerini renklendirmek ve cilalamayı geliştirmek için de kullanılır.

Gresler, Kayganlaştırıcı Yağlar: Madeni yağların içine eklendiğinde, lityum stearat su geçirmez, yüksek/düşük sıcaklıklara toleranslı kalın bir yağlama gresi oluşturur. Lityum gresi çok amaçlı ve yüksek sıcaklıkta kayganlaştırıcı olarak otomotiv, imalat ve ziraat endüstrisi dahil olmak üzere, dişli kutuları ve hidrolik sistemler gibi kapalı mekanik sistemlerde kullanılır. Lityum gresler, yüksek çalışma sıcaklıklarına maruz kaldıklarında bozulmayan çok kararlı, mükemmel yağlayıcılardır.

Metalurjik Tozlar: Lityum, küresel çelik endüstrisinde sürekli döküm işleminde kullanılan kalıp akış tozlarına bir katkı maddesi olarak eklenir. Küresel çelik üretiminin % 90'ında uygulanan, haddeleme için 'yarı mamul' çelik kütük veya slab üretilen Sürekli Döküm Yönteminde kalıp akış tozlarının kullanılması kalite kontrol açısından çok önemlidir.

Hava Filtrasyonu: Lityum (lityum bromür/klorür) bilinen en higroskopik malzemelerden biridir, klima ve endüstriyel kurutma sistemlerinde ve kapalı ortamlardaki CO₂ temizleyicilerde (madencilik, uzay ve denizaltı uygulamaları) kullanılır. Lityum bromür çözeltileri, nemli ılık havadaki nemin emildiği klima sistemlerinde bir soğutucu olarak işlev görür. Seyreltilmiş çözelti daha sonra suyun buharlaştığı, yoğunlaştırıldığı ve toplandığı bir ısı değiştiriciden geçer ve böylece lityum bromür çözeltisi tekrar kullanılabilir.

Tıp ve İnsan Sağlığı, Kozmetikler: Lityum bazlı bileşikler, tıp endüstrisinde, beyindeki etkisinin hala tam olarak anlaşılmasına rağmen, manik depresyonu tedavi etmek için, bipolar bozukluklar, depresyon ve diğer sinirsel problemler dahil olmak üzere bazı psikiyatrik bozuklukların tedavisi için verilen ilaçlarda kullanılır. Lityum antidepresan ve ruh hal dengeleyici olarak görev yapar ve bu koşulların yönetimine yardımcı olur. Lityum ayrıca kilo azaltma, AIDS ve kanser tedavisi tedavisinde kullanılan ilaçlarda da katalizör olarak kullanılır. Lityum stearat, yüz kremlerine eklendiğinde, hektorit adlı, lityum içeren bir kil minerali içeren ürünü yumuşak tutar ve kremlerde emülsiyonlaştırıcı olarak işlev görerek ciltte pürüzsüz yayılabilmesini sağlar.

Polimerler: Butillityum bileşimindeki Lityum, bir dizi sentetik kauçuk emtianın üretim sürecinde katalizör olarak kullanılır. En yaygın kullanılan ürünler otomobil lastiği imalat endüstrisinde kullanılan stirenebutadien ve polibütadiendir. Sentetik kauçuklar ayrıca plastiklerde, mutfak eşyalarında, golf toplarında da kullanılır.

Birincil Piller: Tek kullanımlık, şarj edilemeyen birincil pillerde de lityum kullanılır. Birincil lityum piller, alkalın piller gibi atılabilir alternatiflere göre daha pahalıdır, ancak kullanım ömrü, boyut, stabilite ve dayanıklılık bakımından daha üstündür. Bu nedenle kalp pilleri, tıbbi implantlar, defibrilatörler, saatler, hesap makineleri, araba anahtarları ve yangın alarmları gibi uygulamalarda birincil lityum piller tercih edilir (İMİB, 2022).

2.3. Lityum Rezerv-Üretim Bilgileri ve Güncel Gelişmeler

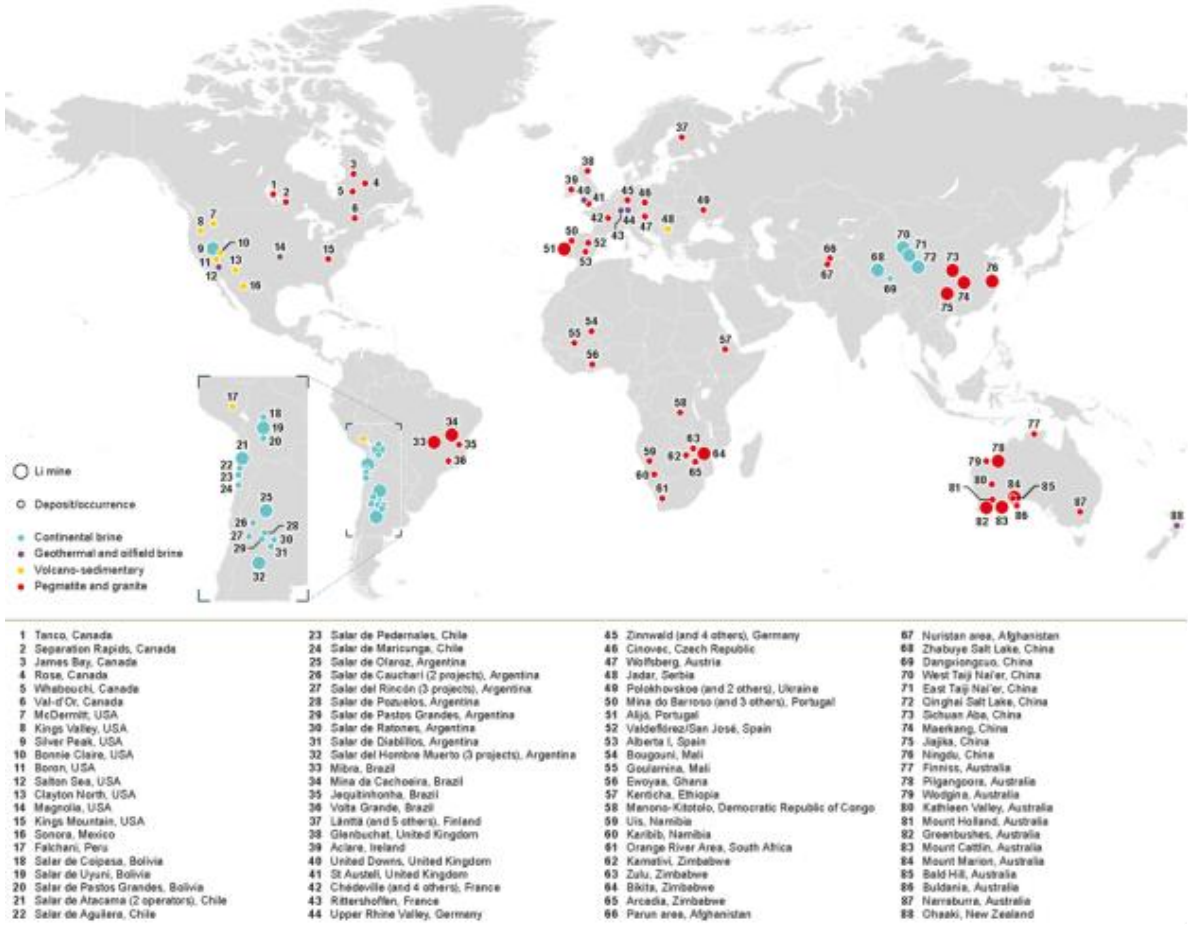
Lityum, doğada nispeten bol bulunan bir element olmasına rağmen, kaynak içeren sahaların çok azı yeterli konsantrasyona ve kabul edilebilir genel madencilik koşullarına sahiptir. Tespit edilmiş rezervlerin yaklaşık %60'ını teşkil eden lityum içerikli tuz yatakları, lityumun birincil kaynağıdır. Bu kaynakların da yaklaşık %78'i, tuz göllerinde veya tuz düzlüklerinde (kurumuş tuz gölleri) 0,2 ile 6,0 g/l arasında değişen lityum yoğunluklarıyla bulunmaktadır. Bu çeşit lityum kaynaklarının da yine dünya toplam varlığının üçte ikisinin "Lityum Üçgeni" de denilen And Dağları coğrafyasında (Şili-Bolivya-Arjantin) olduğu bilinmektedir. Şekil 1'deki Dünya haritasında en güncel haliyle lityum maden yatakları ve işletilen madenler görülmektedir (Işık, Özkan, 2023).

Diğer önemli birincil lityum kaynakları, lityum içeren cevherler ve lityum killeridir. Cevherlerde, en yüksek lityum konsantrasyonları granitik pegmatitlerde bulunur. Bunların içinde mesela spodümen ve petalitin tipik tenörleri %1-2 Li_2O aralığındadır. Bu genellikle düşük yoğunluklar, cevherin metalürjik işlenmesi ve lityum liçi öncesinde bir zenginleştirme adımı gerektirebilir.

Tuz göllerinden, jeotermal kaynaklı mineralize sulardan ve petrol rezervuarlarından elde edilen konsantrelerin yanı sıra deniz tuzu üretimi ve deniz suyu arıtma atıklarından da lityum kazanımı mümkündür. Ancak, lityum yoğunluğunun düşük olduğu veya lityumun yan ürün olarak değerlendirileceği bu kaynaklara dayalı fizibilitelerin daha karmaşık olacağı ve mutlaka doğru yapılması gerektiği de hesaplanmalıdır.

Türkiye, birincil kaynak açısından And Dağları yöresi gibi şanslı olmasa da, son yıllarda hız kazanan yerüstü (tuz gölleri ve açık tuz havzaları) ve yeraltı kaynakları (kayatuzu yatakları, jeotermal kaynaklar) araştırmaları, yer yer ekonomik açıdan umut verici bulgular vermektedir. İkincil kaynaklara bakıldığında; özellikle çözelti madenciliği ve tuz üretimi proseslerinden geçmiş artıkların ve başlangıç hammaddesi lityum içeren çeşitli endüstriyel üretim atıklarının yeniden araştırılması ve değerlendirilmesi önem taşımaktadır. İşlem sonrası homojenleşmiş ve yeniden ayrıştırma proseslerine uygun ortamlarda depolanmış artıklar, yüksek yoğunluklu lityum da dahil olmak üzere ticari değeri yüksek elementler içerebilmektedir.

Son istatistikî bilgilere göre Dünyadaki toplam lityum rezervleri ve son yıllardaki üretim verilerinin ülkelere dağılımı Tablo 8'de verilmiştir.



Şekil 1. Dünya'daki Lityum Kaynakları ve Maden İşletmelerinin Coğrafi Dağılımı (Shaw, 2021)

Tablo 8. Dünya Lityum Rezervleri ve Son Yıllardaki Üretim Verilerinin Ülkelere Dağılımı (x10³ ton Li) (USGS, 2025)

Ülkeler/Yıllar	Rezerv ¹	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024t
ABD ²	1.800	by	by	by	by	by	by	by
Arjantin	4.000	6,4	6,3	5,9	5,97	6,59	8,63	18
Avustralya	7.000	58,8	45	39,7	55,3	74,7	91,7	88
Brezilya	390	0,3	2,4	1,42	1,7	2,63	5,26	10
Kanada	1.200	2,4	0,2	-	-	0,52	3,24	4,3
Şili	9.300	17	19,3	21,5	28,3	38	41,4	49
Çin	3.000	7,1	10,8	13,3	14	22,6	35,7	41
Namibya	14	0,5	-	-	-	-	2,7	2,7
Portekiz	60	0,8	0,9	0,348	0,9	0,38	0,38	0,38
Zimbabve	480	1,6	1,2	0,417	0,71	1,03	14,9	22
Diğerleri ³	2.800	-	-	-	-	-	-	-

t: Tahmini; by: Bilgi yok;1. Süregelen yeni maden aramalarına göre dünya çapında muhtemel, mümkün ve görünür lityum kaynakları önemli ölçüde artmış olup, toplam 115 milyon tona ulaşmıştır. 2. ABD'de muhtemel, mümkün ve görünür lityum rezerv ve kaynakları hep beraber dikkate alındığında (kıtasal tuzlu sular, kıltaşı, jeotermal tuzlu sular, hektorit, petrol sahası tuzlu suları ve pegmatitlerden) 19 milyon ton olarak bilinmektedir. 3. Diğer ülkelerdeki ölçülen ve belirtilen lityum kaynakları 96 milyon tona revize edilmiştir. Kaynakların dağılımı şu şekildedir: Arjantin, 23 milyon ton; Bolivya, 23 milyon ton; Şili, 11 milyon ton; Avustralya, 8,9 milyon ton; Çin, 6,8 milyon ton; Kanada, 5,7 milyon ton; Almanya, 4 milyon ton; Kongo (Kinşasa), 3 milyon ton; Meksika, 1,7 milyon ton; Brezilya, 1,3 milyon ton; Çekya, 1,3 milyon ton; Mali, 1,2 milyon ton; Sirbistan, 1,2 milyon ton; Peru, 1 milyon ton; Rusya, 1 milyon ton; Zimbabve, 860.000 ton; İspanya, 320.000 ton; Portekiz, 270.000 ton; Namibya, 230.000 ton; Gana, 200.000 ton; Avusturya, 60.000 ton; Finlandiya 55.000 ton, Kazakistan ise 45.000 ton.

Ülkemizde ekonomik değere sahip lityum kaynağı bulunmamaktadır. Ancak, Yozgat Sorgun bölgesinde pegmatitler içinde lepidolitin varlığı bilinmesine rağmen yapılan çalışmalardan önemli sonuçlar elde edilememiştir. Ülkemizdeki bazı göllerde yapılan çalışmalarda lityum içeriğinin 40 ppm'i aşmadığı görülmüş olup, Tuz Gölü'nde 325 ppm lityum tespit edilmiştir. Ancak Tuz Gölü'nün magnezyum içeriği 38.000 ppm'dir. Yine yapılan çeşitli araştırmalar bor sahalarında killer içerisinde 2000 ppm'e yaklaşan lityum içeriğini göstermiştir. Bor madeni çıkarılan Kestelek, Emet, Kırka ve Bigadiç sahalarında yapılan çalışmalar sonucunda, Bigadiç ve Kırka bölgesindeki lityum içeriğinin Kestelek ve Emet bölgesine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sahalarda, bor içeriği ile lityum içeriği arasında ters bir ilişki olduğu görülmüş ve tane boyutu azaldıkça lityum içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Bu killere uygulanan XRD analizleri ise hektorit kilinin varlığı hakkında net bir bilgi verilmemiştir (İMİB, 2022; ETKB, 2025; MTA 2025; TENMAK, 2025).

Diğer yandan, bor üretim prosesinde üretim tesislerinde açığa çıkan zayıf çözeltilerin içinde bulunan bor ve lityum alınarak, lityum karbonat ve satılabilir bor ürünleri üretimi yapılmasına yönelik projeler Eti Maden Ar-Ge altyapısı ve insan kaynağının çalışmaları sonucunda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca MTA tarafından 2020 yılında Malatya ilinde 6,18 milyon ton (1,644 ppm Li) lityum kaynağı keşfedilmiştir. Ülkemizde jeotermal akışkanlardaki lityum ve diğer elementlerin potansiyelini belirlemeye yönelik araştırmalar yürütülmektedir (CBSBB, 2023).

3. KRİTİK VE STRATEJİK ELEMENTLER, MİNERALLER, MALZEMELER, MADENLER VE A(R)TIKLAR

3.1. Tanımlar ve Sınıflandırmalar

Avrupa Birliği (AB) tarafından 2020'lerin başından bu yana düzenli olarak güncellenen kritik hammaddeler (KHM) listesi, enerji ve pil depolama talebindeki artışla ilgili gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda, boratlar, lityum, kobalt, titanyum, boksit, stronsiyum gibi tüm tedarik zinciri aşamalarında tüm endüstrilerle bağlantılı çok çeşitli elementleri, metalleri, mineralleri, malzemeleri ve enerji dışı hammaddeleri kapsamaktadır. Tablo 9, bu malzemelerin kategorizasyonunu ayrıntılı olarak göstermektedir.

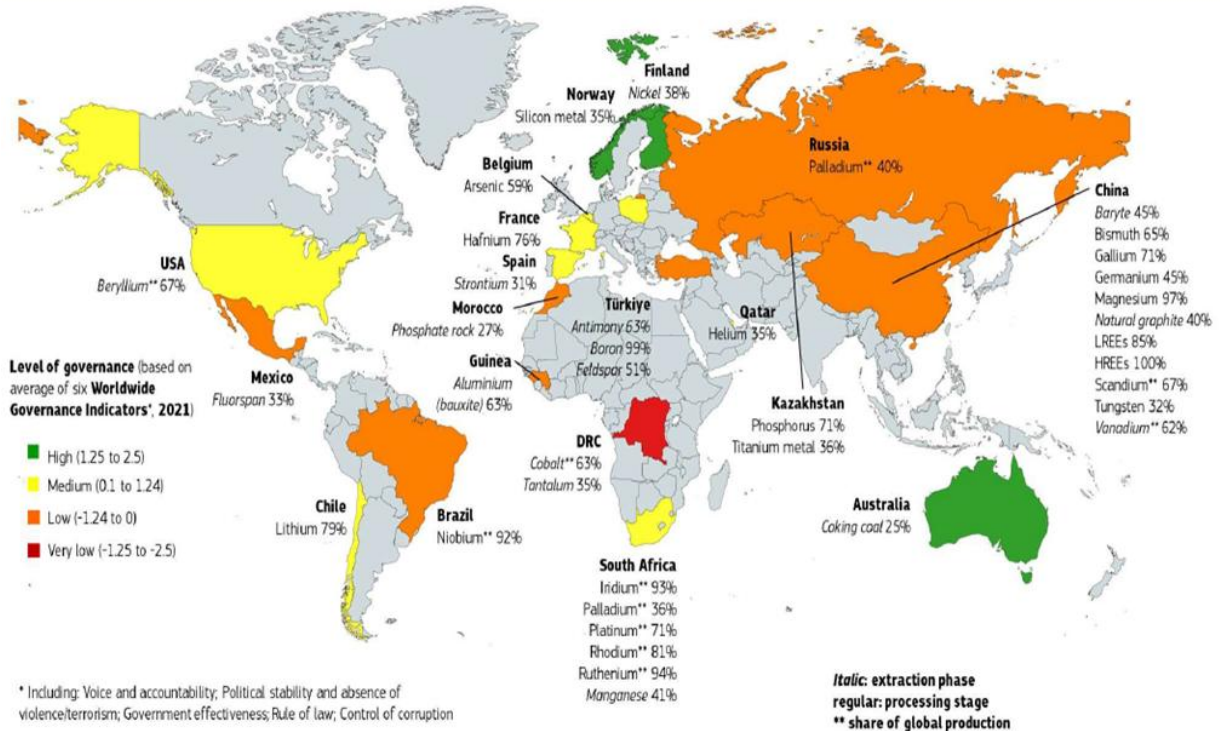
Table 9. Kritik Hammaddelerin Sınıflandırılması (European Union, 2023)

Gruplandırma	Mineraller
Endüstriyel mineraller ve İnşaat	Agregalar, barit, bentonit, boratlar , diyatomit, feldispat, florit, alçıtaşı, kaolin kili, kireçtaşı, manyezit, doğal grafit, perlit, fosfat kayası, fosfor, potas, silis kumu, kükürt, talk
Demir ve demirli alaşım	Krom, kobalt, manganez, molibden, nikel, niyobyum, tantal, titanyum, titanyum metal, tungsten, vanadyum
Değerli metaller	Altın, gümüş ve platin grubu metaller (iridyum, paladyum, platin, rodyum, rutenyum)
Nadir toprak elementleri	Ağır nadir toprak elementleri-HREE (disprosyum, erbiyum, europyum, gadolinyum, holmiyum, lutesyum, terbiyum, tülyum, iterbiyum, itriyum), hafif nadir toprak elementleri-LREE (seryum, lantan, neodimyum, praseodimyum ve samaryum) ve skandiyum
Demir dışı diğer metaller	Alüminyum/boksit, antimon, arsenik, berilyum, bizmut, kadmiyum, bakır, galyum, germanyum, altın, hafniyum, indiyum, kurşun, lityum , magnezyum, renyum, selenyum, silisyum metal, gümüş, stronsiyum, tellür, kalay, çinko,
Biyolojik ve diğer doğal maddeler	Doğal mantar, doğal kauçuk, doğal tik ağacı, sapele ağacı, kok kömürü, hidrojen, helyum, yuvarlak odun, neon, kripton, ksenon

Kritik metaller, yüksek teknoloji, çevre dostu ve savunma uygulamaları için erişilebilirliği elzem olan, ancak arzdaki politik veya ekonomik dalgalanmalara karşı hassas olan malzemelerdir. Şu anda bu tanımlama özellikle nadir toprak elementleri (NTE), tantalum (Ta), niyobyum (Nb), lityum (Li), molibden (Mo) ve indiyum (In) için geçerlidir. Modern dünyada giderek artan yaşam kalitesi ve kalkınma, birçok kritik hammaddenin üretim verimliliğine ve teknolojisine bağlıdır. Örneğin, bir akıllı telefon, küçük boyutuna, hafifliğine ve işlevselliğine katkıda bulunan 50'ye kadar farklı metal türü içerebilir. Çevresel sorunlar, özellikle temiz teknolojiler, güneş panelleri, rüzgar türbinleri, elektrikli araçlar ve enerji tasarruflu aydınlatma, yeri doldurulamaz kritik hammaddelerin madenciliği ve teknoloji geliştirmesiyle yakından bağlantılıdır.

Genellikle, bir malzemenin kritik olup olmadığına ve bu malzemeye verilecek kritiklik derecesine karar verilirken dikkate alınan üç faktör vardır. Bunlar ekonomik önem, tedarik riski ve çevresel etkilerdir. Bu, özellikle CRM'in farklı gruplar, farklı sektörler, farklı ülkeler için farklı zamanlarda farklı anlamlar ifade etmesi ve anında değişebilmesi nedeniyle kafa karıştırıcı bir ayrımdır. Stratejik olan bir şey aynı zamanda kritik olabilir, kritik olan bir şey aynı zamanda stratejik de olabilir. Bazı ifadeler veya görüşler arasında hiçbir fark olmadığını söylemektedir. Önemli ve gerekli olan emtiaları, tedarik riski ve ekonomik önem açısından belirli eşikleri karşılamadıkları sürece stratejik, ancak kritik olmayan olarak değerlendirmek mümkündür. Bu değerlendirmeler, nerede/kimin konuştuğuna bağlı olacaktır. Örneğin: platin grubu elementleri PGE, yakıt hücreleri ve hidrojen açısından stratejik olarak kabul edilebilir. Bunlar Güney Afrika'da kritik ham madde (KHM) olarak değerlendirilmemekle birlikte, Avrupa'da/Dünyanın geri kalanında KHM grubuna dahil olabilirler. Sonuçta, belirli bir mineralin "kritik" veya "stratejik" olarak tanımlanması belirli mevzuatların kullanılmasını sağlayan siyasi bir karar olarak değerlendirilebilir (Kinnaird, Nex, 2024).

Şekil 2'de, Avrupa Birliği'nin 2023 yılında listelediği kritik ham maddelerin "Yönetim Düzeyi" parametresine göre, bir Dünya haritası üzerinde hangi ülkelere hangi oranda bağımlı olduğu gösterilmektedir (European Union, 2023; Özkan, 2025).



Şekil 2. Avrupa Birliği'nin Kritik Hammaddeler Açısından Hangi Ükelere Hangi Oranda Bağımlı Olduğunu Gösteren Dünya Haritası (European Union, 2023)

3.2. A(r)tıkların Karakterizasyonu ve Geri Kazanımı

Bilindiği üzere, geleneksel madencilik ve cevher hazırlama-zenginleştirme yöntemleri çok yüksek miktarda enerji ve su tüketmekte, bu da elde edilen konsantrelerin üretim ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde artırmakta ve ayrıca çevre sorunlarına yol açmaktadır. Yenilikçi geri kazanım yöntemleri ise, detaylı mineralojik, fiziksel ve kimyasal karakterizasyon, gereksiz ufulanmayı önlemek için yeterli serbestleştirme ve ayrıca çok az su tüketimi ve geri kazanım adımlarını takip ederek, sıfır artık, kalıntı ve/veya atık hedefiyle madenden başlayarak ürün odaklı otomasyon ve kalite kontrol adımlarını içermektedir.

Günümüzde, yenilenebilir enerji sağlayan ve enerji verimliliğini artıran teknolojilere olan talebin, dünya çapında düşük karbonlu ekonomilere doğru bir yönelimle daha da artması beklenmektedir. Bu teknolojilerin çoğunun, kritik hammaddelerin doğrudan çıkarılması ve geri kazanılmasıyla elde edilen konsantrelerden ve zamanla bu hammaddeleri işleyen tesis artıklarının geri dönüşümünden elde edilen ürünlerden faydalanacağı kesindir. Bu nedenle, günümüz madencilik ve cevher hazırlama-zenginleştirme sektörü için en önemli fırsat, özellikle artık ve atıkların geri dönüşümü yoluyla kritik metallere olan talebi karşılama fırsatı bulmaktır (Lottermoser, 2010).

Madencilik ve cevher hazırlama-zenginleştirme tesisi artıkları, ham cevherlerden kaynaklanan artıklardan farklı yapılara sahip olabilir. Elbette, artıklardan herhangi bir metal değeri elde edilebilmesi için çok detaylı bir mineralojik karakterizasyon kesinlikle gereklidir. Bu tür malzemeler için uygulanan madencilik ve cevher hazırlama-zenginleştirme süreçleri büyük ölçüde benzer olsa da, kritik metallerin serbestleştirilmesi, ayrılması ve zenginleştirilmesi için farklı ve modern bir teknolojinin tasarlanması gerekmektedir (Hudson-Edwards ve ark. 2011).

Madencilik ve cevher hazırlama-zenginleştirme tesisi artıklarından kritik metallerin serbestleştirilmesi ve geri kazanılması için uygulanabilecek olası yenilikçi teknolojiler arasında, karıştırılmalı öğütme ile serbest yüzeylerin oluşturulması ve bu çok ince parçacıkların hidrofilik kısmının flotasyon yoluyla uzaklaştırılması yer alır. Parçacık boyutuna bağlı olarak, ayırma işlemi yarı ters siklonlar ve hibrit sınıflandırma teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Minerallerin gangdan ayrılması, akışkan yataklı reaktörler ve sırasıyla kaba ve ince parçacıkların flotasyonu ile gerçekleştirilebilir. Değerli mineralleri gangdan ayırmak için karşı akışlı akışkan yataklı ayırıcılar kullanan yerçekimi konsantrasyon yöntemleri de tercih edilebilir (Whitworth vd. 2022).

Madencilik ve cevher hazırlama-zenginleştirme artıklarında yeterli serbestleşme sağlanmaz ve parçacık boyutu dağılımı cevher türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin, madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan artığın ortalama parçacık boyutu kumdan (0,0625-2 mm) kayalara (>256 mm) kadar değişirken, artıklar çok daha ince parçacık boyutuna ve önemli konsantrasyonlarda bileşenler içerir (Vriens ve ark., 2020).

Maden atıklarının kristal yapıları ve dokuları da çok farklıdır (Piatak, 2018). Dahası, hava ve suya uzun süre maruz kalmaları mineral yüzeylerinde önemli oksidasyona yol açarak onları flotasyon geri kazanımı için daha az uygun hale getirir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, kritik metal geri kazanımı için mikrodalga, ultrason ve diğer bazı enerjilerin uygulanması gibi yenilikçi mineral işleme teknolojilerinin geliştirilmesi ve her türlü madencilik ve cevher hazırlama-zenginleştirme artık ve atığına uyarlanması gerekmektedir.

