

TÜRKİYE KRİTİK ENERJİ MİNERALLERİ GÖRÜNÜMÜ | 2025



**TÜRKİYE
KRİTİK ENERJİ MİNERALLERİ
GÖRÜNÜMÜ | 2025**

Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü 2025

Bora Şekip Güray

Ali Osman Çeker

Ufuk Sezer

Sabancı Üniversitesi IICEC

İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi

Minerva Palas, Bankalar Caddesi, No:2

Karaköy 34420

İstanbul / Türkiye

Tel: +90 212 292 49 39

Kitap Tasarım:

Filiz Alkan

CEEN Enerji Bilgi Servisleri Dan. ve Org. ve Tic. Ltd. Şti.

Kavacık Mah. FSM Cad. Tonoğlu Plaza No: 3/4

Beykoz 34810 İstanbul / Türkiye

Tel: +90 216 510 12 40

Kitap Baskı:

Arena Kağıtçılık Matbaacılık İç Ve Dış Tic Ltd Şti

Maltepe Mah. Davutpaşa Cad. Emintaş Kazım Dinçol San.

Sitesi No:81 İç Kapı No:139 Zeytinburnu/İstanbul

Tel: +90 212 613 03 88

Matbaa Sertifika No: 47101

Aralık 2025

ISBN: 978-625-6956-87-2

IICEC Hakkında

Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), geleceğe yönelik bir bağımsız araştırma ve politika merkezi olarak, enerji ve iklim konularında nesnel, kaliteli araştırmalar yapmak üzere kurulmuştur.

IICEC, kamu-sanayi-akademi iş birliklerini destekleyen başarı üçgeni modeli içerisinde, enerji ve iklim gündeminde gerçekleştirdiği ulusal, bölgesel ve uluslararası çalışmalar ile daha temiz ve güvenli enerji geleceğine katkı sunmaktadır.

Bölgedeki en seçkin üniversitelerden birinin bünyesinde yer alan IICEC, Türkiye enerji sektörüne stratejik ve bütüncül bakış perspektifiyle analitik çalışmalar gerçekleştirmekte, aynı zamanda enerji ve iklim alanlarında kilit paydaşları bir araya getiren seçkin bir platform sağlayarak fikir alışverişini ve gelişimini de teşvik etmektedir.

IICEC tarafından 2020 yılında Türkiye’de bir ilk olarak yayımlanan “Turkey Energy Outlook” ve devamında yayınlanan enerji görünümü ve geleceği serileri, enerji sektörünün verimli, güvenli, rekabetçi, teknoloji-odaklı ve sürdürülebilir geleceğini somut öneriler ile desteklemektedir.

<https://iicec.sabanciuniv.edu>

 iicec-sabanci-university-istanbul-international-center-for-energy-and-climate

 sabanciu_iicec

Önsöz

2010 yılında Dr. Fatih Birol ile yaptığım görüşmelerden ilham alarak kurduğumuz Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), benim başarı üçgeni olarak tanımladığım ve Türkiye'nin gelişimi için çok önemli olduğuna inandığım, kamu-özel sektör-akademi iş birlikleri modeliyle, yürüttüğü analitik çalışmalar ve diğer etkinliklerle daha güvenli, verimli, temiz ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine katkısını artırmaya devam etmektedir.

IICEC'in 2020 yılında Türkiye'de bir ilk olarak yayımladığı, ülkemizin enerji geleceği ile ilgili stratejik bir bakış içeren "Turkey Energy Outlook" (TEO) çalışması, sektörde tüm paydaşlar tarafından geniş bir kabul gördü. TEO, daha verimli, güvenli, rekabetçi, teknoloji odaklı ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine ulaşılabilmesi için sunduğu somut önerilerle referans niteliği kazanırken, aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler için de güzel bir örnek oluşturdu. IICEC 2020 yılından bu yana yine Türkiye'de ilkler olarak "Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü", "Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü", "Türkiye Yeşil Hidrojen Geleceği", "Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü" çalışmalarını yayımladı. Bu alanlarda yüksek potansiyelimizi fırsatlara dönüştürebilecek güçlü ve sürdürülebilir büyüme perspektiflerinin, Türkiye'nin enerji güvenliği başta olmak üzere enerji dengelerine, rekabetçiliğine ve iklim hedeflerine önemli katkıları sunuldu.

Son dönemdeki gelişmelerle birlikte, dünyada enerji güvenliğinin artık ülkeler için aynı zamanda stratejik bir ekonomik ve ulusal güvenlik unsuru durumuna geldiğini görüyoruz. Enerji güvenliğinin kapsamı büyürken, küresel ölçekte kritik enerji minerallerine ve tedarik zincirlerine ilişkin riskler ve kırılganlıklar hızla artıyor. Türkiye için de enerji güvenliği, ekonomik büyümenin dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği, temiz elektrifikasyonda rekabetçi büyüme gibi alanlarda önemli riskler barındıran, aynı zamanda fırsatlar içeren kritik mineraller konusu, Dr. Birol'un IICEC'e bu yıl için önerdiği proje oldu.

Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü, kritik enerji minerallerinin hızla artan önemine ve güncel gelişmelere yönelik farkındalığı güçlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. IICEC tarafından yine Türkiye'de bir ilk olarak gerçekleştirilen bu öncü çalışmada, küresel dinamikler, Türkiye'deki ilgili gelişmeler, sektörel yönelimler, hedefler, analizler, risk ve fırsat alanları analitik bir bakış açısıyla değerlendirilerek, daha güvenli ve yüksek katma değerli geleceğe yönelik gelişim alanları ve somut öneriler sunulmaktadır. Çalışmanın, tüm paydaşlar için önemli bir referans oluşturmasını bekliyoruz, Türkiye'nin kritik minerallerde tedarik güvenliğini güçlendirmek ve gelişen fırsatları değerlendirmek yönünde gelişmelere odaklandığı bir dönemde zamanlama olarak da ayrıca değer taşıdığını düşünüyorum. Çalışmayı gerçekleştiren IICEC Direktörü Bora Şekip Güray ve ekibine, katkı sunan tüm paydaşlara teşekkür ediyorum.

Güler Sabancı

Sabancı Üniversitesi Kurucu Mütevelli Heyeti Başkanı

Yazarlar

IICEC Direktörü Bora Şekip Güray tarafından yönetilen IICEC "Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü 2025" çalışması, **Bora Şekip Güray** ve IICEC Analitik Projeler uzmanları **Ali Osman Çeker** ve **Ufuk Sezer** tarafından kaleme alınmıştır. Çalışmanın küresel görünüm ile ilgili kısımlarına IICEC Koordinatörü **Dr. Mehmet Doğan Üçok** tarafından da katkı sağlanmıştır. Çalışmada IICEC "Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü 2025" çalışması ve IICEC bütüncül modelleme altyapısından geniş ölçüde faydalanmıştır.

Teşekkürler

Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü çalışması, enerji ve madencilik sektörleri, teknoloji ve finansman ekosistemi ve diğer ilgili sektörlerden çok sayıda liderin ve uzmanın destekleri ve iş birlikleri ile hazırlanmıştır.

- **Sabancı Üniversitesi Kurucu Mütevelli Heyeti Başkanı Güler Sabancı'ya**, IICEC'in gelişimine liderlikleri, Türkiye'nin daha güvenli, rekabetçi ve temiz enerji geleceğine yönelik analitik çalışmaları destekleyen vizyonları için,
- **Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Başkanı ve IICEC Onursal Başkanı Dr. Fatih Birol'a**, IICEC'in iş planlarına ve bu çalışmaya fikri liderlikleri için,
- **Sabancı Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Yusuf Leblebici'ye**, IICEC'e bağımsız bir araştırma ortamı ve olanağı sağlayan destekleri için,
- **IICEC Yönetim Kurulu'nun değerli üyeleri**
 - ALJ Türkiye,
 - Borusan EnBW Enerji,
 - BP,
 - Enerjisa Enerji,
 - Enerjisa Üretim,
 - Eren Holding,
 - Hitachi Energy,
 - ING Türkiye,
 - Sanko Enerji,
 - Shell,
 - Socar,
 - Zorlu Enerji'ye

IICEC faaliyetlerine sürekli destekleri için,

- **ETKB TENMAK ve Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanlığı'na** faaliyetleri ve önerileriyle çalışmayı zenginleştirdikleri için,
- Aşağıda isimleri sunulan sektör paydaşlarına çalışmaya değerli görüş ve önerileri ile destekleri için,

teşekkür ederiz¹.

¹ İsimler alfabetik olarak belirtilmiştir.

● Abdullah Buğrahan Karaveli	TENMAK
● Abdullah Polat	WAT Elektrik Motorları
● Alexander Oudolov	Hitachi Energy
● Alpagut Kara	SUNUM
● Alper Baykut	Reap Battery
● Arif Günyar	Enercon
● Aziz Ünal	Enerjisa Üretim
● Barış Arıcı	Reap Battery
● Barış Tuğrul Ertuğrul	WAT Elektrik Motorları
● Başak Kaya	TOGG
● Belma Soydaş	TENMAK NATEN
● Bryan C. Land	World Bank
● Can Hakyemez	TSKB
● Caner Can	ETKB
● Elif Datlı	Enerjisa Üretim
● Elif Yener	Zorlu Enerji Grubu
● Emre Kayışoğlu	Eczacıbaşı Holding Esan
● Enis Amasyalı	Borusan EnBW Enerji
● Erdem Çörekçioğlu	Enerjisa Üretim
● Erdem Sezer	TKYB
● Erhan Çakır	ETKB
● Fakir Hüseyin Erdoğan	ELDER
● Hasan Yücel	TÜMAD Madencilik
● İbrahim Erden	TÜREB
● İbrahim Halil Kırşan	TOBB Türkiye Madencilik Meclisi
● İbrahim Said Arınç	SOCAR Türkiye
● İhsan Erbil Bayçöl	Enerjisa Üretim
● Kahraman Çoban	Enerjisa Üretim
● Leman Çetiner	ETKB

- Leyla Keser Berber
- Mahmut Gldođan
- Mehmet Yıldız
- Mehmet Yılmaz
- Mert Umut zkaynak
- Muhsin Mazman
- Nuri Osman alıřkan
- Onur Birol
- Osman tker
- Osman Tufan Doğan
- Ömer Buđer
- Ömer Rüřtü Ergen
- Özge zden
- Özgür zel
- Öztürk Selvitop
- Remi Pelon
- Serhat Koçak
- Süleyman Samsa
- şule Kılıç
- Türker Murat
- ner olak
- Volkan Aktürk
- Yasemin Hořder ztekin
- Yasemin Kuytak
- Yiđit Güven

EIT Raw Materials Istanbul
 Ateř Wind Power
 Sabancı Üniversitesi
 Türkiye Madenciler Derneği
 SUNUM
 T-Dinamik
 Enerjisa Enerji
 Meta Nikel Kobalt
 Pomega
 INNOVA Biliřim
 Eren Enerji
 Uptecnica Mühendislik
 World Bank Türkiye
 Siro
 ETKB
 World Bank
 ING Türkiye
 Enerjisa Enerji Dağıtım
 EBRD
 Ateř Wind Power
 İT
 Entek Elektrik
 Hitachi Türkiye
 KfW-IPEX Bank Türkiye
 Sanko Enerji

Çalışmaya katkı sağlayan kurumlar ve uzmanlar, burada yer verilen görüşlerden sorumlu değildir.

Sorularınız ve görüşleriniz için:

Bora Şekip Güray

Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC)

Bankalar Caddesi, No:2

Karaköy, İstanbul,

Türkiye

bora.guray@sabanciuniv.edu

Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü ile ilgili detaylı bilgilere <https://iicec.sabanciuniv.edu> adresinden ulaşabilirsiniz.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1: Giriş

33

BÖLÜM 2: Kritik Minerallere ve Tedarik Zincirlerine Küresel Bakış: Hızla Artan Riskler ve Gelişen Çözümler

39

BÖLÜM 3: Türkiye’de Kritik Enerji Minerallerinde Görünüm ve Gelecek Perspektifi

69

BÖLÜM 4: Riskler, Fırsatlar, Gelişim Alanları Özet Değerlendirmesi ve IICEC Önerileri

113

EKLER

121

IICEC Hakkında	3
Önsöz	5
Yazarlar	6
Teşekkürler	7
Geniş Yönetici Özeti	14
1 Giriş	33
1.1. Neden Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü?	34
1.2. Çalışmanın İçeriği	35
2 Kritik Minerallere ve Tedarik Zincirlerine Küresel Bakış: Hızla Artan Riskler ve Gelişen Çözümler	39
2.1. Giriş	40
2.2. Kritik Mineraller Neden Giderek Daha Fazla Önem Kazanıyor?	42
2.2.1. "Elektrik Çağı" ve Mineral-Yoğun Bir Enerji Sistemine Geçiş	42
2.2.2. Enerjinin Ötesinde Diğer Sektörlerde Kullanım ve Stratejik Önem	45
2.2.3. Yüksek Coğrafi Yoğunluk ve Çeşitlendirmede Yetersizlik	46
2.2.4. Talep Artışı ve Öngörülen Arz Açıkları	52
2.2.5. En Büyük Tedarikçi Ülkenin Rolü ve N-1 Analizleri	54
2.2.6. Yüksek Fiyat Değişkenlikleri	55
2.2.7. İhracat Kısıtlamaları	55
2.2.8. Yan Ürün Bağımlılığı ile Derinleşen Riskler	59
2.2.9. Risk Faktörlerine Bütüncül Bakış	60
2. 3. Dünyada Kritik Minerallerde Öne Çıkan Gelişmeler ve Çözümler	61
Referanslar	66
3 Türkiye'de Kritik Enerji Minerallerinde Görünüm ve Gelecek Perspektifi	69
3.1. Türkiye'de Madenlere Genel Bakış	70
3.2. Üretimde ve Temel Ekonomik Göstergelerde Madencilik Sektörünün Görünümü	73

3.3. Bütüncül Dış Ticaret Dengeleri Analizi	76
3.4. Politika Belgelerinde Kritik Mineraller Odaklı Önemli Gelişmeler	79
3.5. Kritik Enerji Mineralleri Talebinin Belirleyicileri ve Öne Çıkan Dinamikler	84
3.6. Kritik Enerji Mineralleri Talebi Geleceği	86
3.7. Kritik Enerji Minerallerinde Risklere ve Fırsatlara Bakış	88
3.7.1. Nadir Toprak Elementleri (NTE)	88
3.7.2. Lityum ve Diğer Batarya Mineralleri	93
3.7.3. Bakır	98
3.7.4. Diğer Kritik Enerji Mineralleri	101
3.7.5. Bölgesel Gelişmeler ve Fırsatlar	102
Referanslar	108
4 Riskler, Fırsatlar, Gelişim Alanları Özet Değerlendirmesi ve IICEC Önerileri	113
4.1. Riskler	114
4.2. Fırsatlar	115
4.3. Gelişim Alanları	117
IICEC Önerileri	119
EKLER	121
EK A: Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları	123
EK B: Kısaltmalar	124
EK C: Senaryo Sonuçları	126

Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü

Geniş Yönetici Özeti

- Kritik minerallerin tedarik zincirlerinde küresel ölçekte yüksek coğrafi yoğunluk, bazı minerallerde tek bir ülkeye %90'lar seviyelerinde bağımlılık, ihracat kısıtlamaları gibi faktörlerle artan ciddi tehditler ve kırılganlıklar neticesinde kritik minerallerde güvenlik sadece enerji güvenliğinin değil aynı zamanda ülkelerin ekonomik ve ulusal güvenliklerinin de temel bileşeni durumuna gelmiştir.
- Bu gelişmeler, Türkiye için de çok yönlü riskleri ve kırılganlıkları hızla pekiştirmektedir. Diğer taraftan güvenilir alternatif tedarikçi arayışlarında artış, Türkiye için yeni fırsatları beraberinde getirmektedir. Türkiye'nin politikalarındaki ve ekosistemdeki gelişmelerin bütüncül planlamalar ile ilerletilmesiyle daha güvenli ve katma-değerli tedarik zincirlerinin gelişimi sağlanabilecektir.
- Yüksek katma değerli ara ve uç ürünlerde artan talebe karşın, değer zincirinde yoğunluk halen maden üretimindedir. İşleme ve rafinaj kapasitelerinde yetersizlik neticesinde dışa bağımlılık ve dış ticaret açığı genel olarak artış yönündedir. Elektrifikasyonda, temiz enerji teknolojilerinde büyüme hedefleri ve ICEC analizleri, önemli kritik enerji minerallerinin yıllık taleplerinde 2053 yılına kadar 3 ila 11 kat artışlara işaret etmektedir. Özellikle lityumda ve Nadir Toprak Elementlerinde (NTE) talebin, elektrikli araçlarda ve enerji depolama sistemlerinde güçlü büyüme dinamikleriyle çok hızlı büyümesi beklenmektedir.
- Pek çok kritik enerji mineralinin aynı zamanda havacılık, ileri malzeme teknolojileri, elektronik ve savunma sanayi gibi Türkiye için önemli sektörlerde stratejik kullanımıyla artan taleple birlikte rafinaj ve işleme kapasitelerinin büyümemesi durumunda arz kırılganlıkları derinleşecektir.

- Riskleri hızla artıran dinamiklere karşın, Türkiye'nin kendi arz güvenliğini iyileştirirken yüksek katma değerli bir tedarik üssü olarak konumlanmak yönünde önemli fırsatları bulunmaktadır. Küresel ölçekte öneme sahip yüksek NTE kaynak keşfi, rezervde detaylı çalışmalardan rafinaja ve yüksek verimli kalıcı miktatıs üretimine kadar stratejik önemde bir fırsat alanı sunmaktadır. Lityumda ve batarya depolama teknolojilerinde küresel dinamikler, son dönemde Türkiye piyasasındaki gelişmeler, alternatif bir tedarik üssü olunması yönünde güçlü potansiyele işaret etmektedir.
- Ayrıca, birçok kritik enerji mineralinde yeni keşifler, rezervlerde büyüme ve özellikle rafinaj ve işleme kapasitelerinde katma değerli üretimde artışlar için bölgesel ve uluslararası ortaklıkları da içeren önemli potansiyel bulunmaktadır. Afrika ve Latin Amerika gibi bakir potansiyeli olan bölgeler Türkiye'nin madencilik ve rafinaj yatırımları için öne çıkan bir fırsat alanı sunmaktadır.
- Büyüyen risklerin yönetilebilmesi, gelişen fırsatların değerlendirilebilmesi, değer zincirinde acil durum mekanizmalarını, yatırım, teknolojik gelişim ve diplomasi boyutlarını bütüncül olarak kapsayan stratejik bir planlama yaklaşımı gerektirmektedir. Yakın zamanda bu yönde bir strateji belgesinin yayımlanması beklenmektedir.
- Politika mekanizmalarında ve düzenleyici çerçevelerde, teşvikleri de içeren yatırım ve iş modellerinde, diplomaside ve sektörler arasında iş birliklerinde sağlanacak ilerlemeler, Türkiye'nin enerji güvenliğine, temiz elektrifikasyonda büyüme perspektifine, diğer stratejik sektörlerde tedarik güvenliğine, daha yüksek katma-değerli ekonomik gelişime, teknoloji-odaklı sanayileşme hedeflerine önemli katkılar sağlayacak, ulusal güvenliği de güçlendirecektir.

Neden Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü?

Enerji güvenliği, günümüzde yalnızca bir enerji politikası konusu olmaktan çıkarak aynı zamanda ekonomik ve ulusal güvenliğin temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Elektrifikasyon süreci ile birlikte enerji sistemlerinde kritik minerallerin yoğunluğu ve stratejik rolü hızla artmaktadır. Buna karşın, bu minerallerin üretiminde ve tedarik zincirlerinde devam eden yüksek coğrafi konsantrasyon, arzın sınırlı sayıda ülkeye yüksek oranda bağımlı olması ve son dönemde küresel ölçekte etkiler gösteren ihracat kısıtlamaları, bu alanda artan risklerin ve kırılganlıkların yönetilmesini karar vericilerin en üst gündem maddeleri arasına taşımıştır. Kritik minerallerin enerji dışında pek çok stratejik sektörde de yaygın kullanımı, risklerin boyutunu ve kapsamını genişletmekte, tedarik zincirlerinde çeşitlendirmeyi artırmak ve dayanıklılığı güçlendirmek üzere, stok ve koordinasyon mekanizmaları, yatırım teşvikleri gibi etkin politika araçlarının hızla hayata geçirilmesini gerektirmektedir.

Hızla gelişmekte olan Türkiye enerji sektörünün elektrifikasyon dinamikleri içerisinde bu minerallere olan talep belirgin şekilde artmaktadır. Ancak yerli arz kapasitesi, teknoloji geliştirme olanakları ve ithalat çeşitlendirme alternatiflerinin diğer pek çok ülkede olduğu gibi henüz sınırlı olduğu görülmektedir. Buna karşın kritik mineraller son dönemde Türkiye'nin politika öncelikli arasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kritik ve Stratejik Madenler Listeleri 2025 yılı itibarıyla yayımlanmış olup, önceliklerin ve hedeflerin belirleneceği kapsamlı bir strateji belgesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Stratejik öncelikler ve sektörel eğilimler, madencilikte arama ve keşiflerin artırılmasından, uç ürünlerin ve ileri teknolojilerin imalatına kadar değer zincirinin genelinde önemli gelişme potansiyeline işaret etmektedir.

IICEC tarafından Türkiye'de bir ilk olarak yayımlanan **Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü (TCMO)**, madencilik, enerji, teknoloji ve ekipman imalatı, finansman ve ilgili diğer tüm sektörleri kapsayan geniş bir ekosistemde kritik enerji minerallerinin hızla artan önemine ve güncel gelişmelere yönelik farkındalığı güçlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Bu öncü çalışmada, küresel dinamikler, Türkiye'deki ilgili politika gelişmeleri, sektörel yönelimler ve hedefler, dış ticaret ve talep analizleri, arz perspektifleri çerçevesinde risk, fırsat ve gelişim alanları analitik bakış açısıyla değerlendirilerek Türkiye'nin kritik enerji minerallerinde daha güvenli ve yüksek katma değerli geleceğine yönelik gelişim alanları ve somut öneriler sunulmaktadır.

Temel Bulgular

1. Kritik minerallerde ve tedarik zincirlerinde küresel ölçekte artan ciddi tehditler, Türkiye için de çok yönlü riskleri ve kırılganlıkları hızla pekiştirmektedir.