4. SONUÇLAR

Geleceğin katma değerli ekonomisinde belirleyici unsurlar arasında sadece lityum, grafit, kobalt ve nikel değil bor, nadir toprak elementleri, bakır, altın, gümüş, mangan, titanyum, demir, silisyum ve alüminyum içeren mineraller de giderek daha kritik bir rol oynamaktadır. Bu tip

madenler, enerji dönüşümü, sürdürülebilirlik, yüksek teknoloji üretimi ve stratejik ekonomik avantajlar açısından büyük öneme sahip olmakla birlikte lityum, kobalt, nikel ve grafit, elektrikli araçlar (EV'ler) ve yenilenebilir enerji depolama sistemlerinin bataryalarında kullanılmaktadır. Elektrikli araç bataryaları ve enerji depolama çözümleri, enerji verimliliğini artırarak ve karbon emisyonlarını azaltarak önemli ekonomik değer sağlamaktadır. Nadir toprak elementleri, bor, bakır ve silisyum içeren mineraller ise rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinde kullanılmakta ve bu teknolojiler, zaman içinde fosil yakıtların yerini alarak sürdürülebilir ekonomik büyümeye katkıda bulunmaktadır. Lityum, kobalt ve nikel elektrikli araç bataryalarının temel bileşenleri olduğu için elektrikli araçların yaygınlaşması, enerji tüketiminde verimlilik ve karbon emisyonlarında azalma sağlamak ve bu da çevresel ve ekonomik açıdan büyük bir değer yaratmaktadır. Bu bileşenleri içeren madenler, stratejik öneme sahip kaynaklar olarak değerlendirildiğinden ülkeler tarafından kaynakların güvenliğini sağlamak için büyük yatırımlar yapılmakta ve tedarik zincirleri optimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu tip madenlerin kullanıldığı ürünler yüksek katma değerli olduğundan bu ürünlerin ihracatı, ülkelerin ekonomik büyümesine ve rekabet gücüne ayrıca katkılar sunmaktadır. Katma değerli ekonomide belirleyici unsurlar, teknolojik yenilikler, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve endüstriyel dönüşüm gibi faktörler etrafında şekillenmektedir. Günümüzün ve yakın geleceğin madenleri olarak tanımlanan lityum, bor, kobalt, nikel, grafit ve nadir toprak elementleri, katma değerli ekonomide belirleyici unsurlar olabilir. Yenilenebilir enerji teknolojileri, elektrikli araçlar, yüksek teknoloji ürünleri ve sürdürülebilirlik alanlarında bu madenlerin kritik rolleri, ekonomik değer yaratma potansiyelini artırmaktadır. Dolayısıyla, bu madenlerin, geleceğin ekonomisinde önemli bir yere sahip olacağı ve ekonomik dönüşümün anahtar bileşenleri arasında yer alacağı tahmin edilmektedir. Özellikle nadir toprak elementleri; akıllı telefonlar, bilgisayarlar, yenilikçi tıbbi cihazlar ve savunma sanayi gibi yüksek teknoloji ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu ürünler, yüksek katma değerli ürünlerdir ve ekonomiye büyük katkı sağlar. Ayrıca son yıllarda teknolojide büyük bir katma değer yaratacaklarına inanılan grafit ve grafen de diğer yenilikçi malzemeler olarak değerlendirilmekte ve yeni nesil elektronikler, iletken malzemeler ile kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anthony, J.W., Bideaux, R.A., Bladh, K.W., Nichols, M.C., 1990. Handbook of Mineralogy, Mineralogical Society of America, USA.
- CBSBB, T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023. On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028), Maden Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, <https://www.sbb.gov.tr/ozel-ih-tisas-komisyonu-raporlari>.
- CBSBB, T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023. On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028), Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu, Ankara, <https://www.sbb.gov.tr/ozel-ih-tisas-komisyonu-raporlari>.
- Eti Maden, 2025. Bor Sektör Raporu-2024, Ankara, <https://www.etimaden.gov.tr>.
- ETKB, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2025, Ankara, <https://enerji.gov.tr>.
- European Union, 2023. Study on the Critical Raw Materials for the EU, Brussels, Belgium, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication>.
- Fakhani, O., Özkan, Ş.G., 2021. Modellierung der Lithium-basierten Batterieproduktion aus Primär- und Sekundärquellen, Bachelorarbeit, Türkisch-Deutsche Universität, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Mechatronik Programme, Istanbul.
- Harben, P.W., 2002. Industrial Minerals Handybook, Guide to Markets, Specifications & Prices, 4th ed. Industrial Minerals Information, Surrey, UK.
- Helvacı, C., 2021. Borates, Encyclopedia of Geology, 2nd edition, Ed: Alderton, David; Elias, Scott A., vol. 1, pp: 489-504, Academic Press, UK.

- Hudson-Edwards, K.A., Jamieson, H.E., Lottermoser, B.G., 2011. Mine wastes: past, present, future. *Elements* 7, 375–380.
- Işık, A., Özkan, Ş.G., 2023. Lityum: Ekonomik görünüm ve beklentiler, Sektör Maden, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı, Nisan, Sayı: 86, Sayfa: 50-52, İstanbul.
- İMİB, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, 2022. Bor Yataklarının Durumu, İşletmeciliği ve Geleceği, İstanbul, <https://imib.org.tr/maden/bor>.
- İMİB, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, 2022. Lityum Yataklarının Durumu, İşletmeciliği ve Geleceği, İstanbul, <https://imib.org.tr/maden/lityum>.
- Kinnaird, J., Nex, P., 2024. Critical raw materials, a global perspective. The 19th Freiberg Short Course in Economical Geology. 9-13 Dec. Freiberg, Germany
- Lottermoser, B.G., 2010. *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, third ed. Springer, Berlin, Heidelberg. Germany
- MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2025, Ankara, <https://www.mta.gov.tr>.
- Özkan, Ş. G., 2025. Recovery studies of some critical raw materials by ultrasonically assisted flotation, TMMOB, MMO, Metalik Madenler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 77-101, Adana.
- Özkan, Ş. G., 2024. Kritik madenlerin kullanıldığı ürünler ülke ekonomisine katkı sunar, TIM Report (Türkiye İhracatçıları Meclisi Resmi Yayın Organı), Temmuz, Sayı: 233, Sayfa: 51, İstanbul.
- Özkan, Ş. G. 2023. Boratlar, Endüstriyel Mineraller El Kitabı, Ed: Yüce, A.E., Kangal, M.O., Önal, G., Ergunalp, D., İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, 53-59, ISBN: 978-625-99737-0-8, İstanbul.
- Özkan, Ş. G., 2019. Comparison of conventional and modern mineral processing methods for borates, Boron Workshop, IMPC Eurasia, Antalya.
- Özkan, Ş. G., 2019. Recent advances on mining and mineral processing of raw borates, International Symposium on Boron, pp: 52–62, Kapadokya.
- Özkan, Ş. G., 2021. Novel mineral processing trends for borates as critical raw materials, ISCMRE' 21, Islamabad, Pakistan.
- Piatak, N.M., 2018. Chapter 19 – environmental characteristics and utilization potential of metallurgical slag. In: De Vivo, B., Belkin, H.E., Lima, A. (Eds.), *Environmental Geochemistry*, second ed. Elsevier, pp. 487–519.
- Roskill Information Services, 2015. *Boron: Global Industry Markets and Outlook*, London, UK
- Shaw, R.A., 2021. Global lithium (Li) mines, deposits and occurrences, British Geological Survey, London, UK, <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/global-lithium-mines-deposits-and-occurrences-map>.
- TENMAK, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, Boren, 2025. Ankara, <https://boren.tenmak.gov.tr>.
- Üçerler, Z., 2023. Lityum, Endüstriyel Mineraller El Kitabı, Ed: Yüce, A.E., Kangal, M.O., Önal, G., Ergunalp, D., İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, Sayfa: 192-198, ISBN: 978-625-99737-0-8, İstanbul.
- USGS, About the 2025 List of Critical Minerals, 2025. Reston, VA, USA, <https://www.usgs.gov/programs/mineral-resources-program/science/about-2025-list-critical-minerals>.
- USGS, Boron Statistics and Information, 2025. Reston, VA, USA, <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/boron-statistics-and-information>.
- USGS, Lithium Statistics and Information, 2025. Reston, VA, USA, <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/lithium-statistics-and-information>.

- USGS, Mineral Commodity Summaries, 2025. Reston, VA, USA, <http://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2025>.
- Vriens, B., Plante, B., Seigneur, N., Jamieson, H., 2020. Mine waste rock: insights for sustainable hydrogeochemical management. *Minerals* 10 (9), 728.
- Witworth, A. J., Forbes, E., Verster, I., Jokovic, V., Awatey, B., Parbhakar-Fox, A., 2022. Review on advances in mineral processing technologies suitable for critical metal recovery from mining and processing wastes. *Cleaner Engineering and Technology*, 100451.
- Yörükoğlu, A., 2019. Bor Ar-Ge alışmaları ve Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (Boren) Boron Workshop, IMPC Eurasia, Antalya.

Türkiye’de Bakır Madenciliği’nin Durumu

Mehmet Canbazoğlu

Profesör, Ankara TÜRKİYE. mcanbazoglu48@gmail.com

Özet: Türkiye Cumhuriyeti’nin 100.yılında bakır madenciliğinin Cumhuriyet öncesi, sonrası ile bugünkü durumu irdelenmiştir. Bu çalışmada kronolojik bir derleme çalışması yapılmak suretiyle, bakır madenciliğinin gelişimi ortaya konmuştur. Milattan önce 10 bin yıllara uzanan geçmişi bulunan bakır, günümüzde de halen metal ve alaşımları ile endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır ve alaşımlarının endüstrideki kullanım alanlarının giderek artmasının sonucu olarak, bakıra ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Ayrıca günümüzde kişi başına tüketilen bakır miktarı, ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirleyen bir ölçüt haline gelmiştir. Diğer taraftan, Dünya bakır rezervlerinin 1 Milyar ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Dünyada kullanılan yıllık bakır miktarı 27 Milyon ton civarındadır. Önümüzdeki 30 yıl içinde bakıra olan talebin yıllık 40-45 Milyon tona ulaşacağı doğrultusunda tahminler yapılmaktadır. Bakırın mevcut durumu, bu metali Dünyanın kritik mineraller sınıfına sokmaktadır.

Türkiye’nin bakır üretiminde geldiği durum, Cumhuriyet Döneminin ilk yıllarında madencilğe özellikle bakır madenciliğine birçok yatırım yapılmış olduğu, bu nedenle de önemli atılımlar gerçekleştirilmiş olduğu gerçeğidir. Bu dönemde, bakır ihracatı da yapılmıştır. Ancak günümüzde Türkiye, maalesef kendi ihtiyaçlarının büyük kısmını ithalat ile karşılamak durumunda olan bir ülkedir. Türkiye mevcut bakır ithalat açığını azaltacak tedbirleri almak ve yakın gelecekte de kendi ihtiyacını karşılayacak konuma ulaşmak zorundadır.

Anahtar kelimeler: Bakır, madencilik, Türkiye, Dünya

1. BAKIRIN TARİHÇESİ

Bakır, Neolitik Dönem veya Yeni Taş Devri’nde keşfedilmiş ve ilk kez kullanılmıştır. Bu keşfin kesin tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte, MÖ yaklaşık 8000 civarında olduğuna inanılmaktadır. Bazı kaynaklarda bakırın Anadolu dan başlayarak Dünyaya yayıldığı iddia edilmektedir.

Metalik parlak renkte ve dayanıklı bir malzeme olan bakır, doğada serbest metalik halde bulunması ve dövülmek suretiyle işlenebilir olması ilkel aletlerin (çekiçler, bıçaklar ve daha sonra başka mutfak eşyaları) yapılmasına olanak sağlamıştır.

Bu erken dönemdeki bakır arayışı, doğal bakır yataklarının keşfedilmesine ve işlenmesine yol açtığı ve MÖ 6000’den bir süre sonra, metalin kamp ateşinde eritilip istenen şekle dökülebileceği keşfedildiği sanılmaktadır. Bunu, metalik bakırın bakır içeren kayayla ilişkisi ve ateş ve kömür kullanılarak cevherlerin metale indirgenme olasılığı izledi. Bu, metal çağının başlangıcı ve metalurjinin doğuşuydu.

Bilindiği gibi, Anadolu’da bakır madenciliği çok eski çağlara kadar uzanmaktadır. Bakır üretiminin, sırasıyla Anadolu’dan Mısır ve Kuzey Afrika üzerinden MÖ 1000 yıllarında İber yarım adasından Avrupa’ya ulaştığı sanılmaktadır (Habashi, 1979; 2007). Arkeolojik bulgular, bakırın 10.000 yıl önce

Batı Asya'da süs eşyası yapımında kullanıldığını göstermektedir. Bakır, Güney Amerika'da Maya, Aztek ve İnka uygarlıkları tarafından da kullanılmıştır. Orta çağda sırasıyla bakır ve pirinç işleri Çin, Hindistan ve Japonya'da gelişmiştir. 18. Yüzyıl sonu ve 19. Yüzyıl başlarında Ampere, Faraday ve Ohm gibi bilim adamlarınca elektrik ve manyetizma alanında yapılan icat ve keşifler ile bakırdan imal edilen ürünler Sanayi devrimini hızlandırmış ve bakırı yeni çağa taşımıştır (Tamzok, 2005). Günümüzde önemi giderek artan bakır, vazgeçilmez bir metal haline gelmiştir. Dünyada kullanımı artmış ve giderek te artmaktadır.

Türkiye' de değişik bölgelerde Osmanlı İmparatorluğu öncesinde veya döneminde işlenmiş bakır cürufları bulunmaktadır. Osmanlı öncesi Küre bakır cüruflarının daha önce hüküm sürmüş olan Cenevizlilere ait olduğu düşünülmektedir. Karadeniz bakır kuşağında bilinen cüruflar, tarihsel cüruf olarak ta adlandırılmaktadır. İlkel yöntemlerle yapılmış olan bakır izabelerin cüruflarına birçok yörede rastlanmaktadır. Bu cüruflardan bazıları, Kastamonu – Küre, Artvin – Murgul, Artvin – Kuarshan, Giresun – Tirebolu, Giresun – Espiye, Sivas – Hafik ve benzeri yerlerdeki cüruflardır. Fatih Sultan Mehmet'in İstanbul'u fethetmeden önce top mermilerini Kastamonu Küre'de döktürdüğü ileri sürülmektedir (Elçin, 2014).

2. BAKIRIN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Bakır, yumuşak olması nedeniyle kolay işlenebilen, endüstride yaygın kullanım alanı bulmuş bir metaldir. Bakırın ergime noktası 1083 °C dir. Tablo 1' de, bazı metallerin iletkenlikleri, dirençleri ve erime noktaları verilmiştir. Bakır elektrik ve ısı iletkenliğinde Altından sonra ikinci sırayı alan metaldir. Bakır, altından daha yaygın bulunması ve ucuz elde edilebilirliği nedeniyle Endüstride bakır yaygın kullanılmaktadır. Günümüzde bakırın bulunmuş bir ikame elementi de yoktur. Bakıra duyulan ihtiyaç artarak devam etmektedir. Yakın gelecekte de daha da artacaktır. Ayrıca, zengin bakır maden yatakları bir taraftan azalmakta veya daha derinlerde madencilik işletmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, daha düşük tenörlü bakır cevherleri işletilmek zorunda kalınmaktadır. Bu durum da bakır fiyatlarının yükselmesine neden olmaktadır.

Tablo 1. Bazı Metallerin İletkenlikleri, Dirençleri ve Ergime Noktaları (Celal, 2015)

Metal	Elektrik İletkenliği (mega-siemens/m)	Isı İletkenliği (W/mK)	Elektriksel Direnç Nano Ohm Metre	Ergime Sıcaklığı(°C)
Gümüş (Ag)	63	406	16	961
Bakır (Cu)	59	385	17	1.083
Altın (Au)	43	314	23	1.063
Alüminyum (Al)	36	205	28	660
Tungsten (W)	18.2	180	55	3.410
Çinko (Zn)	16	112	62	419
Nikel (Ni)	12.9	99	78	1.455
Demir (Fe)	9.5	80	105	1.539
Platinyum (Pt)	9.4	72	106	1.773
Titanyum (Ti)	2.4	22	420	1.668
Paslanmaz Çelik	1.11	14-16.3	898	–

Bakır bir çok sanayi alanında kullanılan bir metaldir. Tablo 2'de Bakırın kullanım alanları verilmiştir. Buna göre;

Elektrik ve elektronik sanayi: Termik (kömür, fuel-oil, motorin, doğalgaz, jeotermal), hidrolik ve nükleer gibi çeşitli enerjilerden yararlanılarak üretilen elektrik enerjisi, genelde uzun mesafelere iletilir; şehir ve köy gibi yerleşim bölgelerine, sanayi tesislerine dağıtılır ve buralarda tüketilir.

Çıplak iletkenler, baralar, yalıtılmış hava hattı ve yeraltı güç kabloları ve ek malzemeleri elektrik enerjisi iletim ve dağıtımının başlıca elemanlarıdır. Yakın zamana kadar, elektrik enerji iletim ve dağıtımında, bakır, uygun özellikleri nedeni ile bu alandaki ana iletken malzemesi olmuştur.

Tablo 2. Bakır Kullanım Alanları (NRC, 2024)

Kullanım Alanları	Kullanımdaki Payı %
Ekipman imalatı	32
İnşaat	26
Alt yapı	17
Ulaşım	13
Endüstri	12

Bakır, yüksek elektrik geçirgenliği, işlenebilme ve mekaniksel özellikleri iyi olan bir metaldir. Bakır, gümüşten sonra en iyi iletken metaldir.

- ~ İnşaat sanayii: Bakır, inşaatlarda beton, kiriş ve yüzeylerin güçlendirilmesinde kullanılır.
- ~ Kuyumculuk: Bakır, dünyada çok bulunan bir madde olduğu için takı yapımında da kullanılır.
- ~ Bakır, imalat, inşaat ve ulaşım dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde önemli bir rol oynamaktadır.
- ~ Yine bakır, bir eser mineral olarak tüm canlı organizmalar için hayati öneme sahiptir ve yetişkin bir insanda vücut ağırlığının kilogramı başına 1,4 ila 2,1 miligram bakır bulunur. Yeşil enerji geçişinin, elektrik şebekelerinin genişletilmesi ve elektrikli araçlar gibi temiz enerji teknolojilerindeki kritik uygulamaları nedeniyle bakır talebini önemli ölçüde artırması beklenmektedir.

3. TÜRKİYE'DE BAKIR ÜRETİMİ

Bakır madenciliğine, bakır konsantre ve izabe üretimlerini iki bölümde incelemekte yarar vardır. Buna göre; Cumhuriyetin ilk elli yılı olan 1923 – 1973 dönemi ile, ikinci elli yılı kapsayan 1973 den günümüze olan dönemler dir.

3.1. Cumhuriyetin 1923 – 1973 Dönemi Bakır Üretimi

Cumhuriyetin ilk yıllarında blister bakır üretiminin önemli bir bölümünün yurt dışına satılmış olduğu çok görülmektedir. Örneğin, 1953 yılı ilk 6 aylık dönemde Ergani ve Murgul dan yapılmış olan 15.249 ton bakır üretiminin satışları şöyledir: Amerika (7.638 ton), İngiltere (4.300 ton), Almanya (100 ton) ve İtalya (60 Ton)' ya çok önemli satışların yapılmış olduğu görülmektedir. İç piyasada satış ise, 3.151 tondur (Etibank 1953).

1939'dan 1949'a kadar geçen sürede 107.277 ton toplam bakır üretimi gerçekleşirken bu miktarın yaklaşık %68,5'una karşılık gelen 73.442 tonu ihraç edilmiştir. Savaşın getirdiği olumsuzluklara rağmen 1940'ın ilk 8 ayında 2 milyon TL'ye yakın, 1941-1945 arasında yaklaşık 22 bin ton bakır satılarak 25,2 milyon TL'den fazla ihracat geliri elde edilmiştir. Bu dönemde yıllık olarak ortalama 4.402 ton bakır ile 5 milyon TL üzerinde gelir elde edilmiştir. Savaş sonrasındaki dönemde ise yıllık olarak ortalama 8.445 ton bakır ile 44 milyon TL'ye yakın bir gelir elde edilmiştir. 1946-1950

arasındaki dönemde 1941-1945 arasındaki döneme kıyasla yıllık ortalama iki kat daha fazla bakır ihraç edilirken 8 kat daha fazla gelir elde edilmiştir. 1950’de 11.700 ton ile o tarihe kadarki en yüksek bakır üretiminden yaklaşık 8,6 milyon TL değerindeki 6.316 ton bakırın 3.000 tonu ABD, 1.001 tonu Polonya, 865 tonu Çekoslovakya, 750 tonu Macaristan, 400 tonu İsviçre ve 300 tonu Fransa’ya ihraç edilmiştir (Terzi., 2021). Tablo 3’ de 1941-1968 yılları arasındaki bakır üretim ve ihracat verileri yer almaktadır (Aytekin.,1974).

Tablo 3. Türkiye Blister ve Rafine Bakır Üretimi ve İhracatı (Aytekin, 1974)

Yıl	Ton		Yıl	Ton		Yıl	Ton	
	Üretim	İhracat		Üretim	İhracat		Üretim	İhracat
1941	9.010	1.253	1951	11.526	16.646	1961	19.994	8.180
1942	8.258	5.288	1952	23.330	23.015	1962	25.775	14.428
1943	9.730	11.864	1953	23.757	17.500	1963	24.790	10.044
1944	11.050	3.278	1954	25.213	15.403	1964	25.981	13.004
1945	9.958	20.463	1955	23.800	15.648	1965	26.300	19.868
1946	10.050	6.974	1956	24.763	17.995	1966	26.615	18.106
1947	10.080	1.244	1957	24.401	15.437	1967	25.390	16.576
1948	10.979	7.230	1958	22.530	12.696	1968	23.620	16.500
1949	11.283	6.316	1959	25.036	14.548			
1950	11.700	7.297	1960	26.223	18.682			

Tablo 4’ de ise, maden üretimleri içinde bakırın önemi öne çıkmaktadır. 1962-1971 yılları arasında Maden ihracatının içinde bakırın payı verilmiştir. 1963 de %92,6 olan bakırın payı, 1971 de 48,7 ye düşmüştür. Buda, madencilik sektöründe bakıra yatırımların durakladığı bu nedenle, artan nüfus ve gelişen sanayinin ihtiyaçlarını karşılamada zorlanılacak yılların habercisi anlamına gelmektedir.

Tablo 4. Türkiye’nin Maden İhracatı İçinde Bakırın Payı (Aytekin, 1974)

Yıllar	Maden İhracatı Milyon Lira	Bakırın Payı %
1962	78.9	-
1963	53.4	92,6
1964	111.0	87,5
1965	152.5	90,7
1966	222.8	91,8
1967	149.0	81,8
1968	122.8	76,1
1969	59.8	53,1
1970	55.3	48,6
1971	106.8	48,7
	1112.8	76,1

3.2. Cumhuriyet’in 1973 – 2024 Dönemi Bakır Üretimi

3.2.1. Küre cevher yatakları

Küre Aşıköy ve Bakibaba bakır cevher yataklarından, Etibank, KBİ ve Eti bakır AŞ nin bu günümüze kadar yapmış oldukları cevher üretimleri Tablo 5’de verilmiştir. Halen Eti Bakır AŞ

tarafından bakır cevheri üretimi yeraltından yapılmaktadır. Yeraltından yaklaşık yılda 1.250.000 ton cevher üretimi yapılabilmektedir. Üretilen cevher, 1987 yılında Etibank tarafından kurulmuş olan konsantratörde işlenerek, yaklaşık %17,5 Cu tenörlü 170.000 ton konsantre elde edilmektedir ve İnebolu üzerinden gemi ile Samsun İzabe tesislerine sevk edilmektedir. Yine Etibank tarafından yapılmış olan bakır konsantresi üretimleri Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 5. Küre Cevherlerinden Yapılan Üretimler (Küre, 2025)

Kurum	Çalışılan Yıllar	Cevher Yatağı	Miktarı, Ton
ETİBANK	1955-1983	Aşıköy (Açık 1)	2,041,872
	1995-2004	Aşıköy (Yeraltı 1)	1,340,413
	1967-1969	Kızılsu	14,753
	2001-2005	Kızılsu	426,177
K.B.İ	1972-2002	Bakibaba (Yeraltı 1)	835,520
	1987-2004	Aşıköy (Açık 1)	7,489,641
ETİ BAKIR A.Ş.	2005-2006	Aşıköy (Açık Ocak)	662,887
	2005-2013	Aşıköy (Açık 1)	2,780,325
	2010-2015	Aşıköy (Açık 2)	2,290,340
	2005-2006	Aşıköy (Açık 2)	331,235
	2011-2024	Bakibaba (Yeraltı 1)	15,308,064
	2006-2008	Bakibaba (Açık)	2,988,261
	2006-2024	Toykondu	387,147
	2010-2014	Hanönü	611,720

Tablo 6. Küre ETİBANK'ın Bakır Konsantre Üretimi

Yıl	Konsantre, Ton	Tenör, %	Yıl	Konsantre, Ton	Tenör, %
1987	4.757	12,68	1996	23.350	17,24
1988	48.001	15,40	1997	42.400	16,38
1989	47.329	15,40	1998	42.400	17,25
1990	27.593	14,58	1999	45.300	17,17
1991	16.924	13,67	2000	60.500	16,44
1992	6.021	14,79	2001	70.000	16,79
1993	41.005	15,24	2002	80.000	17,05
1994	35.000	16,65	2003	84.500	16,66
1995	32.000	17,71	2004	65.906	17,72

3.2.2. Murgul cevher yatakları

KBİ AŞ. nin Murgul - Damar yöresi cevher üretim faaliyetleri Tablo 7' de verilmiştir. Buna göre, 2002 yılı öncesi % 0,99 Cu tenörlü cevher üretimi (1970-2002), 63.961.049 tondur. 2002-2006 yılları arasında da % 0,70 Cu tenörlerinde 5.049.675 ton cevher üretimi yapılmıştır (MURGUL.,2025).

Tablo 7. KBI AŞ. Murgul İşletmesi; Bakır Cevheri Üretimleri

Yıl	Miktar, Ton	Tenör, %
2002 öncesi	63.961.049,00	0,994
2002	1.677.500,00	0,641
2003	1.206.500,00	0,570
2004	1.198.946,00	0,613
2005	575.873,00	0,820
2006	390.856,00	0,803
Toplam	69.010.724,00	0,969

Eti Bakır AŞ. Murgul – Çakmakaya, Damar ve Akarşen yataklarından üretim yapmıştır. Akarşen cevheri yeraltı işletmesi olarak çalışmıştır ve 2019 yılında bitmiştir. Cerattepe cevher yatağı 2018 yılında devreye alınmış olup, yeraltı işletmesi olarak devam etmektedir. Çakmakaya açık işletme olarak çalışılmış rezervi bitmek üzeredir. Damar sahası yine açık işletme olarak devam etmektedir. Bu işletmelerin yıllar itibarıyla, cevher üretim miktarları ve işletme tönörleri Tablo 8’ de verilmiştir. Sahada 2006 yılından itibaren bugüne kadar 59.274.945 ton cevher ortalama % 0,78 Cu tenörüyle üretilmiştir. 2006 - 2025 (9 Ay) arasında Çakmakaya Damar yataklarından üretilen 54.293.482 ton % 0,558 Cu tenörlü cevherdir. Ancak cevher tenörü düşmüş olup halen % 0,40 Cu içeren cevher işletilmektedir. Akarşen yatağından 2009 yılından itibaren altı yıl süreyle cevher çıkarılmıştır. Bu sürede % 2,91 Cu tenörlü 1.719.339 ton cevher üretilmiştir. Cerattepe den ise, 2018 – 2025(9 Ay) arasında % 3,27 Cu tenörlü 3.262.124 ton bakır cevheri üretilmiş ve Damar konsantratörüne taşınarak zenginleştirilmiştir.

Tablo 8. ETİ BAKIR AŞ. Murgul – Damar, Akarşen ve Cerattepe Cevher Üretimleri

Madenler	Yıllar	Miktar, Ton	Tenör, %
Çakmakaya - Damar	2006-2025(9 Ay)	54.293.482	0,558
Akarşen	2009-2019	1.719.339	2,91
Cerattepe	2018-2025(9 Ay)	3.262.124	3,27
	Toplam	59.274.945	0,78

2006 -2025 yıllarında Murgul Konsantratöründe farklı yataklardan gelen bakır cevherleri zenginleştirilmiştir. Elde edilen toplam konsantre miktarları ve tenörleri Tablo 9’da verilmiştir. Buna göre, Murgul ve Damardan 1.545.471 ton %20,78 Cu, Cerattepeden 568,176 ton %15 Cu ve Akarşenden 330.735 ton %13,19 Cu tenörlü konsantreler üretilmiştir. Üretilen konsantreler, boru hattı taşımacılığı ile Hopa limanına, oradan da gemi ile Samsun izabe tesisine gönderilmektedir.

Tablo 9. ETİ BAKIR AŞ Murgul, Akarşen ve Cerattepe Toplam Konsantre Üretimleri

Üretim Yılları	Murgul		Cerattepe		Akarşen	
	Miktar	Tenör	Miktar	Tenör	Miktar	Tenör
	Ton	%	Ton	%	Ton	%
2006-2025	1.545.471,00	20,78	568.176	15,00	330.735	13,19

3.2.3. Madencilik şirketlerinin bakır konsantre üretimleri

Türkiye’de bakır konsantresi üretimi, MAPEG verilerinden hazırlanan, Tablo 10’ da verilmiştir. Buna göre Türkiye’de bakır konsantre üretimi 2024 yılında toplam 830.413 ton dur. Bunun 511.207 tonunu Eti Bakır AŞ, 177.916 tonunu Acacia Maden İşletmeleri AŞ, 55.734 tonunu Çayeli Bakır İşletmeleri AŞ, 49.739 tonunu Mir Yıldız Mühendislik İthalat ve İhracat LTD, 28.401 tonunu Demir Export A.Ş ve 5.325 tonunu Esan AŞ üretmiştir. Geri kalan şirketlerin konsantre üretim miktarı ise 2.088 tondur (MAPEG., 2025). TÜİK’ in Tablo 14’ deki verilerine göre, 2024 de 830.413 ton bakır konsantresinin 473.379 tonu ihraç edilmiştir. Aynı yıl 62.231 ton konsantre ithalatı vardır. Diğer bir ifadeyle 411.148 ton bakır konsantresi, yeterli izabe olanakları olmadığından, ihraç edilmiştir.

Tablo 10. Şirketlerin Bakır Konsantresi Üretimleri (MAPEG., 2025)

Şirketler	Miktar, Ton			
	Yıl			
	2021	2022	2023	2024
Eti Bakır AŞ	564.476	552.937	591.706	511.207
Acacia Maden İşletmeleri AŞ.	117.772	147.493	178.510	177.916
Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş.	76.483	58.427	54.617	55.734
Demir Export A.Ş.	0	0	21.966	28.401
ESAN	4.783	7.146	7.482	5.325
Mir Yıldız Müh. İnş. İt. ve İh. LTD	0	40.007	59.716	49.739
Diğer	13.307	5.320	2.655	2.088
Toplam	777.001	812.521	916.652	830.413

3.2.4. Türkiye’ nin bakır cevher potansiyeli

MTA’ nın Türkiye’de tesbit etmiş olduğu bakır sahalarının rezervleri Tablo 11’de verilmiştir (MTA., 2025). Buna göre, Türkiyede 1 Milyar ton görünür + Muhtemel + Mümkün bakır cevher rezervi bulunmaktadır. Ortalama cevher tenörü, % 0,39 Cu olarak hesaplanabilir. Ancak bir kaç saha dışında, bakır tenörlerinin çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, bilinen bu sahaların cevher tenörleri % 0,19 - % 0,39 Cu aralığındadır. Bu bakır cevherleri genellikle sülfürlü Cu, Cu- Mo, Cu-Zn- Au, Ag polimetal cevher oluşumlarıdır. Dünya bakır talebi ve fiyat artışları dikkate alındığında, bu cevherlerin ekonomik olarak işletilebileceği günler yakındır. Sahaların detay jeolojik rezerv çalışmalarının tamamlanmasında yarar vardır.

Tablo 11. MTA Buluculuk Sahaları Rezerv Durumu

Rezerv	Miktar, Milyon Ton
Görünür	782.655,202
Muhtemel	297.769,951
Mümkün	61.108,549
Toplam	1.028.384.146

3.3. Samsun İzabe Tesisi

KBİ AŞ. Samsun İzabe Tesisi, kurulduğu 1973 yılından 2011 yılına kadar Blister Bakır (rafine edilmemiş bakır) ,%98-99 Cu saflığında, üretmiştir. Daha sonra rafine bakır üretimine geçmiştir. Rafine bakır, blister bakırın rafine edilmesi sonucu elde edilmektedir ve %99.99 Cu saflığındadır. Bakır altından sonra, bu saflığı ile en yüksek iletkenliğe sahip olan metaldir. Eti Bakır AŞ. Samsun izabe tesisleri bakır konsantre ihtiyacını kendi bakır madenlerinde üretilen konsantrelerden karşılamaktadır. Tablo 12’de Madenlerin bakır konsantresi üretim miktarları ve tenörleri verilmiştir.

Tablo 12. Eti Bakır Konsantre Üretim Miktarları(Eti Bakır, 2025)

Maden	Miktar	Bakır	Açıklama
Faaliyette olanlar	Ton/yıl	Tenörü %	
Küre	170 000	17,5	
Murgul	130 000	13,5	Murgul ve Cerattepe birlikte
Siirt	80 000	19	
Adıyaman	160 000	11,5	
Faaliyete alınacaklar			
Elazığ- Kısabekir	140 000	18,5	2026 Ağustos da üretime geçecek
Çanakkale Halilağa	80 000	21	2027 de üretime geçecek
Boyabat	240 000	18,5	2028 de üretime geçecek

İzabe tesisi Türkiye’de mevcut tek bakır izabe tesisidir. Cumhuriyetin ilk döneminden 1993 yılına kadar Murgul ve Ergani Bakır da iki izabe tesisi bulunmaktaydı. KBİ AŞ. nin Samsun izabe tesislerinde 1973 – 1987 yıllarında yapmış olduğu blister bakır üretim miktarı 215.361 ton dur. Yıllık ortalama 10 -15 bin ton blister bakır üretilmiştir. Ancak, 1985 ve 1986 yıllarında 24.500 ton a ulaşılan üretimler yapılmıştır. Bu düşük kapasitenin birçok nedeni olabilir, en büyük dar boğazın yeterli konsantre temin edilememiş olmasıdır. Tablo 13’ de Samsun izabe tesisinde bakır konsantrelerinden üretilmiş rafine bakır miktarları verilmiştir. Değişik yıllarda 20.250 ton hurda bakır işlenmiştir. Cevher ve hurda dan 15 yılda toplam üretilen rafine bakır miktarı, **1.060.762,99** tona ulaşmıştır. Beslenen konsantre tenörüne bağlı olmakla birlikte, Samsun izabe tesisi izabe kapasitesi 80-100 bin ton anot bakır, rafinasyon kapasitesi 100 bin ton rafine bakırdır.

Sarkuysan, Erbakır ve HES şirketlerinin mevcut tesislerinin rafinasyon kapasiteleri yaklaşık 140.000 ton/yıl dır. Bu kapasiteye karşın, bu şirketlerin rafine bakır üretimi 50-55 bin ton/yıl dır.

Tablo 13. Eti Bakır AŞ. Samsun İzabe Tesisi Rafine Bakır üretimleri

Yıllar	Rafine Bakır Üretimi, Ton
2010 -2015	203.219,26
2015-2020	354.097,18
2020-2025(10 Ay)	387.289,31
Toplam	994.605,75

4. TÜRKİYE’DE BAKIR İHRACAT VE İTHALATI

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden Tablo 14 oluşturulmuştur. Türkiye 2001 yılından 2024 sonuna kadar, önemli miktarlarda bakır konsantreleri ihraç etmektedir. Bu ihracatın artmakta

olduğu da gözlemlenmektedir. Bakır konsantre ihracatı 2024 yılında 473.379 ton'dur. Buna karşın, kısmi konsantre ithalatı da bulunmaktadır.

Tablo 14. Bakır Konsantre İhracatı ve İthalatı (TÜİK., 2025)

Yıl	İhracat, Ton	İthalat, Ton	Yıl	İhracat, Ton	İthalat, Ton	Yıl	İhracat, Ton	İthalat, Ton
2001	156.249	45.074	2009	356.921	0.125	2017	246.289	75.570
2002	277.656	61.639	2010	421.048	1.329	2018	119.680	82.768
2003	150.926	54.852	2011	257.955	5.477	2019	187.422	10.292
2004	173.428	10.369	2012	346.465	882.199*	2020	306.238	41.274
2005	148.136	44.633	2013	428.211	50.971	2021	313.660	35.500
2006	168.886	18.111	2014	342.705	9.941	2022	387.698	33.557
2007	270.325	31.500	2015	294.306	4.677	2023	392.252	275.066
2008	247.767	3.874	2016	244.798	14.448	2024	473.379	62.231

*:2012 Yılında Gürcistandan ithal edilmiştir.

Tablo 15. 2015 – 2025(7 Ay) Rafine Bakır, Hurda ve Külçe Bakır İthalatı

Yıllar	Bakır İthalat Miktar, Ton		
	Rafine (Katot)	Hurda	Külçe
2015- 2021	2.545.484,49	196.973,23	50.376,69
2022	383.373,89	52.734,02	9.703,64
2023	405.567,63	43.229,53	4.290,71
2024	357.959,20	43.471,05	4.304,19
2025(7 Ay)	266.855,11	28.982,91	1.932,16
Toplam	3.959.240,32	365.390,74	70.607,39

Tablo 16. Bakır Sektörü 2015 – 2025 Dış Ticaret verileri(TÜİK., 2025)

Yıl	Bakır Sektörü 10 Yıllık Dış Ticaret TÜİK Verileri			
	İhracat		İthalat	
	Miktar, Kg	Değer, USD	Miktar, Kg	Değer, USD
2015	166.396.963	1.091.297.132	509.844.156	2.978.313.939
2016	174.644.150	1.026.223.000	536.276.526	2.741.667.667
2017	194.357.273	1.344.597.268	526.907.016	3.360.902.865
2018	248.626.737	1.798.192.923	510.986.393	3.484.973.333
2019	218.368.291	1.521.838.743	486.801.226	3.038.796.050
2020	228.678.993	1.580.971.884	512.031.783	3.211.874.295
2021	267.268.539	2.599.135.048	572.928.995	5.265.609.962
2022	271.016.261	2.662.907.774	610.987.287	5.510.358.522
2023	251.890.583	2.497.777.477	631.249.055	5.651.899.902
2024	292.012.740	2.933.620.248	638.406.411	6.013.007.932
2025(7Ay)	353.129.435	2.579.770.157	621.521.680	10.808.009.330
Toplam	2.606.389.965	21.636.331.654	6.157.940.528	52.065.413.797

Bakır konsantresi ihraç eden Türkiye, önemli rafine bakır ithalatçısıdır (Tablo 14). Tablo 15’ de rafine bakır, hurda ve külçe bakır ithalatı verileri, yer almaktadır. 2024 yılında 358 bin ton rafine bakır, 43 bin ton hurda bakır ve 4 bin ton külçe bakır ithal etmektedir (Sarkuysan., 2025). Türkiye önemli miktarda rafine bakır ithal edip, çeşitli sanayi ürünleri olarak dış pazara ihraç etmektedir.

Tablo 16’ da Türkiye’ nin rafine bakır ithalat ve ihracatı ile değerleri verilmiştir. TÜİK verilerine göre; bakır ithalatı da, bir artış eğilimi göstermektedir. 2015 li yıllarda 500 bin ton olan bakır ithalatı, 2024’ e gelindiğinde 638 bin tona ulaşmıştır. Bakır ihracatı da aynı dönemde 292 bin ton seviyesine yükselmiştir. Diğer taraftan, ithalat ihracat farkı olan yaklaşık, 346 bin ton bakır olup, yurt içinde kullanılmaktadır. Yakın gelecekte, ülkenin gelişme durumu ve artan nüfusun bir sonucu olarak, ithalata bağlı olan bakır sektöründeki artan talep büyümeye devam edecektir.

5. DÜNYA’DA BAKIR

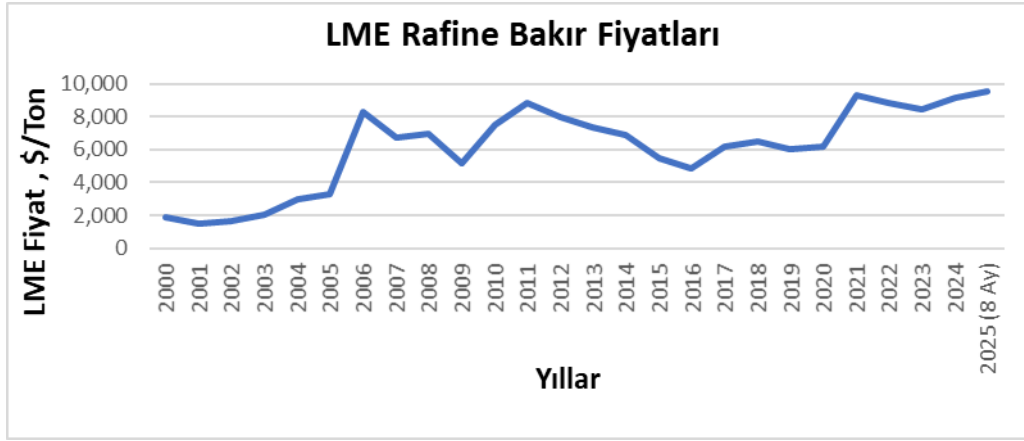
5.1. Bakır Fiyatları

Bakır fiyatları 2000 yıllardan önce olduğu gibi, 2005 yılına kadar 2.000 – 3.000 dolar bandında seyretmiştir. 2006 dan itibaren bakır fiyatlarında bir artış eğilimi yaşanmıştır. 2006 da 8.300 dolara da ulaşmış, ancak uzun süre 6.000- 8.000 dolar bandında kalmıştır(2016 yılı dışında, sert düşüş ile 4.863 dolar). Son 3 yılda bakır fiyatlarının tekrar yükseliş eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu dönemde bakır fiyatları, 9.000 doların üzerinde kalmıştır. Tablo 17 ve Şekil 1’ de LME yıllık rafine bakır fiyatları verilmiştir.

25 Eylül’den başlamak üzere Rafine bakır fiyatları 10.300 dolara ulaşmıştır. 19 Kasım 2025 itibariyle de, 10,695 Dolar seviyelerini görmüştür. Bakır fiyatları Dünya’da süregelen savaş, hammaddelere olan talep artışları, üretim maliyetlerindeki artışlar, hammaddelerin kaynaklarının azalması, cevher tenörlerinin düşmesi ve düşük tenörlü cevherleri bulma ve işletme zorunlulukları vb. gibi nedenlerden dolayı bir artış eğilimindedir.

Tablo 17. Bakır Fiyatları (LME, 2025)

Yıllar	Cu, \$/ton	Yıllar	Cu, \$/ton	Yıllar	Cu, \$/ton
2000	1.854	2009	5.163	2018	6.523
2001	1.501	2010	7.539	2019	6.000
2002	1.665	2011	8.810	2020	6.181
2003	2.041	2012	7.949	2021	9.317
2004	2.980	2013	7.322	2022	8.797
2005	3.289	2014	6.861	2023	8.478
2006	8.300	2015	5.447	2024	9.147
2007	6.710	2016	4.863	2025 (8 Ay)	9.499
2008	6.939	2017	6.165	2025 (18 Kasım)	10.695



Şekil 1. 2000 – 2025(8 Ay) Bakır Fiyatları

5.2. Dünya Bakır Üretim Ve Rezervleri

Kanada Doğal Kaynaklar (NRC) ve United State Geological Survey (USGS) tesbitlerine göre, Dünya’da önemli bakır üreten ülkelerin sıralaması, bakır üretimleri, üretimdeki payları ve rezervleri Tablo 18’de verilmiştir (NRC., 2024; USGS., 2025). Mevcut verilere göre, Dünya rafine bakır üretimi 23 Milyon tondur. Üretimin 19,9 Milyon tonu Tablo 18’de sıralanan ülkeler tarafından yapılmaktadır. Bu 13 ülkenin üretimdeki payı, %86,53 dür. Dünya’da geri kalan üretimdeki payın %13,47 ini diğer ülkeler yapmaktadırlar. Bu miktar 3,1 Milyon tondur.

Tablo 18. 2024 Yılı Dünya Bakır Üretimi ve Mevcut Bakır Rezervleri

Sıra No	Ülke	Bakır Üretimi (x Bin Ton)	Üretimdeki Payı %	Rezervler	
				(x Milyon Ton)**	%
1	Şili	5.300	23,04	190.000	21
2	DRC(***)	3.300	14,35	80.000	9
3	Peru	2.600	11,3	100.000	13
4	Çin	1.800	7,83	41.000	5
5	ABD	1.100	4,78	47.000	5
6	Endonezya	1.100	4,78	21.000	3
7	Rusya	900	3,91	80.000	2
8	Avustralya	800	3,47	100.000	11
9	Meksika	700	3,47	53.000	5
10	Zambia	700	3,47	21.000	2
11	Kazakistan	700	3,47	20.000	2
12	Kanada	500	2,17	100.000	1
13	Polonya	400	1,74	34.000	1
Toplam		19.900	86,53	980.000	
Diğer Ülkeler		3.100	13,47		20
Tahmini Dünya üretimi		23.000	100	1.000.000*	

*: Copper facts-Natural Resources Canada,, ** :pubs.usgs.gov/msc2025-copper. ***: Kongo Demokratik Cumhuriyeti

Tablo 18’de verilen Dünya bakır rezervleri verilerine göre, yine en yüksek üretimi yapan ülkelerde bilinen bakır rezervleri de yüksek gözükmektedir. Dünya bakır rezervleri toplamı 1.000.000 Milyon

ton olarak tahmin edilmektedir. Yine bu rezervin %20' si diğer ülkelerdedir. En büyük rezervlerin sırasıyla, Şili de 190; Peru, Avustralya ve Kanada da 100 Milyon ton olduğu görülmektedir. 5 ülke Dünya bakır cevherinden konsantre üretiminin %56 sını gerçekleştiriyor. Çin Dünya bakır cevheri üretiminin %60'ını ithal ediyor, Dünya rafine bakır üretiminin %45 ini yapıyor.

Yüksek üretime sahip olan Şili, DRC, Peru, Çin ve ABD'nin 2013- 2024 yılları arasındaki bakır üretimleri Tablo 19'de verilmiştir. Şili bakır üretiminin 5.850 bin ton seviyelerindeki üretiminin istikrarlı bir şekilde devam etmekte olduğu 2024 üretiminin 5.300 bin ton olduğu görülmektedir. DRC nin üretiminin 970 bin tondan artarak 2024 de 3.300 bin tona ulaştığı, Peru'nun 1.380 bin tondan üretimini artırarak 2.600 bin tona yükselttiği, Çin'in istikrarlı bir üretim sürdürdüğü 1.800 bin ton bakır ürettiği ve ABD 2013 yılında 1.250 bin ton olan üretimini 2014-2016 yıllarında 1.450 bin tona yükselttiği ve üretim 2024 de 1,100 bin tona gerilemiş olduğu görülmektedir.

Dünya'da bakır üretiminde büyük şirketlerin, 2025 yılı Ocak-Nisan 4 aylık bakır üretimleri Tablo 20' de verilmiştir.

Çin ICSG (China Copper Study Group) Dünya rafine bakır ve kullanım trendlerini aşağıdaki Tablo 21' de özetlemiştir. 2021 – 2024 yılları arasında Dünya bakır maden üretimi, 21.911 Milyon tondan 22.990 Milyon tona, Dünya Bakır maden kapasiteleri 25.942 Milyon tondan 28.494 Milyon tona, kapasite kullanım oranları % 80 - % 81 seviyesinde, bakır üretiminin birincil kaynaklardan 20.751 Milyon tondan 22.775 Milyon tona ve ikincil kaynaklardan 4.149 Milyon tondan 4.712 Milyon tona yükseldiği görülmektedir.

Tablo 19. Dünyada Bakır Üretimi Yapan Önemli Şirketler (MV, 2025)

Bakır Şirketleri	Üretilen Bakır Miktarı, 2025(Ocak-Nisan) ton	Değişim, %
BHP Group	516.200	2,24
Freeport-McMoRan	436.809	-7,14
Codelco	365.000	18,12
Zijin Mining	282.429	10,36
Southern Copper	239.980	-1,03
Rio Tinto	229.000	15,00
CMOC	183.026	9,85
Glencore	176.000	-21,04
KGHM Polska	174.900	-1,91
Anglo American	173.300	-11,58
Antofagasta PLC	160.100	3,09
MMG	140.368	54,30
Ivanhoe Mines	112.009	11,11
Teck Resources	109.100	-1,18
Nornickel	103.800	-4,77
Vale	92.600	17,81

Tablo 20. 2013-2024 Yılları Bakır Üretimi Yapan Önemli Ülkeler (UNTAD., 2025)

Ülke	Üretim Yılları, (x 1000 Ton)											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Şili	5.780	5.750	5.760	5.550	5.500	5.830	5.790	5.730	5.620	5.330	5.250	5.300
DRC	970	1.030	1.020	846	1.090	1.230	1.290	1.600	1.740	2.350	2.930	3.300
Peru	1.380	1.380	1.700	2.350	2.450	2.440	2.460	2.150	2.300	2.450	2.700	2.600
Çin	1.600	1.760	1.710	1.900	1.710	1.590	1.680	1.720	1.910	1.940	1.820	1.800
ABD	1.250	1.360	1.380	1.430	1.260	1.220	1.260	1.200	1.230	1.230	1.130	1.100

Yine cevher ve hurdalardan toplam Dünya bakır üretiminin 24.900 Milyon tondan 27.486 Milyon tona, Dünya rafine bakır kapasitesinin 30.502 Milyon tondan 32.620 Milyon tona, Dünya rafinasyon kullanım oranının % 81,6 dan % 84,3 e, ikincil kaynaklardan bakır üretim oranında toplam üretim içindeki payının % 16,7 den % 17,1 e yükseldiği görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye Cumhuriyeti kuruluş yıllarından 1960 yıllara kadar, blister bakır ihraç etmiştir. Daha sonraki dönemde, yurt içi talepleri karşılayamamış rafine bakır ithal eder duruma gelmiştir. Cumhuriyetin ilk yıllarında madencilğe ayrılan kaynaklar, verilen önem maalesef aynı boyutta devam etmemiş, madencilik faaliyetleri gelişen toplumumuzun ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmıştır. İhraç eden ülke konumundan, ithal eden ülke konumuna gelinmiştir. Tablo 16'da Türkiye'nin 2025 yılı 7. Ay dahil rafine bakır ithalatı ve ihracatı verilmiştir (TÜİK., 2025)

Bu verilere göre, ithal edilen bakır miktarı 638.406,411 ton dur. Bu miktarın 293.012,740 tonu, çeşitli işlenmiş ürünler olarak ihraç edilmekte olduğu anlaşılmaktadır. İthal edilen rafine bakırın kalan kısmı 346.393,671 ton dur. Ve Türkiye bunu iç pazarda çeşitli ihtiyaçları için kullanmaktadır.

Tablo 21. Dünya Rafine Bakır Üretimi ve Kullanım Trendleri (İCSG, 2025)

Yıllar	Üretim (x 1000 Ton)			
	2021	2022	2023	2024
Dünya Bakır Üretimi(konsantre ve SX+EW)	21.223	21.911	22.388	22.990
Dünya Bakır Madeni Kapasitesi	25.942	26.463	27.440	28.494
Bakır Maden Kullanım Oranı,%	81.8	82.8	81.5	80.2
Birincil(Cevherden) Rafine Bakır Üretimi	20.751	21.119	22.013	22.775
İkincil Kaynaklardan Rafine Bakır Üretimi	4.149	4.153	4.480	4.712
Dünya Toplam Bakır Üretimi(cevher+Hurda)	24.900	25.272	26.502	27.486
Dünya Bakır Rafineri Kapasitesi	30.502	31.137	31.834	32.620
Rafineri Kapasite Kullanım Oranı, %	81,6	81,2	83,1	84,3
İkincil Kaynaklardan Rafine Bakır Üretiminin Toplam Rafine Bakır Üretimindeki Payı, %	16,7	16.4	16.9	17.1
Dünya Rafine Bakır Kullanımı	25.259	25.875	26.604	27.353
Yıl sonu Rafine Bakır Stokları	1.210	1.258	1.215	1.398
LME Bakır Fiyatları, (\$/Ton Rafine Bakır)	9.317	8.797	8.478	9.147

Devlet Planlama Teşkilatının 5 yıllık kalkınma planlarında bir çok hammadde de olduğu gibi, ülkenin bakıra olan ihtiyacı, plan dönemleri projeksiyonlarında hep vurgulanmıştır. Gelinecek nokta budur. Ülkenin bakır ihtiyacı, ülkenin refahı ve sanayileşmesine bağlı olarak, giderek artmak durumundadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yayımlamış olduğu 'Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler' raporuna göre; incelenen 37 Maden içinde 8 maden bu kapsamda yer almaktadır. Bu değerlendirmede Tedarik, Fiyat, Talep, Geri dönüşüm, Potansiyel esas alınan risk alanları seçilmiştir. Yüksek öneme sahip olanlar sırasıyla Lityum, Gümüş, Titanyum, Demir, Manganez, Çinko, Bakır ve Alüminyumdur (ETKB, 2025).

Türkiye'nin devreye konulacak bir plan dahilinde, belirli dönem sonunda, tekrar bakır satan konuma ulaşması olasıdır. Bunun için;

1. Öncelikle yurt dışına satılan bakır konsantrelerinin Türkiye'de işlenmesi ihtiyacına binaen, yeni bir 100.000 ton yıl kapasiteli bakır izabe tesisinin ivedilikle kurulması ihtiyacı acildir. Bunun için, her türlü Devlet desteği sağlanmalıdır.
2. Maden arama faaliyetlerine hız verilmelidir. 'Madencilğe Milli Gelirden Ayrılan Pay' arttırılmalıdır. Maden Arama için günümüzde ayrılan kaynaklar yeterli değildir. Halihazırda ayrılan kaynaklarla, yapılacak arama faaliyetleri, belki mevcut durumu koruyabilecektir. Ancak bakır ithalatını düşürmeye yetmeyecektir.
3. Maden aramaları mutlaka sübvansede edilebilmelidir. Arama faaliyetleri devlet tarafından yapılabileceği gibi, özel sektör marifetiyle de yapılabilir. Önemli olan maden aramalarının, devlet tarafından kontrol edilmek suretiyle yapılması ve kısmen ve/veya tamamen desteklenmesidir.
4. Devlet madencilğe daha fazla kaynak ayırmak suretiyle, ithalata dayalı madencilüğümüzden sıyrılmalı ve madencilüğimizi ayağa kaldırmalıdır. Unutulmamalıdır ki, madencilğe yapılan yatırımlar, uzun soluklu iş gücü ve kaynakların ülke içinde kalmasının en etkin yoludur.

KAYNAKÇA

- Aytekin, Y, 1974. Bakır Piyasa Etüdü, Madencilik, Cilt: 13 Sayı: 2, 217- 225,
- Celal, A, 2015. Metallerin İletkenlik ve diğer Özellikleri, Diyo.net. <https://diyo.net/metallerin-iletkenlik-ve-diger-ozellikleri>
- Etibank, 1953. Türkiye Maden Ticareti, Rapor, 11 sayfa.
- Eti Bakır, 2025. Eti Bakır AŞ. Samsun İşletmesi, Arşivi
- Elçin, A. İ. 2014. Artvin – Murgul Damar Bakır Madeni Tarihçesi, Etibakır AŞ Yayını, 37 Sayfa
- ETKB, 2025.'Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler, Rapor
- Habashi, F. 1973; Kitap, Progress in Extractive Metallurgy: v. 1, syf. 248. <https://doi.org/10.4324/9781003572695>
- Habashi, F. 2007. Copper Metallurgy at The Crossroads, Journal of Mining and Metallurgy, 43 B, sayfa 1 – 19
- İCSG . 2025. Chinese Copper Study Group Copper Bulletin – August. www.icsg.org ; <https://share.google/PeDvmCAGXOBnvTSZ>
- Küre, 2025. Eti Bakır AŞ. Küre İşletmesi Arşivi
- LME, 2025. Copper Prices | Historical Chart | Data | 1959 – 2025. <https://www.guvenmetal.com.tr/tr/londra-metal-borsasi/bakir-fiyatlari-londra-metal-borsasi.html>
- MAPEG, 2025. Bakır Şirketlerinin Üretimleri
- MV, 2025. <https://www.miningvisuals.com/post/copper-production-q2-2025>
- MTA, 2025. MTA Bakır Buluculuk SahalarıKasım
- MURGUL, 2025. Eti Bakır AŞ. Murgul İşletmesi Arşivi
- NRC, 2024. Copper facts-Natural Resources Canada,

NRC, 2024. Copper Mining Statistics, Natural-Resources Canada. <https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/copper-facts>

Sarkuysan, 2025. Bakır İthalat Verileri

Tamzok, N., 2005; Bakır Madenciliğindeki Son Gelişmeler, Madencilik Dergisi, Haziran, 50-53

Terzi. M.H., 2021 “İnönü Dönemi *Türkiye Madenciliği (1939 – 1950)*”, Atatürk. Araştırma Merkezi Dergisi, C 37, S 104, Ankara 2021, Sayı 127, sayfa 389- 438.