Jeopolitiğin enerji sektörü üzerindeki etkilerinin tarihte hiç olmadığı kadar yüksek olduğu bu dönemde, enerji güvenliği aynı zamanda ekonomik ve ulusal güvenliğin temel unsuru durumuna gelmiştir. Petrol ve doğal gaz gibi geleneksel enerji kaynaklarında arz güvenliği risklerine ek olarak, özellikle elektrifikasyondaki güçlü büyüme dinamikleri enerji güvenliğinin kapsamını önemli ölçüde genişletmektedir. Dünya hızla bir elektrik çağına doğru ilerlerken, enerji sistemleri giderek daha fazla mineral-yoğun bir yapıya dönüşmektedir. Elektrifikasyonun geleceğinin belirleyicisi olacak yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik şebekeleri, elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemleri için gerekli birçok kritik mineral, aynı zamanda çip teknolojileri, havacılık ve uzay endüstrileri, savunma sanayi gibi stratejik sektörler için de vazgeçilmez girdiler arasında yer almaktadır. Bu dönüşüm sürecinde, enerji güvenliğinin sağlanmasında en temel unsur olan çeşitlendirme, kritik minerallerin tedarik zincirlerinde ters yönde ilerlemektedir.

Tedarikte, özellikle kritik minerallerin madencilikten nihai talep formlarına dönüşümü için gerekli rafinaj ve işleme aşamalarında yüksek coğrafi yoğunluk sürmekte, bu durum küresel tedarik zincirlerinde riskleri ve kırılganlıkları hızla derinleştirmektedir. Kritik minerallerin rafinajında kapasite artışlarının büyük bölümü sınırlı sayıdaki tedarikçiye gelmeye devam etmektedir. Önemli kritik enerji minerallerinde en büyük üç üreticinin 2020'de %82 olan ortalama pazar payı, 2024 yılında %86'ya yükselmiştir¹.

Tek bir ülkeye yüksek oranda bağımlılık tedarik güvenliği risklerini pekiştirmektedir. Çin, enerjiyle de bağlantılı ve stratejik öneme sahip 20 mineralin 19'unda ortalama %70 rafinaj payına sahiptir. Kasım 2025 itibarıyla bu minerallerin yarısından fazlası ihracat kısıtlamalarına tabi durumdadır. Çin, batarya metalleri ve nadir toprak elementlerinde (NTE) %90'lar seviyelerinde pazar payına sahiptir. Bu iki alanda Çin'in kontrolü dışında gerçekleştirilebilen küresel arz, 2035 yılında Çin hariç dünya toplam talebinin yalnızca yarısını karşılayabilecek düzeydedir. Çin'in elektrikli araç motorlarında kullanılan kalıcı mıknatısların üretiminde %95 civarındaki payı, enerji ve otomotiv endüstrilerinin karşı karşıya olduğu riskleri çarpıcı biçimde göstermektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), son beş yıldır yürüttüğü kapsamlı çalışmalarda kritik enerji minerallerinde küresel ölçekte artan çok yönlü risklere sistematik biçimde dikkat çekmiş, özellikle yüksek coğrafi yoğunlaşmanın ciddi kırılganlıklar yaratacağı yönünde güçlü uyarılarda bulunmuştur.

¹ Çalışmada Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) kapsamlı küresel ve bölgesel raporlarından ve verilerinden yararlanılmıştır.

2025 yılında riskler IEA uyarılarında öngörüldüğü şekilde somutlaşmaya başlamış ve küresel ölçekte yüksek etkili tedarik sorunları ortaya çıkmıştır. Nisan ayında Çin'in bazı önemli nadir toprak elementleri ve kalıcı miktatsızların ihracatına getirdiği yeni kısıtlamalar, ABD, Avrupa ve diğer bazı bölgelerde otomotiv üretim kapasitelerinde düşüşlere neden olmuştur. Ekim ayında bu kısıtlamaların batarya teknolojileri ve üretim ekipmanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmesi ise küresel tedarik zincirlerindeki mevcut ve potansiyel riskleri daha da artırmaktadır.

Kritik minerallere yönelik talep hızla artarken, güvenli olmayan mevcut tedarik yapısı, arz ve fiyat şoklarına, fiyat dalgalanmalarına, 2025 yılı içerisinde etkileri küresel ölçekte görüldüğü gibi ihracat kısıtlamalarına, tedarik zincirlerinde herhangi bir başka nedenle ortaya çıkabilecek kesintilere karşı kırılganlıkları ciddi şekilde yükseltmektedir.

Tüm bu gelişmeler, kritik minerallerde tedarik zincirlerinin güvenliğinin sağlanmasının, yalnızca enerji güvenliği açısından değil ekonomik ve ulusal güvenliğin teminat altına alınabilmesi açısından da temel bir öncelik olması ele alınması gerektiğini güçlü şekilde ortaya koymaktadır. IEA çalışmaları ve politika önerileri, hızla artan risklerin yönetilebilmesi ve kırılganlıkların azaltılabilmesi için acil durum planlamalarının önemini, daha çeşitlendirilmiş ve dayanıklı tedarik zincirlerinin hızla geliştirilmesi ihtiyacını, bunlar için piyasa mekanizmalarının tek başına yeterli olmayacağını, stoklama, yatırım teşvikleri, inovasyon ve koordinasyon gibi alanlarda etkin politikaların hızla geliştirilerek uygulanması gerekliliğini göstermektedir. Kritik minerallerde ve tedarik zincirlerinde artan küresel riskler ve kırılganlıklar, ilgili minerallere ve teknolojilere olan talebi hızla artmasına karşın yerli tedarik kapasitesi ve ithal arzda çeşitlendirmesi olanakları henüz pek çok ülkeye benzer şekilde sınırlı olan Türkiye için çok boyutlu riskler doğurmaktadır. Bu risklerin zamanında ve bütüncül yaklaşımla yönetilebilmesi stratejik önem taşımaktadır.

2. Türkiye'nin politikalarında kritik mineraller odaklı önemli gelişmeler, riskleri yönetmek ve gelişen fırsat alanlarını değerlendirebilmek üzere stratejik planlamalar, yol haritaları ve kurumsal kapasitelerde gelişimin devamlılığı ile desteklenmelidir.

Türkiye'nin enerji güvenliği ve enerji bağımsızlığının güçlendirilmesi, madencilik ve ilgili sanayi kollarında yüksek katma değerli üretime geçişin hızlandırılması, dış ticaret dengelerinde iyileşme sağlanması ve net-sıfır emisyon hedeflerine ulaşılabilmesi gibi birbirleriyle de yakından ilişkili çok boyutlu hedefleri çerçevesinde kritik minerallere yönelik politika odağı son dönemde belirgin biçimde güçlenmektedir.

Bu çerçevede, 12. Kalkınma Planı (2024-2028) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) Stratejik Planı (2024-2028), arama faaliyetlerinin artırılması, madencilik sektörünün katma değerini yükseltilmesi, bunun için madencilik ürünlerinin ülke içinde işlenmesiyle uç ürünlerin geliştirilmesi gibi öncelikli gelişim alanları tanımlamaktadır.

Planlar ayrıca, arz risklerini azaltabilmek üzere yurtdışı temin olanaklarının araştırılmasını ve tedarikçi ülkelerle stratejik ortaklıkların yapılmasını hedeflemekte, kritik minerallerin güvenli tedarikine yönelik yol haritası hazırlanmasının önemini belirtmektedir.

Türkiye’de kritik mineraller odaklı önemli gelişmelerden birisi, Kritik ve Stratejik Madenler Raporu’nun 2025 yılı ilk çeyreğinde yayımlanmasıdır. Dünyadaki farklı örneklerle benzer şekilde, kritiklik kategorileri, arz ve fiyat gibi temel risk faktörleri tanımlanarak mineraller bazında değerlendirmeler yapılmıştır. Güvenli ve sürdürülebilir enerji geleceğinin tüm dünyada olduğu gibi Türkiye için de önemli bileşenleri olan lityum, bakır, alüminyum, nikel, Nadir Toprak Elementleri (NTE), kobalt, grafit gibi minerallerin de olduğu bazı mineraller “Yüksek Öne Sahip Kritik Mineraller” ve “Önemli Kritik Mineraller” listelerinde yer almıştır². 2025 yılında Maden Kanunu’nda yapılan değişiklikle kritik mineral ve stratejik mineral tanımları yasal çerçeveye eklenerek bu madenlere özel statü kazandırılmıştır.

Bu gelişmelerin devamında Türkiye’nin kritik minerallerde madencilikten uç ürünlere ve imalat sanayine uzanan değer zincirinin tamamını kapsayan, bütüncül ve uzun vadeli bir stratejik planlama perspektifinin hayata geçirilmesi beklenmektedir. Bu kapsamda, acil durum, stok ve koordinasyon mekanizmalarının geliştirilmesi, madencilik ve özellikle katma-değerli ürün kapasitelerinin artırılması, yüksek yatırım ve altyapı gerektirebilecek orta ve uzun vadeli iyileştirmeler için detaylı planlamaların yapılması ve yol haritalarının hazırlanması önemlidir. Özellikle rafinaj ve işleme odaklı çalışmaların yürütülmesi, yatırım teşvik modellerinin devreye alınması, teknolojik gelişimin, insan kaynağının ve kurumsal kapasitenin güçlendirilmesi, yurtdışından kaynaklarla tedarik güvenliğinin çeşitlendirilmesi gibi odak alanlarının tedarik güvenliği ve yüksek katma-değerli büyüme için stratejik fırsatlar sağlayacağı değerlendirilmektedir. Yakın gelecekte bütüncül bir strateji belgesinin yayımlaması beklenmektedir.

Dünyada politika mekanizmalarındaki güncel gelişmeler incelendiğinde bazı büyük ekonomiler tarafından kritik mineraller için stok mekanizmaları tanımlanmış olduğu, henüz sınırlı sayıdaki bu uygulamaların derinleşen tedarik riskleriyle dünya genelinde yaygınlaşmasının beklendiği görülmektedir. Finansman ve teşvik politikalarını hayata geçiren ülkelerin sayısı son dönemde hızlı artmakta, yatırım ve vergi teşvikleri odaklı politikaların sayısı ise 100’e yaklaşmaktadır. Türkiye’nin politika mekanizmalarını tasarlarken kendi şartlarına uygun iyi uygulama örneklerini dikkate almasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Uluslararası iş birlikleri ve stratejik ortaklıklar da, Türkiye’nin kritik enerji minerallerinde artan risklerini daha etkin bir şekilde yönetebilmesi, aynı zamanda ortaya çıkan fırsatları değerlendirebilmesi bakımından belirleyici olacaktır.

² Listeler, enerji sektöründe kullanım yoğunluğu ve rolü nispeten daha sınırlı olup, farklı sektörlerin arz ve talep dinamikleri bakımından önem taşıyan çok sayıda kritik ve stratejik minerali de içermektedir.

Bu doğrultuda, rezerv sahibi ülkeler, teknoloji sağlayıcılar ve yerel arz olanağı sınırlı talep merkezleriyle geliştirilecek ortaklıklar büyük önem taşımaktadır. Örneğin, tedarikçi sayısının son derece sınırlı olduğu ve yüksek teknoloji gerektiren nadir toprak elementlerinin (NTE) rafinajında teknolojik kapasitenin geliştirilmesi ve yerleştirilmesi öncelikli iş birliği alanları arasında görülmektedir. Tedarik bazının genişletilmesi ve çeşitlendirilmesi hedefleri ise mineral rezervleri bakımından zengin ancak üretim potansiyeli yeterince değerlendirilmemiş Afrika ve Latin Amerika gibi bölgelerde yatırımları önemli duruma getirmektedir.

Kritik enerji minerallerinde güvenlik artık çok ciddi bir küresel sorun durumundadır. Bu nedenle hızla artan güvenlik risklerinin yönetilebilmesi için yalnızca ulusal ölçekte yaklaşımlar yeterli görülmemekte, uluslararası koordinasyon mekanizmalarının etkin biçimde işletilebilmesi de büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede IEA tarafından oluşturulan "Kritik Mineraller Güvenliği Programı"³, küresel ölçekte daha güvenli ve dayanıklı tedarik zincirlerinin oluşturulması ve yapısal risklerin azaltılması amacıyla ülkeler arasında etkin koordinasyonu ve ortak eylemleri güçlü şekilde desteklemektedir. Türkiye'nin bu program kapsamındaki katılımının, kritik minerallerde daha güvenli ve sürdürülebilir bir geleceğin şekillendirilmesine önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

3. Türkiye doğrulanmış kritik enerji mineralleri rezervleri bakımından genel olarak zengin olmamakla birlikte, yeni keşifler, envanter gelişimi ve katma değerli üretimde artışlar bakımından önemli potansiyele sahiptir.

Sektör değerlendirmeleri ve politika belgeleri, Türkiye'nin bilinen maden kaynaklarının henüz sınırlı bir bölümünü üretime geçirmiş olduğunu, maden aramaları bakımından büyük ölçüde bakir bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu çerçevede güncel ve kapsamlı bir maden envanteri oluşturulması için önemli fırsatlar bulunmaktadır. Arama faaliyetlerinin artırılması, bu süreçlerde uluslararası standartlara uygun teknik altyapıların güçlendirilmesi, ruhsatlandırmada verimliliğin geliştirilmesi gibi alanlar son dönemde öne çıkan gelişmeler arasında yer almaktadır. IIEEC değerlendirmeleri, odaklı arama ve geliştirme stratejileri, arama yatırımlarında artış ve yapay zeka ile haritalama gibi yenilikçi yöntemlerin kullanımının yeni keşiflerin hızlandırılması ve sürdürülebilir rezerv artışları açısından somut kazanımlar sağlayabileceğine işaret etmektedir.

Türkiye açısından öne çıkan başlıca gelişme alanlarından birisi, madencilik envanterinde kaynaktan rezerve dönüşümün⁴ güçlendirilmesi amacıyla rezerv doğrulama çalışmaları odağıdır.

³ Critical Minerals Security Program

⁴ Kaynaktan rezerve dönüşüm, madencilik, cevher zenginleştirme, metalürjik süreçler, ekonomik analizler gibi çok sayıda faktörün değerlendirilmesi neticesinde gerçekleşmektedir.

Maden kaynakları ve rezervlerine ilişkin raporlamanın uluslararası standartlara uygun, şeffaf, güvenilir ve karşılaştırılabilir şekilde yapılmasını hedefleyen UMREK uygulamalarının ülke genelinde yaygınlaştırılması önem taşımaktadır. Bütüncül teknik ve ekonomik rezerv envanterleri, öngörülebilir üretim ve arz planlamalarını destekleyebilecektir. JORC⁵ gibi uluslararası doğrulama mekanizmalarının daha etkin kullanımı, Türkiye'nin maden potansiyelinin uluslararası ölçekte kıyaslanabilirliğini artırarak yeni keşiflerden üretime geçiş için daha fazla yatırımın çekilebilmesine katkı sağlayabilecektir.

Türkiye madencilik sektörü, maden kaynakları ve üretim çeşitliliği bakımından dünya genelinde üst sıralarda yer almasına ve üretimde kaydedilen artışlara rağmen, GSYİH içinde halen yaklaşık %1'lik paya sahiptir. Orta ve uzun vadede bu payın %5 seviyesine ulaştırılması hedeflenmektedir. Bu hedef, yeni keşifler, üretim artışları ve özellikle daha yüksek katma değerli madencilik alanında önemli fırsatlara işaret etmektedir. Madenlerin dış ticaret dengelerindeki ağırlığı da Türkiye ekonomisi için stratejik önem taşımaktadır. Türkiye altın hariç 6 milyar \$ seviyesinde maden ihracatına ulaşmış olmakla birlikte, 2024 yılında altın hariç 2,2 milyar \$ net ithalatçı konumdadır. Enerji hammaddeleri ve altın hariç tutulduğunda madenlerde net ticaret dengesi 3,3 milyar \$ pozitif seyretmektedir. 2024 yılında toplam maden üretiminin yaklaşık %20'sini oluşturan metalik minerallerin ithalatı %18 ve ihracatı %42 paya sahip olması, madencilikte kritik mineraller odaklı ve yüksek katma değerli büyüme için güçlü temele işaret eden bir örnektir.

4. Yüksek katma değerli ara ve uç ürünlerde artan talep, işleme ve rafinaj kapasitelerinde yetersizlik nedeniyle, dışa bağımlılık ve dış ticaret açığı genel olarak büyüme yönündedir.

IICEC analizleri, Türkiye'nin madencilikten uç ürünlerin imalatına kadar olan değer zincirinde üretim yoğunluğunun büyük ölçüde maden cevheri üretiminde olduğunu göstermektedir. Çalışmada madenlerde dış ticaret dengeleri yirmi dokuz maden bazında irdelenmiştir⁶. Bakır, çinko, alüminyum ve bor gibi pek çok mineralde önemli değerde tüvenan⁷ ihracatı gerçekleştirilmekle birlikte, ara ve uç ürünlerde dışa bağımlılığının ve dolayısıyla dış ticaret açığının genel olarak yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 1).

Türkiye önemli bir üretici olduğu bakırda 2024 yılında yaklaşık 670 milyon \$ tüvenan net ihracatına karşın 2,2 milyar \$ ara ve uç ürün net ithalatı yapmış, bakırda net dış ticaret açığı yaklaşık 1,6 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir (2020-2024 ortalaması 1,7 milyar \$/yıl).

⁵ Joint Ore Reserves Committee

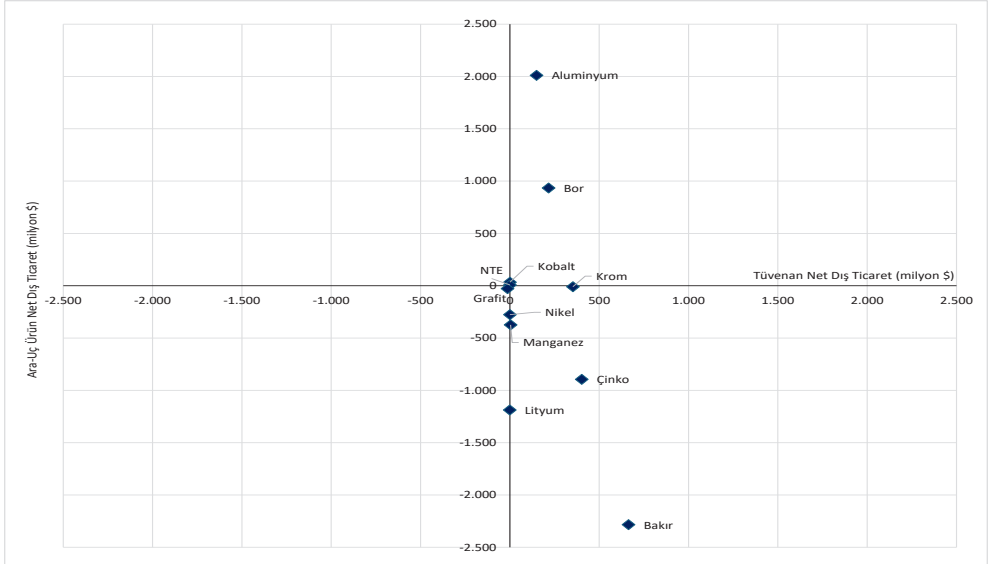
⁶ ETKB 2025 maden ticaret veri tablolarından yararlanılmıştır.

⁷ Kırma-eleme, yıkama, rafinaj gibi işlemlerden geçirilmemiş maden

Türkiye halen rafine bakır talebinin yarısından fazlasını ithalatla karşılamakta olup, talepte büyüme dinamikleri bu oranda artış yönünde risklere işaret etmektedir. Diğer bir çarpıcı örnek olan lityumda son dönemde fiyatlarda yaşanan düşüşe karşın ara ve uç ürün net ithalatı 2020 yılındaki 280 milyon \$'dan 2024 yılında yaklaşık 1,3 milyar \$'a yükselmiştir. Elektrikli araçlarda ve enerji depolama sistemlerindeki hızlı büyümenin katma değerli ürünlere olan talebi artırarak ithalat bağımlılığını hızla yükselttiği görülmektedir. Dünya genelinde stratejik önemi hızla artan nadir toprak elementlerinin de (NTE) önümüzdeki dönemde Türkiye'nin dış ticaret dengelerinde belirgin duruma gelmesi beklenmektedir.

Dış ticaret dengelerinde birim tüvenan ve ürün fiyatlarının analizi, ara-uç ürünler ve cevher arasındaki katma değer farkının boyutunu göstermektedir. Örneğin 2024 yılı analizlerinde ara ve uç fiyatlarının tüvenan fiyatlarına oranının lityumda 12, bakırda 6, kobaltta 3 civarında olduğu görülmektedir⁸. Türkiye'nin mineral kaynaklarının ekonomik ve stratejik değerinin artırılması, rafinaja ve uç ürünlere kadar ileri işleme süreçlerine başarıyla geçilebilmesine ve bu geçişi sağlayacak teknolojik, finansal ve kurumsal kapasitelerin geliştirilmesine bağlı olacaktır. Bu dönüşüm, daha yüksek değerli üretimin ve ihracatın, nitelikli istihdamın artmasına, ekonomik dayanıklılığı ve rekabetçiliği temin edecek ileri sanayileşme süreçlerinin gelişimini destekleyecektir. Bunu gerçekleştirmek üzere, imalat sanayideki gelişim potansiyelinin ve hedeflerin bütüncül sürdürülebilirlik perspektifin de mutlaka planlamalara dahil edilmesi gerekmektedir.

Şekil 1. Seçilmiş Kritik Enerji Minerallerinde Net Dış Ticaret Dengeleri (2024, milyon \$)



⁸ İthalat ve ihracat fiyat ortalamaları

Küresel gelişmelerin de gösterdiği üzere, fiziksel ve ekonomik risklerin zamanında yönetilebilmesi için, acil durum planlamaları, odaklı yatırım planları, değer zincirinde kırılگانlıkları azaltacak entegrasyonlar hayata geçirilmelidir. Çalışmada, Türkiye için öncelikli bir diğer gelişim alanının bütüncül ve detaylı bir tedarik zinciri envanterinin eksikliği olduğu tespit edilmektedir. Mineraller bazında tüvenan üretim ve dış ticaret verileri mevcut olmakla birlikte, özellikle iç tüketimin yapısına ilişkin kapsamlı veri altyapılarının geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Buna yönelik olarak, madencilikten katot ve anot malzemeleri gibi en ileri ürünlere, trafo bileşenleri ve enerji depolama sistemleri gibi faaliyet detaylarına kadar tüm aşamalarda fiziksel akışları ve dinamik arz-talep dinamiklerini gösteren veri altyapılarının kurumlar arası koordinasyon yoluyla geliştirilmesi gerekmektedir.