UNTAD, 2025. Unated Nations Trade and Development (UNTAD), based on data of US Geological Survey. <https://unctad.org/publication/global-trade-update-may-2025-critical-minerals-copper>

USGS, 2025. Charted: Copper Production 1970 - 2024. <https://www.miningvisuals.com/post/charted-copper-production-1970-2024>.

Kobalt Madenciliği'ne Genel Bir Bakış

Mehmet Canbazoglu

Emekli Profesör, Ankara TÜRKİYE. mcanbazoglu48@gmail.com

ÖZET: Kobalt, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı' nın Kritik Mineraller için yapmış olduğu değerlendirmede Türkiye için ikinci öncelikli mineraller sıralamasında yer alan bir metaldir. Türkiye'de Küre Bakır cevherlerinin işletilmesi sırasında elde edilen pirit konsantresinde kobalt bulunmaktadır. Bu Konsantre, Mazıdağı Fosfat Ve Metal Geri Kazanım Tesislerinde kavrulmak suretiyle elde edilen sülfürik asit fosfatlı gübre yapımında kullanılmaktadır. Kavurmadan elde edilen kül otoklavda yüksek sıcaklıkta ve basınç altında, oksijenin bulunduğu ortamda yükseltgeyici koşullara tabi tutularak, Co, Cu ve Zn çözündürülerek, çözeltiye alınır. Çözeltiye Solvent Ekstraksiyon uygulanır daha sonra, Rafine bakır, Çinko sülfat ve Kobalt sülfat üretilir. Yıllık 2.000 – 2.700 ton kobalt metali karşılığı sülfat üretilmektedir. Dünya Kobalt Madenciliğinde, hiç kuşkusuz Kongo Demokratik Cumhuriyeti (DRC) açık ara en büyük kobalt üreticisi ve kobalt rezervlerine sahip ülkedir. Endonezya ikinci en büyük üretime sahip tir. Avustralya rezerve sahiptir. Endonezya ise, ikinci en büyük rezerve sahip bir ülkedir. Ancak, Kobalt metal veya bileşikleri üretiminde ve tüketiminde Çin etkin olan tek ülkedir.

Anahtar Kelimeler: Kobalt Madenciliği, Kullanım Alanları, DRC, Çin, Endonezya,

1. KOBALT HAKKINDA GENEL BİLGİLER

1.1. Kobalt Mineralleri, Cevher Yatakları ve Ülkeler

Kobalt 1773 yılında Georg Brandt tarafından keşfedilmiştir (Wikipedi, 2025). Kobaltın, atom ağırlığı 58,93, atom numarası 27'dir. Kobaltın kristal yapısı genellikle kübik, masif, kompakt ve taneseldir. Sertliği 5-5.5, yoğunluğu 8,90 gr/cm³tür. Dövülgen bir katılığa sahip, gri renkli, metalik parlaklıktadır. Erime noktası 1495°C, kaynama noktası 2927°C'dir ve 300°C oksitlenir; oksitlenme kabiliyeti demirden azdır. En iyi bilinen mineralleri Skutterudit ((Co,Ni)As₃) ve Kobaltit (Co,Fe)AsS₄'tir (MTA,2020). Kobaltın diğer yaygın mineralleri ise; Linneit (Co₃S₄), Siejenit (Co,Ni)₃S₄, Karolit (Co₂,Cu)₄S₄, Glokodot (Co,Fe)As, Eritrit ((Co,Ni)₃(AsO₄)₂.8H₂O), ve Heterojenit CoO(OH) tir (Yaylalı ve ark., 2020). Ancak, kobalt üretimin büyük bölümü nikel ve bakır madenciliği ile izabe yan ürünlerinden, indirgenmek suretiyle, gerçekleştirilmektedir.

Kobalt mineralleri içeren çeşitli maden yatakları mevcuttur. Tablo 1' de kobalt madenleri, cevherleşme tipi ve yaygın olarak bulunan ülkeler verilmiştir. Derleme, 'Darton Commodities Limited' DCL, 2025' den alınmıştır. Cevherlerden elde edilen konsantreler; Co Konsantreleri, Ni-Co Konsantreleri, Co-As Konsantreleri ve Co içeren Kirli Konsantreleridir. Bu konsantreler, ara ürünler (Ham Hidroksitler, Ham Karbonatlar, Karışık hidroksit Çökelekleri, Karışık Sülfat Çökelekleri, Ni-Co/Co lı kirli hurdalar), alaşımlar (Cu/Co Alaşımları) ve İkincil Kaynaklar (Alaşım Hurdaları, Karbür Hurdalar,

hurda bataryalar, Kullanılmış Katalizörler) ile beraber ‘Kobalt Kimyasalları Rafinerileri’ veya ‘Kobalt Metal Rafinerileri’ ne beslenmektedir.

Tablo 1. Kobalt Madenleri ve Buldukları Ülkeler

Madenler	Cevherleşme Tipi	Bulunduğu Ülkeler
Cu/ Co	Oksit+ Sülfürlü	Kongo ve Zambia
Ni/Co	Laterit ve sülfürlü	Küba, Avustralya, Yeni Kaledonya, Filipinler, Papua Yeni Gine, Brezilya, Kanada, Madagaskar, Endonezya
Ni/Cu/Co	Sülfürlü	Kanada, Rusya, Güney Afrika
Diğer	Arsenikli	Fas(Arsenikli), Kongo Demokratik Cumhuriyeti (Heterojen)

1.2. Ülkelerin 2022 Yılı Kobalt Üretimleri ve Kobaltın Kullanım Alanları

Tablo 2’de Dünya Kobalt Maden üretiminde etkin olan ülkelerin 2022 yılı üretimleri ve rezervleri verilmiştir (USGS, 2024). Buna göre; Hiç kuskusuz, 130.000 ton kobalt üretimi ile, Kongo Demokratik Cumhuriyeti(DRK) ilk sırada bulunmaktadır. Yine DRC, kobalt rezervlerinde de en yüksek rezerve sahip ülkedir. Kobalt üretiminde ikinci sırada 10.000 tonluk üretimle, Endonezya yer almaktadır. Ancak kobalt rezervlerinde ikinci sıradaki ülke, 1.500.000 ton rezerv ile Avustralya’ dır.

Tablo 2. 2022 Yılı Kobalt Madeni Üretimi ve rezervler

Ülke	Üretim	Rezerv, Ton
Kongo Demokratik Cumhuriyeti (DRK)	130.000	4.000.000
Endonezya	10.000	600.000
Rusya	8.900	250.000
Avustralya	5.900	1.500.000
Kanada	3.900	220.000
Küba	3.800	500.000
Filipinler	3.800	260.000
Madagaskar	3.000	100.000
Papua Yeni Gine (PYG)	3.000	47.000
Türkiye	2.700	36.000
Fas	2.300	13.000
Çin	2.200	140.000
ABD	800	69.000
Diğer Ülkeler	5.200	610.000
Dünya Toplamı	190.000	8.300.000

Kobalt metal ve bileşikleri, iki önemli proses uygulanmak suretiyle üretilmektedir. Bu Prosesler: ‘Kimyasal Kobalt Bileşikleri Üreten Rafineriler’ ve ‘Kobalt Metal Üreten Rafineriler’ dir. Bu proseslerden elde edilen kobalt bileşikleri ve kullanım alanları ile Kobalt metali ve kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

Kobalt Kimyasalları Rafinerilerinde; çeşitli kobalt tuzları ve oksitleri üretilmektedir. Bunlar: Hidroksitler, Karbonatlar, Klorürler, Nitratlar, Oksitler, Sülfatlar ve Diğerleridir. Kobalt oksitler, sülfatlar ve hidroksitler batarya üretim kimyasallarıdır. Yine, rafineri de; koruyucu Katot aktif malzemeleri (Kobalt Tetra Oksit (Co_3O_4), NiCoMn Hidroksit ve NiCoAl Oksit) üretilmektedir. Bu ürünlerden hareketle Li-İyon pil aktif katot malzemeleri: Li - Co Oksit (LCO), Li(NiMnCo)O₂ (NMC) ve Li(NiCoAl)O₂ (NCA) üretilmektedir. Bu kobalt bileşikleri; Cep telefonu, Tablet ve bilgisayarlar, Dron ve kameralar, Kullanılabilir cihazlar, Elektrikli arabalar, Elektrikli sukuttur ve bisikletler, Enerji depolama sistemleri, Elektrikli el aletleri, Diğer batarya üretimleri gibi önemli alanlarda kullanılmaktadır. Kobaltın diğer kimyasalları ise, poliyester/ PET, Gaz ve petrol rafinasyonunda, Seramik, cam renklendirmede, Mürekkep ve boya kurutucu madde olarak, Araba lastikleri, Hayvan yemleri, Elektronik ve diğer alanlarda kullanılmaktadır. Yine ayrıca, kobalt bileşikleri kullanılarak, elmas kesme aletleri de yapılmaktadır.

Kobalt Metal Rafinerilerinde kobalt metali üretilir. Kobalt metali de, süper alaşım imalatlarında (uçak sanayii), medikal alaşımlarda (Diş ve Protez implantları), aşınmaya dayanıklı sert yüzey (Co/Cr) alaşımlarında (Petrol gaz enerji üretimi, yüksek hız çeliklerinde ve kalıcı mıknatısların üretiminde) kullanılmaktadır.

2. TÜRKİY'DE KOBALT MADENCİLİĞİ

Ülkemizde ise Bursa (Orhaneli), Gümüşhane (Şiran), Kastamonu (Küre), Manisa (Merkez), Manisa (Turgutlu), Manisa (Gördes), Sivas (Divriği) ve Uşak (Banaz) başta olmak üzere birçok ilimizde kobalt emarelerine rastlanmıştır. MTA verilerine göre; Kastamonu Küre'de kobalt tenörü ortalama değer %0,3 iken, Bursa Meryemsırtı'nda bu değerler %0,01 ile %0,02 ara sında, Çaldağ'da ise %0,04 ile %0,06 aralığındadır. Manisa Gördes te %0,08 dir. Eskişehir (Mihalliçık –Yunus Emre) %0,2-0,4 dür. Manisa Çaldağ Rezervi 37,9 ve Gördes' in rezervi 68,5 Milyon tondur. Toplamda, 77.540 ton kobalt metal kobalt kaynağı öngörülmektedir (İMİB,2019).

Türkiye' de ilk nikel tesisi, Zorlu Gurubu tarafından Manisa Gördes te kurulmuştur. Gurup 2000 yılında Meta Madencilik şirketini kurdu ve 2007 yılında Meta Nikel Gördes işletmesine 350 Milyon Dolarlık bir yatırım yaptı. Uygulanan prosese göre; Nikel cevherleri otoklavda yüksek sıcaklık ve basınç altında asidik ortamda liç edilmek suretiyle, cevherden nikel ve kobalt çözündürülmektedir. Çözeltiye alınan nikel kobalt içeren çözelti, kireçle ortam pH'ı ayarlandıktan sonra mağnezyum oksit kullanılarak 'Mağnezyum- Nikel -Kobalt Hidroksit (MHP)' bileşiği üretilmektedir. Tesis yılda yaklaşık olarak 1,75 milyon ton cevher besleme ve 10 bin ton nikel üretim kapasitesine sahiptir. İşletme son 5 yılda yaklaşık olarak 24.000 ton nikel eşleniği konsantre ürün üreterek tamamını ihraç etmiştir. Ancak, piyasa ve cevher dar boğazının getirdiği ekonomik zorluklar yaşaması nedeniyle şirket, 5 Şubat 2025 tarihinde üretimine ara vermiştir (Meta Nikel 2025).

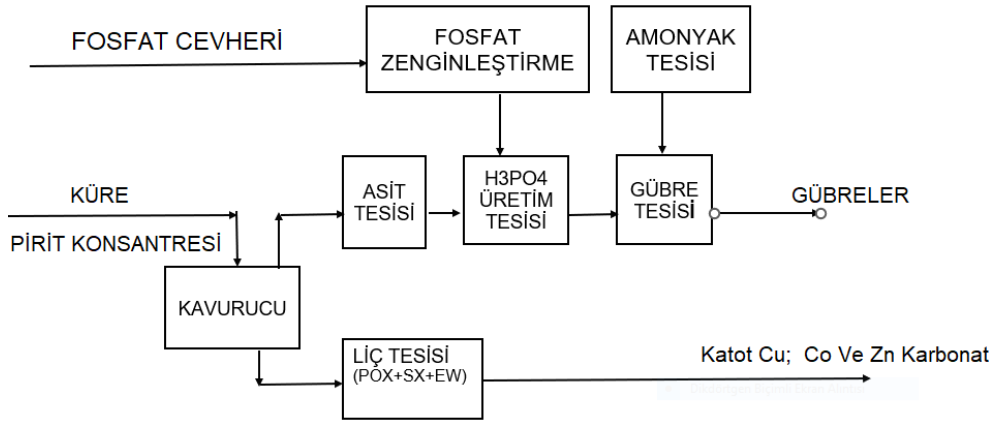
Türkiye'de bakır cevherlerinin bazılarında, kobalta raslanmaktadır. Çok uzun bir tarihi geçmişe sahip olan Küre cevherlerinde kobalt, pirit kristallerinin içinde bulunmaktadır. Uzun yıllar bilinmesine rağmen maalesef 2018 yılına kadar kazanılması yönünde çabaların gösterilmemiş olduğunu belirtmekte yarar var (Çağatay ve Ark., 1982; Canbazoğlu ve ark, 1985). Yine Küre cevherleri gibi, Elazığ Kısabekir bakır yatağında da, kobalt ve altın da bulunmaktadır. Küre aktif olarak bakır ve pirit konsantresi üretmektedir. Elazığ Kısabekirin ise, 2026 yılında devreye alınması planlanmıştır.

2.1. Türkiye'de Kobalt Üretimi

Küre Bakır cevherlerinin işlenmesi sırasında elde edilen pirit konsantresinde kobalt bulunmaktadır. Bu konsantre, Mardin- Mazıdağı'nda Eti Bakır AŞ'nin 'Fosfat Ve Metal Geri Kazanım Tesisleri'nde işlenmektedir. Pirit kavrulmak suretiyle elde edilen sülfürik asit, fosfatlı gübre yapımında kullanılmaktadır. Kavurmadan elde edilen kül ise, otoklavda yüksek sıcaklıkta ve basınç altında, oksijenin bulunduğu ortamda yükseltgeyici liç koşullarına tabi tutularak, Co, Cu ve Zn çözüldürülerek, çözeltiliye alınmaktadır (Canbazoğlu Ve Ark, 2019; Haavanlammi ve Ark, 2019). Çözeltiliye Solvent Ekstraksiyon prosesi uygulandıktan sonra, sırasıyla; Rafine bakır, Çinko sülfat ve Kobalt sülfat üretilmektedir. Yıllık ortalama 2.000 – 2.200 ton kobalt metali karşılığı, kobalt sülfat üretilmektedir. 2018 Yılı sonunda devreye alınan bu tesiste yapılmış olan üretimler aşağıda Tablo 3' de verilmiştir. Yine Şekil 1' de de Mazıdağı Entegre Tesisinin Kaba Akım Şeması verilmiştir. Tesis aşağıdaki fabrikaları içinde bulundurmaktadır: Açık işletme yöntemi ile fosfat cevher üretimi, Fosfat zenginleştirme tesisi, Amonyak tesisi, Akışkan yataкта pirit kavurma tesisi, Sülfürik asit tesisi, Fosforik asit tesisi, Gübre üretim tesisleri, ve hidrometalurji tesisleri (otoklavda liç ve çözeltiden Cu Zn Co kazanımı) dir. Ayrıca piritin kavrulması sırasındaki ekzotermik ısıyı dönüştüren, Enerji geri kazanım tesisleri ile pirit nakliye sistemleri bulunmaktadır (Eti Bakır, 2025).

Tablo 3. Mazıdağı Tesislerinde Kobalt Üretimi

Yıl	Kobalt (Metal Karşılığı), Ton							Ocak-Temmuz 2025	Toplam
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024		
Üretim	10	1.105	2.138	2.325	1.896	2.149	2.113	1.190	12.925



Şekil 1. Mazıdağı Entegre Tesisinin Genel Akım Şeması

2.2. Türkiye Kobalt İthalatı ve İhracatı

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, tarafından hazırlanmış olan 'Türkiye'nin Kobalt ve Bileşikleri İthalat- İhracat verileri' ile bu ürünlerin ederleri Tablo 4' de verilmiştir. Bu verilere göre, Türkiye'nin tüvenan cevher ihracatı bulunmamaktadır. Kobalt ithalatı, 2019 yılı sonuna kadar, 28 milyon dolar ithalat açığı verirken, Eti Bakır AŞ. Mazıdağı Gübre ve Metal Geri Kazanım Tesislerinin devreye alınmasıyla, kobalt ihracatı fiyatlarındaki dalgalanmanın etkisi ile 35 – 79 Milyon dolar döviz girdisi yaratmıştır.

İhracatta ara ve uç ürünler ile geri dönüşüm ürünleri önemli yer tutmaktadır. Ancak yine pay kobalt karbonat üretiminde olup önemli döviz girdisinin ana kaynağını oluşturmaktadır. İthalat kalemlerinden en önemlisi ise, yine yıllık ortalama 600 – 900 ton civarında olan ara ve uç ürünler ile 112 ton geri dönüşüm ithalatlarıdır. Uç ürün ve ara ürün 2023 yılı ithalatı gideri 27.376.794 Milyon dolardır. Geri dönüşüm gideri ise, 27.376.794 Milyon Dolardır. Diğer bir ifadeyle, çeşitli sanayi dallarında kobalt ara ürünleri ihtiyaçları bulunmaktadır. Dünyadaki etkin ve baş döndüren gelişmelerin yanında, ülkemizde de kobalt kullanım alanlarının artmakta olduğu görülmektedir.

3. DÜNYA'DA KOBALT MADENCİLİĞİ

Tablo 5' de Dünya kobalt madenciliği kapsamında 2019-2024 yıllarında yapılmış olan üretimler ve 2025 -2027 dönemi kobalt maden projeksiyonları verilmektedir. Buna göre, Dünya'da kobalt üretimini yapan en önemli ülke, Kongo Demokratik Cumhuriyeti (DRC) dir. İkinci sırada üretimi giderek artan Endonezya gelmektedir. Kobalt madenciliği sürdürülebilir bir büyüme dönemi geçiriyor; 2024 yılı üretimi 2020 yılına göre iki kattan fazla arttı. Kongo, 2019 da 104.448 ton olan üretimini iki kattan da fazla arttırmak suretiyle, 219.875 tona yükseltmiştir. DRC' nin kobalt üretimini 2025 de 222.700 tona, 2026 da 229.900 tona ve 2027 de 237.100 tona yükselteceği öngörülmektedir. Endonezya ise, 2019 da 700 ton olan üretimini 2024 de 30.920 tona çıkarmıştır. 2025 de 57.450 tona, 2026 da 57.450 tona ve 2027 de ise 64.450 tona çıkarmayı planlamaktadır. Diğer üretici ülkelerle kıyaslandığında DRC den sonra açık ara ikinci durumdadır. Dünya kobalt üretiminde; en büyük 10 maden' den (üretilen toplam 224.115 ton kobalt), 7' si DRC de olup, Çin' e aittir ve Dünya üretiminin %80' ine karşı gelmektedir.

Tablo 4. Türkiye Kobalt İthalat ve İhracatı (ETKB., 2025)

	Türkiye	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024(10.Ay)
Üretim	Tüvenan, Ton	0	0	0	0	0	0	0
	Ara - Üç Ürün/ T	24	361	6.675	6.076	3.677	4.351	6.390
İhracat	Tüvenan/T	0	3	7	0,112	0,006	0,001	0,001
	Geri Dönüşüm/ T	171,8	33,2	30	51,6	40,9	37	0
	Ara - Üç Ürün/ \$	1.022.219	3.633.908	55.627.860	102.955.501	90.887.066	52.874.290	48.760.214
	Tüvenan/ \$	0	24.332	54.950	13	46	100	11
	Geri Dönüşüm/\$	2.143.858	916.264	830.163	2.162.310	2.676.768	1.856.025	0
	Ara - Üç Ürün/ T	423	654	626	947	470	731	533,6
İthalat	Tüvenan/ T	0	2.010	991	995	0	0	0,03
	Geri Dönüşüm/ T	36	52	53	73	339	112	0
	Ara - Üç Ürün/ \$	26.656.951	26.328.222	20.248.036	22.268.103	27.133.564	27.376.794	14.547.516
	Tüvenan/ \$	6.967	64.778	7.713	9.964	93	5.201	138
	Geri Dönüşüm/ \$	5.061.660	2.956.579	3.129.109	3.396.384	5.007.684	5.761.550	0
	Ara-Uç Ürün+							
Toplam İhracat	Tüğvenan + Geri Dönüşüm,\$	3.166.077	4.594.584	56.512.973	105.117.824	93.563.880	54.730.415	48.760.225
	Ara-Uç Ürün+							
Toplam İthalat	Tüğvenan + Geri Dönüşüm, \$	31.725.578	29.349.579	23.384.858	25.674.451	32.141.341	33.143.545	14.547.652
	İhracat İthalat Farkı	-28.559.501	-24.755.075	33.128.115	79.443.373	61.422.539	21.546.870	32.212.573
	Piyasa (\$/ Ton	80.491	28.690	32.835	53.195	62.758	33.838	26.264

Tablo 5. 2019-2024 Yılları ile Öngörülen 2025-2027 Yılları Kobalt Madenciliği

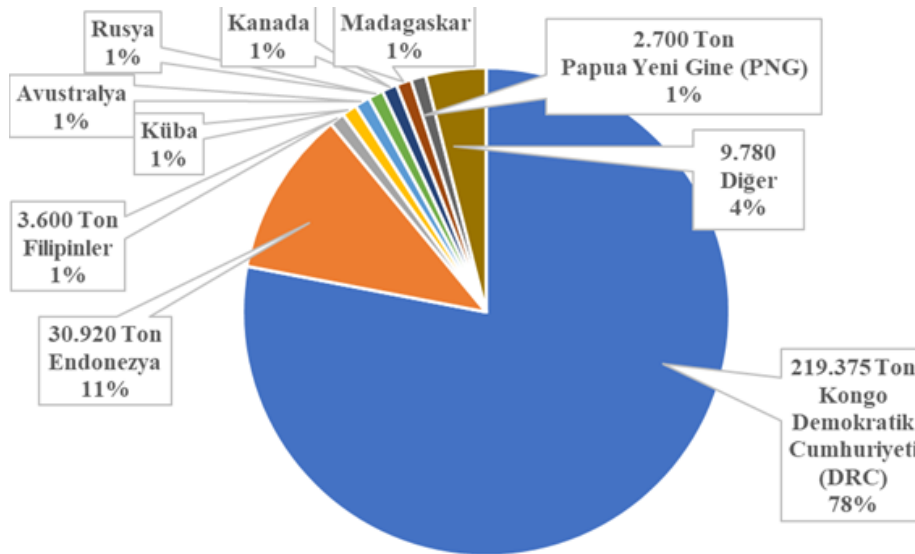
ÜLKE	KOBALT ÜRETİMİ, Ton								
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025*	2026*	2027*
Kongo Demokratik Cumhuriyeti (DRC)	104.448	95.946	114.730	147.725	171.770	219.875	222.700	229.900	237.100
Endonezya	700	600	2.100	7.750	18.900	30.920	43.950	57.450	64.450
Diğer ülkeler	36.776	36.082	35.580	35.620	33.510	30.760	31.670	35.120	38.720
Dünya Üretimi	141.924	132.628	152.410	191.095	224.180	281.555	298.320	322.470	340.170
Değişim %	-% 1	-% 7	15%	25%	17%	26%	6%	8%	14%

*:Öngörülen üretimler

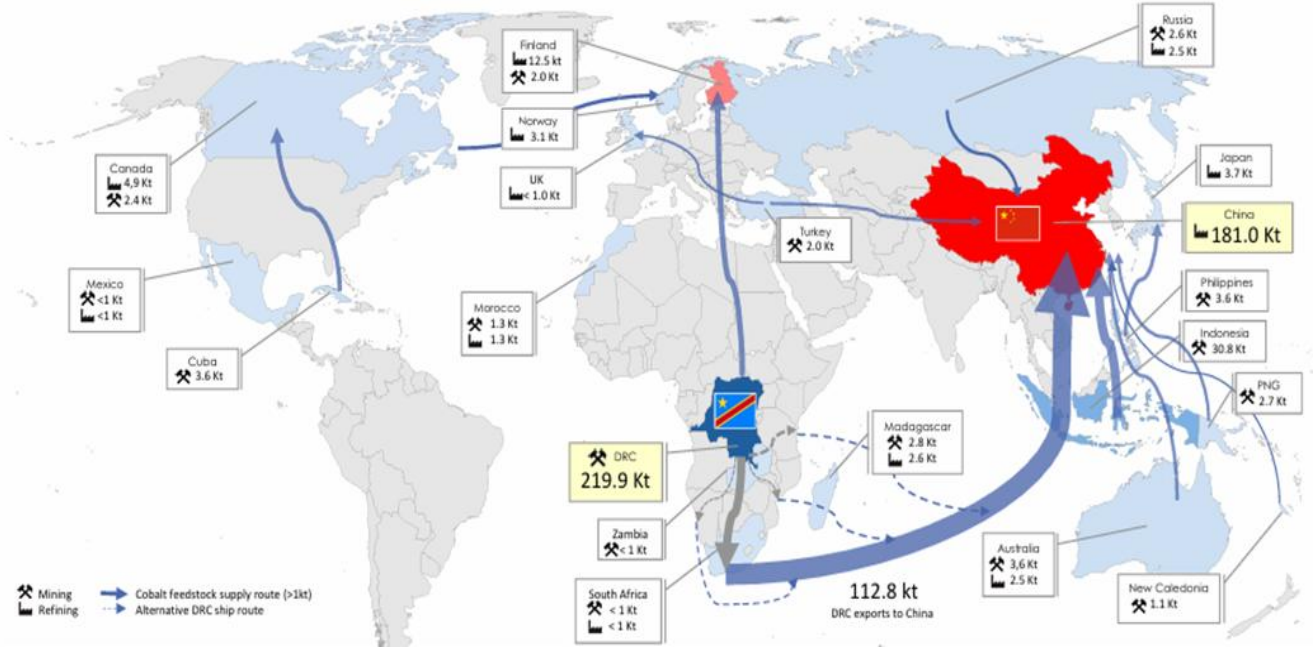
2024 yılı Küresel Kobalt üretimleri Tablo 6' de ve Şekil 2' de verilmiştir. Ülkelere göre üretim sıralamasında DRC, 219.875 ton üretimle, toplam üretimdeki %78 lik çok önemli paya sahip olmuştur. DRC yi, 30.920 ton ile Endonezya %11 lik bir pay oranı ile takip etmiştir. Bu iki büyük üretici ülkeyi, 3.600 – 2.700 ton üretimle yaklaşık %1 lik paya sahip olan Filipinler, Küba, Avustralya, Rusya Kanada Madagaskar ve Papua Yeni Gine takip etmiştir. Bu ülkeler dışında diğer üretici ülkelerin 9.780 ton üretimi olup toplam üretimdeki payı %4 tür. Geri kalan %4'lük dilimi ise, Yeni Kalodonya, Türkiye, Fas, Finlandiya, Çin, Meksika ve Güney Afrika %1'den daha küçük paylarla, üretmektedirler.

Tablo 6. 2024 Küresel Kobalt Madeni Üretimi (Ülkeye Göre, Ton / % pay)

Ülke	Üretim Miktarı, Ton	Payı, %
Kongo Demokratik Cumhuriyeti (DRC)	219.875	78
Endonezya	30.920	11
Filipinler	3.000	1
Küba	3.600	1
Avustralya	3.550	1
Rusya	2.500	1
Kanada	2.400	1
Madagaskar	2.550	1
Papua Yeni Gine (PNG)	2.700	1
Diğer	9.780	4



Şekil 2. Ülkelerin 2024 Yılı Kobalt Üretimleri



Şekil 3. Madenden rafineriye – Küresel kobalt hammadde ticareti akışları

Tablo 7’ de Dünyada diğer ülkelerde kobalt madenciliği faaliyetleri yer almaktadır. Tabloda ayrıca, şirketlerin 2021 – 2027 maden üretimleri verilmiştir. Buna göre; 2024 yılında 30.760 ton üretim yapılmıştır. Bir önceki yıla göre % 8 lik bir düşüş olmuştur. Bu yılda bir çok madencilik şirketinde üretimde düşüşler görüldü. Sumitomo Metal Mining, Sumitomo Corp. (Ambatovy), Nornickel ve CTT gibi büyük maden işletmeleri üretimlerinde düşüşler yaşadılar. Yine Avustralya ve Yeni Kaledonya da da kobalt madenciliğindeki çalışmalar kısıtlandı. Buna karşın, azalan 2024 yılı üretimin, Kongo Demokratik Cumhuriyeti ve Endonezya’da gerçekleşen üretim artışlarıyla telafi edilmiş olduğu görülmektedir.

Diğer taraftan Şekil 3’ de Kobalt ticaretinin Dünya’daki sirkülasyonu verilmiştir. Kobalt metal ve bileşikleri büyük oranda Çin’in etrafında geliştirilen ve endüstride yoğunlaşan bir stratejik konuma sahiptir.

4. DÜNYA RAFİNE KOBALT ÜRETİMİ

Dünya Rafine kobalt kimyasalları üretimi, 2023’ den 2024’ e sadece cuz’i artışıdır (Tablo 8). Ve % 3’ lük büyüme ile 144.660 tona ulaşmıştır. Rafine Metal Kobalt üretimi, toplamda %60 artarak 74.910 ton olmuştur. Metal kobalt arzındaki büyük artışı, üretimini %122 arttıran Çin yapmıştır. Üretim 26.660 ton artarak 48.600 tona ulaşmıştır. Çin dışındaki kobalt metal üretimi pek değişmemiş ve 26.310 tonda kalmıştır.

Rafine kobalt üretimi 2018 de 38.295 ton iken, 2024 de %77 oranında artarak 74.910 tona ulaşmıştır. 2023’ den 2024’ e artış oranı ise, %59,8 olmuştur. 2025 tahminide, 2024’e göre %19 luk bir artışla 2025 yılı için 89.150 ton rafine kobalt üretimine ulaşılacağı tahmin edilmektedir. 2020-2024 döneminde, Dünya genelinde, rafine kobalt arzı tahmini %61 arttı. Üretimin tamamı Çin merkezli gerçekleşti ve ülke, 2024 yılında 2020’ye göre 85.700 ton daha fazla kobalt rafine etmiştir. Bu da %89’luk bir artışa karşı gelmektedir. Bu arada, Çin dışındaki rafinasyon faaliyetleri aynı

dönemde 2.360 ton azalmıştır. Diğer taraftan kaba ve toz kobalt üretim miktarları yıllar itibariyle çok değişmemiş ve her iki ürünün de 8.000 ila 10.000 ton aralığında üretimleri gerçekleşmiştir.

Tablo 7. Dünyanın Diğer Şirket/Ülkelerinin Kobalt Madenciliği Üretimleri

Şirketler	Maden İşletmeleri	Ülke	Cevher Tipi	2021	2022	2023	2024*	2025*	2026*	2027*
Sumitomo Metal Mining				4.900	5.050	4.400	4.100	4.300	4.400	4.800
	<i>Coral Bay Nickel Coop</i>	Filipinler	Ni/Co Sülfür	1.600	1.800	1.500	1.400	1.500	1.600	1.700
	<i>Taganito HPAL, Ni Co.</i>	Filipinler	Ni/Co Sülfür	2.600	2.700	2.300	2.200	2.300	2.300	2.300
	<i>PT Vale</i>	Endonezya	Ni/Co Laterit	700	550	600	500	500	500	600
Glencore				3.600	3.700	2.500	3.100	3.200	3.200	3.300
	<i>Minera Resources/Murrin M.</i>	Avustralya	Ni/Co Laterit	2.500	3.100	2.100	2.500	2.700	2.800	2.800
	<i>Sudbury/ Region</i>	Kanada	Ni/Cu/Co Sülf.	1.100	600	400	500	500	500	500
Vale				2.520	2.600	1.960	2.080	2.400	3.000	3.600
	<i>Voisey's Bay</i>	Kanada	Ni/Cu/Co Sülf.	1.820	1.800	1.300	1.380	1.600	2.200	2.800
	<i>Thompson Sudbury+ Other</i>	Kanada	Ni/Cu/Co Sülf.	700	800	600	700	800	800	800
	<i>Vale New Kaladonia</i>	Y.Kaledonya	Ni/Co Laterit	-	-	-	-	-	-	-
Moa JV Sherritt/Gen. Nikel	<i>Moa/Pedro Soto Alba</i>	Küba	Ni/Co Laterit	3.500	3.300	2.900	3.100	3.300	3.500	3.500
Metallur. Coop. of Chine	<i>Ramu NiCo</i>	Papua Y.G.	Ni/Co Laterit	2.900	2.950	3.070	2.600	2.800	2.800	3.100
Sumitomo Corp./ Kores	<i>Ambolavy</i>	Madagaskar	Ni/Co Laterit	2.100	3.200	3.400	2.550	2.800	3.100	3.200
Nornickel	<i>KolaMMC/Polar division</i>	Rusya	Ni/Cu/Co Sülf	4.800	3.300	2.600	2.500	3.100	3.000	3.000
Cengiz Holding	<i>Eti Bakır AŞ</i>	Türkiye	Cu/Co Sülfür	2.100	1.800	2.100	1.800	1.900	2.000	2.000
Terrafame	<i>Solkomo</i>	Finlandiya	Ni/Cu/Co Lat.	700	900	1.100	1.300	1.500	1.500	1.500
Cie.de TifnoulTiranimine.CTT	<i>Bou Azer</i>	Fas	Co Arsenik	1.800	1.850	1.700	1.250	800	900	1.200
Jinchuan Group	<i>Jinchang - Own mines</i>	Çin	Ni/Co Sülfür	1.000	1.100	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Prony Resources	<i>Vale New Kaladonia(VNG)</i>	Y.Kaledonya	Ni/Co Laterit	1.700	2.100	2.400	1.100	600	1.200	2.100
Meta Nikel Kobalt	<i>Gördes, Manisa</i>	Türkiye	Ni/Co Laterit	320	330	800	1.000	1.000	1.100	1.100
Boliden	<i>kevisse</i>	Finlandiya	Ni/Co Laterit	590	620	650	700	700	750	750
BHP- Nickel West	<i>Kwinana Nickel Refinart</i>	Avustralya	Ni/Co Laterit	900	700	800	500	-	-	-
Vedanta Resources	<i>Kinkola Copper Mines</i>	Zambiya	Cu/Co Sülfür	300	-	-	500	800	1.400	1.800
Cubaniquel	<i>Punta Gorda</i>	Küba	Ni/Co Laterit	700	600	400	500	500	500	500
Minera y Metal. del Bolea	<i>Bolea</i>	Meksika	Cu/Co Sülfür	370	420	300	300	300	300	300
Anglo American	<i>Rustenburg</i>	Güney Afrika	Ni/Cu/Co Sülf.	240	250	240	250	270	270	270
İmplats	<i>İmpala</i>	Güney Afrika	Ni/Cu/Co Sülf.	150	200	140	180	200	200	200
First Quantum	<i>Ravensthorpe</i>	Avustralya	Ni/Co Laterit	590	650	850	150	-	-	-
Diğer Mümkün projeler	<i>Çeşitli</i>	Diğer	Sülfür/Laterit	-	-	-	-	-	800	1.500
Toplam madenden çıkarılan Kobalt - Net ton				35.580	35.620	33.510	30.760	31.670	35.120	38.720
Toplam çıkarılan kobalt - brüt birimler, madencilik/yarı rafineri verim kaybı (ort. %10) için düzeltme yapılmadan önce				39.138	39.182	36.861	33.838	34.837	47.432	42.592
<i>Yıldan yıla büyüme %</i>				- %1	0%	-% 6	-% 8	3%	11%	10%
Rest of World (ROW) kobalt üretiminin küresel arzdaki payı % olarak				27%	23%	18%	14%	11%	14%	13%

*:Öngörölmüş üretim miktarları

Tablo 8. 2017- 2025 Dünya Rafine Kobalt Arzı

Yıl	Miktar, Ton		
	Kobalt Kimyasalları	Kobalt Metal	Toplam
2017	58.000	34.000	108.000
2018	66.000	38.295	120.000
2019	70.000	42.000	138.000
2020	75.000	46.527	137.800
2021	91.400	46.600	155.000
2022	104.000	47.000	168.000
2023	140.320	47.113	187.606
2024	144.660	74.910	219.570
2025	145.000	89.150	238.000

Not: Bazı değerler grafikten çözümlenmiştir.

Dünya’da kobalt metal üreten Çin ve diğer ülkelerin 2018-2024 üretimleri Tablo 9’ de verilmiştir. Buna göre, Çin 74.910 ton üretimin %62,2 si olan 46.600 tonunu üretirken, Glencore 5.800 ton, Unicore 4.800 ton, Sumitomo 3.700, Ambatovy, Madagaskar 2.550 ton üretmişlerdir. Diğer üretici ülkelerin toplamı da 11.270 tondur.

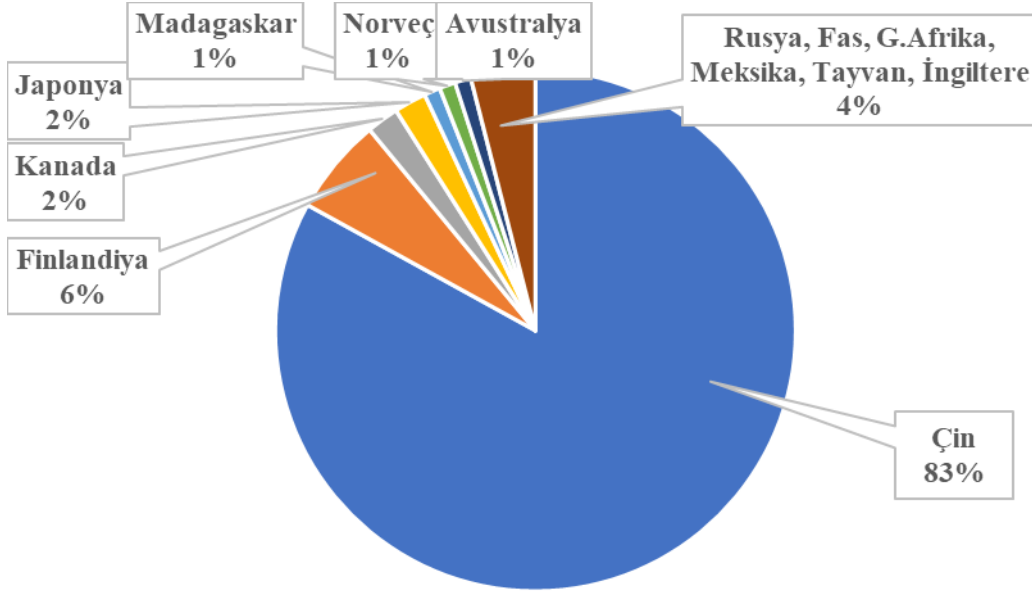
Tablo 9. 2018- 2024 Yılları Dünya Rafine Kobalt Üreten Önemli Üreticiler

Rafine Kobalt Üreticileri	Yıl						2024 (Tahmini)			2025
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Toplam	Fark, t	Fark, %	Tahmini
Çin Toplam	6.450	7.900	9.400	7.260	11.260	21.940	46.600	26.660	122	59.200
Clencore Toplam	7.400	8.100	7.700	6.800	6.400	5.900	5.800	100	-1	5.800
Freeport Cobalt, Finland	6.360	5.900	-	-	-	-	-	-	-	-
Unicore, Finland	-	-	5.200	5.600	5.100	5.200	4.800	-100	-7	4.800
Sumitomo, Japonya	3.660	4.100	4.200	3.500	3.700	3.600	3.700	100	3	3.900
Ambatovy, Madagaskar	2.852	2.900	950	2.100	3.200	3.390	2.550	-840	-40	2.900
Diğer üreticiler Toplam	11.573	11.730	10.030	10.380	9.240	8.150	11.270	9.870		12.550
Toplam	38.295	40.630	37.480	35.640	38.900	48.180	74.910	36.730		89.150

Tablo 10 ve Şekil 4’ de, Ülkelerin rafine kobalt üretimindeki payları verilmiştir. Buna göre; Çin 5 83’ lük paya sahiptir. Çini sırasıyla %6 lık pay ile Finlandiya, %2 lik paylarla Kanada ve Japonya takip etmektedir. Norveç ve Avustralya %1 lik paya sahiptirler. Rusya, Fas, Güney Afrika, Tayvan, İngiltere toplamda %4 paya sahip ülkelerdir.

Tablo 10. 2024 Yılı Ülkelerin Rafine Kobalt Arzındaki Payları

Ülke	Pay, %
Çin	83
Finlandiya	6
Kanada	2
Japonya	2
Madagaskar	1
Norveç	1
Avustralya	1
Diğer	4

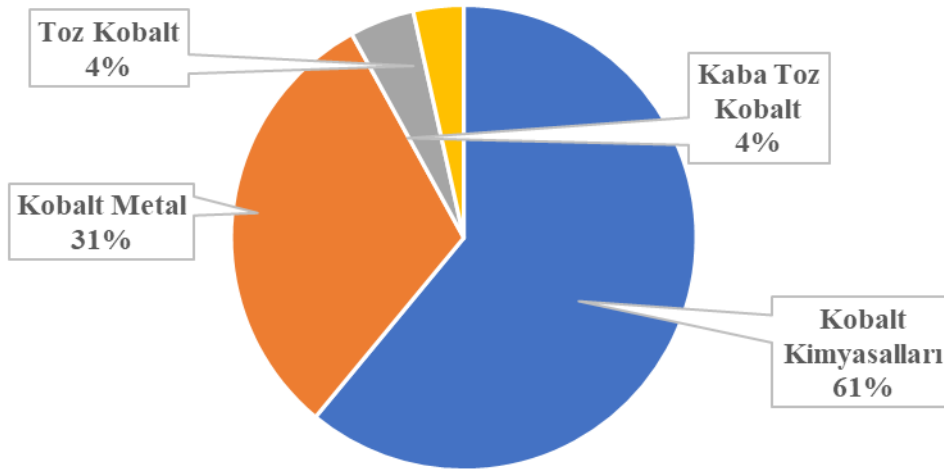


Şekil 4. Ülkelerin Rafine Kobalt Üretimindeki Payları

Toplam kobalt üretiminde, kobalt metal ve bileşikleri ile ince kaba kobalt üretim miktarları Tablo 11 ve Şekil 5' de verilmiştir. Kobalt kimyasallarının toplam kobalt üretimindeki payı %61'dir. Geri kalan %39'luk kısım metal kobalt olup, bununda yaklaşık %4 + %4 olmak üzere, ince kaba toz halinde üretilmektedir.

Tablo 11. 2024 Yılı Ülkelerin Rafine Kobalt Ürünleri Arasındaki Dağılımları

Rafine Kobalt Ürünleri	Payı, %
Kobalt Kimyasalları	61
Kobalt Metal	31
Toz Kobalt	4,5
Kaba Toz Kobalt	3,5



Şekil 5. Kobalt Ürünlerinin % Dağılımı

Tablo 12. Dünya Rafine Kobalt Üretimi

Ülke	Rafine Kobalt Üretim Miktarı, Ton							
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025*
Çin	78.410	93.860	96.500	114.000	125.900	149.600	182.200	202.200
Diğer Ülkeler	42.349	43.640	39.730	39.780	37.650	37.650	37.370	43.550
Dünya Toplam	120.759	136.790	136.230	152.780	165.260	187.250	219.570	245.750
% Değişim	↑%14	↑%13	↓%1	↑%13	↑%7	↑%13	↑%17	↑%12

*: Öngörülen üretim

Dünya kobalt üretiminde Çin' in bu alandaki hakimiyeti, Çin ve diğer üretici ülkeler olarak Tablo 12' de verilmiştir. Yıllar itibariyle toplam kobalt üretimi, 2020 yılı hariç, her yıl artarak devam etmektedir. Diğer ülkelerin göreceli artışına karşın Çin, üretimini devamlı arttırmıştır. Üretimini 2018 de 78.410 tondan 2024 de 182.200 tona yükseltmiştir. 2025 yılında da bir miktar daha bu miktarı arttıracığı öngörülmektedir.

İkincil kaynaklardan kobalt üretimi hakkında veriler Tablo 13' de verilmiştir. Buna göre, önemli bir ikincil kaynağın kobalt üretiminde kullanılmakta olduğu görülmektedir. 2017 de 10.500 ton olan ikincil kaynakların kullanımı, 2020 de 13.000 tona, 2024 de 19.300 tona hızla yükselmiştir. Bu yükselişin önümüzdeki yıllarda daha da hızlı yükseleceği öngörülmektedir. Örneğin, ikincil kaynaklardan kobalt üretiminin 2028 de 30.000 tona, 2029 da 35.500 tona ve 2030 da 43.100 tona ulaşması beklenmektedir. Madencilikten üretilen kobaltın yanında, İkincil kaynakların da etkin olarak kobalt üretilmeye devam edecek bir eğilim ortaya çıkmaktadır. Bu kobalt kadar diğer metal atıkları içinde çok önemli bir olgudur.

Tablo 13. 2017 - 2024 Yılları İkincil Kaynaklardan Kobalt Üretimi ve 2026- 2030 Yılları Projeksiyonu

Yıl	Miktar, Ton
2017	10.500
2018	11.500
2019	12.500
2020	13.000
2021	14.500
2022	15.500
2023	17.000
2024	19.300
2025	21.000
2026	24.000
2027	26.500
2028	30.000
2029	35.500
2030	43.100

Not Grafikten çözümlenmiş datalar

Madencilik ve ikincil kaynaklardan sağlanacak kobalt üretimi, endüstride oluşacak talepleri karşılamakta bugün için yeterli görünse bile, gelecekteki ihtiyaçları da dikkate alarak, yeni kobalt

madenleri devreye alınmak zorundadır. Bu kapsamda projeler de bulunmaktadır. Örneğin Tablo 14’ de verilen projeler ile 2026 da 22.000 ton, 2027 de 30.500 ton 2027’den sonra 25.500 ton ve 2028 de 6.000 ton kobaltın üretilmesi söz konusudur. Bu dönemde üretilmesi beklenen kobalt miktarı ise,84.000 tondur.

Tablo 14. Yeni Açılacak Kobalt Tesisleri ve Kapasiteleri

Projeler	Ülke	Yatırımcı	Kapasite Ton/Yıl	Devreye Alma Tarihi
Excelsior Ni/Co	Endonezya	Nickel Industries/Tsinghan	7.000	2026
Pomalaa Project	Endonezya	Huayou/PT Vale/ Ford	15.000	2026
Comide	DRC	ERG Africa	7.000	2027
Sorowako Project	Endonezya	Huayou/PT Vale	6.000	2027
Mutoshi	DRC	Chemaf (Shalina Resources) / TBC	16.000	2027
Broken Hill Co Project	Avustralya	Cobalt Blue Holdings	3.500	2027
SOA HPAL	Endonezya	PT Vale	6.000	>2027
GEM / PT Vale MHP	Endonezya	GEM / PT Vale	6.000	>2027
Idaho Cobalt Project	ABD	Jervois Mining	2.000	>2027
NICO Project	Kanada	Fortune Minerals	1.800	>2027
Ramu - 2	PNG	MCC, Nickel 28	3.000	>2027
Kalgoorlie Project	Avustralya	SMM / Mitsubishi + Ardea Res.	2.000	>2027
Santo Domingo	Şili	Capstone Mining Corp.	4.700	>2027
Sconi	Avustralya	Australian Mines Ltd.	2.000	>2028
Sunrise Project	Avustralya	Sunrise Energy Metals	4.400	>2028

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kobalt üretiminde olduğu kadar, kobalt kullanılan makine ekipman yapımında ve kobalt endüstrinin diğer alanlarında büyük mesafe kateden Çin, kobalt pazarında da dominant ve stratejik bir ülkedir.

Türkiye’ de 2018 yılına kadar kobalt üretimi yapılmıyordu. Önce Meta Nikel Manisa Gördes te ve daha sonra Eti Bakır AŞ Mardin Mazıdağında kobalt bileşikleri üretmeye başladılar. Meta Nikel, 2025 yılı Şubat ayında üretimine ara verdi. Bu güne kadar da, 24.000 ton nikel eşleniği, içinde kobalt hidroksit de bulunan, konsantre üretti.

Eti Bakır AŞ nin Mazıdağı Gübre ve Metal Geri Kazanım Tesislerinde yaklaşık 2.000 ton kobalt metaline karşı gelen kobalt karbonat üretildi ve yurt dışına satıldı. Yeni yapılanma ile, 2025 yılında kobalt karbonat yerine, kobalt sülfat üretimi yapılmaya başlandı.

Türkiye’ deki diğer kobalt veya nikel-kobalt cevherlerinin işletilebilmesi için, henüz uygun bir ekonomik ortam oluşmamıştır. Büyük reserve sahip ve zengin tenörlü kobalt yatakları tespit edilmiş değildir. Her konuda olduğu gibi, maden aramalarına yoğunluk verilmesi, kaynak aktarılması kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- Canbazoğlu, M. Kayışoğlu, E. Şengül, B. Laitala, H., 2019. Pressure Leaching and Solvent Extraction of Cu – Co – Zn at Mardin Mazıdağı, Türkiye: Calcine Processing Plant, IMPC - AVRASYA 2019 31 Ekim – 2 Kasım, Antalya 14 sayfa.
- Canbazoğlu, M. Uzun, M. Çelik, Ö. KÖSE, M., 1985. Küre Piritli Bakır- Cevherlerinden Kobalt, Bakır, Altın ve Gümüş Hin Hidrometalurjik Süreçlerle Kazanılma Olanakları, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi*, sayfa 59-74.
- Çağatay, A. Pehlivanoglu, H. Altun, Y., 1982. Küre Piritli Bakır Yataklarının Kobalt-Altın Mineralleri ve Yataklarının Bu Metaller Açısından Ekonomik Değeri, MTA Dergisi No 93/94, Ankara, sayfa, 100-117.
- DCL, 2025. Cobalt Market Review 2025. Darton Commodities Limited',79 sayfa.
- Eti Bakır, 2025. Arşiv
- ETKB, 2025. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Tabii Kaynaklar dairesi Başkanlığı, 2024 Kasım Ayı Verileri, sayfa 20
<https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/OMDTicaret2024Kas%C4%B1m.pdf>
- Haavanlammi, K. Laitala, H. Canbazoglu, M., 2022. Pressure Leaching of Copper-Cobalt- Zinc Containing Calcine with The Outotec Pressure Leaching Oxidation Process. COM Copper 2019, Vancouver August 20, 2019.
- Haslam, C. Hewitt, B. Crary, T. Brown, J. Canbazoglu, M. Yılmaz E., 2025. Metallurgical Testing of Copper, Zinc and Cobalt Extraction from Samsun and Küre Copper Smelter Tailings via Pressure Oxidative Leaching,12. International Copper Conference (Copper 2025), 16 20 November, Arizona, ABD, 12 sayfa.
- İMİB, 2019. Kobalt Madencilik Durumu, İşletmeciliği ve Geleceği, Rapor, 26 sayfa
- MTA, 2020. Kobalt <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/kobalt>
- USGS, 2024.Kobalt İstatistikleri ve Bilgileri (PDF),13 January
- Yaylalı B, Yazıcı E.Y., Celep O, Deveci H., 2020.Kritik Metal Konumundaki Kobaltın Birincil ve İkincil Kaynaklardan üretimi, Madencilik, 2020, 59(1), 35-50
- Wikipedi, 2025

İleri Düzey Teknolojiler için Gerekli Metallerinin Önemi ve Üretim Yöntemlerine Genel Yaklaşım

Servet TİMUR

İTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, timur@itu.edu.tr

Esra TANISALI BAŞTÜRKCÜ

İTÜ, Cevher Hazırlama Mühendisliği, basturkcu@itu.edu.tr

Selim ERTÜRK

İTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, erturks@itu.edu.tr

ÖZET: İleri teknolojiler, küresel ekonominin dönüşümünde belirleyici bir rol üstlenirken, bu teknolojilerin sürdürülebilirliği kritik ve stratejik hammaddelerin güvenli teminine bağlıdır. Gelişmiş ülkeler kritik hammaddelerin yönetimi için kurumsal yapılar ve düzenli güncellenen stratejileri devam ederken bir yandan henüz çalışmalar başlangıç fazındadır. Teknolojik dönüşüm, enerji geçişi ve dijitalleşme süreçleri nadir toprak elementleri, soy metaller, lityum, kobalt, nikel, grafit ve yüksek ergime sıcaklığına sahip metaller gibi hammaddelere olan talebi artırmış ve bu hammaddelerin güvenli ve sürdürülebilir temini, ülke ekonomisi ve stratejik endüstriler için kritik önemde değerlendirilmelerini gerekli kılmıştır. Bu makalede stratejik/kritik hammaddelerin özellikleri, temel metalurjik üretim olanakları ve ileri teknolojik kullanımlarına çok genel bir yaklaşım yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kritik ve stratejik malzemeler, ileri teknoloji, tedarik güvenliği, metal üretim ilkeleri

1. İLERİ TEKNOLOJİLER VE KRİTİK MADDELER: STRATEJİK ÖNEMİ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

İleri teknolojiler, küresel ekonominin dönüşümünde belirleyici bir rol oynarken, bu teknolojilerin sürekliliği, hammaddelerin temini ve teminin sürdürülebilirliğinin önemi giderek artmaktadır. Arz kesintisi veya yüksek fiyat artışı halinde ciddi ekonomik sorunların veya tedarik güvenlik zafiyetinin doğabileceği, sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan kritik malzemeler ve ulusal güvenlik ve ekonomik refah için temel öneme sahip olan ve iç veya dış etkenler nedeniyle arzı kısıtlanabilir stratejik malzemelerin önemi ve ulusal güvenlik ve ulusal endüstriler açısından gittikçe daha da önem kazanmaktadır. Özellikle Dünya Ticaret Örgütü'nün ticari kısıtlamalar karşısında yetersiz kalması, ülkelerin geçmişte başarı ile uygulanmış ana ilkeleri terk ederek neredeyse keyfi olarak tanımlanabilecek tavırlar sergilemeleri, kısa sürelerde alınan ani kararlar ve kısıtlamalar ile değişen ihracat ve ithalat politikaları, bilinmezliği ve sürdürülebilir malzeme teminini iyice karmaşıktırmaktadır.

Küresel ölçekte kritik hammaddelerin önemi, enerji dönüşümü, yüksek teknoloji üretimi ve stratejik sektörlerdeki artan taleple birlikte giderek artmaktadır. Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri ve diğer birçok ülke, kritik hammaddelerin tedarik güvenliğini sağlamak amacıyla özel kurumlar oluşturulmuş, bu kurum ve organizasyonlar sürekli güncellemeleri gerçekleştirecek şekilde yapılandırılmış ve hazırlanan listeler ve stratejiler düzenli olarak yayımlanmaktadır. Ülkemizde Enerji

ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından algoritmik bir yaklaşım ile 2025 yılında “Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu” yayımlanmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın yürüttüğü algoritmik çalışmalar önemli bir başlangıç olmakla birlikte, sürecin etkinliği için veri eksikliğinin acilen giderilmesi ve varsayımlara dayalı yöntemler kullanılmak yerine reel durumumuzu yansıtan veriler sağlanmalı ve veri güncellemeleri sıklıkla yapılmalıdır. Kritik/Stratejik hammaddeler konusundaki hedeflere ulaşmak ancak veri temelli, bütüncül ve kurumsal koordinasyonu esas alan bir yaklaşımla mümkündür. Amaca ulaşmak ve ülkemizin stratejik ve kritik hammaddelerini tanımlamak için bütüncül ve veri odaklı bir yaklaşımın gerekliliği ve farklı kurum ve kuruluşların paralel/ortak çabalarına olan ihtiyaç ortadadır. Bu nedenle, ilgili tüm bakanlıkların ve resmî kurumlarımızın öncelikle gerekli verileri üretmeleri, bu verileri düzenli olarak izlemeleri ve koordineli bir çalışma zemininin oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

Günümüz teknolojisi, klasik teknolojilere göre hızla değişkenlik göstermeye başlamış ve insan gücü ve mekanik sistemlerden elektronik donanım ve yazılımın öne çıktığı dijital kontrol sistemleri ile donatılmış proseslerde yüksek kapasiteli ve kitlesel üretimlerle kar marjlarının kontrol edilebildiği ve tekelleşmeye yol açan bir trende dönüşmüştür. Kaynakları ve/veya üretim teknoloji avantajını elinde tutan Çin ile başta ABD ve AB ülkeleri olmak üzere tüm ülkeler arasında ticari ve jeopolitik rekabeti tetiklemekte ve tedarik zincirlerinin güvenliğini ve sürdürülebilirliğini stratejik bir öncelik haline getirmektedir.