5. Elektrifikasyonda ve temiz enerjide büyüme hedefleri ve IIEEC analizleri, önemli kritik enerji minerallerinin yıllık taleplerinde 2053 yılına kadar 3 ila 11 kat artışlara işaret etmektedir.

Dünya elektrik çağına girerken, Türkiye’de de enerji güvenliğini artırma, enerji bağımsızlığını güçlendirme ve 2053 yılında net-sıfır emisyon hedefleri ekseninde şekillenen enerji politikaları, enerji piyasalarındaki yatırımcı yönelimleri ve tüketici tercihleri neticesinde elektrifikasyon hızlanmaktadır. Bu dönüşüm, enerji sistemlerinde kullanılan teknolojilerin niteliğini değiştirdiği gibi, teknolojiler için gerekli kritik enerji minerallerine olan talebi de artırmaktadır. Elektrik talebinde geleneksel elektrik kullanım alanlarına son dönemde hızla eklenen elektrikli ulaşım, önümüzdeki dönemde yeni veri merkezlerinin kurulumu, ısı pompası çözümlerinde yaygınlaşma, iklimlendirme taleplerinde artış gibi yeni faktörler, Türkiye elektrik talebinde güçlü büyüme dinamiklerini göstermektedir. Politika hedefleri ve analizler, 2035 yılına kadar olan dönemde elektrik talebinde bir-buçuk kat civarında artışa işaret etmektedir. Elektrifikasyonun nihai enerji talebinde yaklaşık beşte-bir seviyesinde olan payının, önümüzdeki yirmi beş-otuz yıl içerisinde %50 seviyelerine ulaşabileceği görülmektedir (IIEEC Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü 2025).

Arz tarafında büyümenin ağırlığında özellikle rüzgar ve güneşte kapasite artışları öne çıkmaktadır. Elektrikli araçların pazar payında büyümeler, otomotiv piyasasındaki gelişmeler, şarj altyapısındaki iyileşmeler Türkiye’yi e-mobilite büyümesinde de güçlü pazarlar arasında konumlandırmaktadır. Elektrik sistemlerinin omurgası olan elektrik şebekeleri son dönemde yıllık ortalama %3 seviyesinde büyümeye devam ederken, geleceğin enerji sisteminde arz ve talep tarafındaki yeni dinamiklerin yönetilmesi ihtiyaçları iletim ve dağıtım şebekelerinde büyümelerin sürdürülebilmesini, büyümenin dijitalleşme, akıllı şebekeler, HVDC gibi teknolojik fırsatlarla desteklenmesini gerektirecektir. Arz ve talepteki tüm bu dinamikler ise, daha güvenilir, rekabetçi ve esnek bir elektrik sistemini gerçekleştirebilmek üzere, henüz başlangıç seviyesinde olan enerji depolama sistemleri kurulumlarında kuvvetli bir büyümenin sağlanmasıyla yönetilebilecektir.

Çalışmada, enerji sisteminin daha güvenli ve sürdürülebilir geleceğinde belirleyici olacak bu teknolojiler için gerekli kritik enerji minerallerinde talep görünümü ve geleceği analitik ve senaryo bazlı bir yaklaşımla değerlendirilmiştir (Şekil 2). 2053 yılına kadar olan dönemde teknolojik büyüme patikalarına ek olarak, teknolojiler bazında mineral kullanım yoğunlukları, uluslararası örnekler de dikkate alınarak analiz edilmiştir. Modelleme ve analizler, batarya kimyalarındaki uzun dönemli gelişmeleri, rüzgar türbinleri jeneratörlerinde kalıcı mıknatıs kullanımına ilişkin gelecekte öne çıkması beklenen tercihler, şebekelerde alüminyum ve bakır kullanımının geleceğini belirleyecek olan fiyat-performans dengeleri ve şebeke mimarisinin uzun vadeli gelişimi gibi belirsizlikleri de yansıtmaktadır. Analizler, orta ve uzun dönemde birim mineral yoğunluklarında özellikle yeni malzemeler ve inovasyonla sağlanabilecek iyileşme varsayımlarını da içermektedir.

IICEC analizlerinde, kritik enerji mineralleri talebinde en büyük artışın, halen göreceli olarak kısıtlı talebe sahip olmakla birlikte büyüme ihtiyacının ve potansiyelinin çok yüksek olduğu enerji depolama sistemlerinde gerçekleşeceğini göstermektedir. Yıllık talebin 2035 yılına kadar 11 ila 14 ve 2053 yılına kadar 20 ila 24 kat artması öngörülmektedir. Analizler, diğer bir hızlı büyüme alanı olan elektrikli araçlarda toplam kritik enerji mineralleri yıllık talebinde ise 2035 yılına kadar 3 ila 4 ve 2053 yılına kadar 5 ila 6 kat artışa işaret etmektedir. Bu gelişmeler ve teknoloji yönelimleriyle, kritik enerji minerallerinde en hızlı büyümenin lityumda gerçekleşeceği görülmektedir. Lityum talebinin 2035 yılına kadar 4 ila 5, 2053 yılına kadar ise 8 ila 11 kat artması beklenmektedir. Batarya kimyalarındaki rekabet ve lityum metal ve sodyum-iyon gibi yeni batarya teknolojilerinde özellikle 2035 sonrası beklenen gelişmeler, bu çarpanları uzun vadede kısmen aşağı veya yukarı yönde etkileyebilecektir. Nikel ve kobalt yıllık taleplerinin ise 2053 yılına kadar özellikle elektrikli araçlarda büyüme neticesinde 3 ila 4 kat artış göstereceği hesaplanmaktadır.

Temiz enerji teknolojilerinde kalıcı mıknatıslar için nadir toprak elementleri (NTE) gereksinimi de talepte yüksek büyüme dinamiklerine işaret etmektedir. Elektrikli araçlarda ve rüzgar kapasitesi kurulumlarındaki artışlarla yıllık talebin 2053 yılına kadar 7 ila 9 kat yükselebileceği hesaplanmaktadır. Bu talebin yaklaşık %80'inin elektrikli araçlardan kaynaklanması beklenmektedir. Bakır ise Türkiye enerji sisteminin daha yüksek elektrifikasyona doğru gelişiminde en yoğunluklu kullanılan mineral konumunu sürdürecektir. Şebekeler başta olmak üzere rüzgar ve güneş teknolojilerinde, depolama sistemlerinde ve elektrikli araçlarda artan kullanımlarla yıllık bakır talebinde 2053 yılına kadar 3 katın üzerinde büyüme gerçekleşebilecektir. Mevcut durumda ağırlıklı kullanımı %45 pay ile şebekeler oluştururken özellikle elektrikli araçlarda ve enerji depolamada büyümeyle, bu teknolojilerin bakır talebindeki ağırlığı belirgin şekilde artacaktır. Kritik enerji minerallerinin enerji dışındaki sektörlerde kullanımlarıyla toplam talep miktarları yükselecektir.

Şekil 2. Kritik Enerji Minerallerinde Talep Gelişim Perspektifi (2025-2053, 2025=1)



6. Önemli NTE kaynak keşfi, kaynaktan rafinaja ve yüksek verimli kalıcı mıknatıs üretimine kadar stratejik bir fırsat alanı sunmaktadır.

Eskişehir Beylikova'da son dönemde sondajlar neticesinde nadir toprak elementleri (NTE), barit ve florit başta olmak üzere açıklanan 694 Mt kaynak keşfi, 12,5 Mt NTE kaynağına karşılık gelmektedir. Bu büyük keşif, sahayı NTE kaynakları bakımından dünyanın en büyük ikincisi durumuna getirmiştir. NTE, Türkiye'nin enerji ve maden politikalarının öncelikli bileşenleri arasında yer almakta, bu alanda dünyanın ilk beş ülkesi arasına girilmesi hedeflenmektedir. 2023 yılında ilk pilot NTE cevher işleme tesisi yıllık 1.2 kt kapasite ile işletmeye geçmiştir. Yılda 570 kt NTE rafinajı için endüstriyel tesis kurulumuyla 2030 yılına kadar birincil NTE kaynaklarından yılda 10 kt Nadir Toprak Oksiti (NTO) üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. NTE alanındaki Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmaları, Türkiye Nükleer, Enerji ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) bünyesinde faaliyet gösteren Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN) tarafından yürütülmektedir. NTE teknolojilerinde stratejileri ve eylem planlarını ortaya koyacak kapsamlı bir çalışmanın yakın zamanda açıklanması beklenmektedir.

Küresel talepte yüksek artış, rafinaajda Çin'e %91 oranında bağımlılık, NTE minerallerinin temiz enerji teknolojilerinin yanı sıra savunma sanayi gibi stratejik sektörlerde de yoğun kullanımı, son dönemdeki ihracat kısıtlamaları ve etkileri, tedarik zincirlerinde güvenilir çeşitlendirme ihtiyaçları, bu keşfin çok yönlü stratejik önemini pekiştirmektedir. NTE tedarikini çeşitlendirmek için farklı coğrafyalarda rafinaaj projeleri kurulum ve gelişim aşamalarında olmakla birlikte, bu projelerin on yıl içerisinde gecikmesiz olarak işletmeye geçirilmesi durumunda dahi 2035 yılında Çin'in hakim pazar payı ancak %75'e düşecektir. Küresel arz ve talepten Çin'in arzı ve iç talebi çıkarıldığında, 2035 yılında öngörülen küresel talebin sadece %42'sinin karşılanabileceği görülmektedir⁹.

Türkiye'nin gelişen stratejileri, kaynakların çıkarılmasının ve işlenmesinin devamında katma değerli ürünler için rafinaajda ve imalatla ileri teknolojik süreçlerin kazanılmasını da önceliklendirmektedir. Özellikle, otomotiv endüstrisinde, rüzgar teknolojilerinde, savunma sanayide kritik kullanımları olan, küresel tedarik zincirinde Çin'in %94 pazar payına sahip olduğu NTE tabanlı kalıcı mıknatıslarda sürdürülebilir üretim kapasitelerinin oluşturulması küresel ölçekte stratejik önem taşımaktadır. Bu yönde gelişmelerle Türkiye kendi talebindeki hızlı büyümenin yerli arz seçenekleriyle karşılanmasının yanı sıra küresel arzda alternatif bir tedarikçi konumuna gelebilecektir.

Yüksek potansiyelin değerlendirilebilmesinde gelişim alanları bulunmaktadır. Türkiye'nin büyük kaynak keşfinin, uluslararası standartlarda rezerv doğrulama adımları ile desteklenmesi ve kaynaktan rezerve detaylı geçiş çalışmaları önemlidir. Cevher çıkarma, ölçekli üretim ve rafinaaj kapasitelerinin oluşturulması ile yüksek katma değerli stratejik uç ürünlerin imalat bazının geliştirilmesi, yüksek tutarlı yatırımları ve dünyada sınırlı sayıda ülkede uygulamaları olan ileri teknolojik çözümlerin hayata geçirilmesini gerektirmektedir. Ar-Ge ve inovasyon yetkinliklerine yatırım yapılması, teknolojik deneyime sahip ülkelerle teknoloji transferi ve yerleştirilme odaklı iş birliklerinin geliştirilmesi, yüksek potansiyelin azami şekilde değerlendirilebilmesini güçlendirecektir. Tüm bu gelişmelerin stratejik ve bütüncül bir planlama çerçevesi içerisinde sağlanması durumunda, Türkiye NTE alanında gelişen bir oyuncu olarak stratejik uç ürünlere kadar küresel ölçekte önemli rol üstlenebilecektir. Bu gelişme, Türkiye'yi genel olarak kritik minerallerin geleceğinde dünyada önde gelen oyuncuların birisi konumuna da yükseltebilecektir.

7. Lityumda ve batarya depolama teknolojilerinde gelişen dinamikler, Türkiye'nin kendi arz güvenliğini güçlendirme ve küresel bir tedarik üssü olma yönünde güçlü potansiyeline işaret etmektedir.

Lityum, dünya genelinde batarya teknolojilerindeki hızlı büyümenin temel minerali olmaya devam edecektir. Alternatif batarya kimyaları ve malzeme teknolojileri üzerine araştırmalar sürmekle birlikte, mevcut teknik sınırlamalar, performans gereksinimleri ve maliyet yapıları dikkate alındığında yakın dönemde lityumun ikame edilmesi güç görünmektedir.

⁹ N-1 analizi

Lityum ve genel olarak batarya teknolojileri, dünya genelinde rafine edilmiş ve uç ürünlerin imalatında coğrafi konsantrasyonun ve tek ülkeye bağımlılığının en yüksek olduğu alanlar arasında yer almaktadır. Dünya lityum rafinajında %70 paya sahip olan Çin, küresel batarya tedarikinin yaklaşık %90'ını kontrol etmektedir. Bu durum, enerji güvenliğinin geleceğinin yanı sıra bu teknolojilere dayalı pek çok farklı stratejik sektör için önemli riskleri beraberinde getirmektedir.

IICEC analizleri, Türkiye'nin lityumda dış ticaret açığının çok hızlı büyüdüğünü, kritik enerji minerallerinde önümüzdeki dönemde en hızlı talep artışının lityumda gerçekleşeceğini göstermektedir. Lityum, Türkiye'nin yayımladığı Yüksek Öne Sahip Kritik Mineraller Listesi'nde de ilk sırada yer almaktadır. Tüm bu bulguların gösterdiği risklere karşın, Türkiye'de gerek lityum üretimi, gerekse de batarya kurumları ve teknolojileri gelişimi yönünde atılmaya başlanmış adımlar, dünyada tedarik güvenliği için çeşitlendirme arayışlarıyla birlikte değerlendirildiğinde Türkiye için bazı stratejik fırsatları da beraberinde getirmektedir.

Türkiye'nin henüz ekonomik ölçekte tespit edilmiş kayda değer lityum kaynağı bulunmamakla birlikte, bor üretim süreçlerinden kaynaklanan atıklardan lityum üretimine yönelik projeler geliştirilmeye devam edilmektedir. Türkiye'nin dünya genelinde önde gelen bor rezervleri, üretim kapasitelerinin ölçeklendirilmesi ve ilgili teknolojik yetkinliklerin geliştirilmesi için potansiyele işaret etmektedir. Zengin jeotermal kaynak potansiyeli de lityum üretimi için önemli fırsat içermektedir. Türkiye'nin henüz kısıtlı üretime sahip olduğu grafitin küresel ölçekte stratejik önemi artan mineraller arasında olduğu görülmektedir. Yüksek saflığa sahip grafit talebi hızla yükselirken, küresel arzda çok yüksek coğrafi yoğunlaşma sürmektedir. Türkiye madenciliğinde nikel ve kobalt üretimleri sınırlı düzeyde gerçekleşmektedir. Batarya teknolojilerinde gerekli olan demir ve fosfat kaynaklarının Türkiye'deki bulunurluğu ve üretimde artış potansiyelleri batarya üretimi fırsatlarını güçlendirmektedir. Dolayısıyla, bataryalar için stratejik tüm minerallere yönelik arama, keşif ve üretim faaliyetlerinin yoğunlaştırılmasının önemli bir fırsat alanı sunduğu değerlendirilmektedir.

Türkiye'de batarya üretimi için yatırımlar ve gelişen enerji ekosistemi çok olumlu gelişmelerdir. Batarya kurulumlarında 2026 yılından itibaren gerçekleşmesi beklenen hızlı artışlar, yerli imalat bazının büyümesini ve ölçek kazanmasını destekleyecektir. Türkiye, batarya minerallerinde ve teknolojilerindeki yerli üretim fırsatlarını odaklı teknolojik gelişimle değerlendirebilmesi durumunda dünyada artan alternatif tedarikçi ihtiyaçları içerisinde önemli bir üretim ve tedarik üssü konumuna gelebilecektir. Bu konumlanma, enerji güvenliğinin ve temiz elektrifikasyonun yanı sıra katma-değerli ihracat hedeflerine güçlü katkı sağlayabilecektir.

8. Çok çeşitli kritik enerji minerallerinde Afrika gibi bölgelerde uluslararası ortaklıkları da içeren önemli fırsatlar bulunmaktadır.

Bakırın elektrifikasyon bileşeni olmanın yanı sıra ekonomilerin genelinde de yaygın kullanımı, küresel ölçekte güçlü ve kalıcı talep dinamiklerini beraberinde getirmektedir. Diğer taraftan bakır madenciliğinde 2035 yılında oluşması öngörülen %30 seviyesinde küresel arz açığı, elektrik sisteminde çok yoğun olarak kullanılan bu mineralde de tedarik güvenliği için yapısal risklere işaret etmektedir¹⁰. ABD'nin Kasım ayında güncellediği Kritik Mineraller Listesi'ne bakırı dahil etmesi, küresel ölçekte bakırın artan stratejik önemini bir kez daha teyit etmektedir. IIEEC analizleri, Türkiye'nin bakır madenciliği ve rafine ürün üretiminde önemli ilerleme kaydetmiş olmakla birlikte yüksek dış ticaret açığının devam ettiğini, talepte yüksek büyümenin süreceğini göstermektedir. Maden üretim artışları, yeni keşifler ve işleme kapasitelerinin artırılması, potansiyel tedarik ve rekabetçilik risklerinin yönetilmesi, dış ticaret dengelerinin iyileştirilmesi, geleceğin elektrik sistemlerinin sürdürülebilir gelişiminin güvenceye alınması gibi çok yönlü dinamikler bakımından öncelikli gelişim alanları olarak değerlendirilmektedir.

Alüminyum da farklı özellikleri nedeniyle Türkiye için önemli bir kritik enerji minerali durumundadır. Türkiye, alüminyumda dünyanın önemli üreticileri arasında yer almakta, ara ve üç ürünler dahil ticarete net ihracatçı konumunu sürdürmektedir. Dünya genelinde, alüminyumun bakıra göre daha yüksek bulunurluğa sahip olması, tedarik açısından avantaj olarak değerlendirilmektedir. Alüminyum, bakırdan daha düşük iletkenliğe sahip olmakla birlikte, görece hafifliği ve maliyet avantajları ile dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'nin elektrik şebekelerinde de farklı roller üstlenmektedir¹¹. Boksit minerallerinden galyum elde etme fırsatlarının da yarı iletken teknolojileri gibi stratejik sektörlerde kullanımı ekseninde değerlendirilmesi önerilmektedir.

Çinko, krom, manganez ve bor gibi kritik mineraller ise Türkiye'nin mevcut üretimleri, rezerv miktarları ve potansiyelleri, özellikle de katma değerli üretim fırsatları dikkate alınarak, enerji sistemlerinde üstlendikleri tamamlayıcı roller ekseninde değerlendirilmelidir. Örneğin çinko, korozyon direnci, alaşım uygulamaları ve yeni nesil çinko-bazlı batarya teknolojilerindeki gelişmelerle öne çıkmaktadır. Krom temiz enerji teknolojilerinde performansı artıran önemli bir mineral konumunda olup, manganez bazı batarya kimyalarında kritik bir bileşen olarak önemini sürdürmektedir. Türkiye'nin dünya toplam rezervlerinin çok büyük bölümüne sahip olduğu bor ise, ileri kompozit malzemelerden nükleer reaktör teknolojilerine, enerji depolamadan kalıcı miktatsız üretimine uzanan geniş bir spektrumda yüksek katma değerli potansiyel gelişim alanları içermektedir.

¹⁰ IEA 2025

¹¹ Sektörel değerlendirmeler ve IIEEC analizlerinde, Türkiye'de alüminyumun özellikle havai iletim hatlarındaki yoğun kullanım çerçevesinde iletim ve dağıtım şebeke altyapısındaki toplam iletken kütlenin yaklaşık yarısını oluşturduğu tahmin edilmektedir

Dünyada arz yoğunlaşmasına yönelik yeni çözüm arayışları gelişirken, Afrika yüksek rezervleri ve bakır potansiyeliyle öne çıkmaktadır. Dünya grafit rezervlerinin dörtte-birinden fazlası, kobalt rezervlerinin yaklaşık %60'ı, krom rezervlerinin yarısından fazlası, manganez rezervlerinin yaklaşık %40'ı, ve bakır rezervlerinin yaklaşık %10'u Afrika kıtasında bulunmaktadır. Küresel kobalt üretiminin %70'i, manganez üretiminin yaklaşık dörtte-üçü, bakır üretiminin yaklaşık %20'si, lityum üretiminin %10'undan fazlası Afrika'da gerçekleşmektedir. Afrika önemli büyüklükte rezervlere ve maden üretimlerinde sağlanan artışlara karşın henüz sınırlı ölçüde değerlendirilebilmiş yüksek potansiyel taşımaya devam etmektedir. Kıtada kritik minerallerin rafinaj işlemleri ve ekipman imalatı için az sayıda tesis bulunduğundan madencilik üretiminin çok büyük bölümü ham cevher olarak veya yarı işlenmiş formlarda ihraç edilmektedir¹². Türkiye, kıta genelinde kritik mineraller ve ülkeler bazında hedef odaklı yaklaşımlar geliştirerek kamu ve özel sektör yatırımları yoluyla önemli roller üstlenebilecektir. Bu tür iş birliklerinin Latin Amerika gibi önemli kritik mineraller bakımından zengin diğer bölgelerde de geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Riskler, Fırsatlar ve Gelişim Alanları Özet Değerlendirmesi

Çalışmada sunulan bulgular, Türkiye'nin kritik enerji minerallerinin tedarik zincirlerinde çok boyutlu ve giderek derinleşen risklerle karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Başlıca riskler, rafinaj, teknoloji ve katma değerli ürün kapasitelerinde yetersizliğin sürmesi durumunda tedarik risklerine daha fazla açık duruma gelinmesi, ileri ürünlerde dışa bağımlılığın ve dış ticaret dengelerindeki açıkların büyümesidir. Bu riskler, enerji güvenliği, elektrifikasyonun ve gelişmekte olan enerji ekonomisinin sürdürülebilirliği ve rekabetçiliği için ciddi kırılganlıkları beraberinde getirirken, minerallerin Türkiye için stratejik olan elektronik, otomotiv, havacılık, savunma sanayi gibi pek çok sektörde önemli girdi olarak kullanımı çerçevesinde arz açıkları enerji sektörünün ötesinde ekonomik ve güvenlik yansımaları ile neticelenebilecektir. Örneğin, Türkiye'nin en büyük üretim ve ihracat sektörlerinden biri olan otomotiv sanayisinin rekabetçi ve sürdürülebilir gelişimi, kritik minerallerin tedarik zincirlerinde dayanıklılığının stratejik bir unsur olarak ele alınmasını gerektirmektedir.