Ülke ekonomisinin ve özellikle istihdam ve stratejik endüstrilerin sürdürülebilir kılınması ancak arz dengesinin sağlanması ile mümkündür. Bu yüzyılda sessizce ve hızla gerçekleşen teknolojik devrim, enerji dönüşümü, dijitalleşme ve savunma sanayisi gibi alanlarda kritik hammaddelere olan talebi artırmıştır. Özellikle nadir toprak elementleri (NTE), altın ve gümüş dışında kalan soy metaller (Pt, Pd, Ru, Rh, Ir ve Os), yanı sıra Li, Co, Ni, Cu, grafit ile ergime sıcaklıkları 1600 °C üzerinde olan metaller (W, Mo, Ta, Nb, V vd.) ile hafif (Ti, Al, Mg ve alaşımları) metaller gibi hammaddeler, ileri teknolojilerin vazgeçilmez bileşenleri haline gelmiştir. Tablo 1’de ülkemiz için kritik madenler olarak tanımlanmış madenler verilmiştir.

Tablo 1. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından tanımlanmış Aday Madenler Arasından Seçilen Kritik Madenler

Alüminyum	Demir	Manganez
Antimuan	Galyum	Manyezit
Arsenik	Germanyum	Molibden
Barit	Grafit	Nadir Toprak Elementleri
Bakır	Gümüş	Nikel
Bentonit	İndiyum	Niyobyum
Berilyum	Kadmiyum	Paladyum
Bizmut	Kalay	Platin
Barit	Kaolen	Tantalyum
Bor ve Borat Mineralleri	Kömür	Titanyum
Cıva	Krom	Trona
Çinko	Kurşun	Tungsten
Florit	Kobalt	PGM (Ir, Os, Rh, Ru)*
Feldspat	Lityum	

* : Bu soy metaller tüm dünyada kısıtlı kaynakları, karmaşık üretim teknolojileri ve kullanım alanları nedeniyle kritik ve stratejik olarak tanımlıdır ve Bakanlık listesine ilave edilmiştir.

2. İLERİ TEKNOLOJİLERDE KULLANILAN METALLER VE ÜRETİM/GERİ KAZANIM TEKNOLOJİLERİ

Dünya genelinde metal ve metallerin bileşiklerinin üretimi küresel ekonominin sürekli artan talepleri, uluslararası pazarlarda rekabeti güçlendirmektedir. Teknolojik ilerlemeler ve yenilikler, metal ve kimyasallarının verimliliğini ve çeşitliliğini artırarak bir taraftan ekonomik büyümeye katkı sağlarken diğer taraftan jeopolitik faktörler, kaynaklara erişim kısıtları uluslararası ilişkilerde bu sektörlerin kritik bir rol oynamasına neden olmaktadır.

Metal üretim yöntemleri, temel olarak klasik yaklaşımlarla gerçekleştirilirler. Üretim yöntemi seçiminde teknoloji-ekonomik sentez yapılmakla beraber aslında seçilecek prosesi belirleyen kriterler mühendislik ve temel bilim ilkelerine uygun olarak yapılır. Metalin kritik ve/veya stratejik olması çok özel durumlar hariç ana ilkeyi değiştirmez.

Metal endüstrisindeki yenilikçi süreçler ve saf metal üretim yöntemlerinin geliştirilmesi, malzeme mühendisliği ve üretim teknolojilerindeki ilerlemeleri de beraberinde getirmiştir. Özellikle ileri teknoloji malzemelerinden beklentiler daha saf metallere ve bileşiklere olan ihtiyacı öne çıkarmaya devam etmektedir. Saf metallerin üretimindeki ve kullanımındaki gelişmeler ile ileri malzeme talepleri, çok farklı sektörlerde Türkiye ve dünya ekonomisi için stratejik önem kazanmaktadır. Metalurji (genel tanımı ile metal, alaşım, saf metal ve metal bileşiklerinin üretimi) ülkemizin stratejik hedeflerine paralel (elektronik, savunma, uzay ve havacılık, sağlık, tarım vb.) endüstriyel üretimin temel yapı taşları arasında yer alır ve çok farklı uygulama alanına sahiptir. Özellikle NTE, bakır, soy metaller, altın ve gümüş gibi elementler elektronik, havacılık, uzay endüstrisi gibi yüksek teknoloji gerektiren sektörlerde yaygınlaşmakta ve pazar paylarını genişletmektedirler. Sadece ülkemiz açısından değil dünya ekonomisi için de metalurji sektörü ve özellikle stratejik metallerin üretim/rafinasyon ve atıklardan geri kazanımı ve teknolojileri, gelecekte de ekonomik büyüme ve kalkınma açısından büyük bir öneme sahip olmaya devam edecektir.

2.1. Kritik/Stratejik Metallerin Genel Üretim Teknolojileri

Metaller cevherlerden veya ikincil kaynaklardan başlanarak üretilirler ve metal üretim yöntemleri ve teknolojileri karmaşık işlem silsilelerini gerektirirler. Metal üretim teknolojisi açısından birkaç metal dışında stratejilik ve/veya kritiklik üretim teknolojisi ve pratik uygulama açısından özel bir yöntem gerektirmez. Genelleştirildiğinde metal üretiminde uygulanan işlemler 4 temel metalurjik operasyon grubunda değerlendirilir. Bunlar;

- **Fiziksel metalurjik işlemler, cevher hazırlama,**
- **Pirometalurji,**
- **Hidrometalurji ve**
- **Elektrometalürji**

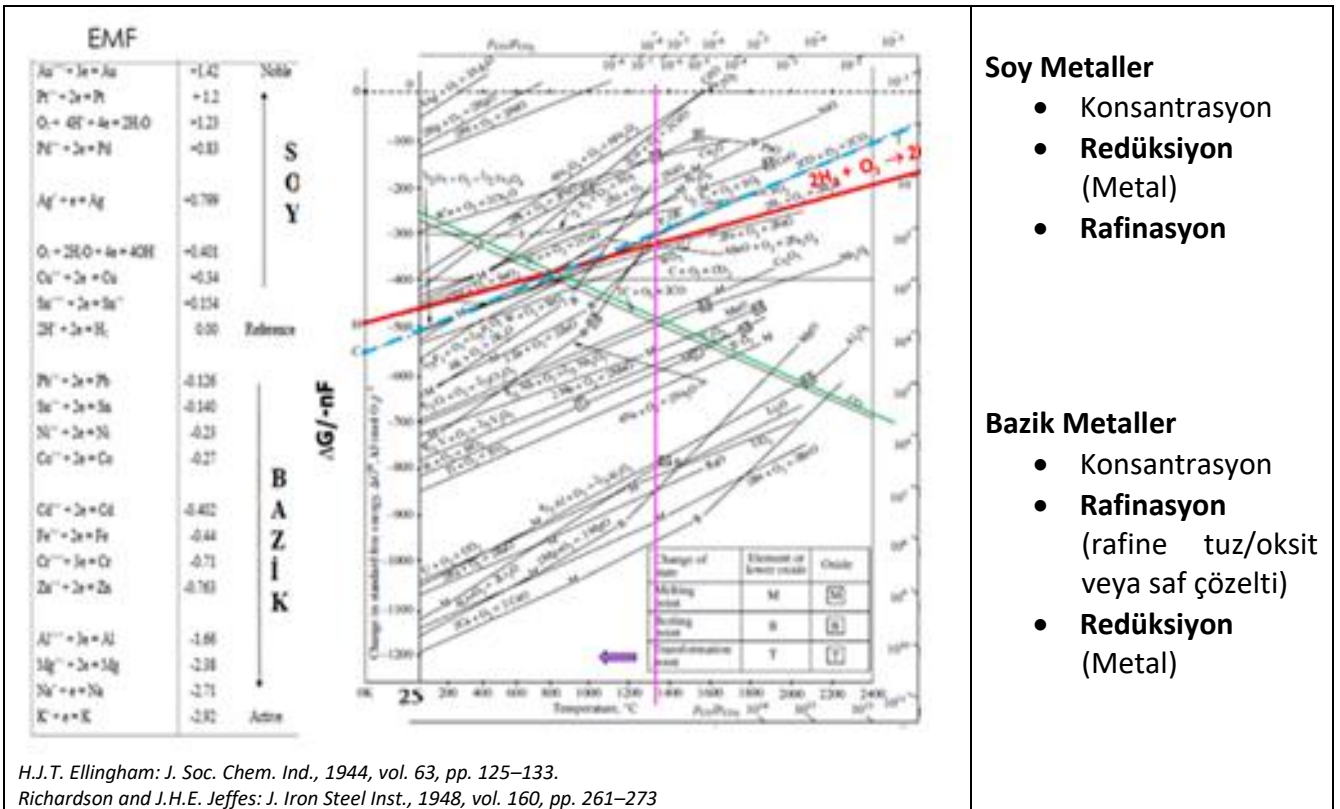
Bu operasyonların detayları ve uygulanma sıraları hammaddenin içeriğine, metalin hidrojene göre konumuna ve metalin kimyasal/fiziksel özelliklerine ve/veya diğer eşlenikçi metallere farklılıklarına dayanır.

İlkel olarak bir metalin üretiminde proses adımlarını belirleyen temel koşul, metalin EMF serisinde hidrojene göre konumuna bağlıdır. Proses seçiminde EMF serisi yerine metallerin oksidasyon serbest enerjilerinin sıcaklık ile değişimini gösteren Richardson-Ellingham diyagramları (Şekil 1) kullanılır. Serbest enerji ekseninin $(-n/RT)$ değerine bölünmesi de 25°C için ekseninde Nernst

denkleminde dönüşmüş yapısı EMF serisini gösterir. Gibbs serbest enerji değişimi yerine elektrokimyasal reaksiyon baz alınarak oluşturulan bu dönüşümle elde edilen EMF serisi metallerin birbirlerine göre konumu ve soyluluk sıralamasının hatırlanmasında kolaylık sağlar.

Cevherler ve doğal olarak bunlardan farklı cevher hazırlama uygulamaları ile üretilen konsantreler çok fazla bileşen içerirler. Soy olan metallerin bazik olan metallerle göre termodinamik olarak öncelikle redüklenme özelliklerinin (afinitelerinin) bulunması metal üretim prosesinin adımlarını belirler. Termodinamik olarak öncelik her zaman tanımlı sıcaklıkta oluşum serbest enerjisi daha negatif olan metale aittir. Bu yüzden de kinetik koşullar ve alaşım oluşumları dikkate alınmadan redüksiyon sıraları metal-metal oksit dönüşüm serbest enerjisi üzerinden tanımlanır.

Metallerin birbirlerine göre ve hidrojene göre soyluluk (oksit kararlılık) sıralaması, bazik metallerin (örneğin NTE, Zn, Ni, Cd, Pb, Al, Li, Ti vd.) üretim proseslerinin belirlenmesinde öncelikle enerji maliyetlerinin azaltılması, çevresel yükün minimizasyonu dikkate alınarak cevher hazırlama işlemleri ile mümkün olduğunca yüksek metal içerikli konsantre üretimini zorunlu tutar. Genellikle fiziksel bazen de fizikokimyasal ilkelere uygun olarak uygulanan işlemler ile elde edilen konsantre üretimi gerçekleştirilir. Konsantre üretiminden daha pahalı ve enerji gereksinimi çok daha yüksek kimyasal işlemlerle (rafinasyon) ile saf metal oksit, metal tuzu ve/veya metal tuzu içeren saf çözelti üretimi bazik metallerin üretimleri açısından olmazsa olmaz adımdır. Elde edilen saf bileşimlere son aşamada redüksiyon işlemi uygulanarak bazik metaller üretilir.



Soy Metaller

- Konsantrasyon
- Redüksiyon (Metal)
- Rafinasyon

Bazik Metaller

- Konsantrasyon
- Rafinasyon (rafine tuz/oksit veya saf çözelti)
- Redüksiyon (Metal)

H.J.T. Ellingham: J. Soc. Chem. Ind., 1944, vol. 63, pp. 125–133.

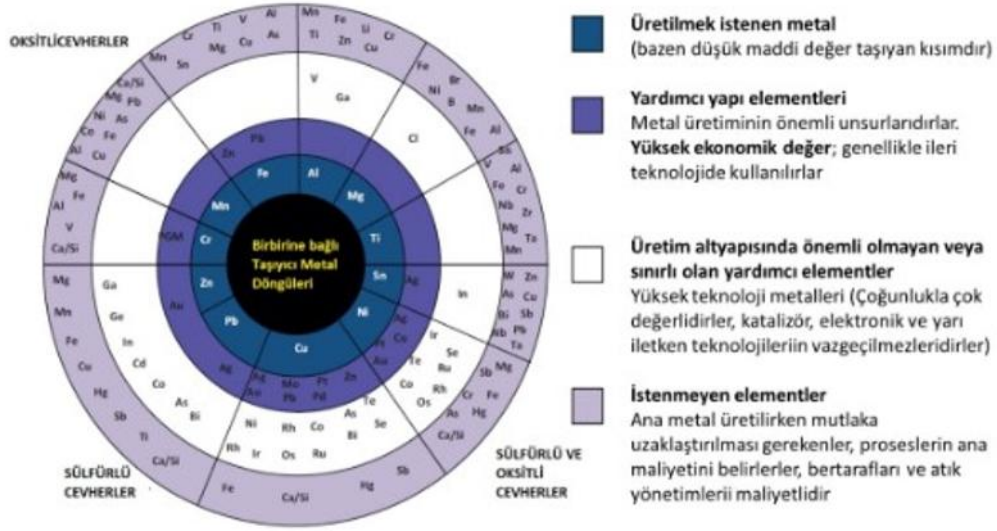
Richardson and J.H.E. Jeffes: J. Iron Steel Inst., 1948, vol. 160, pp. 261–273

Şekil 1. Richardson -Ellingham Diyagramı üzerinde EMF serisi, metallerin hidrojene göre konumlarına bağlı olarak ilkesel üretim sistematığı

Tüm metal üretimlerinde birkaç istisna dışında Şekil 1 de sağ kolonda tanımlanmış ana işlem sıralamasına uyulur. Bu temel ilkenin istisnası doğrudan oksitli cevherlerinden karbotermik redüksiyon ile üretilen kurşun ve demirdir. Kurşun ana toplayıcı metallere birisi olduğundan dolayı cevherleri kendisinden daha soy metalleri (Ag, Au, PGM, Cu, Ni, Co, Bi, Sn, vd.) barındırır. Doğrudan redüklendiği koşullarda tüm bu metaller bünyesinde kalır ve elde edilen kurşun içinde eşlenikçi metaller %1,5'e kadar ulaşabilirler. Ancak kurşunun kullanım alanlarında bu eşlenikçi metaller mekanik ve/veya kimyasal açıdan herhangi bir negatif özellik göstermez ve kullanımı sınırlamaz. Bu nedenle önce redüksiyon ve ardından sadece ekonomik nedenlerle (Ag, Au, Cu, Ni, Co ve Bi kazanımı) rafinasyon işlemi uygulanır. Diğer istisna olan demir de cevherlerinden rafine edilmeden (saf bir demir bileşiğine dönüştürülmeden) doğrudan cevher kullanılarak karbotermik redüksiyon ile üretilir ve bu yüzden de demirden daha soy olan tüm metaller kendisinden önce metalik forma geçtiğinden dolayı yapıda kalırlar ve günlük hayatta demir tanımı kullanılsa da aslında üretilen malzeme demir değil çeliktir.

Bu istisnalar dışında diğer metallere üretim ilkeleri tam olarak uygulanır. Örneğin boksitten alüminyum üretiminde (Bayer Prosesi) önce alkali çözümlendirme, yüksek basınçta otoklavlarda rafinasyon işlemi ile (saf Na_2AlO_4 çözeltisi) ve sulu fazdan selektif çöktürme [$\text{Al}(\text{OH})_3$] ardından termal dekompozisyon ile saf Al_2O_3 elde edilerek, ergimiş tuz elektrolizinde kriyolit yapısına alınan alüminyum, redüklenerek ile alüminyum üretilir. Yine benzer şekilde bazik bir metal olan titanyum üretiminde konsantr elde edildikten sonra klorlayıcı uçurma ile titanyum diğer metallere klorür tuzunun (TiCl_4) yüksek buharlaşma entalpisinden yararlanılarak selektif olarak uçurulur, selektif olarak kondanse edilir ve saf sıvı TiCl_4 elde edilir. TiCl_4 ikinci bir işlem adımında gazlaştırılarak sıvı magnezyum ile reaksiyona sokularak redüklenir ve saf titanyum elde edilir.

Metallerin üretim ilkeleri baz alınarak prosesler dizayn edilirken cevher yapısından gelen **yardımcı (eşlenikçi) metallere** üretimi ve/veya istenmeyen diğer metallere uzaklaştırılması ekonomiklik sınırını ve geliştirilecek teknolojik uygulamayı belirler. Bu nedenle genel olarak metal üretim prosesleri tasarlanırken **Ana metal – Yardımcı yapı elementleri – Sınırlı yapı elementleri - İstenmeyen metaller** (uzaklaştırılması gereken metaller) dikkate alınarak, işlem adımları ve teknoloji seçimi yapılır. Şekil 2'de günümüzde en yaygın kitlesel üretimi olan metallere ait metal döngüsel çevrimi verilmiştir. Benzer yaklaşım geri dönüşüm uygulamalarında da geçerlidir. Özellikle katalizör, elektronik hurda, piller ve aküler gibi kompleks yapıları malzemeler için de geçerlidir.



Şekil 2. Metal üretim prosesleri tasarımında karlılığı ve proses tasarımını belirleyen eşlenikliği metaller ve uygulanması gereken ana proses tasarımının genelleştirilmiş döngüsü

Reuter, M.A.; Boin, U.M.J.; van Schaik, A.; Verhoef, E.V.; Heiskanen, K.; Yang, Y.; Georgalli, G. *The Metrics of Material and Metal Ecology, Harmonizing the Resource, Technology and Environmental Cycles*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2005.

Stratejik ve kritik hammaddeler tanımlanırken, baz olarak metalin kendi cevherleri alınır. Ancak bu yaklaşım hatalı/eksiktir. Metal üretim döngüleri dikkate alındığında aslında tüm kritik ve stratejik demir dışı metallerin üretiminde yardımcı element ve/veya sınırlı olan yardımcı elementlerin grubunda üretilebileceği göz ardı edilmemelidir. Örneğin dünyada istisna bir cevherleşme olan Demokratik Kongo Cumhuriyet’inde mevcut kobalt rezervlerini saymazsak Şekil 2’den görüldüğü üzere, kobalt üretimi ancak Cu, Ni ve Pb üretiminde mümkündür.

2.1. İleri Teknolojilerin Temel Alanları ve Hammaddeler

Günümüzde ileri teknolojiler tanımlı yapıldığında ilkesel olarak 9 ana teknoloji ve bazı kaynaklarda da nano teknoloji de dahil edilerek 10 teknoloji öne çıkmaktadır. Teknolojilerin yanı sıra sektör olarak da benzer açılımları yapmak ve stratejik olarak sektörlerin ihtiyaçlarını da gruplandırmak olasıdır. İleri teknolojilerin ihtiyaçları (stratejik ve/veya kritik) olan metaller aşağıda genel olarak ele alınmıştır.

- **Yenilenebilir Enerji Teknolojileri:** Li, Co, Ni, Mn, P
- **Yakıt Hücreleri:** PGM (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os), grafit, Cu
- **Rüzgar Santralleri:** Hafif ve ağır NTE’ler, Cu, Mg, Ge, Nb, Sc
- **Elektrik Motorları:** Hafif ve ağır NTE’ler, Cu, Cr, Ni
- **Güneş Panelleri:** Si, In, Ge, Li, Co, Ni
- **Robotik Sistemler:** Hafif ve ağır NTE’ler, Cu, In, Ge, Ti, Li, Co, Ni
- **Dron, İHA, SİHA (Savunma ve Uzay):** Hafif ve ağır NTE’ler, Cu, B, In, Ge, Ti, karbür yapıcı refrakter metaller (V, W, Mo, vb.) Li, Co, Ni, Mn, P, Mg, hafif alaşımlar
- **Dijital Teknolojiler:** Nd ve Dy; yüksek güçlü mıknatıslar ve veri merkezlerinde kullanılan donanımlar için gereklidir
- **Bilgi ve İletişim Teknolojileri:** Hafif ve ağır NTE’ler, Cu, Si, In, Ge, Ti, Li, Co, Ni, Mn, P

Kritik ve stratejik elementlerin elementel tabloda (Şekil 3) konumlarını incelediğimizde ortaya aslında çok ilginç bir dağılım çıkmaktadır. Tüm stratejik ve kritik metaller elementel tablo

da sıra dışı bir düzende bulunurlar. Bu düzensizlikleri aslında onların teknolojik özelliklerinde de kullanımlarında da farklılıklara neden olduğu için özel olarak sınıflandırılırlar ve özellikle günümüz teknolojisinin vazgeçilmezi konumunda olmalarının ana nedenidir. Bu metaller, lityum hariç hepsi kendilerine ait odak gruplar halindedirler. Bu dağılım aslında sürekli göz önünde olan ama asla dikkatle incelenmeyen (ve/veya detayları gözden kaçan) periyodik tabloda elementlerin dağılımı ve konumları ile doğrudan ilgilidir.

Şekil 3. Elementel tablo üzerinde stratejik ve kritik hammaddeler ve ait oldukları gruplar

Atom numaraları ve konumları dikkate alındığında ilk stratejik/kritik element lityumdur. Lityum, tüm evrende en çok bulunan ve Bigbang'ten sonra sıcak fizyonların oluşumun temel bileşenleri olan 2 gazdan (H_2 ve He_2) sonra oluşan en hafif elementtir. Aslında rastlantısal çarpışma teorisi gereğince evrende en çok bulunması gereken elementlerden biri olması gerekirken, "lityum fakirliği"ne bağlı olarak dünyada sadece belirli alanlarda ve belirli cevherleşmelerde bulunabilmektedir. 1A ve 2A grubunda (s-orbital metalleri) lityum dışında stratejik ve/veya kritik olan element yoktur. Lityumun stratejik ve kritik hammadde olması, elementel tabloda bulunan en elektronegatif değere (-3,05 V) sahip metal olmasından kaynaklanmaktadır. Bu özelliği nedeni ile pillerde kullanımı yaygınlaşmış ve özellikle yeniden şarj edilebilir pillerde yaygın bir kullanım alanı olmasına neden olmuştur.

Mendeleyev'in kimyasal özellikleri baz alarak oluşturduğu elementel tablo sistematığına göre elementel tabloda geçiş grubunu atlayarak 3 – 8 A elementlerini dikkate aldığımızda (p-orbital elementleri) stratejiliklik/kritiklik ülkemiz açısından dünya rezervlerinin önemli bir kısmını elimizde tuttuğumuz bor, 3A grubunun başlangıcında yer alır. Serinin devamı (4-8A) olan metaller açısından bakıldığında stratejik ve/veya kritik olmak bir yana dünyada en yaygın/kolay bulunan elementlerdir. 3 – 8A gruplarında aşağıda yer alan serilere baktığımızda her seri de sırasıyla birer tane artarak 1,2, 3, 4 ve 5 element stratejik/kritik özelliği taşımaktadır. Bu metaller özellikle yarı iletken ve düşük ergime sıcaklıklı alaşımlarda vazgeçilmez nitelikleri ile elektronik sanayinin olmazsa olmazlarıdır. 6. Sırada yer alan elementlerin (*Nh, Fl, Mc, Lv, Ts ve Og*) yaşam ömürleri çok kısa olduğundan teknolojik kullanımları yoktur ancak bunların da gelecekte konumları gereğince kullanım teknolojileri geliştirildiğinde benzer yaklaşım ile stratejik/kritik gruplandırılacağını öngörmek olasıdır.

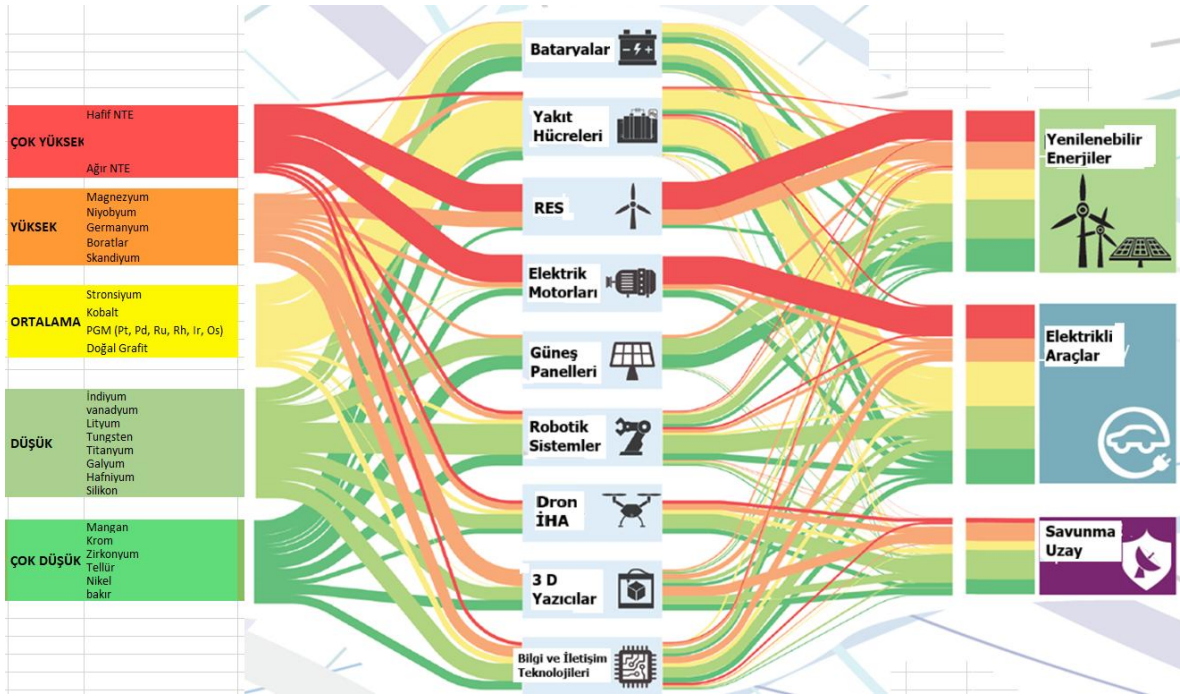
Elementel tabloda 3. sütuna gelindiğinde, kimyasal özellik değişimleri nedeni ile artık sınıflandırma A grubu olarak değil B grubu ile devam etmektedir ve dikkat çeken nokta, serinin gruplandırma kodunun **1B**'den değil doğrudan **3B**'den başlaması ve bu seride yer alan elementlerin **f-orbital metalleri** olmalarıdır. Bilindiği üzere, f-orbital metalleri Nadir Toprak Metalleri grubunu oluştururlar ve tümü stratejik/kritik elementtir. B grubu elementler aynı zamanda geçiş grubu elementleri olarak sınıflandırılırlar ve günümüz teknolojisinin gelişiminde önemli rol oynamış ve halen klasik üretim teknolojilerinin vazgeçilmez metalleridirler.

B grubu elementler (3 - 8B + 9B ve 10 B grubu) d-orbital metalleridirler ve özellikler açısından en sıra dışı grup oluşumları ve kimyasal davranışlar bu gruptadır. Tüm elementel tabloda düşey seriler 1 grubu oluştururken 8, 9 ve 10. sütunları 8B grubunu yani **soy metaller grubunu** oluştururlar. Soy metaller özellikle katalizör, batarya, yakıt hücreleri, elektronik ve savunma sanayinin olmazsa olmazları konumundadırlar. Özellikle platin ve paladyum rodyum ile katalitik endüstrisinde vaz geçilmezken, rodyum korozyon direnci, parlaklığı ve yüksek ergime sıcaklığı ile uzak teknolojilerinde alternatifisizdir. Diğer taraftan yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek sıcaklık korozyon dayanımı nedeniyle iridyum ateşleme sistemlerinin vazgeçilmezidir. Başta Osmiyum olmak üzere soy metaller **+8** değerlik alabilen tek metal grubudur ve bu oksidasyon seviyesine ulaştıklarında oksitleri gaz fazındadır ve yüksek patlayıcı özellik gösterirler.

B grubunda yer alan bazı elementler (**Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg**), yerleri standart sıralama aksine 8B den sonra yer alırlar (1B ve 2 B grubu) bu elementler ekonomik değerleri ile günümüzde stratejik/kritik olarak değerlendirilirken teknik olarak 1 B grubunda yer alan metaller elektrik iletiminde ve elektrik kontak noktalarında vazgeçilmez elementlerdir ve artık her şeyin elektrikli sistemlere dönüştüğü günümüz teknolojisinin en çok talep gören metal olmaya adaydır. Diğer taraftan 1B grubunda yer alan bakır, ana toplayıcı element olduğundan dolayı da neredeyse p ve d-orbitalinde yer alan 4. sütünde ki tüm stratejik elementleri cevherlerinde barındırır ve bunlar içinde önemli hammadde niteliğindedir. Bakır üretimi diğer stratejik/kritik elementlerin üretimi için de önemli bir kaynak olduğundan dolayı günümüz ileri teknolojileri için çok daha önemli hale gelmiştir.