IICEC analizleri, Türkiye için önemli fırsatların da bulunduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye için en önemli fırsat alanlarından birisi, dünya genelinde pek çok kritik mineralde aşırı coğrafi yoğunluk nedeniyle çeşitlendirmeyi artıracak alternatif tedarikçi ihtiyaçlarının güçlenmesidir. Bu yönelim, Türkiye'nin stratejik yatırım ve teknoloji modelleriyle rafinaj ve teknolojik üretim kapasite geliştirerek kendi talebinin güvenli şekilde karşılanmasına ek olarak bölgesel ve küresel ölçekte öne çıkabilecek bir oyuncu olma potansiyelini pekiştirmektedir.

¹² Afrika'nın temiz enerji teknolojilerinin imalatından elde edilen küresel ekonomik değerdeki payı %1'in altında gerçekleşmektedir

Özellikle NTE için açıklanan yüksek kaynak keşif miktarı ve rafinaj hedefleri, batarya ekosistemindeki olumlu gelişmeler, küresel arzda çok yüksek coğrafi yoğunluğun sürdüğü, enerji sektörü dışında savunma sanayi, ulaştırma, veri merkezleri gibi farklı stratejik sektörlerde de kritik kullanımı olan bu minerallerde ve teknolojilerde Türkiye'nin yüksek katma-değerli bir üretim ve tedarik üssü olmasını sağlayabilecektir. Türkiye'nin halen büyük ölçüde bakir olan maden aramalarında potansiyelinin değerlendirilmesi, ekonomik olarak işletilebilir rezerv envanterinin güncellenmesine, çeşitlendirilmesine ve büyütülmesine sağlayacaktır. Madencilikten imalat sanayisine ve uç ürünlere kadar uzanan değer zincirinin tamamına ilişkin güncel, bütüncül ve detaylı bir tedarik zinciri envanterinin oluşturulması ise, mineral, teknoloji ve yatırım odaklı yol haritalarının geliştirilmesini destekleyerek arz öngörülebilirliğini temin edecektir.

Jeopolitiğin enerji güvenliği ve enerji ticareti üzerindeki etkilerinin belirgin şekilde arttığı mevcut konjonktürde Türkiye'nin coğrafi konumu ayrıca stratejik önem taşımaktadır. Türkiye, bir taraftan enerji sistemlerinde büyümeyi destekleyen güçlü talep dinamiklerine sahipken, diğer taraftan da Avrupa gibi yüksek talep merkezi olmakla birlikte yerel üretim olanakları kısıtlı olan bölgesel piyasalara, Hazar Bölgesi gibi kritik minerallerde önemli girişimlerin gelişmeye başladığı coğrafyalara yakınlığıyla güvenli bölgesel tedarik zincirlerinin entegrasyonu için kilit bir konumda bulunmaktadır. Bölgesel ve küresel tedarik güvenliğine yönelik bu fırsatlar, özellikle Afrika ve Latin Amerika gibi bölgelerde odaklı madencilik ve rafinaj yatırımları ile daha ileriye taşınabilecektir. Böylelikle Türkiye kendi arz güvenliğinin ve çeşitlendirmesinin güçlendirilmesine ek olarak, kritik enerji minerallerinin güvenli arzında artan role sahip olabilecektir.

Çalışmada sunulan çok yönlü risklerin yönetilebilmesi ve gelişen fırsatların değerlendirilebilmesi, değer zincirinin tüm aşamalarını, yakın, orta ve uzun dönemli politika araçlarını bütüncül olarak kapsayan, acil durum mekanizmalarını, yatırım, teknolojik gelişim ve diplomasi boyutlarını içeren stratejik bir planlama yaklaşımı gerektirmektedir. Türkiye'nin yakında açıklanması beklenen Strateji Belgesi'nin bu yönde çok önemli bir adım olacağı değerlendirilmektedir. Politika mekanizmalarında ve düzenleyici çerçevelerde, teşvikleri de içeren yatırım ve iş modellerine, katma-değerli üretimi ve değer zinciri dönüşümünü destekleyecek teknolojik gelişimde ve iş birliklerinde sağlanacak ilerlemeler, Türkiye için enerji güvenliğine ve bağımsızlığına, çok yönlü faydalara sahip temiz elektrifikasyonda önemli büyüme perspektifine, kritik mineralleri temel girdi olarak kullanan diğer stratejik sektörlerin tedarik güvenliğine, daha yüksek katma-değerli ekonomik büyümeye, teknoloji-odaklı sanayileşme hedeflerine önemli katkılar sağlayacak, ulusal güvenliği de güçlendirecektir.

IICEC Önerileri

IICEC, kritik enerji minerallerinde Türkiye'nin artan enerji güvenliği, ekonomik ve stratejik risklerinin yönetilmesi, potansiyelinin ve yüksek katma değerli fırsatlarının değerlendirilebilmesi için tedarik zincirlerinde bütüncül bir stratejik planlamanın hayata geçirilmesini,

1. Stok mekanizmalarının belirlenmesini, yüksek katma değerli üretimi, tedarikte çeşitlendirmeyi ve risklere dayanıklılığı artıracak yol haritalarının oluşturulmasını,
2. Madencilikte ve tedarik zincirlerinin genelinde güncel, detaylı ve bütüncül envanterlerin geliştirilmesiyle ekonomik potansiyelin belirlenmesini ve öngörülebilirliğin güçlendirilmesini,
3. Rafinajda bölgesel ve küresel bir oyuncu olma yönünde gelişen fırsatların, uzun dönemli planlama, stratejik yatırım ve teknoloji modelleriyle değerlendirilmesini,
4. Nitelikli ve sürdürülebilir büyüme için yatırım teşvik modellerinin, inovasyon ve Ar-Ge yetkinliklerinin, iş gücü programlarının ve kurumsal kapasitelerin geliştirilmesini,
5. Türkiye'nin stratejik konumu, diplomasi ve uluslararası iş birlikleri yoluyla sağlanabilecek çok boyutlu ekonomik ve stratejik faydaların değerlendirilmesini,
 - Özellikle rezervleri ve üretim potansiyeli yüksek olan Afrika'da, kamu ve özel sektör yatırımlarıyla madencilikte ve rafinajda konumlanmanın temin edilmesini,
 - Talebi, güvenlik, çeşitlendirme ve rekabetçilik ihtiyaçları artan piyasalarla tedarik, ticaret, geri dönüşüm fırsatlarının değerlendirilmesini,
 - IEA Kritik Mineraller Güvenliği Programı'na aktif katılım yoluyla koordinasyon mekanizmalarına katkı sağlanmasını,
6. Mineral ve teknoloji odaklı özel yaklaşımlar içerisinde, özellikle,
 - Nadir toprak elementlerinde açıklanan büyük kaynak keşfinin, rezerv doğrulamalarından uç ürünlere kadar stratejik değer zinciriyle geliştirilmesini,
 - Lityumda ve batarya teknolojilerinde üretim, inovasyon ve tedarik üssü olma fırsatlarının değerlendirilmesini,
 - Rafinaj, batarya katot ve anot malzemeleri, yüksek verimli kalıcı mıknatıs gibi alanlarda teknolojik gelişime odaklı uluslararası ve sektörler arası iş birliklerinin geliştirilmesini,
 - Bakırda arama, katma değerli üretim ve işleme kapasitelerinin geliştirilmeye devam edilmesini

önermektedir.

BÖLÜM 1:

Giriş

1.1. Neden Türkiye Kritik Enerji Mineralleri Görünümü?

Enerji güvenliği, günümüzde yalnızca bir enerji politikası konusu olmaktan çıkarak aynı zamanda ekonomik ve ulusal güvenliğin temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Elektrifikasyon süreci ile birlikte enerji sistemlerinde kritik minerallerin yoğunluğu ve stratejik rolü hızla artmaktadır. Buna karşın, bu minerallerin üretiminde ve tedarik zincirlerinde devam eden yüksek coğrafi konsantrasyon, arzın sınırlı sayıda ülkeye yüksek oranda bağımlı olması ve son dönemde küresel ölçekte etkiler gösteren ihracat kısıtlamaları, bu alanda artan risklerin ve kırılganlıkların yönetilmesini karar vericilerin en üst gündem maddeleri arasına taşımıştır. Kritik minerallerin, enerji dışında pek çok stratejik sektörde de yaygın kullanımı, risklerin boyutunu ve kapsamını genişletmekte, tedarik zincirlerinde çeşitlendirmeyi artırmak ve dayanıklılığı güçlendirmek üzere, stok ve koordinasyon mekanizmaları, yatırım teşvikleri gibi etkin politika araçlarının hızla hayata geçirilmesini gerektirmektedir.

Hızla gelişmekte olan Türkiye enerji sektörünün elektrifikasyon dinamikleri içerisinde bu minerallere olan talep belirgin şekilde artmaktadır. Ancak yerli arz kapasitesi, teknoloji geliştirme olanakları ve ithalat çeşitlendirme alternatiflerinin diğer pek çok ülkede olduğu gibi henüz sınırlı olduğu görülmektedir. Buna karşın kritik mineraller son dönemde Türkiye'nin politika öncelikleri arasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Kritik ve Stratejik Madenler Listesi 2025 yılı itibarıyla yayımlanmış olup, önceliklerin ve hedeflerin belirleneceği kapsamlı bir strateji belgesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Sektörel eğilimler, madencilikte arama ve keşiflerin artırılmasından, uç ürünlerin ve ileri teknolojilerin imalatına kadar değer zincirinin genelinde önemli gelişme potansiyeline işaret etmektedir.

Türkiye'de bu alanda bir ilk olma niteliği taşıyan bu çalışma, madencilikten enerjiye, teknoloji ve ekipman imalatından finansmana kadar uzanan geniş bir ekosistemde kritik enerji minerallerinin hızla artan önemine ve güncel gelişmelere yönelik farkındalığı güçlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Bu öncü çalışmada, küresel ölçekteki dinamikler, artan riskler ve geliştirilen çözüm yaklaşımları, Türkiye'deki ilgili politika gelişmeleri, sektörel eğilimler ve hedefler, dış ticaret ve talep analizleri, arza ilişkin değerlendirmeler bütüncül bir çerçevede ele alınmaktadır. Türkiye'nin karşı karşıya olduğu riskler, sahip olduğu fırsatlar ve gelişim alanları analitik bir bakış açısıyla değerlendirilerek, kritik enerji mineralleri alanında daha güvenli ve yüksek katma değerli bir geleceğe yönelik somut politika önerileri sunulmaktadır.

1.2. Çalışmanın İçeriği

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır.

- **Bölüm 2’de** küresel enerji güvenliğinin artan önemi ve enerji sisteminde elektrifikasyonun hızla gelişen rolü çerçevesinde, gelişen enerji sistemlerinde kritik minerallerin neden stratejik bir konuma yükseldiği irdelenmekte, bu minerallerin enerji sektörünün ötesinde birçok farklı sektördeki stratejik kullanım alanları örneklerle açıklanmaktadır.

Çoklu sektör bağımlılıklarını ve etkileri gösteren bu bölümde, Uluslararası Enerji Ajansı’nın (IEA) kapsamlı analizlerinden seçilmiş temel bulgulara yer verilmektedir. Yüksek coğrafi yoğunlaşma ve sınırlı tedarik çeşitlendirmesi gibi temel risk faktörleri sistematik bir çerçevede sunulmaktadır. Küresel talep artışları ile arz-talep dengelerin senaryoları ve olası arz açıkları; N-1 analizleri dâhil olmak üzere çeşitli senaryolar üzerinden değerlendirilmektedir. Fiyat oynaklıklarını gösteren tarihsel parametreler ile son dönemde kapsamı ve etkisi belirgin şekilde artan ihracat kısıtlamaları, güncel veriler ve somut örneklerle incelenmektedir. Ayrıca, kritik ve stratejik minerallerde yan ürün bağımlılığından kaynaklı ek kırılganlıklar sunulmaktadır.

Bu bölümde, gelişen riskler ve derinleşen kırılganlıklar karşısında küresel ölçekte geliştirilen çözümler de ele alınmaktadır. Bu çerçevede, IEA tarafından tedarik güvenliğini ve dayanıklılığı artırmak, arama, üretim ve yenilikleri teşvik etmek ve sürdürülebilir uygulamaları desteklemek için önerilen kapsamlı politika setine ve politika izleme mekanizmalarına ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Acil durum ve stok mekanizmaları, yatırım teşvik modelleri gibi son dönemde öne çıkan uygulamalar, büyük ekonomilerin artan tehditlere karşı belirledikleri öncelikler ve odaklandıkları çözümler ile birlikte değerlendirilmektedir.

- **Bölüm 3’de** Türkiye’de madenlerin genel görünümü, potansiyeli, üretim ve GSYİH, ithalat ve ihracat gibi başlıca temel ekonomik göstergelerdeki konumu ele alınmaktadır. Tüvenan üretimleri, tüvenan ve ara-uç ürünlerdeki ithalat ve ihracat verileri ekseninde dış ticaret analizleri bütüncül bir yaklaşımla sunulmaktadır. Rezerv bazının büyütülmesine ve tedarik zincirlerinde bütüncül envanterlerin geliştirilmesine yönelik önemli fırsatlar değerlendirilmektedir.

Politika belgelerinde ve ilgili düzenleyici çerçevelerde son dönemde kaydedilen önemli gelişmeler ve belirlenen hedefler sunulduğu bu bölümde açıklanmaktadır. Yerli üretimin artırılması, teknolojik kapasitenin güçlendirilmesi, katma-değerli büyüme ve tedarikte çeşitlendirmenin artırılması gibi alanlarda belirlenmiş olan somut hedefler, 2025 yılında açıklanan Kritik ve Stratejik Madenler Listesi'ne ilişkin bilgiler, ABD ve AB tarafından açıklanan benzer listelerle karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.

Türkiye'de elektrifikasyonun mevcut durumu ve gelecek perspektifi çerçevesinde, kritik enerji minerallerin olan talebin belirleyicileri, ilgili teknolojilerde öne çıkan dinamiklerle birlikte değerlendirilmektedir. Kritik enerji minerallerinin talebine yönelik olarak teknolojiler ve mineraller bazında geliştirilen analitik modelleme çerçevesiyle, 2035 ve 2053 yıllarına kadar olan dönemlerde başlıca kritik enerji minerallerine yönelik talep gelişim perspektifleri sunulmaktadır.

Küresel görünüm ve dinamikler ile Türkiye için tespit edilen bulgular kapsamında, başlıca kritik enerji mineralleri için riskler ve fırsatlar analitik bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Nadir Toprak Elementlerinde (NTE) son dönemde açıklanan yüksek ölçekli keşifler, lityum ve batarya ekosisteminde öne çıkan gelişmeler ve bu gelişmelerin sunduğu fırsat alanları küresel dinamiklerle birlikte detaylı irdelenmektedir. Ayrıca, bakır ve diğer bazı önemli kritik enerji minerallerine ilişkin temel bulgulara yer verilmektedir. Türkiye'nin bulunduğu bölgedeki son dönemdeki gelişmeler ve iş birlikleri potansiyelinin de değerlendirildiği bu bölümde, Afrika ve Güney Amerika bölgelerinin kritik mineral kaynakları ve tedarik zincirlerindeki mevcut durumu ile Türkiye için sunduğu fırsatlar irdelenmiştir.

- **Bölüm 4'te**, çalışmada tespit edilen başlıca riskler ve fırsatlar çerçevesinde Türkiye'nin kritik enerji mineralleri ve tedarik zincirlerinde daha güvenli ve yüksek katma değerli geleceğine yönelik gelişim alanları ve somut politika önerileri sunulmaktadır.

Şekil 1.1. Küresel Dinamikler ve Türkiye Değerlendirmeleri Çerçevesinde Riskler, Fırsatlar ve Gelişim Alanlarına Bakış

Risk ve Fırsat Alanları	Stratejik Planlama ile Gelişim Alanları
Risk Alanları • Artan enerji güvenliği riskleri • Elektrifikasyon ve enerji dönüşümü için rekabetçi tedarik riskleri • Enerjinin ötesinde stratejik sektörler için riskler • Dış ticaret dengelerine olumsuz etkiler Fırsat Alanları • Ekonomik rezerv envanterinin ve değer zincirinde katma değerli üretimin büyütülmesi • Dünya genelinde özellikle rafinajda çeşitlendirme ve güvenilir tedarikçi arayışları • Güçlü talep dinamiklerine sahip piyasa • İş birlikleri	1. Önemli politika mekanizmaları ve yol haritaları 2. Madencilik ve bütüncül değer zinciri envanteri gelişimi 3. Rafinaj odaklı stratejik büyüme perspektifi 4. Yatırım teşvik modelleri, inovasyon ve teknoloji 5. Diplomasi, bölgesel ve uluslararası işbirlikleri 6. Minerallerde ve teknolojilerde odaklı yaklaşımlar
Anahtar Risk - Başarı Faktörleri	
• Tedarik zincirlerinde kırılganlıklar - Tedarik zincirlerinde dayanıklılık • Tedarik zincirlerinde yoğunlaşma - Tedarik zincirlerinde güvenilir çeşitlendirme • Düşük teknolojik gelişim - Yüksek katma değerli üretim	

BÖLÜM 2:

Kritik Minerallere ve
Tedarik Zincirlerine
Küresel Bakış:
Hızla Artan Riskler ve
Gelişen Çözümler

2.1. Giriş

Jeopolitiğin enerji sektörü üzerindeki etkilerinin tarihte hiç olmadığı kadar belirgin hale geldiği günümüzde, enerji güvenliği artık yalnızca bir enerji politikası alanı değil, aynı zamanda ekonomik ve ulusal güvenliğin temel unsuru durumuna gelmiştir. Petrol ve doğal gaz gibi geleneksel arz güvenliği risklerine ek olarak, özellikle elektrifikasyondaki güçlü dinamikler, enerji güvenliğinin kapsamını önemli ölçüde genişletmektedir. Dünya hızla bir elektrik çağına doğru ilerlerken, bunun neticesinde enerji sistemleri giderek daha fazla mineral-yoğun bir yapıya dönüşmektedir. Ancak enerji güvenliğinin sağlanmasındaki en kilit unsur olan çeşitlendirme, kritik enerji minerallerinde ve bu minerallerin tedarik zincirlerinde ters yönde ilerlemektedir. Tedarikte, özellikle kritik minerallerin madencilikten istenilen talep ve teknoloji formlarına dönüşümü için gerekli rafinajda çok yüksek coğrafi yoğunluk söz konusudur. Bu tedarik yapısı, küresel tedarik zincirlerini kesintilere karşı kırılgan duruma getirmekte, enerji güvenliğinin yanı sıra stratejik minerallere bağımlı olan birçok sektör için de riskleri yükseltmektedir (Financial Times, 2025a; IEA, 2025a; IEA, 2025b; TIME, 2025).

Kritik minerallerin rafinajında kapasite artışlarının büyük bölümü sınırlı sayıdaki tedarikçiden gelmeye devam etmektedir. Önemli kritik enerji minerallerinde en büyük üç üreticinin 2020'de %82 olan ortalama pazar payı, 2024 yılında %86'ya yükselmiştir. Tek bir ülkeye yüksek oranda bağımlılık riskleri daha da pekiştirmektedir. Çin, enerjiyle de ilişkili, yüksek stratejik öneme sahip 20 mineralin 19'unda ortalama %70 rafinaj payına sahiptir. Kasım 2025 itibarıyla bu minerallerin yarısından fazlası ihracat kısıtlamalarına tabidir. Çin'in, batarya metallerinde ve nadir toprak elementlerinde (NTE) %90'lar seviyesinde pazar payına sahiptir. Bu iki alanda Çin dışı kaynaklardan sağlanabilen arz, 2035 yılında, Çin hariç dünya toplam talebinin yalnızca yarısını karşılayabilecek düzeydedir¹. Çin'in elektrikli araç motorlarında kullanılan kalıcı mıknatısların üretiminde %95 civarında paya sahip olması, enerji ve otomotiv endüstrilerinin karşı karşıya olduğu riskleri gösteren diğer bir çarpıcı örnektir (IEA, 2025a; IEA, 2025c; IEA, 2025d).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2021 yılında bu konuyla ilgili ilk kapsamlı raporundan bu yana yürüttüğü detaylı çalışmalarda ve yayımladığı raporlarda^{2,3,4,5} kritik enerji minerallerinde küresel ölçekte artan çok yönlü risklere sürekli dikkat çekmiştir. IEA, özellikle yüksek coğrafi yoğunlaşmanın ciddi kırılganlıklara yol açacağına ilişkin güçlü uyarılar yapmıştır. Riskler IEA uyarılarında öngörüldüğü gibi gerçekleşmekte, küresel ölçekte yüksek etkili tedarik sorunlarının arttığı görülmektedir.

¹ N-1 analizi

² <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

³ <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023>

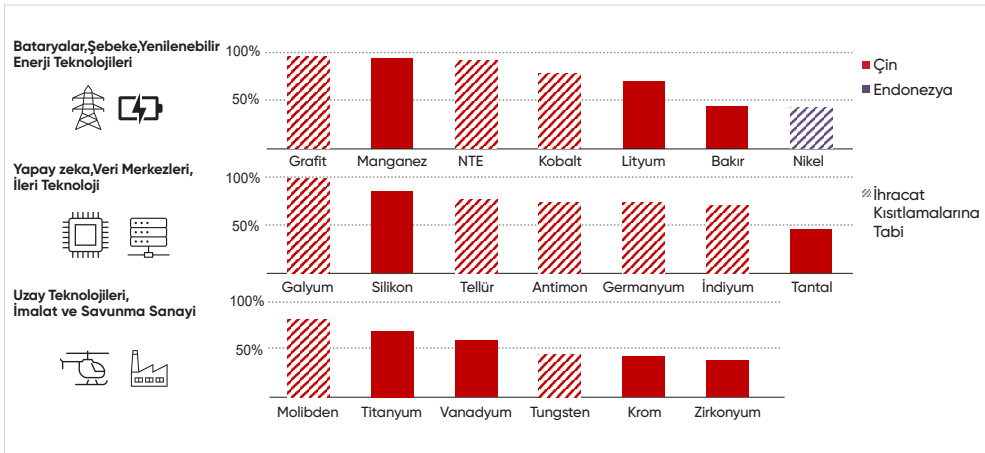
⁴ <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>

⁵ <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>

2025 yılı Nisan ayında Çin'in önemli nadir toprak elementleri ve kalıcı mıknatısların ihracatına getirdiği yeni kısıtlamalar, ABD, Avrupa ve diğer bazı bölgelerde otomotiv üretim kapasitelerinde düşüşlere neden olmuştur. Ekim ayında bu kısıtlamaların batarya teknolojileri ve üretim ekipmanlarını da içerecek şekilde genişletmesiyle küresel tedarik zincirlerindeki mevcut ve potansiyel riskleri daha da artmıştır (IEA, 2025a; IEA, 2025c; IEA, 2025d; IEA, 2025e).