Stratejik/kritik hammaddelerin kullanımına (Şekil 4) göre günümüzün 9 ileri teknolojisinde dağılımları (kullanım oranları ile dağılım kanal kalınlıkları orantılıdır) aşağıda sembolize edilerek verilmiştir.

İleri teknoloji uygulamaları ve stratejik/kritik hammaddelerin kullanım oranları (Şekil 4) baz alındığında ileri teknoloji uygulamalarında bazı metallerin [f-orbital metalleri (NTE), d-orbital metalleri PGM'ler, Co, Ge, In, Ti, Si vd.] diğer metaller ile ikame edilme olanaklarının olmadığı ve yoklukları durumunda teknolojik bağımlılığın kaçınılmaz olduğu ve endüstriyel teknolojilerde ve özellikle savunma sistemlerinde ciddi sıkıntılar yaşanacağı tartışılmazdır. Özellikle PGM'lerin ekonomik değerleri yanı sıra kaynakların Güney Afrika Cumhuriyeti'nde ve kısmen Rusya'da yoğunlaşması, In, Ge, Co üretimlerinin diğer metal üretimlerine bağımlılığı ve titanyum ile NTE metallerinde Çin'in tartışılmaz pazar hakimiyeti günümüz teknolojileri için ciddi tehditler ve tehlikeler oluşturmaktadır.



Şekil 4. Dokuz dominant ileri teknoloji ve üç sektöre ait ham madde akışlarının ve bunların güncel tedarik risklerinin yarı-niceliksel temsili gösterimi [Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study Technical Report · September 2020]

Kritik hammaddeler, yalnızca teknolojik üretim için değil, aynı zamanda ekonomik ve politik güç dengeleri için de belirleyicidir. Soğuk savaş yıllarında her şeye rağmen ABD, iridyum ve osmiyum metallere tek tedarikçi konumunda olan Rusya ile ticareti hiç kesintiye uğratmadan sürdürmüştür. 2025 yılında ABD seçimleri sonrasında dünyada karşılıklı restleşmeler sonucu metal ve malzeme üretim teknolojilerini elinde tutan Çin ve diğer gelişmiş ülkeler arasında gümrük oranları ile başlayan restleşme, öncelikle çip, elektronik devreler ve iletişim teknolojileri (5G) üzerinden dijital sektörlere ve yazılımlara uzadıktan sonra önce neredeyse tüm ileri teknolojinin (piller, elektrik motorları, miknatıslar vd.) ihtiyaç duyduğu hafif ve ağır nadir toprak metallere ve bunlardan imal edilmiş yarı mamullerin ihracatına gelen kısıtlamalar artarak sürdürülmüş en sonunda tümünün ihracatı yasaklanırken, ABD tarafından gelen gümrük vergisi artışına misilleme olarak en son 1600 °C üzerinde ergiyen veya üretim prosesinde bu sıcaklık değerinden fazlasına ihtiyaç duyulan tüm malzemeler ile devam etmiştir. Bu gelişmeler aslında günümüzde stratejilik ve kritiklik kavramlarının da artık standart tanımlamalarla yapılamayacağını ve dolayısı ile ülkemizin gerek hurdalardan geri dönüşüm gerek ise kendi yerli kaynaklarımızı kullanarak üretim kapasitemizi ve ürettiğimiz metal ve malzeme çeşitliliğinin artırmamız gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Stratejik ve kritik metallere üretim ve rafinasyon teknolojilerinin zaman kaybedilmeden hedefler doğrultusunda planlanması ve kısa sürede devreye alınması günümüz konjüktöründe zorunluluk arz etmektedir. Örneğin ülkemizde doğal grafit kaynakları olmasına karşın, grafit üretim tesisinin kurulduğundan sonra endüstriyel grafit üretiminin 6 ay gerektirmesi, prosesin aşırı enerji gereksinimi ve üretim teknolojisinin Çin, Japonya ve Hindistan tekelinde olması grafiti de stratejik/kritik gruba taşımaktadır. Ülkemiz açısından kısa bir durum değerlendirmesi yapıldığında stratejik metallere kullanıldığı alanlar ekonomik gelirimize önemli bir ağırlığa sahiptir. Son ürün üretiminde (otomotiv, savunma, havacılık vd.) güçlü olunmasına rağmen hammaddeden başlayarak

metal üretiminde yetersiz kalan kapasitemiz ve teknolojimiz nedeni ile dışa bağımlılığımız birçok metal için halen sürmektedir. Mevcutta üretimini yapabildiğimiz demir – çelik, alüminyum, bakır, altın, magnezyum, antimuan gibi metallerin yanı sıra cevherleşmemiz olmasa da farklı hurda ve atıklardan diğer stratejik ve kritik metallerin üretimine yönelik tedbirlerin alınması ve gerekli teknolojik seviyenin hızla oluşturulması kaçınılmaz görünmektedir.

Metallerin birincil yerli kaynaklardan, proses ara ürünlerinden ve atıklardan geri kazanılması için yerli teknolojilerin geliştirilmesi, standartlaşmış teknolojilerde geç kalınmadan gerekli teknoloji transferlerinin gerçekleştirilerek kendimize özgü proseslerin oluşturulmasına ekonomik ve teknolojik bağımsızlık açısından ihtiyaç vardır. Özellikle yerli hammaddelerine sahip olduğumuz ancak tamamen veya kısmen metal üretmeden cevher ve/veya konsantre olarak sattığımız metallerden başlayarak (bakır, çinko, antimuan, krom, mangan, NTE vd.) metal üretim teknolojilerine sahip olmamız ve diğer taraftan barit, florit, silis, feldspat gibi endüstriyel hammaddelerden de azami verimi alacağımız ileri teknoloji uygulamalarına geçiş sağlanmalıdır.

İlkesel olarak metal ve metal bileşikleri üretim teknolojilerinde öncelik standart üretim yöntemlerinin ve üretim tesislerinin kurularak yerli kaynakların değerlendirmesi yönünde adımlar atılmalı ve aynı süreçte ileri ve gelişmiş üretim yöntemleri alanında da yatırımlar ve geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Başta nadir toprak metalleri olmak üzere, ekonomik değer taşıyan ve ülkemizde bulunmayan diğer metallerin proses atıklardan ve/veya hurdalardan geri kazanım teknolojileri geliştirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin 11 Nisan 2024 tarihli ve (AB) 2024/1252 sayılı Kritik Hammaddelerin Güvenli ve Sürdürülebilir Arzını Sağlamaya Yönelik Bir Çerçeve Oluşturan Tüzüğü (Kritik Hammaddeler Yasası), *AB Resmî Gazetesi*, L 2024/1252, 03.05.2024
- Bloomberg Businessweek Türkiye, 2024. Kritik Hammaddelerin Jeopolitiği ve Türkiye İçin Yüksek Strateji
- Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J. (co-lead), Mathieux, F., Pavel, C., 2020. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study Technical Report. European Commission, September 2020, ISBN 978-92-76-15337-5.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu, 2025
- F.D. Richardson and J.H.E. Jeffes: *J. Iron Steel Inst.*, 1948, vol. 160, pp. 261–273
- H.J.T. 1944. *Ellingham: J. Soc. Chem. Ind.* vol. 63, pp. 125–133.
- İMMİB, 2024. Kritik Mineraller ve Yeşil Dönüşüm. İstanbul.
- Reuter, M.A.; Boin, U.M.J.; van Schaik, A.; Verhoef, E.V.; Heiskanen, K.; Yang, Y.; Georgalli, G., 2005. The Metrics of Material and Metal Ecology, Harmonizing the Resource, Technology and Environmental Cycles. *Elsevier*, Amsterdam, The Netherlands.
- Say, M. H., Öner, M., & Göçmen Polat, E. (2024). *Journal of Research in Business, İkiz dönüşüm kapsamında kritik hammadde ve teknolojilerinin zaman serileri analizi.*, 9(2), 519-539. DOI: 10.54452/jrb.1491337
- TAYSAD, 2025. İleri Malzeme Teknolojileri Raporu. İstanbul.

Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nun Analizi ve Kömürün Konumu Üzerine Bir Değerlendirme

An Analysis of the 'Turkey's Critical and Strategic Minerals Report' and an Evaluation of the Position of Coal

Nejat Tamzok

TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye, nejattamzok@yahoo.com

ÖZET: Küresel enerji dönüşümü ve teknolojik rekabet, hammadde arz güvenliğini ulusal güvenlik stratejilerinin merkezine taşımıştır. Bu süreçte ülkeler, kendi endüstriyel yapıları ve gelecek vizyonları doğrultusunda 'kritik' ve 'stratejik' hammadde listeleri oluşturmaktadır. Bu çalışma, ABD, Avrupa Birliği, Çin ve Kanada gibi küresel aktörlerin hammadde politikalarını karşılaştırmalı bir perspektifle inceleyerek, Türkiye'nin 2025 yılında yayımlanan 'Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nu analiz etmekte, dünyada dekarbonizasyon baskısı altında olan ancak Türkiye'nin enerji arz güvenliğinde vazgeçilmez bir yer tutan kömürün konumunu değerlendirmektedir. Çalışmada, raporun metodoloji ve içerik açısından barındırdığı düşünülen eksiklikler ortaya konulmakta, kömürün 'kritik maden' olarak tescil edilerek enerji güvenliğinin öncelik alındığı ancak enerji dönüşümü / yeşil dönüşüm hedeflerinin göz ardı edildiği tespiti yapılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kritik Madenler, Stratejik Hammaddeler, Enerji Arz Güvenliği, Kömür Politikaları, Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu.

ABSTRACT: Global energy transition and technological competition have placed the security of raw material supply at the center of national security strategies. In this process, countries establish 'critical' and 'strategic' raw material lists in line with their respective industrial structures and future visions. This study examines the raw material policies of global actors such as the USA, the European Union, China, and Canada through a comparative perspective; analyzes 'Turkey's Critical and Strategic Minerals Report' published in 2025; and evaluates the status of coal, which is under global decarbonization pressure yet maintains an indispensable role in Turkey's energy supply security. The study highlights the perceived deficiencies in the report regarding methodology and content. Furthermore, it identifies that by designating coal as a 'critical mineral', The report has prioritized energy security over energy transition / green transformation goals.

Key words: Critical Minerals, Strategic Raw Materials, Energy Supply Security, Coal Policies, Turkey's Critical and Strategic Minerals Report.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin gelişim süreçleri, medeniyetlerin kullandığı malzeme ve madenlerin niteliğine göre dönemlere ayrılmıştır. Bakır ve demir gibi madenlerin işlenmesi yalnızca teknolojik bir sıçramayı değil, aynı zamanda bu kaynaklara hükmeden toplumların siyasi ve askeri üstünlüğünü de

temsil etmiştir. Madenler, toplumların refah seviyesini ve hayatta kalma kabiliyetini belirleyen temel unsurlar olmuş; yeni teknolojilerin gelişimiyle birlikte madenlere olan talebin aşırı artması ve buna bağlı olarak arz güvenliği sorunlarının ortaya çıkması, bu madenlerin 'kritik' ve 'stratejik' olarak tanımlanmasına yol açmıştır. Diğer taraftan, maden kaynaklarının kontrolü, tarih boyunca jeopolitik gerilimlerin ve büyük ölçekli çatışmaların da kaynağı olmuştur. Birçok küresel çatışma, hammadde kaynaklarına erişimin sürdürülmesi veya rakip güçlerin bu kaynaklardan mahrum bırakılması stratejisi üzerine şekillenmiştir.

Madenlerin kritikliği ya da stratejikliği üzerine yapılan akademik ve kurumsal çalışmaların miladı, İkinci Dünya Savaşı'na kadar dayanmaktadır. 'Kritik malzemeler' terimi, ilk defa 1939-1945 yılları arasında askeri amaçlı olarak literatüre girmiştir. ABD Kongresi tarafından 1939'da yürürlüğe konulan 'Stratejik ve Kritik Malzeme Stoklama Yasası', ulusal savunma ve temel sivil ihtiyaçların karşılanmasında dışa bağımlılığın risklerini minimize etmeyi amaçlayan ilk kapsamlı yasal düzenlemelerden biridir. Yabancı kaynaklara bağımlılık ve ulusal üretim eksikliğinden yola çıkan bu düzenleme, ulusal acil durumlar ve savaş koşullarında meydana gelebilecek tedarik risklerine karşı bir önlem olarak ortaya konulmuştur (Peck 2019, s.89; IEA 2022).

Soğuk Savaş dönemi boyunca kritik hammadde stratejileri, 1970'li yıllara kadar askeri-savunma odaklı bir perspektifle sürdürülmüştür. Ancak 1973 ve 1979 yıllarında yaşanan küresel petrol krizleri, hammadde güvenliği kavramını savunma sanayi tekelinden çıkararak tüm bir sanayi üretiminin ve ekonomik sürdürülebilirliğin merkezine yerleştirmiştir. Bu dönemde 'stratejik hammadde' denildiğinde akla gelen ilk kaynak enerji sektörünün kalbi olan petrol olmuştur.

21. yüzyıla gelindiğinde ise yeni teknolojilerin yükselişi, düşük karbonlu ekonomiye geçiş, yenilenebilir enerji sistemleri, elektrikli araçlar ve benzeri yenilikler ve ileri teknolojiye dayalı dijital altyapılar kritik hammadde algısını kökten değiştirmiştir; lityum, kobalt, nadir toprak elementleri gibi spesifik minerallere olan ihtiyacı devasa boyutlara ulaştırmıştır. Öte yandan, söz konusu minerallerin kontrolüne ilişkin olarak küresel güçler arasındaki mücadelenin giderek artması neticesinde, gelişmiş ve gelişmekte olan pek çok ülke kendi 'kritik mineral listelerini' oluşturma çabası içine girmiştir.

Bu çalışmada, öncelikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avrupa Birliği (AB), Japonya, Güney Kore, Avustralya, Kanada ve Çin gibi küresel aktörlerin son dönemde yayımladığı kritik ve stratejik hammadde listeleri, bu listelerin hazırlanış amaçları ve metodolojik nitelikleri üzerinden ele alınmakta, ardından, Türkiye'nin güncel 'Kritik ve Stratejik Madenler Raporu' değerlendirilmektedir. Çalışmanın odak noktasını ise, enerjinin geleceğinde son yıllarda genellikle görmezden gelinen kömürün durumu oluşturmaktadır. Bu kapsamda, kömürün, enerji ve teknolojinin değişen dengeleri çerçevesinde, Dünya ve Türkiye için stratejik ya da kritik olarak tanımlanıp tanımlanmaması gerektiği tartışılmaktadır.

2. KÜRESEL AKTÖRLERİN KRİTİK VE STRATEJİK HAMMADDE YAKLAŞIMLARI VE KÖMÜRÜN YERİ

Madenler ya da genel olarak hammaddeler için kritiklik ve stratejilik tanımları ülkelerin endüstriyel yapılarına, kaynak yeterliliklerine ve dış politika önceliklerine göre dinamik bir biçimde şekillenmektedir. Bu bağlamda, kritik ve stratejik maden/hammadde listeleri, sadece birer envanter çalışması değil; ulusal güvenlik, enerji güvenliği ve ekonomik sürdürülebilirlik gibi stratejilerin bir yansımasıdır.

Örneğin ABD, kritik hammadde yönetimini 'süper güç' konumunu koruma ve dışa bağımlılığını asgariye indirme hedefleriyle yürütmektedir. Meseleye güvenlik ve sanayi odaklı bakmakta, bu listelerde savunma sanayii ve ileri teknoloji üretiminin ihtiyaçlarını öncelikli olarak ele almaktadır. ABD'de modern anlamda ilk 'Kritik Mineraller Listesi' 2018 yılında 35 kritik mineral olarak yayımlanmış (USGS 2018), 2022 yılında ise 50 minerali kapsayacak şekilde genişletilmiştir (USGS 2022). ABD'nin metodolojisi, 2020 Enerji Yasası uyarınca 'yakıt dışı olma', 'tedarik zinciri açısından yüksek arz riski taşıma' ve 'enerji üreten, ileten, depolayan ve koruyan teknolojiler de dâhil olmak üzere bir veya daha fazla enerji teknolojisinde temel bir işlev görme' kriterlerine dayanmaktadır. Bu çerçevede, petrol ve doğal gaz listelerin dışında tutulurken, Kasım 2025 itibarıyla ABD Enerji Bakanlığı 'metalürjik kömürü' listeye dâhil etmiştir (USDOE 2025; USGS 2025). Bu kararın gerekçeleri; metalürjik kömürün çelik üretiminde bir yakıt değil kimyasal indirgeyici bir hammadde olarak işlev görmesi, ABD enerji altyapısının vazgeçilmez bir unsuru olması ve tedarik riskinin bulunması şeklinde ortaya konmuştur. Böylece, çoğunlukla elektrik üretimi için kullanılan termal kömür (buhar kömürü) liste dışı kalmaya devam ederken, çelik üretimi için kullanılan metalürjik kömür (koklaşabilir kömür) 'kritik' bir hammadde olarak tescillenmiştir.

Doğal kaynaklar açısından dışa bağımlı olan AB, hammadde stratejilerini enerji dönüşümü / Yeşil Mutabakat ve dijitalleşme hedefleri üzerine kurgulamıştır. AB, metodolojik olarak 'ekonomik önem' ve 'arz riski' eşik değerlerini kullanmakta olup, listelerini her üç yılda bir güncellemektedir. İlk resmi listesini 2011'de 14 hammadde olarak yayımlayan AB, son güncellemeyi 2023 yılında 34 hammadde olarak yapmıştır (EC 2023). AB listelerinde, mevcut ekonomi için elzem olanlar 'kritik', geleceğin teknolojileri için kritik olanlar ise 'stratejik' olarak ayrıştırılmıştır. Stratejik hammaddeler, yeşil ve dijital dönüşüm ikilisini ve savunma / havacılık hedeflerini destekleyen teknolojiler için önemli olan hammaddelerdir (EC 2023). AB, metalürjik/koklaşabilir kömürü kritik bir hammadde olarak kabul etmekle birlikte, stratejik kategorisine dâhil etmemektedir. Bunun temel nedeni, stratejik sınıflandırmanın geleceğin teknolojileri ve yeşil dönüşüm hedeflerine odaklanmış olmasıdır. Karbonsuzlaşma hedefleri doğrultusunda termal kömür ise hiçbir listede yer almamaktadır, çünkü AB için stratejik hedef zaten bu kömürden tamamen çıkmaktır.

Japonya ve Güney Kore, kritik maden politikalarını dışa bağımlılığın azaltılması ve sanayinin girdi hassasiyeti üzerine inşa etmiştir. Listelerin oluşumunda, yüksek teknoloji ürünleri ve elektronik imalatını öncelikle ele almaktadır. Japonya, 1980'lerden bu yana sürdürdüğü stratejik stoklama kültürünü 2022'de 'Ekonomik Güvenlik Teşvik Yasası' kapsamındaki 'Kritik Malzemelerin Tedarik Zincirinin Güçlendirilmesi' politikası ile tahkim etmiştir (Kim 2025). 2024 yılının sonu itibarıyla Japonya hükümeti tarafından belirlenen ve aralarında yarı iletkenler, ileri teknolojili elektronik bileşenler, gemi ve uçak parçalarının da bulunduğu 12 kritik malzeme grubu için Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (METI) tarafından oluşturulan 'Kritik Mineral Listesi' 30 civarında minerallerden oluşmaktadır. Güney Kore ise 2023 stratejisiyle 33 madeni kritik, bunlardan 10'unu 'Stratejik Kritik Mineral' olarak tanımlamıştır (Kim 2025).

Japonya'da kritik mineral listelerinde kömür bulunmamaktadır. 'Stratejik Enerji Kaynağı' kategorisinde değerlendirilen kömür, deniz aşırı maden yatırımları ve uzun vadeli alım sözleşmeleriyle güvence altına alınmaktadır. Güney Kore'de ise kömür kritik listelerde bulunmasa da çelik endüstrisi ve enerji güvenliği kapsamında özel stok yönetimine tabi bir emtia statüsündedir.

Doğal kaynak zengini olan Avustralya ve Kanada, kritik hammadde listelerini, ‘ticaret fırsatlarını değerlendirmek’ ve ‘güvenilir tedarikçi şöretlerini korumak’ hedefleriyle hazırlamaktadır. Her iki ülke de küresel talep projeksiyonlarını ve – başta ABD ile AB olmak üzere – müttefiklerinin ihtiyaçlarını dikkate alan listeler yayımlamaktadır. Avustralya’nın ilk listesi 2019 yılında 24 mineral olarak çıkmış, 31 mineralden oluşan son liste 2024 tarihinde yayımlanmıştır (DISR 2024). Kanada ise ilk listesini 2021 yılında 31 mineral olarak yayımlamış, son güncellemeyi 2024 yılında 34 mineral olarak yapmıştır (Natural Resources Canada 2024). Her iki ülke de kömürü ‘kritik mineral’ listelerine dâhil etmemiştir. Avustralya, kömürü ulusal ekonominin en büyük ihraç kalemi olarak ayrı bir stratejik çerçevede yönetirken; Kanada, ‘Yeşil Çelik’ vizyonu doğrultusunda kömürü dışlamış ama bunun yerine hidrojen bazlı üretimde kullanılan yüksek saflıkta demir cevherini önceliklendirmiştir.

Çin’in yaklaşımı, yukarıda sayılan ülkelerin ‘arz riski’ odaklı savunma mekanizmalarından temelde ayrılmaktadır. Çin, stratejik hammadde yönetimiyle, madenler üzerindeki pazar egemenliğini pekiştirmeyi hedeflemekte, küresel tedarik zincirlerini kontrole odaklanmaktadır. İlk defa 2001 tarihli 10. Beş Yıllık Plan içinde stratejik mineralleri tanımlamaya başlamış, 2016’da ‘Mineral Kaynaklar için Ulusal Plan (2016-3020)’ çalışmasında 24 minerali stratejik olarak tanımlamıştır (IEA 2016). Çin, ihracat kısıtlama listeleriyle kritik mineralleri kontrol altında tutmaya çalışmaktadır. Hangi minerallerin ihracatının kısıtlanacağını belirleyen listeyi en son 2023 yılında güncellemiştir. Çin’in elektrik üretiminin yaklaşık %60’ı halen kömüre dayalıdır ve kömür madenciliği doğrudan enerji güvenliğinin ‘temel taşı’ olarak kabul edilir. Çin Doğal Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Ulusal Plan’da belirlenen stratejik madenler listesinde kömür, ‘Enerji Madenleri’ kategorisinin başında yer alır.

3. TÜRKİYE KRİTİK VE STRATEJİK MADENLER RAPORU VE KÖMÜRÜN YERİ

Türkiye’de madenlerin stratejik bir bakış açısıyla sınıflandırılmasına yönelik ilk girişimler 1970’li yıllara, Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı’na (1973-1977) kadar uzanmaktadır (DPT 1973). Bu planda, stratejik madenlerin belirlenmesi, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın (ETKB) görüşü ve Devlet Planlama Teşkilâtı’nın (DPT) teklifi üzerine en üst düzeyde Bakanlar Kurulu kararına bağlanmıştır.

Modern anlamda ‘kritik hammadde’ kavramının plan metinlerine girişi ise 2013 tarihli Onuncu Kalkınma Planı ile olmuştur (Kalkınma Bakanlığı 2013). Bu plana göre; *“Türkiye ekonomisi için temel ve kritik olan hammaddelerin güvenli teminine yönelik strateji oluşturulacak; kritik hammadde, maden ve minerallerin ülke dışına çıkarılmasında düzeni sağlayacak bir sistem kurulacak; ülkeler ve ülke grupları tarafından belirlenen kritik hammaddeler listesiyle ilgili olarak, başta Nadir Toprak Elementleri olmak üzere, Türkiye’de yer alan hammaddelerin aranması ve üretilmesine yönelik arama programı başlatılacaktır”*. Ardından ETKB’nin 2014 tarihli Strateji Planı’nda *“Kritik hammaddelerin aranmasını ve değerlendirilmesini teminen, öncelikle ülkemiz için kritik hammaddeler belirlenecektir,”* denilerek bu görev Maden İşleri Genel Müdürlüğü’nün (MİGEM, şimdi Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, MAPEG) koordinatörlüğünde MİGEM, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), ETİ Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (ETİ MADEN) ve Bor Araştırma Enstitüsü’ne (BOREN) verilmiş ve çalışmanın 2015 yılı sonuna kadar tamamlanması planlanmıştır (ETKB 2014). Ancak bu hedef, On Birinci (SBB 2019) ve On İkinci (SBB 2023) Kalkınma Planlarında da yinelenmesine rağmen, somut bir listenin kamuoyuyla paylaşılması on iki yıllık gecikme ile ancak 2025 yılında mümkün olabilmektedir. ETKB tarafından yayımlanan ‘Türkiye Kritik ve

Stratejik Madenler Raporu' (ETKB 2025), Türkiye'nin bu alandaki ilk derli toplu belgesi olması açısından kıymetli olsa da metodoloji ve içerik açısından önemli eksiklikler barındırmaktadır:

a) Vizyon ve Hedef Eksikliği: Raporun önsözünde isabetli bir şekilde; *“Her ülke, sahip olduğu kaynakları ve ihtiyaçları analiz ederek kendisi için kritik ve stratejik madenleri belirlemektedir. Burada; milli güvenlik, ekonomik büyüme, teknolojik gelişme ve sürdürülebilir kalkınma gibi çeşitli kriterlere bakılmaktadır. Ayrıca, ülkelerin endüstriyel yapısı, teknolojik altyapısı ve ticaret politikaları da stratejik ve madenlerin belirlenmesinde etkili olmaktadır,”* ifadelerine yer verilmekle birlikte, metnin bütününde bu ifadelerin karşılığı olabilecek bir analiz bulunmamaktadır. Bu haliyle, rapor, mevcut durumu tanımlayan bir yaklaşımla sınırlı kalmakta, ancak ülkeyi geleceğe taşıyacak teknolojik dönüşüm, yerleşme, yeşil enerji benzeri hedeflerle mantıksal bağlantıları kuramamaktadır.