Kritik mineraller sadece enerji sektöründe büyümenin, enerji güvenliğinin ve temiz enerji geleceğinin temel girdileri değildir. Elektrifikasyonun geleceğini şekillendiren yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik şebekeleri, elektrikli araçlar ve enerji depolama sistemleri için gerekli birçok mineral, çip teknolojileri, havacılık ve uzay endüstrileri, savunma sanayii gibi stratejik sektörler için de en önemli girdiler arasında yer almaktadır. Kritik ve stratejik minerallerde artan talebe karşın tek bir ülkeye (çoğunlukla Çin'e) bağımlılığın çok yüksek ve ihracat kısıtlamalarının giderek daha yaygınlaşmakta olduğu mevcut tedarik yapısı güvenli değildir (Şekil 2.1). Bu durum, arz ve fiyat şoklarına, fiyat dalgalanmalarına, 2025 yılı içerisinde küresel ölçekte görüldüğü gibi ihracat kısıtlamalarının fiziksel ve ekonomik etkilerine, siyasi belirsizliklere, tedarik zincirlerinde aşırı hava olaylarından kaynaklı veya herhangi bir başka nedenle ortaya çıkabilecek kesintilere karşı kırılganlıkları ciddi şekilde artırmaktadır (IEA, 2025a; IEA, 2025c; IEA, 2025f). Bu dinamikler, elektrifikasyon, temiz enerji teknolojileri ve kritik mineraller arasındaki etkileşimlerde jeopolitik gelişmelerin rolünü daha da belirleyici hale getirmektedir.

Şekil 2.1. Stratejik Minerallerin Rafinajında En Büyük Tedarikçi Ülkenin Payı ve İhracat Kısıtlamaları (2024, %)



Kaynak: IEA, 2025f

Gelişmeler, kritik minerallerde tedarik zincirlerinin güvenliğinin sağlanmasının, enerji güvenliğine ek olarak ekonomik ve ulusal güvenliği sağlamanın önde gelen koşullarından birisi olduğunu çok güçlü şekilde göstermektedir. IEA çalışmaları ve politika önerileri, hızla artan risklerin yönetilebilmesi ve arzda kırılganlıkların azaltılabilmesi için acil durum planlamalarının önemini, daha çeşitlendirilmiş ve dayanıklı tedarik zincirlerinin hızla geliştirilmesi ihtiyacını, bunlar için piyasa mekanizmalarının tek başına yeterli olmayacağını, stoklama, yatırım teşvikleri, inovasyon ve koordinasyon gibi alanlarda etkin politikaların ve uluslararası işbirliklerinin hızla geliştirilerek uygulanmasının gerekliliğini göstermektedir (Financial Times, 2025b; IEA, 2025a; IEA, 2025c; IEA, 2025g; TIME, 2025).

2.2. Kritik Mineraller Neden Giderek Daha Fazla Önem Kazanıyor?

2.2.1. "Elektrik Çağı" ve Mineral-Yoğun Bir Enerji Sistemine Geçiş

Dünya hızla bir "Elektrik Çağı"na girmektedir. Son on yılda, küresel elektrik talebindeki yıllık büyüme oranı küresel enerji talebindeki yıllık büyüme oranının iki katı olarak gerçekleşmiştir. Küresel elektrik talebi 2024 yılında %4,3 büyüme göstermiştir. 2025-2027 döneminde, klima kullanımlarında artış, sanayi üretiminin artması ve dünya çapında veri merkezlerinin sayısının hızla artması gibi faktörlerin etkisiyle talepte yıllık ortalama %4'e yakın bir büyümenin sürmesi beklenmektedir. Bu hızlı büyüme neticesinde, dünya elektrik tüketimi önümüzdeki üç yıl içerisinde 3.500 TW-saat artış gösterecektir. Bu artış, her yıl Japonya'nın elektrik tüketim miktarına eşdeğer tüketimin küresel talebe eklenmesi anlamına gelmektedir (IEA, 2025h).

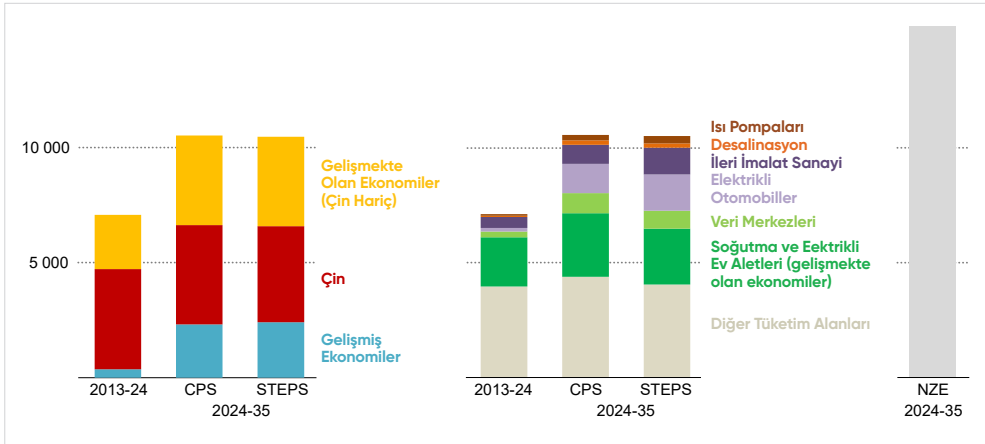
Bu güçlü büyümeyle, elektriğin nihai enerji tüketimini oluşturan talepleri karşılamadaki payı hızla yükselmektedir. Elektrik enerjisinin dünya toplam nihai enerji tüketiminde %21'e ulaşan payının, önümüzdeki dönemde hızla artarak 2035 yılına doğru %30 seviyesine gelmesi öngörülmektedir (IEA Güncel Politikalar Senaryosu'nda⁶ %29, IEA Açıklanan Politikalar Senaryosu'nda⁷ %31). Buna göre hem CPS hem de STEPS senaryosunda 2024-2035 yılları arasında küresel elektrik talebinin 10.000 TW-saat'in üzerinde artış göstermesi beklenmektedir. Bu artış miktarı, geçmiş on bir yıllık dönemde kaydedilen artışın yaklaşık bir-buçuk katına karşılık gelmektedir (IEA, 2025a).

⁶ IEA Current Policies Scenario (CPS)

⁷ IEA Stated Policies Scenario (STEPS)

Elektrik talebi artışının yaklaşık dörtte üçünün gelişmekte olan ekonomilerde ve Çin'de gerçekleşmesi beklenmektedir. Gelişmiş ekonomilerde de elektrifikasyon sürecinin yeniden hız kazandığı görülmektedir. Dünya genelinde elektrik talebini büyüten yeni faktörler, elektrikli mobilitenin yaygınlaşması, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde klimalar ve elektrikli ev aletleri kullanımı kaynaklı büyüyen talep, yaygınlaşan veri merkezleri, ileri imalat sanayideki üretim artışları ve desalinasyon ihtiyacındaki yükseliştir. (Şekil 2.2). 1,5°C hedefinin gerçekleşebilmesine yönelik bir gelişim patikası öngören IEA Net Sıfır Emisyon Senaryosunda⁸ ise fosil yakıtların ikamesinde elektriğin nihai enerji tüketimi içindeki payı daha hızlı yükselerek 2050 yılında %55'e ulaşmaktadır (IEA, 2025a).

Şekil 2.2. Dünya Elektrik Tüketiminde Bölgeler ve Talep Sektörleri Bazında Artış (2013-2035, TW-saat)

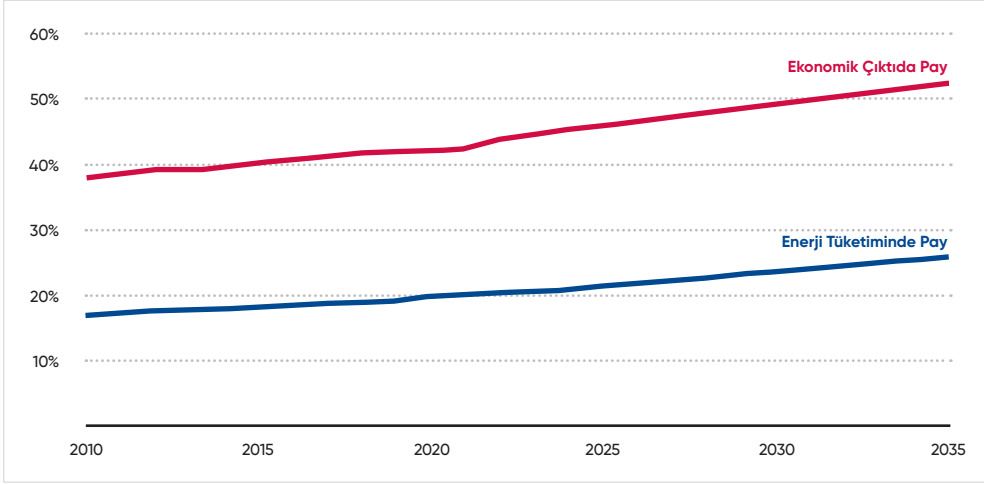


Kaynak: IEA, 2025f

Elektrik enerjisi, ileri imalat sanayi, yapay zeka ve dijital hizmetler gibi birçok yüksek katma değerli sektör için en temel girdilerden birisi durumundadır. Bu nedenle, elektrik enerjisinin ekonomik çıktıdaki ağırlığı nihai enerjideki payından çok daha yüksek seviyededir. Elektriği kritik girdi olarak kullanan sektörlerin dünya ekonomik çıktısı içerisinde %40'ı geçen payının, bu sektörlerde büyüme dinamikleriyle birlikte 2035 yılında %50 seviyesini aşması beklenmektedir (Şekil 2.3) (IEA, 2025a). Bu durum, elektrik enerjisinin, enerji sisteminde hızla artan ağırlığının yanı sıra refahın ve katma-değerli ekonomik büyümenin sağlanmasındaki kritik rolünü de güçlendireceğini göstermektedir.

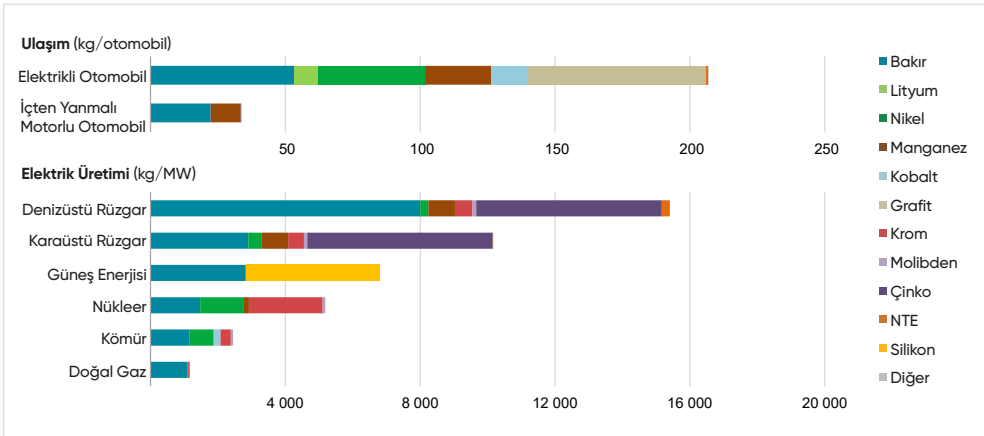
⁸ IEA Net Zero Emissions Scenario (NZE)

**Şekil 2.3. Elektrik Enerjisinin Nihai Enerji Tüketimindeki ve Ekonomik Çıktıdaki Payı⁹
(2010-2035, %)**



Kaynak: IEA, 2025a

Şekil 2.4. Seçili Teknolojilerde Birim Kritik Mineral Yoğunluğu



Kaynak: IEA, 2021

⁹ IEA STEPS Senaryosu

Elektrifikasyonda artışla birlikte, enerji sistemi fosil yakıt ağırlıklı bir yapıdan mineral yoğunluğu yüksek bir yapıya doğru hızla dönüşmektedir. Üretilen elektriği iletim ve dağıtım hatlarıyla tüketicilere taşıyan elektrik şebeke sistemleri bakır, alüminyum, demir ve çinko içermektedir. Rotor, jeneratör, nasele, kule gibi sistemlerden oluşan rüzgar türbinleri, bakır, krom, manganez, nikel, çinko, bor ve kalıcı mıknatısların yapısında kullanılan nadir toprak elementleri¹⁰ (NTE) gibi pek çok farklı minerallere ihtiyaç duymaktadır. Güneş enerjisinin elektriğe dönüşümünde silikon hücreler, iletken kablolar, koruyucu cam katmanlar kullanılmaktadır. Güneş panelleri, hücre teknolojisine göre değişen oranlarda bakır, galyum, germanyum, indiyum, kurşun, nikel, selenyum, gümüş, tellür gibi birçok farklı minerali içermektedir. Elektrikli araçlarda ve enerji depolama sistemlerinde kullanılan bataryalar, batarya kimyasına göre değişen miktarlarda lityum, nikel, kobalt, grafit, manganezin yanı sıra bakır, silikon ve vanadyum gibi kritik minerallere yoğun şekilde gereksinim duymaktadır (IEA, 2025c).

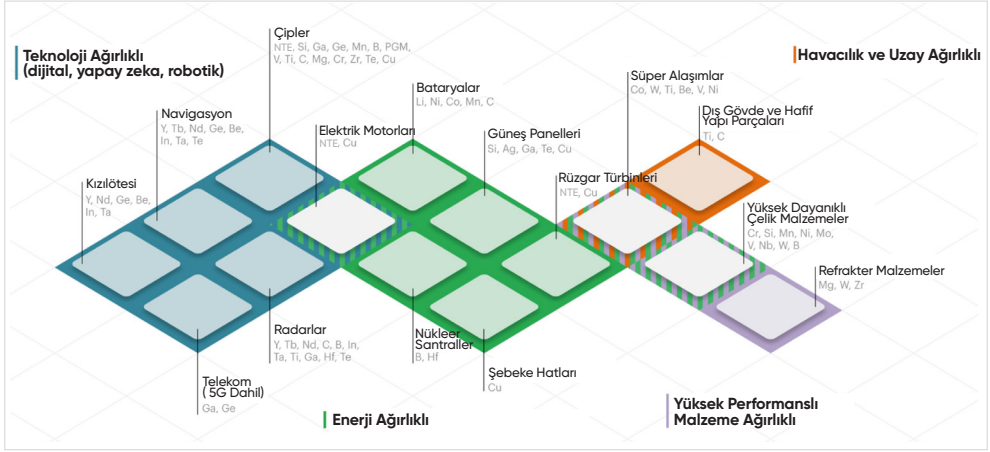
Temiz enerji teknolojilerinin birim mineral yoğunlukları, geleneksel alternatifleri ile karşılaştırıldığında çok yüksektir. Standart bir elektrikli otomobil, içten yanmalı motorlu standart bir otomobilden altı kat fazla mineral girdisi gerektirmektedir. Yenilenebilir enerjiden elektrik üretim teknolojileri, enerji sisteminde mineral yoğunluğunu hızlı şekilde büyütmemektedir. 2010-2021 döneminde, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payında artışa paralel olarak, bir birim elektrik üretim kapasitesi için gereken ortalama mineral miktarı bir-buçuk kat artış göstermiştir. Örneğin, kara üstü rüzgar santralleri birim kurulu güç başına doğal gazdan elektrik üretim birimlerinden dokuz kat daha fazla minerale ihtiyaç duymaktadır. Deniz üstü rüzgar santrallerinde ise bu oran yaklaşık bir buçuk kat daha yüksektir. Güneş enerjisi kurulu gücü için birim mineral yoğunluğu kömür ve doğal gaz santrallerine kıyasla iki-üç kat daha yüksektir fazladır (Şekil 2.4) (IEA, 2021). Özellikle temiz enerji teknolojilerinin kullanımıyla elektrifikasyonun hız kazanması, kritik minerallere olan talebi hızla yükseltmektedir.

2.2.2. Enerjinin Ötesinde Diğer Sektörlerde Kullanım ve Stratejik Önem

Enerji sektörü için kritik olarak tanımlanan birçok mineral aynı zamanda çok sayıda stratejik sektörde de yaygın kullanıma sahiptir (IEA, 2025a). Bu nedenle, kritik ve stratejik minerallere olan talep yalnızca enerji sektörünün dönüşüm dinamikleriyle değil, dijitalleşme, yapay zeka kullanımının artması, veri merkezlerinin artışı, robotik ve havacılık gibi diğer teknoloji-yoğun sektörlerde büyüme ile beraber de şekillenmektedir (Şekil 2.5).

¹⁰ Neodimyum, Praseodimyum, Disprosyum ve Terbiyum

Şekil 2.5. Enerji, Teknoloji, Havacılık, Yüksek Performanslı Malzeme Sektörlerinin Kesişiminde Stratejik Mineraller¹¹



Kaynak: IEA, 2025c

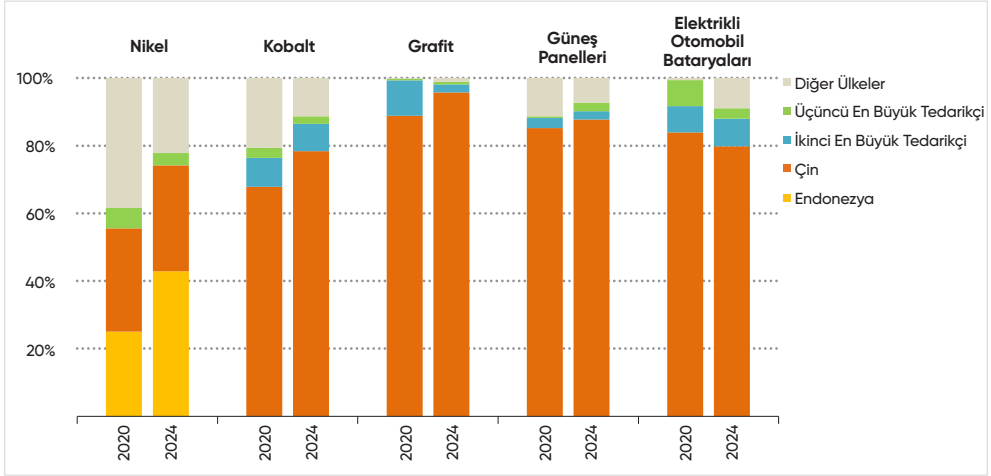
Bu çok sektörlü talep yapısı, minerallerin tedarikinde ortaya çıkan risklerin etkilerini, otomotivden yapay zeka ve robotik sistemlerine, yüksek performanslı malzeme üretiminden savunma sanayiine kadar pek çok stratejik sektöre yaymaktadır. Bu durum, kritik enerji minerallerini sadece enerji güvenliğinin bugünü ve geleceği için değil, aynı zamanda daha geniş bir perspektiften teknolojik büyümenin sağlanabilmesi ve ekonomilerin sürdürülebilir dayanıklılığın güçlendirilmesi için stratejik bir konuma getirmektedir (IEA, 2025c; IEA, 2025i).

2.2.3. Yüksek Coğrafi Yoğunluk ve Çeşitlendirmede Yetersizlik

Enerji güvenliğinin altın kuralı, tedarikte çeşitliliğin sağlanabilmesidir (AA, 2025). Buna karşın, kritik minerallerin ve temiz enerji teknolojilerinin değer zincirinde mevcut görünümün bunun tersine işaret etmektedir. Madencilikten rafinaja, uç ürünlerin ve teknolojilerin imalatına kadar süreçlerde yüksek coğrafi yoğunluk devam etmektedir. Özellikle rafinajda, aralarında galyum, grafit, nadir toprak elementleri ve kobaltın da olduğu, enerji sektörüyle de yakından ilişkili birçok stratejik mineralde yüksek coğrafi yoğunluk ve tek bir ülkeye çok yüksek oranda bağımlılık söz konusudur. Bu yüksek bağımlılık sadece mineraller ile sınırlı kalmamakta, değer zincirinin en son halkası olan pek çok teknoloji için de geçerlilik taşımaktadır (Şekil 2.6). Bu durum enerji güvenliğinin ve ekonomilerin geleceği için çok boyutlu riskleri beraberinde getirmektedir (Financial Times, 2025a; IEA, 2025a; TIME, 2025).

¹¹ Kritik mineraller genellikle ekonomik sürdürülebilirlik ve teknolojik gelişme açısından vazgeçilmez, ikame edilmesi güç ve tedarik riski yüksek mineraller olarak tanımlanmaktadır. Stratejik mineraller ise çoğunlukla enerjinin de ötesinde sektörlerle, özellikle ulusal güvenlik ile yakından ilgisi bulunan mineraller olarak değerlendirilmektedir.

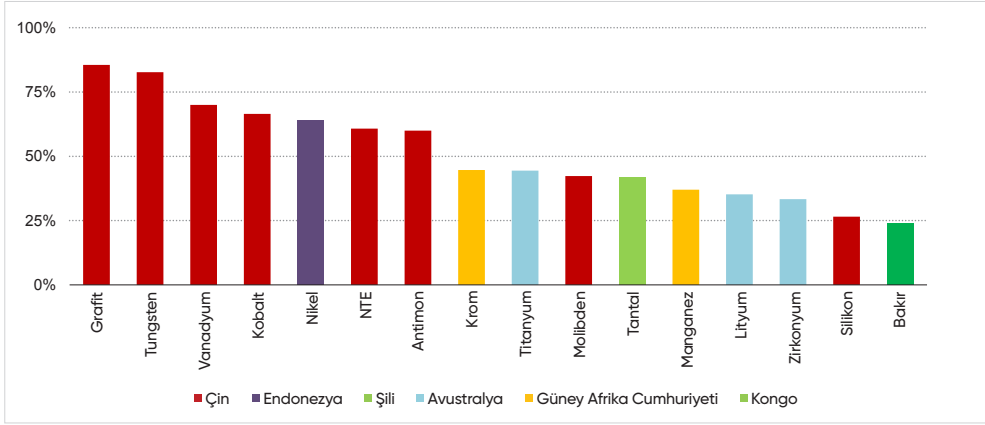
Şekil 2.6. Bazı Kritik Minerallerin ve Temiz Enerji Teknolojilerinin Tedarikinde En Büyük Üç Ülkenin Payları (2020, 2024, %)



Kaynak: IEA, 2025a

Madencilik kritik minerallerde tedarik zincirinin ilk aşamasıdır. Bu alanda coğrafi konsantrasyon yüksek seviyede devam etmektedir. Stratejik minerallerin %40'ından fazlasında dünya toplam madenciliğinin yarısından fazlası tek bir üretici ülke tarafından gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.7). Son dönemde madencilik kapasitelerinde en büyük büyümeler grafit ve nadir toprak elementleri için Çin'de, kobalt için Kongo Demokratik Cumhuriyeti'nde, nikel için ise Endonezya'da gerçekleşmiştir. Bunun neticesinde, kritik minerallerin madenciliğinde en yüksek paya sahip olan üç ülkenin 2020 yılında %73 olan payı 2024 yılında daha da artarak %77'ye yükselmiştir. Gelecekte, lityum, grafit ve nadir toprak elementlerinin madenciliğinde coğrafi çeşitliliğinin nispeten artacağı, ancak bakır, nikel ve kobalt için coğrafi yoğunluğun daha fazla yükseleceği görülmektedir. Bu minerallerin geneline bakıldığında, coğrafi yoğunluk seviyesinin 2035 yılına kadar çok sınırlı bir düşüşle ancak 2020 yılı düzeyine inebileceği öngörülmektedir. Bu görünüm ve gelişmeler, tedarik zincirlerinin ilk aşamasında gözlemlenen önemli bir risktir (IEA, 2025c).