Raporda; kritik madenler *“arz kesintisi veya yüksek fiyat artışı halinde ciddi ekonomik sorunların veya tedarik güvenlik zafiyetinin doğabileceği, sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan madenler”* şeklinde, stratejik madenler ise *“ulusal güvenlik ve ekonomik refah için temel öneme sahip olan ve iç veya dış etkenler nedeniyle arzı kısıtlanabilir madenler”* olarak tanımlanmakta, dolayısıyla kritik madenler 'arz riski ve ekonomik zafiyet' üzerinden; stratejik madenler ise 'ulusal güvenlik ve refah' temelinde ayrıştırılmaktadır. Ancak bu tanımlamalar, statik birer durum tespitinden öteye geçmemektedir. Nitekim belgede; tanımlanan kritik ve stratejik madenlerle Türkiye'nin sahip olduğu maden kaynaklarından azami katma değer sağlanması, yerli üretimin artırılarak dışa bağımlılığın azaltılması ya da ileri teknoloji üretimi, dijitalleşme gibi amaç ve hedeflerle somut bir ilişki bulunmamaktadır. Daha da önemlisi, günümüzdeki küresel maden jeopolitiğinin asıl itici güçleri olan 'enerji dönüşümü', 'temiz enerjiye geçiş' ya da 'dekarbonizasyon' gibi stratejik hedeflerin raporda yer bulmamış olması, hazırlanan listenin geleceğin teknolojik ihtiyaçlarını karşılamaktan ziyade, ülkenin mevcut kalkınma modelini korumaya yönelik olduğu izlenimini uyandırmaktadır.

b) Kapsam ve Veri Sorunu: Raporda; *“öncelikle küresel olarak önem arz eden madenlerin aday maden olarak belirlenmiş”* olması (ETKB 2025, s.7), Türkiye için önemli olabilecek ama küresel olarak önem taşımayan madenler varsa onların bu aday listesine alınmamış olabileceğini aklı getirmektedir. Ayrıca, raporda; *“aday madenlerin belirlenmesinden sonra ilk etapta ülkemiz için temel madenler arasında 37 maden için kritiklik puan hesaplamaları yapıldığı,”* belirtilmekte (ETKB 2025, s.8), ancak ülkemiz için 'temel madenler'in hangileri olduğu ve nasıl seçildikleri bilgisine yer verilmemektedir. Öte yandan, raporda 63 aday maden belirlenmiş olmakla birlikte, sadece 37'si için tam puanlama yapılabilmektedir (ETKB 2025, s.7). Bazı madenlerin sadece 'veriye erişilemediği' gerekçesiyle kapsam dışı bırakılması, ulusal bir strateji belgesi için ciddi bir eksikliklerdir. Yine, stratejik olarak belirlenen 26 madenin içinde kritik olarak değerlendirilmeyen 16 maden bulunmaktadır ve bunların bir kısmı Türkiye'de üretilmeyen ve yurt dışından tedarikine dair önemli riskleri barındıran madenlerdir. Bu husus raporda dile getirilmekle birlikte (ETKB 2025, s.21-22), söz konusu madenlerin kritik listede yer almamış olmaları dikkate değer bir eksikliklerdir.

c) Yöntem Sorunu: Raporun metodolojik altyapısının dışarıdan ithal edildiği, ayrıca minerallerin tespitinde büyük ölçüde matematiksel formülasyonlar kullanılırken niteliksel değerlendirmelerin rapora dâhil edilmediği anlaşılmaktadır. Ancak, teknolojik altyapısı ya da kaynak potansiyeli Türkiye'den tamamen farklı bir başka ülkenin yöntemini doğrudan benimsemek, yerel dinamiklerin rapora tam olarak yansımalarını engelleyecektir. Kullanılan yöntemlerin Batılı ülkelerle benzer

olmasının bir gereği yoktur; her ülke, yöntemini kendi özgün ihtiyaçlarından hareket ederek belirlemektedir. Japonya veya AB gibi farklı kaynak yapılarına sahip ülkelerin yöntemleri yerine, Türkiye'nin jeolojik potansiyelini ve sanayi önceliklerini merkeze alan yerli bir değerlendirme sistemi geliştirilmelidir. Diğer taraftan, belirlenen minerallerin tamamen sayısal hesaplamalara dayandırılırken, uzman kişi ya da - kamu dışındaki - kuruluşların değerlendirmelerinin alınmamış olması da çalışma için kayda değer diğer bir eksikliğe işaret etmektedir. Sektörel sivil toplum kuruluşları ve akademiyle daha şeffaf bir istişare sürecinin yürütülmemiş olması raporun kapsayıcılığını zayıflatmaktadır.

Raporda, kömür, toplam 63 adaydan biri olarak değerlendirmeye alınmış, nihayetinde 'Önemli Kritik Madenler Listesi'nde yer verilmiş, "Stratejik Madenler Listesi"ne ise alınmamıştır. Kritik maden olarak belirlenen kömür, buhar ya da metalürjik kömür şeklinde nitelenmemektedir. Buradan, her tür kömürün aday listeye alındığı sonucu çıkmaktadır. Bu durum, raporun, yerli linyit kaynaklarından ithal taşkömürüne kadar tüm segmentleri 'kritik' olarak gördüğü anlamına gelmektedir. Diğer taraftan, Türkiye'nin elektrik üretiminin yaklaşık %35'ini ve sanayi enerjisinin önemli bir kısmını sağlayan kömürün, raporun kendi tanımlamalarından hareketle, "*sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan maden*" kapsamına alınırken "*ulusal güvenlik ve ekonomik refah için temel öneme sahip*" görülmemesi raporun metodolojisindeki çelişkiye de işaret etmektedir. Nihayetinde, sadece metalürjik kömür değil ama kömürün her türlü artık 'tasfiye edilecek bir yakıt' olarak değil, 'kritik bir maden' olarak tescil edilmiş olmaktadır.

4. KÖMÜR TÜRKİYE İÇİN KRİTİK YA DA STRATEJİK BİR MADEN MIDIR?

Son yıllarda, Birleşmiş Milletler başta olmak üzere pek çok resmi ya da sivil kuruluş tarafından tehlike çanları çalındı; iklim krizinin her geçen gün derinleştiği, önlem alınmazsa kısa sürede insanlık için geri dönüşü olmayan bir yola girilmiş olacağına dair sayısız bilimsel yayın ortaya konuldu. Bugün artık küresel ısınmanın temel nedeninin fosil yakıt tüketimleri olduğu bilimsel bir gerçek olarak karşımızda durmaktadır. Dolayısıyla, bu sorun uzun yıllardır aynı zamanda küresel enerji denkleminin de ayrılmaz bir parçası olmuştur. Sorunun çözümü, insanın fosil yakıtları hızla terk ederek daha temiz enerji kaynaklarına yönelmesiyle, bu anlamda bir enerji dönüşümü süreciyle mümkün olabilecektir.

Bununla birlikte, fosil yakıt tüketimlerinin mevcut durumuna ve gelişim çizgilerine bakıldığında, dönüşümün yakın dönemde önemli ölçülerde gerçekleşebileceğine dair iyimser olabilmek çok da kolay değildir. Son 25 yılda birincil enerjideki tüketim artışı toplam %59 seviyesindeyken petrolde %30, kömürde %73 ve doğal gazda %79 düzeyinde artışlar söz konusudur. Dünya enerji tüketiminde fosil yakıtların payı 2024 yılı itibarıyla %33,6 petrol, %27,9 kömür ve %25,1 doğal gaz olmak üzere toplamda %86,6 düzeyindedir ve yüzyılın başına göre sadece 2,5 puanlık bir gerileme söz konusudur (EI 2025). Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında önemli ilerlemeler kaydedilmesine karşın, fosil yakıtlar küresel enerji tüketiminde başat rol oynamaya devam etmektedir. Kömür ise en azından 150 yıl boyunca en temel enerji kaynaklarından biri olma özelliğini korumuştur (Laherrere 2005; IEA 2007-2025; IEA 2005-2019; EI 2025). Bu süreçte pek çok yeni enerji kaynağının ortaya çıkmasına ve son yıllarda çevresel etkileri nedeniyle yoğun bir şekilde tartışılmasına rağmen, dünya kömür kullanımından vazgeçememektedir.

Geçtiğimiz yüzyılın sonlarına doğru artık sonunun geldiği düşünülen kömür, yeni yüzyıla birlikte yeni bir canlanma dönemi yaşamış, küresel kömür tüketimi rekor seviyelere çıkmıştır. Dünya toplam kömür üretimi 1999 yılından itibaren 15 yıl boyunca kesintisiz artarak 4,7 milyar ton seviyesinden 2013 yılında 8,2 milyar tona kadar yükselmiş, 2013 yılındaki zirve noktasından sonra hızını kaybetse de o tarihten 2021 yılına kadar yıllık 7,5 milyar ton ile 8,2 milyar ton arasındaki bir aralıkta dalgalanmıştır. 2022 yılından itibaren tekrar yükselişe geçen kömür üretimi 2024 yılında 9,2 milyar tonu da aşarak rekor kırmıştır. Yüzyılın başından bugüne kadar olan 25 yıllık dönemde kömür üretim artışı iki katına yakındır (EI 2025). Yine, yüzyılın başından itibaren kömürün dünya birincil enerji talebini karşılama oranı ortalama %29 düzeyinde seyretmiş, küresel elektrik üretiminde kullanım payı ise ortalama %38 olmuştur (EI, 2025).

Aralarında Türkiye'nin de olduğu pek çok ülke için kömürden vazgeçmenin aynı zamanda enerji güvenliğinden ve giderek milli güvenlikten vazgeçmekle eşdeğer olduğu, kömürün hâlâ yoksulluktan kurtuluş ya da toplumsal refah anlamına geldiği açıktır. Diğer taraftan, başta Çin, Hindistan ve Rusya olmak üzere dünyada çok sayıda ülkede milyonlarca insan geçimlerini kömür üretimi, iletimi ya da dağıtımından sağlamaktadır. Bu nedenle, bu ülkeler için kömürden çıkış süreçleri, aynı zamanda ciddi ekonomik ve toplumsal sorunlarla karşılaşmak demektir (Tamzok 2021). Neticede, petrol ve doğal gaz gibi kömür de dünyadaki pek çok ülke için stratejik ve kritik hammaddedir.

Türkiye'deki fosil yakıt tüketimi de dünya ortalamasına yakın seyretmektedir. Ülkemiz birincil enerji tüketiminde fosil yakıtların payı 2024 yılı itibarıyla %33,7 petrol, %26,1 doğal gaz, %25,6 kömür olmak üzere toplam %85,4 düzeyinde olmuştur. Kömür tüketimi ise özellikle son 10 yılda hızla artarak 2015'deki 93,1 milyon tondan 2022 yılında 130,4 milyon tona kadar yükselmiştir. 2024 yılı itibarıyla kömür tüketimi 123 milyon ton seviyesindedir. Türkiye, 2024 yılında dünyada en fazla kömür tüketen onuncu ülke konumundadır (EI 2025).

Kömürün ülkemiz enerji ihtiyacını karşılamadaki payı son 25 yıldır %25-30 aralığında seyretmekte olup, dönem ortalaması %27 olarak gerçekleşmiştir. 2024 yılında ise %25,6 düzeyindedir (ETKB-EİGM 1970-2024). Türkiye'de kömür tüketiminin sektörel dağılımında en büyük pay 1970'lerin sonlarından itibaren her zaman elektrik üretiminin olmuştur. 2024 yılında ülkemizdeki kömür arzının – miktar bazında - %82,7'si elektrik ve ısı üretiminde, %8,1'i – başta çimento ve ana metal sanayi olmak üzere – sanayi sektörlerinde, %4,2'si kok fırınlarında ve %5'i ise ısınma amaçlı olarak tüketilmiştir. Diğer taraftan, elektrik ve ısı üretiminde tüketilen toplam enerjinin 34,8'i kömürden karşılanmaktadır. Bu oran, ana metal sanayiinde %11,2, çimento sanayiinde %28,4, ve ısınmada %6,4 şeklindedir (ETKB-EİGM 1970-2024). Kok fırınlarının ihtiyacı olan enerjinin ise neredeyse tamamı kömürden gelmektedir. Kömürün denklemden çıkarılması halinde, ülkemiz elektrik ve ısı üretimi yanında sanayisinin de önemli bir bölümünün ciddi şekilde etkilenmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla, Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nun tanımlamalarından hareket edildiğinde; kömürün, ulusal güvenlik ve ekonomik refah için temel öneme sahip olduğu ve bu nedenle Türkiye için stratejik bir hammadde olduğu açıktır.

Kömürün kritiklik boyutu ise özellikle yerli üretimdeki gerileme ve ithalat bağımlılığı üzerinden okunabilir. Ülkemiz kömür tüketiminin önemli bir kısmı ithalat suretiyle karşılanmakta olup, yerli kömürün payı her geçen yıl gerilemektedir. Türkiye'nin enerji tüketiminde yerli kömürün payı 2000 yılındaki %17,3 seviyesinden 2024 itibarıyla %10,3 seviyesine kadar düşerken, aynı dönemde ithal kömürün payı %11,1'den %14,9'a yükselmiştir. Elektrik ve ısı üretimindeki tablo daha da

olumsuzdur: Burada yerli kömürün payı aynı dönemde %30,1'den %13,4'e gerilerken, ithal kömürün payı %0,5'den %21,3'e kadar yükselmiştir (ETKB-EİGM 1970-2024).

Netice olarak, mevcut üretim düzeyi ile devam edilmesi halinde, yerli kömürün ülkemiz enerji talebini karşılamadaki payının her yıl biraz daha geriye düşeceği açıktır. Bununla birlikte, yerli kömür arzının artırılabilmesi noktasında önemli darboğazlar bulunmaktadır. Bunların en başında ise ülkemiz kömür rezervlerinin işletme zorlukları gelmektedir. Kömür aramaları son yıllarda teşvik edilmiş, Türkiye'nin arama bütçesi içindeki en büyük pay linyitlere ayrılmış ve önemli bir kaynak artışı sağlanmıştır. Bununla birlikte, söz konusu kaynak miktarı, gerçekte Türkiye'nin brüt kömür varlığıdır. Bu miktar, önemli ölçüde kanıtlanmış ve üretilebilir rezervi de içermekle beraber, tamamı bu nitelikte değildir ve geliştirilen bu yeni kaynağın yatırıma dönüştürülmesi noktasında bugüne kadar belirgin bir ilerleme de sağlanamamıştır (Tamzok 2021). Rezervin önemli bir bölümü, ekonomik olarak işletilemeyecek kadar derindedir. Bir kısım kaynağın üzerinde yerleşim yerleri ya da alt yapı tesisleri bulunduğundan işletilebilmesi son derece zordur. Üstelik, yerelde ciddi çevresel sınırlamalar söz konusudur. Diğer taraftan, Türkiye'nin kömür kaynaklarının %90'ından fazlası düşük kaliteli linyitlerden oluşmakta olup, bu linyitlerin yaklaşık %60'ının alt ısıl değeri 2.000 kcal/kg'ın altındadır (Tamzok 2021). Bu unsur, kömür üretim maliyetlerinin artmasında önemli bir faktördür. Soma ve Tunçbilek gibi kalitesi nispeten daha iyi olan kömür havzalarındaki rezervler tükendikçe, madencilik faaliyetlerinin daha derinlerde ve daha zor şartlarda yapılması gerekmekte, dolayısıyla üretim maliyetleri artmaktadır.

Kömür üretimini artırma noktasında bir diğer risk ise yatırımların finansmanına ilişkindir. 70'li yıllardaki kömür yatırımları kamu tarafından finanse edilebilmiştir. Ancak bugün, kamunun bu alanda yatırım yapmasına imkân tanınmamakta ve yatırımların özel sektör tarafından gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Ancak, özel sermaye, içerdiği büyük ölçekli riskler nedeniyle yerli kömüre yatırım yapma konusunda son derece çekingen davranmakta, yeni yatırım gerektiren projelere sermaye koyma noktasında uzak durmaktadır. Mevcut işletmelerin özelleştirilmesi ya da rodövans yöntemiyle kamu adına kömür üretimi söz konusu olduğunda çok daha atak olan yerli sermaye, iş yeni yatırım gerektiren projelere sermaye koymaya geldiğinde, kömür madenciliğinin risklerini göze almaya yanaşmamaktadır (Tamzok 2016). Yabancı sermaye ise bu alana neredeyse hiç girmemektedir. Dünya Bankası, Avrupa Yatırım Bankası ya da Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası gibi pek çok kuruluş, istisnai durumlar dışında kömür yakıtlı enerji santral yatırımlarına finansman sağlamayacaklarını duyurmuşlardır. Özel bankaların da bunları izlemesiyle kömür projelerinin finansman maliyetleri çok daha yüksek seviyelere gelmiş durumdadır. Dolayısıyla, Türkiye, yerli kömüre dayalı yatırımlarına finansman bulabilme konusunda uzun zamandır zorlanmaktadır (Tamzok 2016). Öte yandan, dünyada uygulanmakta olan karbon fiyatlandırma mekanizmalarının sayısı son on yılda iki kattan fazla artış göstermiştir. Ayrıca, sınırda karbon vergisi benzeri uygulamaların yaygınlaşmasıyla kömür yatırımlarının finansmanı bakımından daha ciddi zorluklar ortaya çıkacaktır.

Diğer taraftan, kömürün yurt dışından tedariki noktasında da ciddi riskler bulunmaktadır. 1980'li yıllardan önce oldukça düşük miktarlarda başlayan Türkiye'nin kömür ithalatı, 1990'lı yılların sonlarında 10 milyon tonun ve 2000'li yılların ortalarında ise 20 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Son 2 yıldır 40 milyon tonun üzerinde seyreden ithalat, 2024 yılı itibarıyla 40,7 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (ETKB-EİGM 1970-2024). Bununla birlikte, küresel kömür üretiminde son yirmi beş yılda yaşanan hızlı artış, aynı zamanda ekonomik olarak işletilebilir kömür rezervlerinde de hızlı bir

düşüşe neden olmuştur. Yakın geçmişe kadar bol, ucuz ve güvenilir bir enerji kaynağı olarak nitelendirilen kömürün, hızlı tüketim döneminin ardından bu özelliklerini önemli ölçüde kaybetmiş olması önümüzdeki yıllarda kömür arzının bugün olduğundan çok daha maliyetli olacağına işaret etmektedir.

Diğer taraftan, dünya kömür rezerv ve üretimleri az sayıda ülkenin kontrolünde bulunmaktadır. Rezervlerin %91'i ve üretimlerin ise %93'ü sadece 10 ülkededir (EI 2025). Aynı şekilde, 2024 yılı itibarıyla küresel kömür ihracatının %92,5'i sadece 7 ülke tarafından yapılmıştır (IEA 2024). Neticede, kömürde gerek rezerv ve üretim gerekse ticaret noktasında yüksek oranda bir yoğunlaşma, dolayısıyla tedarik riski söz konusudur. Üstelik 2024 yılı itibarıyla ülkemiz kömür ithalatının %61'i Rusya Federasyonu'ndan, %21'i ise Kolombiya'dan yapılmıştır (TÜİK 2025). İthalatın %82'sinin sadece 2 ülkeye bağlanmış olması, tedarik riskini daha da artırmaktadır.

Neticede, yine Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nun tanımlamalarından hareket edersek; kömürün *“arz kesintisi veya yüksek fiyat artışı halinde ciddi ekonomik sorunların veya tedarik güvenlik zafiyetinin doğabileceği, sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan maden”* olması nedeniyle 'kritik' sınıflamasına girmesi doğaldır. Nitekim bu husus, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 2024-2028 Stratejik Planı'nda da *“Yerli kömür kaynaklarına sanayi ve elektrik üretiminde ihtiyaç duyulduğu”* saptaması ile yer almış ve *“ithal kömür maliyetlerinin artması ve doğal gazda büyük ölçüde dışa bağımlı olunması sebebiyle yerli kömür üretiminin artırılması gerekliliği”* ifade edilmiştir (ETKB 2024).

5. SONUÇ

Stratejik ve kritik madenlerin tespiti, yalnızca bugün için bir ihtiyaç analizi olarak değil; ülkenin gelecekteki amaç ve hedefleri de dikkate alınarak yapılır. Özellikle sanayi ve teknoloji alanında gidilmek istenen yön bu belirlemede önemlidir. Ülkeler, sanayi ve teknoloji politikalarını, bu alanları besleyecek hammadde stratejileriyle eş güdümlü olarak kurgular. Stratejik ve kritik madenlerin belirlenmesi, ekonomide, sanayide, enerjide ya da teknolojide gidilecek yöne ilişkin ipuçlarını vermesi bakımından önemlidir. Ekonomik sektörler, yatırımcılar, akademik dünya, Ar-Ge kuruluşları bu ipuçlarından hareketle kendilerini yapılandırır, planlamalarını yaparlar. Bugün ya da gelecekte ülke için kritik ya da stratejik görülmeyen bir madenin aranmasına ya da üretimine gereksiz kaynak harcanmaz, o madene dayalı sanayi yatırımlarına girilmez, üniversitelerde ya da araştırma kurumlarında ülkenin geleceğinde yeri olmayan madenler için boşa zaman harcanmaz. Dolayısıyla bu listeler, ulusal kaynakların en doğru alanlara kanalize edilmesini sağlayan birer pusula görevi görecektir.

Stratejik ve kritik minerallerin evrensel düzeyde kabul görmüş tek bir tanımı ya da bu minerallerin belirlenmesinde uluslararası standartlara bağlanmış bir kural seti bulunmamaktadır. Her ülke, kendi özgün amaç ve hedefleri doğrultusunda kendi tanımını ve metodolojisini geliştirerek hammadde listelerini oluşturur. Çeşitli ülkelerin listeleri incelendiğinde, iki temel eğilim öne çıkmaktadır: Bunlardan ilki, AB ve ABD'de belirgin olan 'arz riski' ve 'enerji dönüşümü' odaklıdır. Bu yaklaşımda temel kriter, hammaddelerin 'yakıt dışı' kullanımına dayanmaktadır. Bu ülkelerde, temel strateji fosil yakıtlardan kurtulup daha temiz enerjilere geçmek olduğundan listelere fosil yakıtları da dâhil etmek başlı başına bir çelişki olacaktır. Bu nedenle, yakıt olarak kullanılan termal kömür listelerin dışında tutulurken, çelik üretiminde 'yakıt dışı' amaçlı tüketilen metalürjik kömür 'stratejik' kabul edilmektedir. İkinci eğilimde ise, Çin örneğinde olduğu gibi, enerji arz güvenliği, enerji

dönüşümü sürecinden daha öncelikli görülmekte, yakıt amaçlı tüketilen kömür, ekonominin 'temel taşlarından biri' olma sıfatıyla kritik ve stratejik hammadde listelerinde merkezi bir konuma yerleştirilmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu incelendiğinde, Türkiye'nin ikinci eğilime yakın bir duruşu tercih ettiği ve bu nedenle kömürü "Önemli Kritik Maden" olarak nitelediği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, kömürün kritik olarak değerlendirilirken stratejik listede yer almaması, raporun kavramsal çerçevesi içerisinde dikkate değer bir çelişkiyi teşkil etmektedir.

Sonuç olarak kömür; tüm çevresel olumsuzluklarına karşın Türkiye için öncelikli enerji kaynaklarından biri olma vasfını sürdürmektedir. Enerji arz güvenliği sorununun stratejik boyutları göz önüne alındığında, yerli kömür arama ve üretim faaliyetlerinin sürdürülmesi ülke menfaatleri açısından öncelikli görülmüştür. Bununla birlikte, küresel ölçekte yenilenebilir enerji ve depolama teknolojilerinin kat ettiği mesafe ile çevresel regülasyonların yarattığı yatırım zorlukları göz ardı edilmemelidir. Bu dinamikler, kömür rezervlerinin ekonomik olarak değerlendirilme şansının zamanla azalabileceğine ve kömürün stratejik öncelikler sıralamasında gerileyebileceğine işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- Department of Industry, Science and Resources of Australia [DISR], 2024. Australia's Critical Minerals List and Strategic Materials List, Şubat 2024, <https://www.industry.gov.au/publications/australias-critical-minerals-list-and-strategic-materials-list>
- Devlet Planlama Teşkilatı [DPT], 1973. Yeni Strateji ve Kalkınma Planı, Üçüncü Beş Yıl, 1973-1977, (Yayın no. DPT: 1272, 1973).
- Energy Institute [EI], 2025. Statistical Review of World Energy 2025.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü [ETKB-EİGM], 1970-2024. Ulusal Enerji Denge Tabloları (1970-2024 yıllarını kapsayan tüm seri).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2014. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2024. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2024-2028 Stratejik Planı.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanlığı [ETKB], 2025. Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu.
- European Commission [EC], 2023. Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report.
- International Energy Agency [IEA], 2005-2019. Coal information reports (2005-2019 yıllarını kapsayan tüm seri). IEA Publications.
- International Energy Agency [IEA], 2007-2025. World energy outlook reports (2007-2025 yıllarını kapsayan tüm seri). IEA Publications.
- International Energy Agency [IEA], 2016. National plan for mineral resources 2016-2020. <https://www.iea.org/policies/15519-national-plan-for-mineral-resources-2016-2020>
- International Energy Agency [IEA], 2022. Strategic and Critical Materials Stock Piling Act. Erişim: 11 Ocak 2026, <https://www.iea.org/policies/15534-strategic-and-critical-materials-stock-piling-act>
- International Energy Agency [IEA], 2024. Coal 2024 - Analysis and forecast to 2027.

- Kalkınma Bakanlığı, 2013. Onuncu Kalkınma Planı, 2014-2018 (Ankara, Temmuz 2013).
- Kim, G. P., 2025. Japan's Critical Minerals Policy and its Implications for South Korea, *World Economy Brief*, vol. 15, no. 5, 7 Feb. 2025, pp. 1-11.
- Laherrère, J., 2005. "Peak oil and other peaks", Presentation at the CERN meeting.
- Natural Resources Canada, 2024. Government of Canada releases updated critical minerals list. Government of Canada. <https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2024/06/government-of-canada-releases-updated-critical-minerals-list.html>
- Peck, D., 2019. A historical perspective of critical materials, 1939 to 2006, In S. E. Offerman (Ed.), *Critical materials: Underlying causes and sustainable mitigation strategies* (pp. 85–101). World Scientific Publishing.
- Tamzok, N., 2016. "Yerli kömürler Türkiye için kurtarıcı olur mu?", *EnerjiPolitik*, <https://enerjipolitik.com/2016/02/18/yerli-komurler-turkiye-icin-kurtarici-olur-mu-3/>
- Tamzok, N., 2021. "Dünya'da ve Türkiye'de Kömür Politikaları", *Kömür ve Enerji Çalıştayı*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 20 Şubat 2021.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı [SBB], 2019. On Birinci Kalkınma Planı, 2019-2023 (Ankara, Temmuz 2019).
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı [SBB], 2023. On İkinci Kalkınma Planı, 2024-2028 (Ankara, 2023).
- Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK], 2025. Dış Ticaret İstatistikleri. TÜİK İstatistik Veri Portalı, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Dis-Ticaret-104>
- U.S. Department of Energy [USDOE], 2025. The Intrinsic Role of Coal in Achieving Steel Dominance.
- U.S. Geological Survey [USGS], 2018. Interior Releases 2018's Final List of 35 Minerals Deemed Critical to U.S. National Security and the Economy, 18 Mayıs 2018, <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/interior-releases-2018s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us>
- U.S. Geological Survey [USGS], 2022. U.S. Geological Survey Releases 2022 List of Critical Minerals, 22 Şubat 2022, <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>
- U.S. Geological Survey [USGS], 2025. About the 2025 List of Critical Minerals, 6 Kasım 2025, <https://www.usgs.gov/programs/mineral-resources-program/science/about-2025-list-critical-minerals>

Çalıştay Programı

09.00 - 10.00 Kayıt		
10.00-10.30	Açılış Konuşmaları Prof. Dr. A. Ekrem Yüce, KSM Çalıştay Yürütme Kurulu Başkanı Prof. Dr. Mustafa Kumral, İTÜ Maden Fakültesi Dekanı Mesut Erkan, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şube Başkanı Ayhan Yüksel, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Başkanı	
1.Oturum: Prof. Dr. A. Ekrem Yüce - Moderatör		
10.30-10.55		Kritik Stratejik Madenler 2025 Raporu'nun Değerlendirmesi Lemana Çetiner Jeoloji Mühendisi Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanı
10.55-11.20		Maden Mevzuatı Açısından Kritik ve Stratejik Madenler Dr. Behzat Gökçen DEMİR Jeoloji Mühendisi MAPEG-Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü İç Denetim Birimi Başkanı
11.20-11.45		Demir, Titanyum, Manganez, Nikel, Grafit, Antimon: Kritik / Stratejik Açısından Değerlendirilmesi Sait Uysal Maden Mühendisi, Pazarlama Direktörü, Sierra Rutile Ltd.
11.45-12.15		Makroekonomi – Kritik Mineral Hammaddeler – Dış Ticaret Türkiye Dış Ticaret Verileri Prof. Dr. Caner Zanbak Maden Mühendisi, Çevre Koordinatörü, Türkiye Madenciler Derneği
12.15-13.15 Öğle Yemeği		
2.Oturum: Prof. Dr. Fırat Burat - Moderatör		
13.15-13.40		NTE'ler, Toryum: Kritik / Stratejik Açısından Değerlendirilmesi Prof. Dr. Gülhan Özbayoğlu Maden Mühendisi, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü (Emekli)

13.40-14.05		Türkiye Bor Kaynakları ve Bor Atıklarındaki Lityum' un Kritik / Stratejik Açidan Değerlendirilmesi Prof. Dr. Şafak G. Özkan Maden Mühendisi Türk-Alman Üniversitesi
14.05-14.30		Bakır, Kobalt Kritik / Stratejik Açidan Değerlendirilmesi Prof. Dr. Mehmet Canbazoglu Maden Mühendisi, Danışman Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü (Emekli)
14.30-15.00 Kahve Molası		
3.Oturum: Prof. Dr. Caner Zambak - Moderatör		
15.00-15.25		İleri Düzey Teknolojiler için Gerekli Metallerin Önemi ve Üretim Yöntemlerine Genel Yaklaşım Prof. Dr. Servet Timur Metalurji-Malzeme Mühendisi İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
15.25-15.50		Batarya Teknolojilerindeki Gelişmeler ve Kritik Hammaddeleri Ekrem Gültekin Elektrik Mühendisi Director of EV Charging - Huawei Digital Power
15.50-16.15		Kömür Türkiye için Kritik ya da Stratejik Hammadde midir? Dr. Nejat Tamzok Maden Mühendisi, Enerji Uzmanı TMMOB Maden Mühendisleri Odası
16.15-17.15 Genel Değerlendirme- Forum		
17.30 Kapanış		



www.maden.org.tr