Şekil 2.7. Enerji ile İlişkili Stratejik Minerallerin Madencilik Üretiminde En Büyük Üreticinin Payı (2024, %)

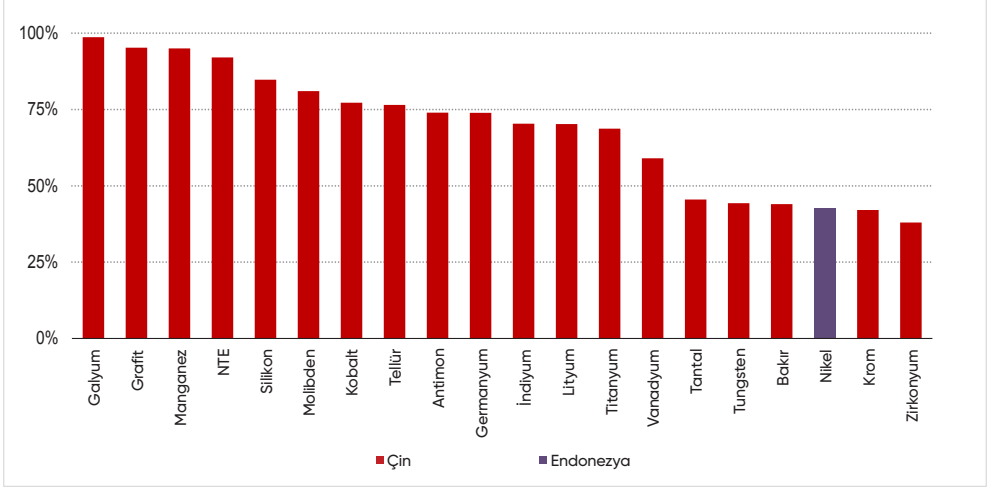


Kaynak: IEA, 2025c

Rafinaj, madencilikten elde edilen üretimin, yüksek saflıkta metaller veya kimyasal bileşiklere dönüştürülmesini sağlayan, kritik minerallerin sanayi ve teknoloji kullanımına hazır hale getirildiği en yüksek katma değerli, aynı zamanda teknoloji yoğunluğunun çok yüksek olduğu aşamadır. Rafinajda coğrafi konsantrasyon, madencilikten çok daha yüksektir. Son dönemde bazı kritik enerji minerallerinde arz artışının yaklaşık %90'ı tek başına en büyük tedarikçi ülkede gerçekleşmiştir (Nikel için Endonezya'da, kobalt, grafit ve nadir toprak elementleri için Çin'de). Bunun neticesinde rafinajda en büyük paya sahip üç ülkenin 2020 yılında %82 olan toplam payı 2024 yılında %86'ya yükselmiştir (IEA, 2025c).

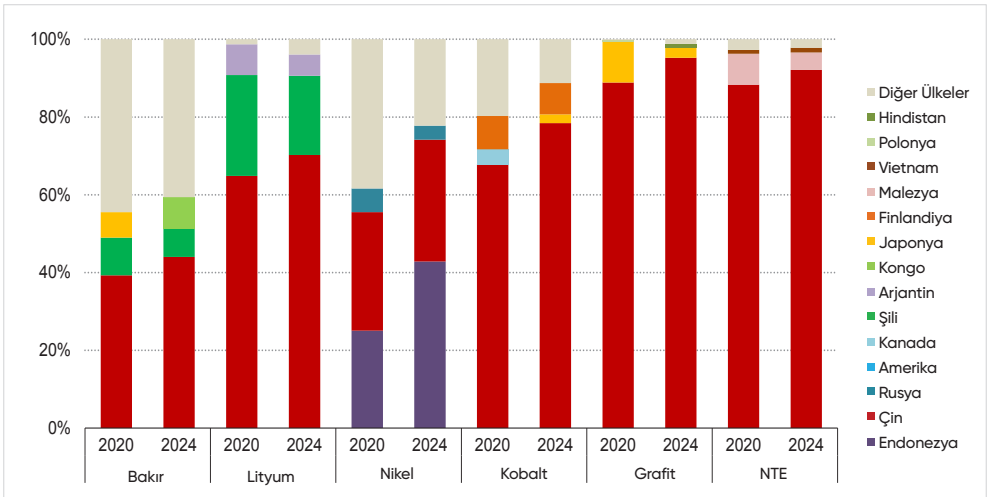
Rafinajda Çin'in yüksek hâkimiyeti özellikle dikkat çekicidir. Çin tedarik zincirlerinin genelinde olduğu gibi rafinajda da on yıllardır devlet politikaları ekseninde yaptığı yatırımların neticesinde gerek minerallere erişim gerekse de minerallerin işlenmesi için gerekli teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmasında açık ara lider konuma ulaşmıştır. Çin, stratejik bakımdan önemli 20 stratejik mineralin 19'unun rafinajında ortalama %70 pazar payına sahiptir. Çin, silikon, kobalt, germanyum, lityum ve titanyum gibi temiz enerji teknolojilerinde, çip teknolojilerinde, ileri imalat, havacılık ve savunma gibi sektörlerde kullanılan pek çok stratejik mineralde dünya toplam rafinajının yarısından fazlasını tek başına gerçekleştirmektedir. Bu 20 stratejik mineralin 14'ünde Çin'in rafinaj pazar payı %50'nin üzerindedir. Küresel ölçekte rafine galyum, batarya kalitesindeki grafit, yüksek saflıkta manganez, rüzgar teknolojileri, elektrikli araçlar ve diğer pek çok sektörde önemi giderek artan kalıcı mıknatıslar için gerekli rafine nadir toprak elementleri büyük ölçüde Çin tarafından üretilmektedir. Enerji için en önemli kritik minerallerin rafinajında, nikel hariç tutulduğunda Çin dışındaki tedarikin az sayıda ülkeyle ve miktarla sınırlı olduğu görülmektedir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9) (IEA, 2025c).

Şekil 2.8. Enerji İlişkili Stratejik Minerallerin Rafinajında En Büyük Tedarikçi ve Payı (2024, %)



Kaynak: IEA, 2025c

Şekil 2.9. Önemli Kritik Enerji Minerallerinin Rafinajının Ükelere Göre Dağılımı (2020,2024, %)

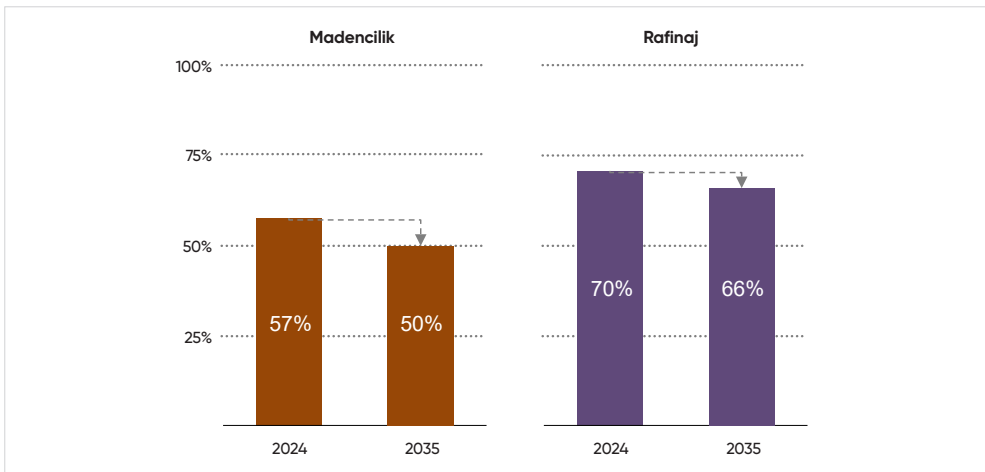


Kaynak: IEA, 2025c

Rafinaj teknolojisi, pirometalurjik, hidrometalurjik ve elektrolitik yöntemlerin bir arada uygulandığı çok aşamalı ve karmaşık süreçlerden oluşmaktadır. Rafinaj, değer zincirinde katma değerli üretimin merkezinde yer aldığından, değer zincirinde yükselebilenin en önemli aracı olarak görülmektedir. Tüm bu faktörler nedeniyle, refinaj süreçleri yalnızca teknik değil, aynı zamanda enerji ve çevre boyutlarını kapsayan, büyük yatırımlar gerektirmektedir. Yeni bir refinaj tesisi kurmak ileri teknolojiye sahip olmanın yanı sıra yüksek yatırımlar, standartlara uyum ve zaman gerektirdiğinden, henüz sınırlı sayıda ülke bu kapasiteyi geliştirebilmektedir. Yeni bölgelerde yatırım maliyetlerinin, refinajda hâkim durumdaki ülkelere kıyasla bir-buçuk kat daha yüksek olduğu görülmektedir (IEA, 2025c; UN, 2025).

Yeni refinaj projelerinde gelişmelere karşın, en büyük paya sahip üç ülkenin ortalama payının 2035 yılına ulaşıldığında ancak 2020 yılındaki seviyesine inebileceği görülmektedir (IEA, 2025c). Yüksek coğrafi yoğunluk ve tek bir ülkeye çok yüksek oranda bağımlılık, küresel ölçekte temiz enerji teknolojilerinde, otomotiv ve savunma sanayii gibi stratejik sektörlerdeki üretim süreçlerini arz kesintilerinin veya kısıtlarının etkilerine açık hale getirmektedir. Dolayısıyla, refinajda yaşanabilecek her türlü teknik aksaklık, ihracat kısıtlamaları veya politik belirsizlik, stratejik bağımlılık nedeniyle yapısal riskleri artırma potansiyeline sahiptir (İhracat kısıtlamaları ve etkileri için lütfen Bölüm 2.2.7'ye bakınız). Geline aşamada, refinaj yalnızca tedarik zincirinin teknik bir bileşeni değil, enerji güvenliği, ekonomik büyüme ve ülkelerin ulusal güvenlikleri bakımından en belirleyici risk ve rekabet alanlarından birisidir.

Şekil 2.10. En Büyük Tedarikçinin Kritik Minerallerin Madenciliğinde ve Rafinajında Ortalama Payının Gelişimi (2024–2035, %)

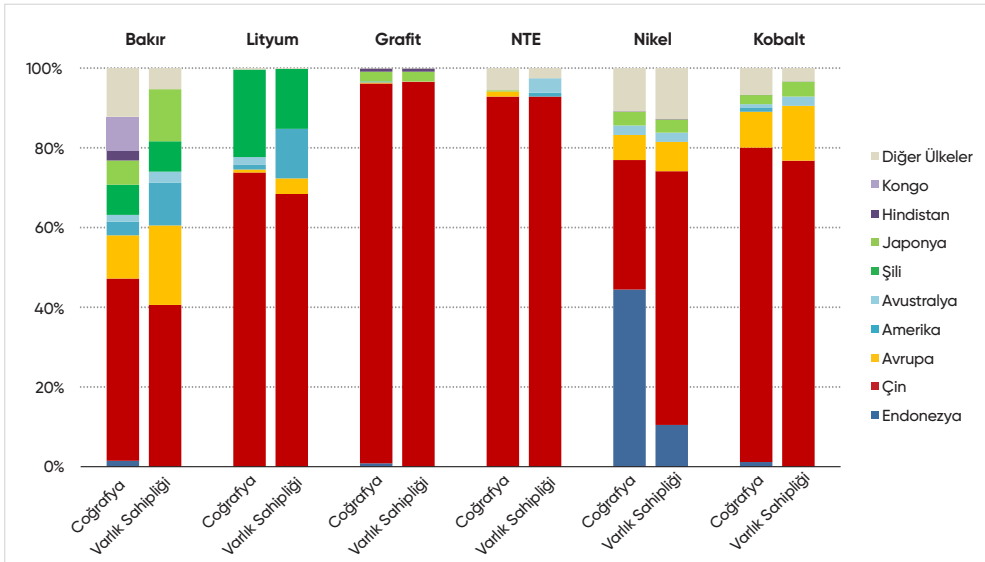


Kaynak: IEA, 2025f

Mevcut proje stok büyüklüğü ve yeni proje geliştirme süreleri çerçevesinde, küresel ölçekte kritik minerallerin madenciliğinde ve rafinajında tek bir ülkeye yüksek bağımlılığın önümüzdeki dönemde de sürmesi öngörülmektedir. Analizler, en büyük tedarikçinin ortalama pazar payının sırasıyla %57 ve %70 düzeylerinden 2035 yılına kadar ancak kısmi düşüşlerle %50 ve %66 seviyelerine gerileyebileceğini göstermektedir (Şekil 2.10) (IEA, 2025f). Bu durum, tedarik zincirlerinde mevcut risklerin ve kırılganlıkların ciddi şekilde devam edeceğine işaret etmektedir.

Kritik minerallerde arz yoğunluğuna ilişkin bir diğer önemli bir değerlendirme, tedarikin gerçekleştiği bölgeler ve üretim varlıklarına sahip ülkelerin karşılaştırmalı analizleridir. Örneğin dünya nikel üretiminin %45'inden fazlası Endonezya'da gerçekleşmekle birlikte, Endonezya şirketlerinin küresel nikel üretiminin yalnızca %10'una sahip olduğu görülmektedir. Endonezya'daki nikel rafinaj varlıklarının büyük bölümü Çin'li şirketlerin kontrolündedir. Çin, dünya rafine nikel üretiminin yaklaşık üçte-ikisine sahipken, bu minerallerin sadece %30'unun rafinajı Çin içerisinde gerçekleşmektedir (IEA, 2025c). Kaynaklara erişim, tedarik zincirlerinde yüksek konumlanma bakımından önemli rekabet alanlarından birisi olmayı sürdürecektir (Şekil 2.11).

Şekil 2.11. Rafinajın Coğrafya ve Varlık Sahipliği Bazında Ülkelere Dağılımı (2024, %)



Kaynak: IEA, 2025c

2.2.4. Talep Artışı ve Öngörülen Arz Açıkları

Kritik minerallere olan talep, enerji sektöründe artan kullanımlara ek olarak, yapay zeka, veri merkezleri, havacılık ve savunma sanayi gibi sektörlerde artan kullanım ve stratejik uygulama alanlarıyla birlikte güçlü şekilde büyümeye devam etmektedir. Arz tarafında ise, geliştirilen madencilik ve rafinaj projeleri dikkate alındığında, pek çok kritik enerji minerali için tedarik büyüklüklerinin önemli ölçüde artması öngörülmektedir.

Yüksek üretim projeksiyonlarında, projelerin hedeflenen zamanlarda tamamlanması halinde, nikel ve kobalt arzının artan talebi karşılayabilecek seviyelere ulaşabileceği değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, bakır ve lityum için belirgin şekilde arz açıkları öngörülmektedir. Bakır talebindeki yüksek artışa karşın, proje stoklarının sınırlı olması, cevher tenörlerindeki düşüş, yükselen yatırım maliyetleri, sınırlı yeni kaynak keşifleri ve uzun süren yeni maden proje geliştirme süreçleri neticesinde, bakır tedarikinde 2035 yılına kadar %30 düzeyinde bir arz açığı ortaya çıkabileceği öngörülmektedir. Lityum için de arz tarafında büyümenin hızlı talep gelişiminden daha yavaş olması neticesinde arz açıkları beklenmektedir¹² (Şekil 2.12). Kritik minerallere olan talebin daha düşük seviyelerde gerçekleştiği senaryoda ise bakır ve lityum tedarikinde arz açığı görünümü sürmektedir¹³ (IEA, 2025a).

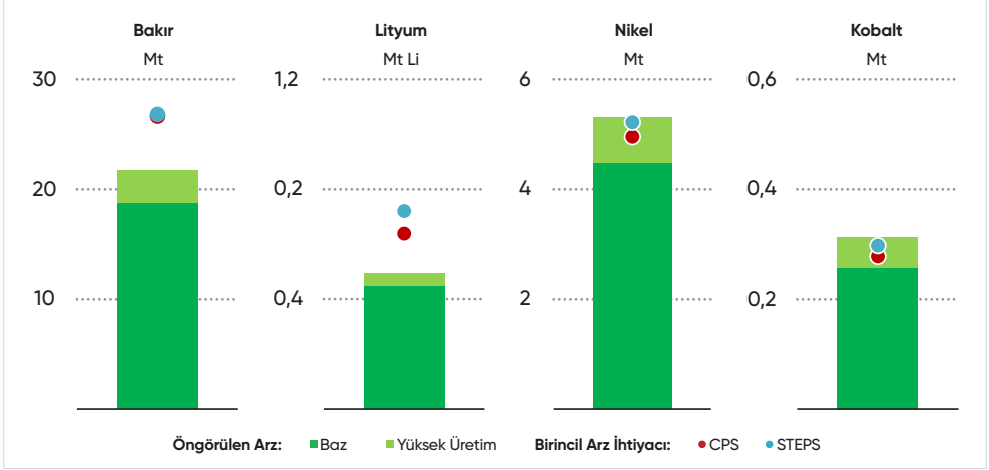
Temiz enerji teknolojilerinde büyümenin daha hızlı geliştiği Net-Sıfır Emisyon Senaryosu'nda ise elektrifikasyonun hız kazanmasıyla birlikte kritik minerallere olan talep diğer senaryolara göre çok daha yüksek seviyelerde seyretmektedir¹⁴. STEPS Senaryosu ile karşılaştırıldığında 2035 yılı için öngörülen lityum talebi %70, nikel, kobalt ve grafit talebi %30-50, bakır talebi ise %25 daha yüksek gerçekleşmektedir. Tüm kritik minerallerde arz-talep dengeleri hızla daralmaktadır. 2035 yılı için öngörülen küresel bakır arz açığı %40 seviyesine yükselmektedir. Lityumda arz açığı ise üç kat civarında artış göstermektedir (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13) (IEA, 2025a). Talep ve arzdaki bu görünüm, kritik enerji minerallerinin güvenli koşullarda sağlanabilmesine yönelik riskleri yalnızca yüksek coğrafi yoğunlukla sınırlı olmaktan çıkarak, yapısal arz açıklarıyla derinleştirmektedir.

¹² STEPS Senaryosu

¹³ CPS Senaryosu

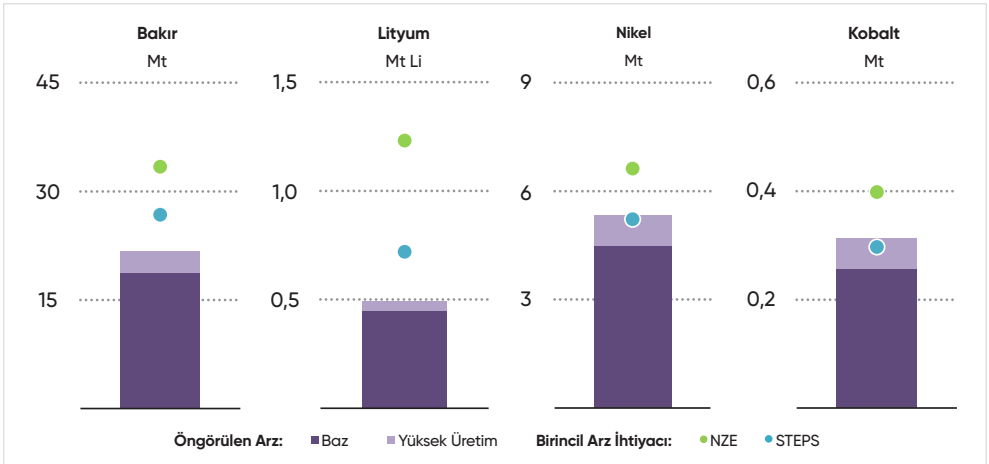
¹⁴ NZE Senaryosu

**Şekil 2.12. Bazı Kritik Minerallerde Talep ve Öngörülen Arz
(IEA STEPS ve CPS Senaryoları, 2035, Mt)**



Kaynak: IEA, 2025a

**Şekil 2.13. Bazı Kritik Minerallerde Talep ve Öngörülen Arz
(IEA STEPS ve NZE Senaryoları, 2035, Mt)**



Kaynak: IEA, 2025a

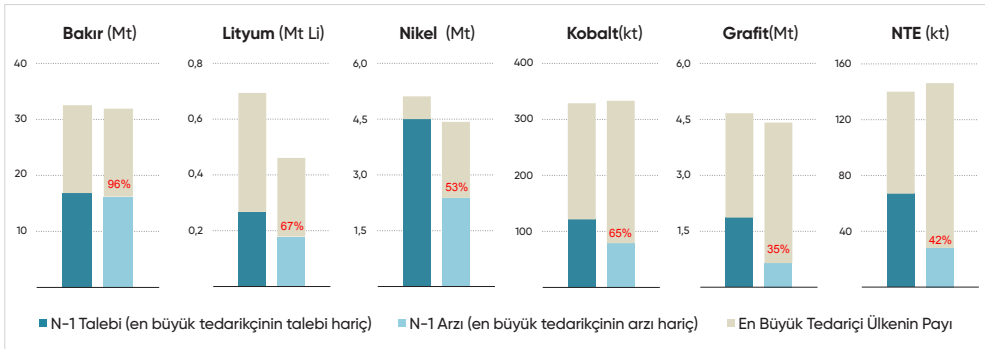
2.2.5. En Büyük Tedarikçi Ülkenin Rolü ve N-1 Analizleri

Tedarik zincirlerinde potansiyel kırılganlıkları anlamak için etkili bir araç olan N-1 analizi, herhangi bir nedenle en büyük tedarikçiden sağlanan arzın kesintiye uğraması durumunda, söz konusu tedarikçi dışındaki bölgelerde arzın ve talebin nasıl gelişeceğini ortaya koymaktadır. N-1 analizleri, kritik minerallerin tedarik zincirlerinde çok yüksek coğrafi yoğunluğun, arz açıklarının Bölüm 2.2.4'te sunulan arz-talep projeksiyonlarının üzerinde gelişeceğini işaret etmektedir (IEA, 2025c).

Bakır dışındaki tüm önemli kritik enerji minerallerinde N-1 arzı, N-1 talebinin önemli ölçüde altında kalmaktadır. Örneğin 2035 yılında grafitte ve nadir toprak elementlerinde Çin dışındaki arz, Çin dışındaki talebin sadece %35-40'ını karşılayacak düzeydedir. Nikelde ise 2035 yılında N-1 arzının, N-1 talebinin ancak yaklaşık yarısını karşılayabileceği hesaplanmaktadır. Çoğunlukla Çin'den sağlanan batarya sınıfı nikel-sülfat arzının kesintiye uğraması durumunda ise bu oran daha da düşecektir. Lityum ve kobalt için benzer analizler, bu minerallerde taleplerin yaklaşık üçte-ikisinin karşılanabileceğini göstermektedir (Şekil 2.14).

N-1 değerlendirmesi, en büyük tedarikçinin arzında 2025 yılında geniş şekilde gerçekleştiği gibi ihracat kısıtlamaları, ticari anlaşmazlıklar, aşırı hava olayları veya farklı bir nedenle kesinti olması durumunda, güvenli bir enerji geleceği açısından olduğu kadar ekonomik ve stratejik sektörlerin tedarik güvenliği bakımından ciddi risklerle karşı karşıya kalınacağını göstermektedir.

Şekil 2.14. Önemli Kritik Enerji Minerallerinde N-1 Analizi (2035)

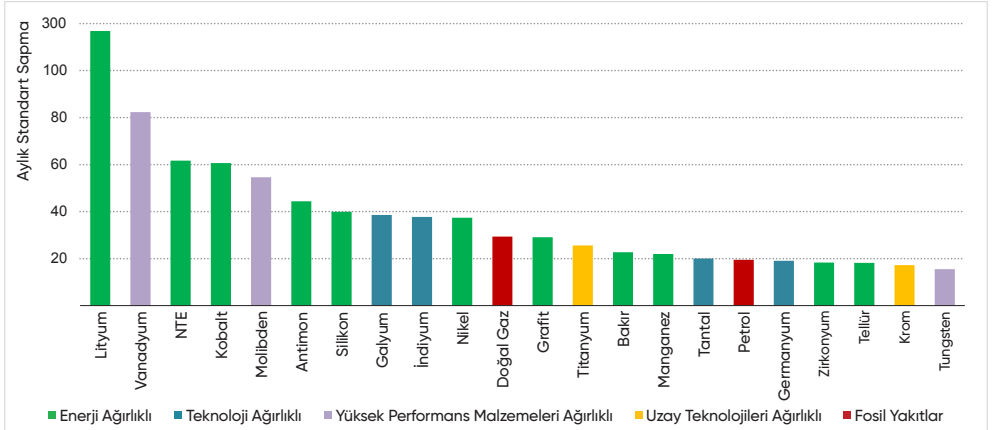


Kaynak: IEA, 2025c

2.2.6. Yüksek Fiyat Değişkenlikleri

Kritik mineraller piyasası, yüksek fiyat volatilitesi ile karakterize edilmektedir. Bu oynaklığın başlıca nedenleri arasında; piyasaların görece dar ölçekli yapısı nedeniyle arz veya talepte meydana gelen küçük değişimlerin fiyatlara hızlı biçimde yansması ve piyasa şeffaflığının sınırlı olması yer almaktadır. Tarihsel verilere göre, enerji ile bağlantılı ve çok sektörlü 20 stratejik mineralin %75'i petrolden, %50'si ise doğal gazdan daha fazla fiyat oynaklığı sergilemiştir (Şekil 2.15). Bu durum, temiz enerji projeleri gibi kritik minerallere bağımlı yatırımlar için maliyet öngörülerini zorlaştırmakta ve yatırım kararlarını olumsuz etkilemektedir. (İhracat kısıtlamalarının etkileri ve bu tür kısıtlamalar sonrasında fiyat değişimlerine ilişkin örnekler için lütfen Bölüm 2.2.7'ye bakınız) (IEA, 2025c; IEA, 2025i).

**Şekil 2.15. Seçilmiş Mineraller ve Fosil Yakıtlar İçin Aylık Fiyat Oynaklıkları
(Ocak 2014 – Mart 2025, Aylık Standart Sapma)**



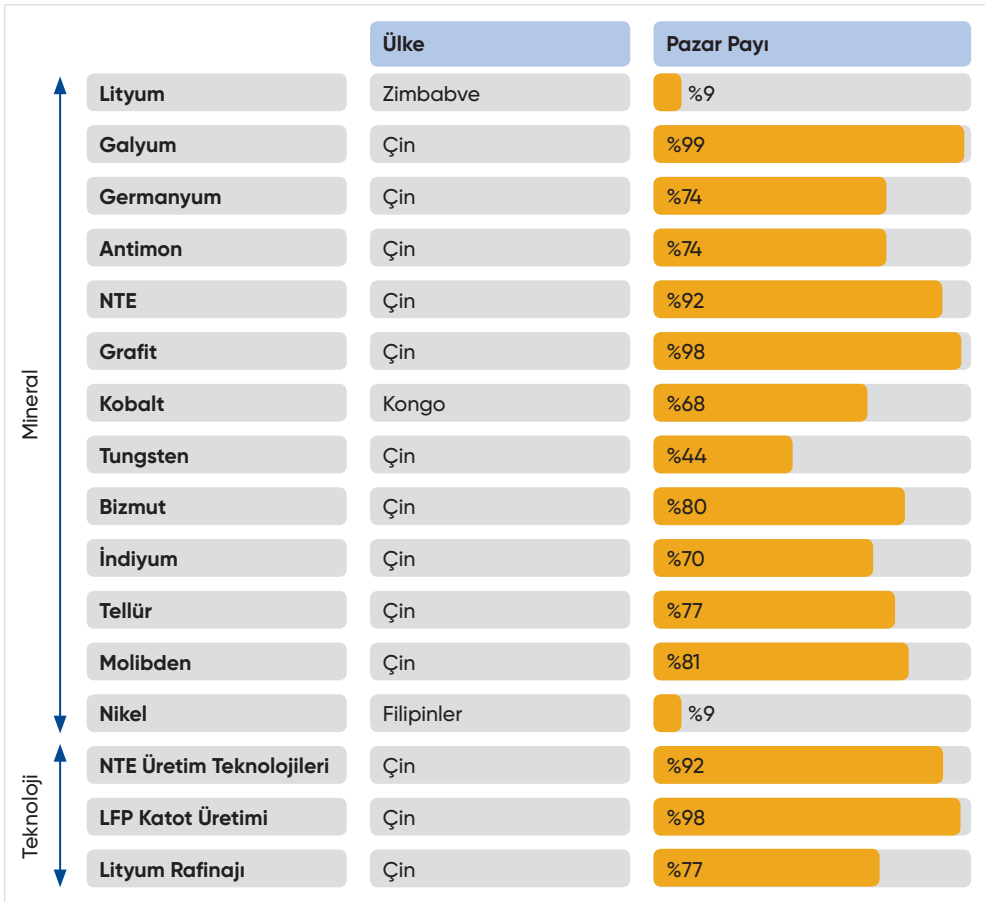
Kaynak: IEA, 2025c

2.2.7. İhracat Kısıtlamaları

Kritik mineral madenciliği ve rafinajında gittikçe artan coğrafi yoğunlukla birlikte, son dönemde ihracat kısıtlamalarının sayısının ve kapsamının hızla arttığı görülmektedir. Son bir yıl içerisinde yaşanan gelişmelere bakıldığında arz güvenliğini doğrudan etkileyen ve tedarik zincirindeki kırılganlıkları artıran ciddi gelişmeler görülmektedir. 2024 yılının Aralık ayında Çin, yarı iletkenlerin ve güneş panellerinin üretiminde kullanılan galyum, germanyum ve antimonun ABD'ye ihracatını kısıtlamıştır. Bu adımı 2025 yılının başlarında tungsten, tellür, bizmut, indiyum, molibden ve yedi tane ağır nadir toprak elementini de kapsayan ilave ihracat kısıtlamaları izlemiştir. Aynı yıl içerisinde Kongo Demokratik Cumhuriyetinin kobalt fiyatlarının düşüşünü engellemek için kobalt ihracatını dört ay süreyle durdurmasını, arz tarafındaki müdahalelere ilişkin bir başka dikkat çekici örnek olmuştur.

2025 yılı Nisan ayında Çin tarafından önemli nadir toprak elementlerinin ve kalıcı mıknatısların ihracatına getirilen yeni kısıtlamalar tedarik zincirlerindeki kırılganlıkları güçlü şekilde göstermiş, ABD, Avrupa ve diğer birçok bölgede otomotiv üreticilerinin üretim kapasitelerinde düşüşlere yol açmış ve üretimin devamlılığına ilişkin endişelere neden olmuştur. Kısıtlamaların sayısı artmaya devam ederken, kapsamı da kritik minerallerin ötesinde rafinaj ve enerji teknolojilerini kapsayacak şekilde genişlemektedir. Bu gelişmeler, kritik minerallerin güvenli tedariki için mevcut ve muhtemel riskleri pekiştirmektedir (Şekil 2.16, KUTU 2.1 ve KUTU 2.2) (IEA, 2025c; IEA, 2025d).

Şekil 2.16. 2023 Yılından İtibaren Enerjiyle İlişkili Minerallere ve Teknolojilere Getirilen İhracat Kısıtlamaları ve İlgili Ülkenin Payı (%)

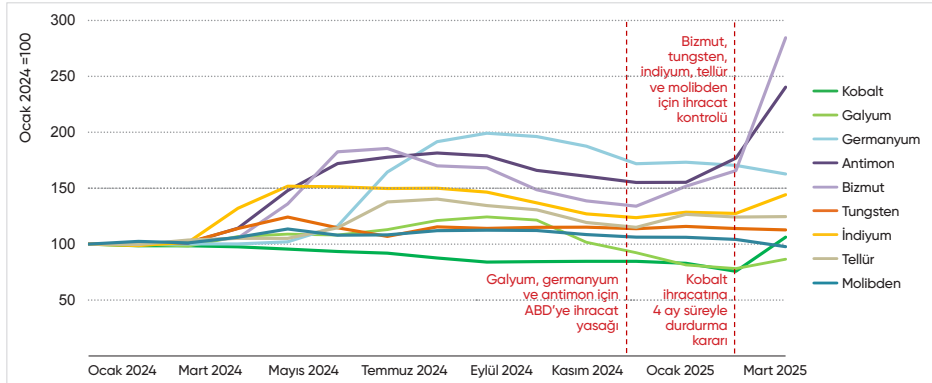


Kaynak: IEA, 2025c

KUTU 2.1. İhracat Kısıtlamaları Neticesinde Kritik Mineral Fiyatlarında Gerçekleşen Yüksek Artışlar

Kritik minerallerin arzında coğrafi yoğunluk sürerken, bu minerallerin tedarikinde önemli rol oynayan ülkeler tarafından gittikçe artan sayıda ihracat kısıtlamaları arzın kısa sürede daralmasına yol açarak kritik ve stratejik minerallerin fiyatlarında ani ve yüksek artışlara yol açmaktadır. Örneğin, Çin'in 2025 Şubat ayında tungsten, tellür, bizmut, molibden ve indiyum ile ilgili ürünlere ihracat kısıtlaması uygulamasına ilişkin kararı sonrasında bizmut fiyatlarında %90 oranında artış gözlenmiştir. Kongo Demokratik Cumhuriyeti'nin kobalt fiyatlarındaki düşüşü tersine çevirmek için ülkeden kobalt ihracatını dört ay süreyle durduracağını açıklamasının ardından kobalt fiyatları yaklaşık %70 artmış ve batarya katot üretimi başta olmak üzere kobalt kullanan sektörlerde maliyetlerin hızla yükselmesine neden olmuştur (Şekil 2.17) (IEA, 2025c).

Şekil 2.17. İhracat Kısıtlamaları Sonrası Fiyat Artışları



Kaynak: IEA, 2025c

KUTU 2.2. NTE, Batarya Malzemeleri ve Teknolojileri Üzerinde Gelişen İhracat Kısıtlamaları ve Çok Yönlü Etkileri

Çin, küresel batarya üretim tedarik zincirinin her aşamasında asgari %60'lık bir paya sahip olup, elektrikli araç motorlarında kullanılan kalıcı mıknatısların ise yaklaşık %95'ini tek başına üretmektedir. Çin'in 2023 yılı sonlarından bu yana art arda uygulamaya koyduğu ihracat kısıtlamaları, lityum-iyon bataryaların ve elektrikli araçların imalatı için küresel ölçekte önemli tedarik riskleri yaratmaktadır.

- **Ekim 2023:** Çin yüksek saflıkta sentetik ve doğal grafit üzerinde ihracat kontrolleri uygulamaya başlamıştır. Bu durum Çin'in %90 üzerinde pazar payına sahip olduğu batarya anot tedarik zincirlerinin güvenliğiyle ilgili sorunlara neden olmuştur. İhracat kontrolleri, ABD'ye yönelik ihracat için daha da sıkılaştırılmıştır.
- **Nisan 2025:** Çin tarafından önemli nadir toprak elementlerinin ve kalıcı mıknatısların ihracatına yeni kısıtlamalar getirilmiştir. Bu kısıtlamalar sonucunda, Nisan ve Mayıs aylarında NTE ihracat hacimlerinde belirgin düşüşler yaşanmış; ABD, Avrupa ve diğer birçok bölgede otomotiv üreticilerinin üretim kapasiteleri olumsuz etkilenmiştir. Arzın eskiye dönmesi sonrasında dahi, ithalatçı ülkelerde yüksek fiyatlar devam etmiş, Avrupa'daki fiyatlar Çin'in iç fiyatlarının altı katına kadar yükselmiştir.
- **Temmuz 2025:** Lityum rafinaj teknolojileri üzerinde yeni ihracat kısıtlamaları duyurulmuştur. Çin dışındaki bölgelerde LFP batarya teknolojisi üretim portföyünün çeşitlendirilebilmesi ve düşük maliyetli elektrikli araç batarya üretim kapasitesinin artırılmasına yönelik çabalar önemli ölçüde sınırlandırılmıştır.
- **Ekim 2025:** İhracat kısıtlamaları, katot aktif malzemeleri, anot malzemeleri, LFP batarya teknolojisinin bileşenlerini, katı hal bataryası gibi yenilikçi batarya teknolojilerini ve üretim ekipmanlarını kapsayacak şekilde genişlemiştir.

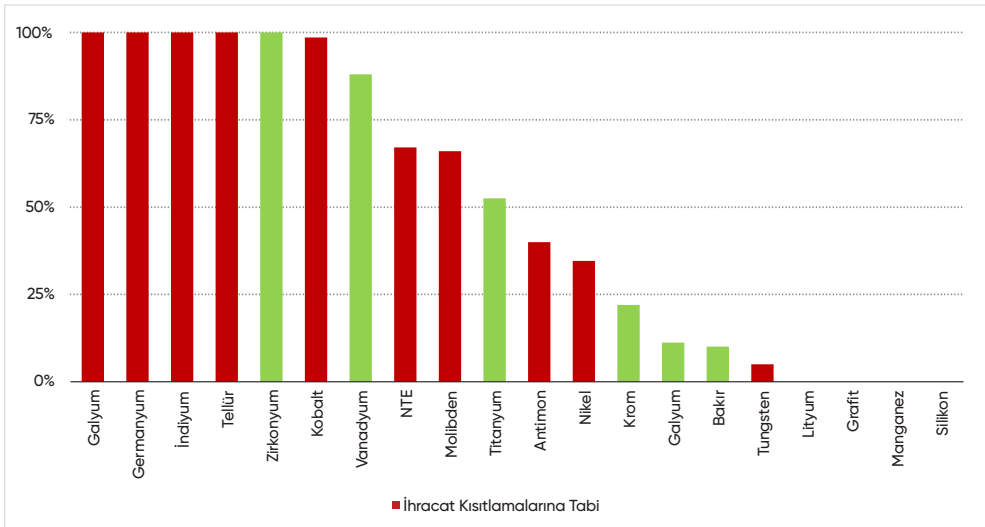
Kapsamı genişleyen ihracat kısıtlamaları, batarya tedarik zincirlerinin tüm aşamalarına etki etmektedir. Anot aktif malzemesi, katot malzemesi öncülleri, LFP katot ve bataryalar, çeşitlendirme seçeneklerinin çok az olması nedeniyle risklerin en yüksek olduğu alanlar olarak öne çıkmaktadır.

Üretiminin temel aşamalarında malzeme ya da teknoloji tedarikin kesilmesi, dünyanın diğer bölgelerinde batarya üretim kapasitesini ciddi ölçüde sınırlamaktadır. Son dönemde gündeme gelen ihracat kısıtlarının yalnızca işlenmiş mineraller gibi son ürünlere değil imalat teknolojilerine de uygulanması risklerin yapısal ve uzun vadeli nitelik kazandığını göstermektedir. Ayrıca batarya ve kalıcı mıknatıs için gereken minerallerin ve teknolojilerin, veri merkezleri, savunma sanayii gibi stratejik sektörlerde kullanımı, risklerin kapsamını ve derinliğini büyötmektedir (IEA, 2025a; IEA, 2025d; IEA, 2025e).

2.2.8. Yan Ürün Bağımlılığı ile Derinleşen Riskler

Tellür, galyum ve germanyum gibi stratejik mineraller, çoğunlukla bakır, nikel, alüminyum gibi birincil metallerin işlenmesi sırasında yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır¹⁵. Bu nedenle, söz konusu minerallerin arzı kendi pazar dinamiklerinden ziyade bağlı oldukları ana metallerin üretim hacmine bağlıdır. Ana metal üretiminde artış yaşanmadığı takdirde, talep artsa dahi stratejik minerallerin arzı sınırlı kalabilmektedir. Bu durum, arz-talep dengesizliklerinin derinleşmesine, ani arz kıtlıklarına ve sert fiyat dalgalanmalarına yol açabilmektedir. IEA verilerine göre, stratejik minerallerin yaklaşık yarısı yan ürün¹⁶ olarak üretilmekte olup, bu durum arz esnekliğini ciddi ölçüde kısıtlamaktadır. Yan ürün bağımlılığını daha da kritik kılan bir diğer unsur, bu minerallerin %55'inin halihazırda bir tür ihracat kısıtlaması altında bulunmasıdır (IEA, 2025c). Bu durum tedarik risklerini daha da artırmaktadır. Bu ikili kısıt, minerallerin güvenli arzı için hem ekonomik hem de jeopolitik kırılganlığı artırmakta, tedarik kesintisi ve fiyat değişkenliği gibi riskleri güçlendirmekte, stratejik planlamalar için arz güvenliğinin önemini pekiştirmektedir (Şekil 2.18).

Şekil 2.18. Stratejik Minerallerin Toplam Üretiminde Yan Ürün Olarak Elde Edilme Oranı Ve İhracat Kısıtlamaları (2024, %)



Kaynak: IEA, 2025c

¹⁵ Örneğin yarı iletken teknolojisinin temel maddesi olan galyum, dünya genelinde birincil çinko ve boksit kaynaklarından yan ürün olarak elde edilebilmektedir. Dünya galyum üretiminin tamamına yakını Çin tarafından gerçekleştirilmektedir. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-gallium.pdf>

¹⁶ by-product

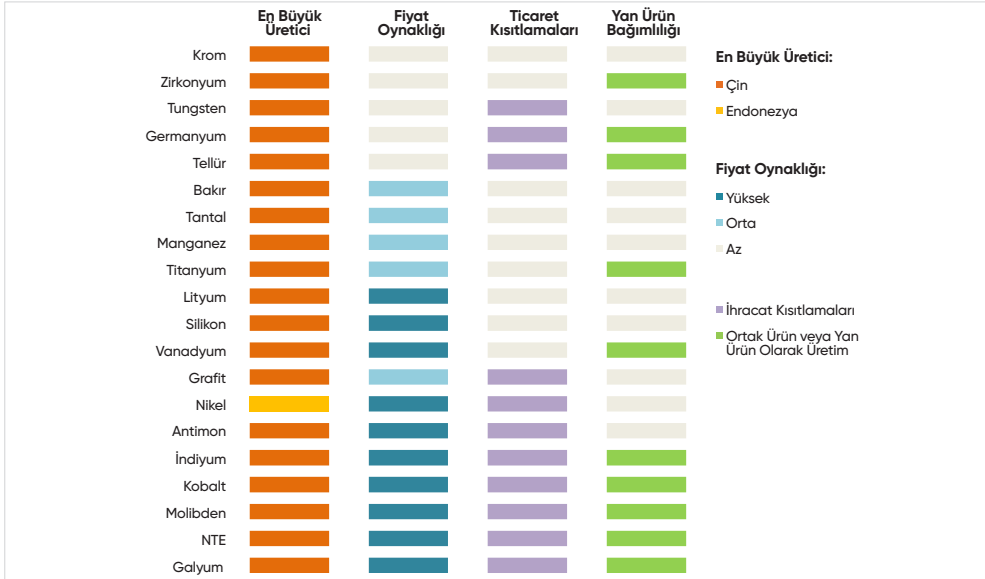
2.2.9. Risk Faktörlerine Bütüncül Bakış

Sunulan bulguların gösterdiği üzere, kritik mineraller dört temel yapısal riskin kesişiminde konumlanmaktadır (Şekil 2.19):

- Aşırı coğrafi yoğunlaşma, tek bir ülkeye çok yüksek bağımlılık ve orta–uzun vadede öngörülen arz açıkları,
- Yeterince şeffaf olmayan piyasa yapıları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan yüksek fiyat oynaklığı,
- Sayısı ve kapsamı artan ihracat kısıtlamaları,
- Bazı kritik minerallerin, başka madenlerin üretim süreçlerine bağlı yan ürün olma niteliği.

Enerji güvenliği, ekonomik güvenlik ve ulusal güvenlik bakımından yüksek önem taşıyan bu yapısal riskler, acil tedbirlerin alınmasını ve sistematik yaklaşımların geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Risklerin özellikle Çin'in rafinaj kapasitesindeki hâkimiyeti ve ihracat kısıtlamaları gibi uygulamalarıyla daha görünür hale gelmiş olmasının ve fiili kesintilerle neticelenmesinin, ABD, Avrupa Birliği, Japonya ve diğer büyük ekonomileri tedarik güvenliğini yeniden tanımlamaya ve yeni stratejileri uygulamaya yönlendirdiği görülmektedir. Kritik mineraller küresel ölçekte karar vericilerin gündemlerinde üst sıralara yükselmiş olmakla birlikte, tedarik güvenliği için önemli gelişim ihtiyaçlarının devam ettiği görülmektedir.

Şekil 2.19. Stratejik Minerallerde Önemli Risk Faktörlerine Bütüncül Bakış



Kaynak: IEA, 2025a

2. 3. Dünyada Kritik Minerallerde Öne Çıkan Gelişmeler ve Çözümler

Son dönemde yaşanan gelişmeler ve artan çok boyutlu riskler, kritik minerallerde tedarik zincirlerinin güvenliğinin sağlanmasının, enerji güvenliğinin yanı sıra ekonomik güvenlik ve ulusal güvenliğin teminat altına alınmasının önde gelen koşullarından birisi durumuna geldiğini ortaya koymaktadır. IEA, 2021 yılında kritik minerallere ilişkin ilk *landmark* raporunu yayımlamasının ardından, tedarik zincirlerindeki kırılganlıkların azaltılması ve risklerin bertaraf edilebilmesi için kapsamlı analizlerini, uyarılarını ve politika önerilerini sistematik biçimde geliştirmektedir. IEA çalışmaları ve politika önerileri, hızla artan risklerin yönetilebilmesi ve kırılganlıkların azaltılabilmesi için acil durum planlamalarının önemini, daha çeşitlendirilmiş ve dayanıklı tedarik zincirlerinin hızla geliştirilmesi ihtiyacını, piyasa mekanizmalarının tek başına yeterli olmayacağını, stoklama, yatırım teşvikleri, inovasyon ve koordinasyon gibi alanlarda etkin politikaların hızla geliştirilerek uygulanması gerekliliğini göstermektedir (Financial Times, 2025a, IEA, 2025a, IEA, 2025c, IEA, 2025g).

IEA tarafından, kritik minerallerde geliştirilen politikaların takip edilmesi ve iyi uygulamaların yaygınlaştırılmasına yönelik oluşturulan "Critical Minerals Policy Tracker", tedarikte güvenliğinin ve dayanıklılığının artırılması, arama, üretim ve inovasyonun teşvik edilmesi, sürdürülebilir ve sorumlu uygulamaların cesaretlendirilmesi hedeflerini içermektedir. 4 temel alanda politika mekanizmalarının incelendiği ve halihazırda 35'ten fazla ülkede 450'nin üzerinde politikayı kapsayan "takip sistemi", düzenli olarak güncellenmektedir (IEA, 2025g) (Tablo 2.1). IEA tarafından geliştirilerek uygulanan "Critical Minerals Security Program" ise küresel ölçekte daha güvenli ve dayanıklı tedarik zincirlerinin oluşturulması ve yapısal risklerin azaltılması amacıyla ülkeler arasında etkin koordinasyonu ve ortak eylemleri güçlü şekilde desteklemektedir (IEA, 2025j).

Kritik minerallerin güvenliği için öne çıkan başlıklardan birisi acil durumlara ve tedarik krizlerine hızlı yanıt verebilmek üzere stratejik stok mekanizmalarının geliştirilmesidir. 1970'lerden bu yana IEA liderliğinde, enerji tedarikinde yaşanabilecek krizlere ve acil durumlara hazırlıklı olmak üzere ülkeler tarafından çeşitli politikalar sürdürülmektedir. Günümüzde hemen hemen tüm petrol ithalatçısı ekonomiler, IEA tarafından belirlenen stok tutma ve talep kısıtlama önlemlerini uygulamaktadır¹⁷. Bunun yanı sıra, doğal gaz güvenliği önlemlerinin sayısı son dönemde önemli ölçüde artış göstermiştir. Örneğin 2015 yılında doğal gaz stok tutma zorunluluğu net gaz ithalatının sadece %10'u seviyesindeyken, 2025 yılında %34'e yükselmiştir. Bu tür düzenlemelere sahip olan ülkelerin çoğunluğunu, tek bir kaynağa yüksek oranda bağlı tedarik yapısı nedeniyle arzda ciddi sorunlar yaşayan AB üye ülkeleri oluşturmaktadır.

¹⁷ 1973'teki ilk petrol krizinden önce bu tür acil durum önlemleri, net petrol ithalatının %1'inden azını temsil eden birkaç ülke tarafından uygulanmaktayken, günümüzde bu oran yaklaşık %100'e ulaşmıştır.

Tablo 2.1. Kritik Minerallerde Önemli Politika Alanları ve Araçları

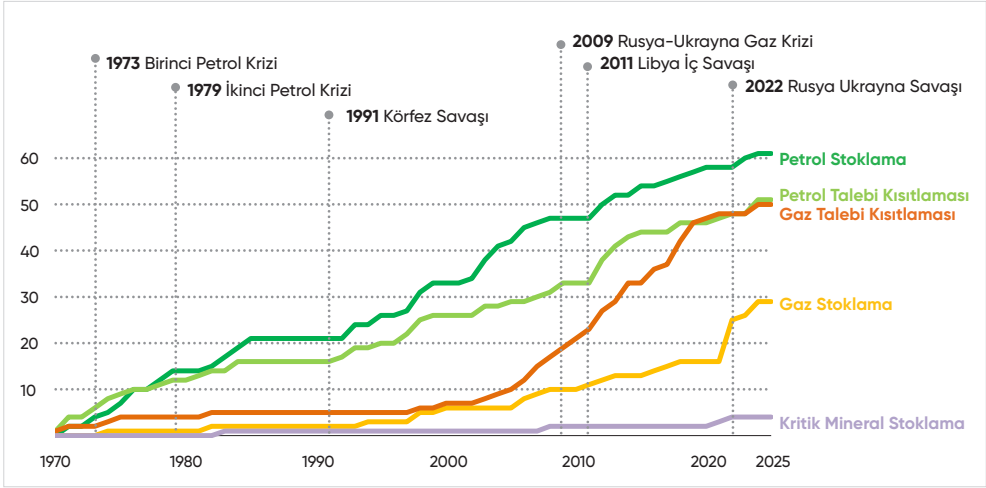
Politika Kategorisi	Politika Araçları
Tedarik Güvenilirliğinin ve Dayanıklılığının Sağlanması	● Stratejik planlar ● Kritik ve Stratejik mineral listeleri ● Uluslararası koordinasyon mekanizmaları ● Stok mekanizmaları ● Kamu yatırımları ● Ticaret mekanizmaları
Arama, Üretim ve Yeniliğin Teşvik Edilmesi	● Finansman ● Vergi teşvikleri ● Geliştirilmiş jeolojik araştırmalar ● Geri dönüşüm desteği ● Yenilik ve Ar-Ge fonları
Sürdürülebilir ve Sorumlu Uygulamaların Teşvik Edilmesi	● Çevresel standartlar ● Sosyal standartlar ● Şeffaflık normları ● Durum tespiti yükümlülükleri ● Ruhsatlandırma süreçleri
Mineral Geri Dönüşümü	● Stratejik planlar ● Genişletilmiş üretici sorumluluğu ● Finansal teşvikler ● Sınır ötesi ticaret

Kaynak: IEA, 2025g

Kritik minerallerin tedarik zincirlerine ilişkin yaşanan sorunlar ve artan riskler, benzer politika mekanizmalarının hayata geçirilmesini gerektirmektedir. Çin, ABD, Japonya ve Güney Kore stok mekanizmaları için politikalar geliştirmiş olan ülkelerdir (Şekil 2.20). Artan risklerle birlikte bu tür mekanizmaları uygulayan ekonomilerin sayısında artış gerçekleşmesi beklenmektedir (IEA, 2025a; IEA, 2025g).

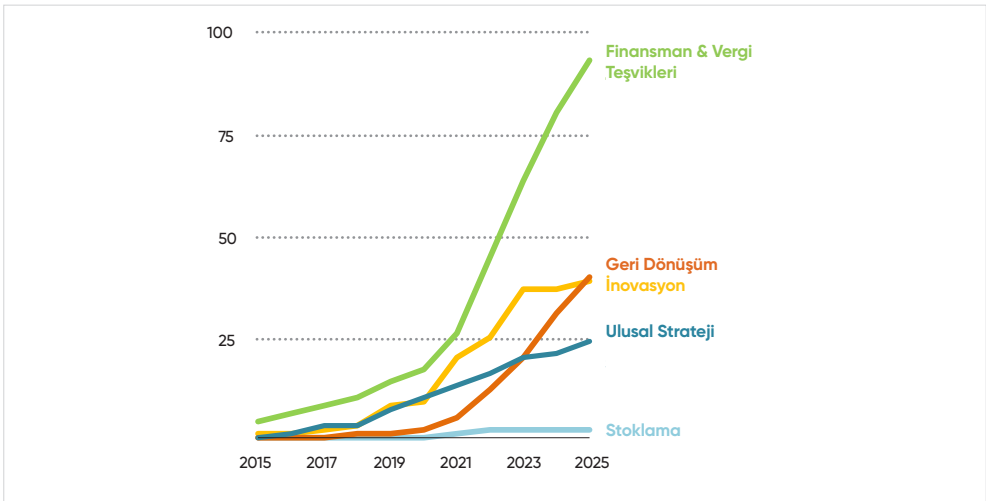
Yatırımlardaki gelişmeler ve tespitler, kritik minerallerde güvenliğin sağlanmasında sadece piyasa mekanizmalarının yeterli olmadığına işaret etmektedir (IEA, 2025a; Financial Times 2025a). Politika çözümlerinde son dönemde öne çıkan dinamiklerden birisi, madencilik, üretim ve inovasyon süreçlerinin desteklenmesi için geliştirilen finansman ve vergi teşvik politikalarıdır. Bu tür politika araçlarının sayısı son 10 yılda çok düşük seviyelerden hızlı bir artışla 100'e yaklaşmıştır (IEA, 2025f). Finansman desteğine yönelik politikalar geliştiren ülkelerin başında Avustralya, AB, Birleşik Krallık ve ABD gibi büyük ekonomiler gelmektedir. Yatırımları desteklemek amacıyla vergi teşvik politikaları da pek çok ülkede hayata geçirilmiştir. Bu tür politikaların daha güvenli ve dayanıklı tedarik zincirleri için gerekli yatırımların gerçekleştirilebilmesinde kilit rol oynayacağı değerlendirilmektedir. Son dönemde geri dönüşüm ve inovasyon alanlarında politikaların sayısı artmakta, ülkelerin bütüncül ulusal stratejiler geliştirmek ve uygulamak üzerinde yoğunlaştıkları görülmektedir (Şekil 2.21) (IEA, 2025g).

Şekil 2.20. Seçilmiş Acil Durumlarda Müdahale ve Enerji Güvenliği Politikalarının ve Bunlara Sahip Ülkelerin Sayısının Gelişimi (1970-2025)



Kaynak: IEA, 2025a

Şekil 2.21. Kritik Mineraller Politikalarının Türüne ve Sayısına Göre Gelişimi (2015-2025)



Kaynak: IEA, 2025f

Kritik mineral tedarik zincirlerinde izlenebilirlik¹⁸ de önemli bir politika gelişim alanı olup, enerji güvenliği, sürdürülebilirlik ve sorumlu iş yapma ilkelerinin hayata geçirilmesinde stratejik bir politika aracı olarak öne çıkmaktadır. İzlenebilirlik sistemleri bir ürünün menşeyini, coğrafi hareketini, mülkiyet zincirini ve fiziksel dönüşümünü kayıt altına alarak tedarik zincirinin tüm aşamalarında şeffaflığın artırılmasını ve sürdürülebilirlik kriterlerinin izlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda, tedarik zinciri boyunca bilgi üretim ve takip süreçleri "detaylı durum tespiti"¹⁹, "tedarik zinciri şeffaflığı", "ürün şeffaflığı", "emanet zinciri"²⁰ ve "tedarik zinciri haritalandırma" kavramlarıyla ifade edilmektedir. İzlenebilirliğin etkin bir şekilde uygulanabilmesi, yalnızca teknik altyapının varlığına değil; aynı zamanda tedarik zinciri paydaşları arasında iş birliğinin sağlanmasına, maliyetlerin adil paylaşımına ve veri standartlarının uyumlaştırılmasına bağlıdır. Bu çerçevede izlenebilirlik, yalnızca bir izleme aracı olmanın ötesine geçerek, sürdürülebilir tedarik zincirlerinin geliştirilmesinde temel bir politika aracı olarak işlev görmektedir (IEA, 2025k).

Çalışmada sunulan çok yönlü yapısal riskler, Çin'in rafinaj kapasitesinde elde ettiği hâkimiyet ve son dönemdeki ihracat kısıtlamaları gibi uygulamalarıyla daha görünür hale gelmiştir. Bu dinamikler büyük ekonomileri tedarik güvenliklerini yeniden tanımlamaya zorlarken, kritik minerallerde yerleşmenin ve çeşitlendirmenin artırılmasına, güvenli tedarik zincirlerinin geliştirilmesine yönelik stratejilerin uygulanmasına yönelik adımlar dünya genelinde önem kazanmaktadır.

Büyük ekonomilerin son dönemde gelişen stratejileri incelendiğinde, ABD'nin Inflation Reduction Act (IRA) ve Defence Protection Act (DPA) gibi düzenlemelerle yerli üretime ve dost ülke tedarikine öncelik verdiği, kamu-sanayi ortaklığında büyük yatırım projelerinin gelişimine odaklandığı, dış tedarik artışını sağlayacak yatırımları ve anlaşmaları desteklediği son gelişmelerden birisi olarak da Kasım ayı içerisinde kritik mineraller listesinin kapsamını genişleterek güncellediği görülmektedir. ABD özellikle nadir toprak elementleri gibi çok yüksek ithalat bağımlılığı olan minerallerde alternatif tedarik fırsatlarına öncelik vermektedir. Kritik mineral rezervleri ve üretimleri bakımından kısıtlı kapasiteye sahip olan AB ise Critical Raw Materials Act ile minerallerin çıkarılması, işlenmesi, geri dönüşümü ve tedarikte dışa bağımlılık sınırlarını kurumsal hedeflere bağlarken, seçilen stratejik projeler için finansmana erişim ve izin süreçlerinde kısaltma gibi teşvikler getirmiştir. Japonya ve Güney Kore'nin de arzda yüksek ithalat ağırlığı yoğunluğu kapsamında özellikle stratejik stoklama ve tedarikçi çeşitlendirme politikaları izlediği görülmektedir (European Commission, 2025a; IEA, 2025g; DOE, 2025).

¹⁸ traceability
¹⁹ due diligence
²⁰ chain of custody

Son dönemin önemli gelişmelerinden birisi "Mineral Security Partnership"’in (MSP) hayata geçirilmesidir. Bu çerçevede, daha çeşitlendirilmiş ve sürdürülebilir tedarik zincirlerinin gelişimini hedeflemektedir. Bu stratejik ortaklık, yüksek gelişmişlik seviyesinde pek çok AB ülkesi, Birleşik Krallık ve ABD’nin yanı sıra zengin mineral kaynaklarına sahip Arjantin, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Grönland, Kazakistan ve Ukrayna gibi gelişmekte olan ülkeleri de bünyesine katarak toplam üye sayısını otuza çıkarmıştır. Üye ülkeler arasında Türkiye de bulunmaktadır (IEA, 2025j).

Artan riskler ve kırılganlıklar çerçevesinde, kritik minerallerin enerji güvenliğine ve ekonomilere çok yönlü etkilerinin 2025 yılı içerisinde karar vericilerin gündeminde en üst sıralara geldiği görülmektedir. IEA ve Birleşik Krallık tarafından ortaklaşa düzenlenen Enerji Güvenliği Zirvesi²¹, daha güvenli enerji geleceğine yönelik tespitlerinde kritik minerallerde yüksek coğrafi yoğunlukla ilişkili risklere ve çözümlerin geliştirilmesinin önemine özel vurgu yapmıştır. 51. G7 Zirvesi’nde ise ülke liderleri, kritik mineraller tedarik zincirlerinde çeşitliliği arttırmak, ilgili piyasalarda oluşabilecek aksaklıklara karşı koordinasyonu sağlamak ve sorumlu madencilik faaliyetlerini teşvik etmek amacıyla Kritik Mineraller Eylem Planı’nı başlatmışlardır. Plan, ekonomik ve ulusal güvenliği korumak için G7 dışındaki ülkelerle ortaklıklar kurulmasını ve madencilik, rafinaj, üretim ve geri dönüşümde yerelleşmenin ve tedarik çeşitliliğinin sağlanmasını hedeflenmektedir (European Commission, 2025b; IEA, 2025b; IEA, 2025k; IISD, 2025).

Jeopolitik gelişmelerin, kritik minerallere ilişkin risklerin ve çözümlerin geleceğinde güçlü şekilde belirleyici olmayı sürdüreceği açıktır. Kritik mineraller, artan enerji talebini uygun maliyetlerle ve kesintisiz olarak sağlayabilmenin, ekonomik dirençliliğin, ülkelerin ulusal güvenliklerinin vazgeçilmez unsurları haline gelmiştir. Artan talep ve yaygınlaşan kullanım alanlarıyla kritik minerallerin, enerji güvenliği, arzu edilen enerji dönüşümü, dijitalleşme, katma-değerli sanayi üretimi gibi faktörler ekseninde şekillenen küresel rekabette, petrol ve doğalgazın 20. yüzyıldaki stratejik rolüne benzer şekilde merkezi bir konuma yükseldiği görülmektedir.

Gelecek dönemde bu alanda rekabet dinamiklerinin, yerli üretime öncelik verilmesi, dost ülke tedarik ağları, tedarikte çeşitlendirme ve güvenilir alternatif tedarikçi arayışları, yeni teknolojilerin geliştirilmesi, teknolojik ikameler, değer zincirlerinde verimlilik artışları, geri dönüşüm kapasitelerinde gelişim ve izlenebilirlik standartları gibi faktörler üzerinden şekilleneceği öngörülmektedir. Uluslararası iş birliklerinin geliştirilmesi en yüksek fırsat alanlarından birisidir. Değer zincirlerine bütüncül yaklaşımlarla, tedarik çeşitlendirmesinden yeni ve alternatif kapasitelerin inşasına ve yüksek teknolojilerin gelişimine kadar tüm bileşenlerin uluslararası iş birliklerinden de yararlanılarak ele alınması önem arz etmektedir. Aksi halde, enerji güvenliğinin sağlanması hedefleri, gelişen enerji sistemlerinde arzu edilen dönüşümler ve yüksek katma-değerli teknolojik büyüme fırsatları, jeopolitik faktörlerden daha fazla etkilenebilecektir.

²¹ Energy Security Summit

Referanslar

- Anadolu Ajansı (AA) (2025), International Energy Agency chief stresses diversification for energy security

<https://www.aa.com.tr/en/world/international-energy-agency-chief-stresses-diversification-for-energy-security/3670851>

- European Commission (2025a), Critical Raw Materials Act

https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en

- European Commission (2025b), G7 Leaders' statements

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/statement_25_1552

- Financial Times (2025a), Critical Minerals Constraints Are a Wake-Up Call on Energy Security

<https://www.ft.com/content/b9a191aa-27ba-41b6-b2b5-0f9b8b40ce8d>

- Financial Times (2025b), Top Critical Minerals Producers Cement Lead as Donald Trump Pushes to Cut Reliance

<https://www.ft.com/content/f3ab6ff3-c667-496e-a7d6-334bac20d25e>

- International Energy Agency (IEA) (2021), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>

- International Energy Agency (IEA) (2025a), World Energy Outlook 2025

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/0a7a40a4-5dcb-4d6e-a7ad-76a1c90ec8eb/WorldEnergyOutlook2025.pdf>

- International Energy Agency (IEA) (2025b), Summit on The Future of Energy Security, Background Paper

https://iea.blob.core.windows.net/assets/445ad277-bb69-4053-933e-bb744de08ec7/BackgroundPaper_FutureofEnergySecurity_web.pdf

- International Energy Agency (IEA) (2025c), Global Critical Minerals Outlook 2025
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2025d), What's Next for the Global Car Industry
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/0b32e014-f1c6-43f6-9c9f-ee9bfc8c2e65/Whatnextfortheglobalcarindustry.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2025e), With New Export Controls on Critical Minerals, Supply Concentration Risks Become Reality
<https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality>
- International Energy Agency (IEA) (2025f), World Energy Outlook 2025, Launch Slides
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/8349d13d-980a-4be1-938f-954db046d102/Launchpresentation-WorldEnergyOutlook2025.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2025g), Critical Minerals Policy Tracker
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/critical-minerals-policy-tracker>
- International Energy Agency (IEA) (2025h), Electricity 2025
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/7c671ef6-2947-4e87-beea-af0e1288e1d7/Electricity2025.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2025i), Broader View on Energy-Related Strategic Minerals: What Risks to Anticipate?
<https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025/broader-view-on-energy-related-strategic-minerals-what-risks-to-anticipate>
- International Energy Agency (IEA) (2025j), Minerals Security Partnership
<https://www.iea.org/policies/16066-minerals-security-partnership>
- International Energy Agency (IEA) (2025k) & Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2025), The Role of Traceability in Critical Minerals Supply Chains
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/aa827202-9d85-4805-b3ac-d489d3b900e3/TheRoleofTraceabilityinCriticalMineralSupplyChains.pdf>

- International Energy Agency (IEA) (2025), Summit on The Future of Energy Security, Chair's Summary
https://iea.blob.core.windows.net/assets/e9c913b8-4efe-4e25-8c50-460f800cc2a6/ChairsSummary_FutureofEnergySecurity.pdf
- International Institute for Sustainable Development (IISD) (2025), G7 Agrees to Deepen Cooperation on Critical Minerals Supply Chains
<https://sdg.iisd.org/news/g7-agrees-to-deepen-cooperation-on-critical-minerals-supply-chains>
- TIME (2025), Nations Rallied to Stop the 1970s Oil Crisis. It's Time to Do the Same for Critical Minerals
<https://time.com/7315610/critical-mineral-energy-crisis-fatih-birol/>
- U.S Geological Survey (USGS) (2025), Interior Department releases final 2025 List of Critical Minerals
<https://www.usgs.gov/news/science-snippet/interior-department-releases-final-2025-list-critical-minerals>
- U.S. Department of Energy (DOE) (2025), What Are Critical Materials and Critical Minerals?
<https://www.energy.gov/cmm/what-are-critical-materials-and-critical-minerals>
- United Nations (UN) (2025), Harnessing the Potential of Critical Minerals for Sustainable Development
<https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789211070866c007>

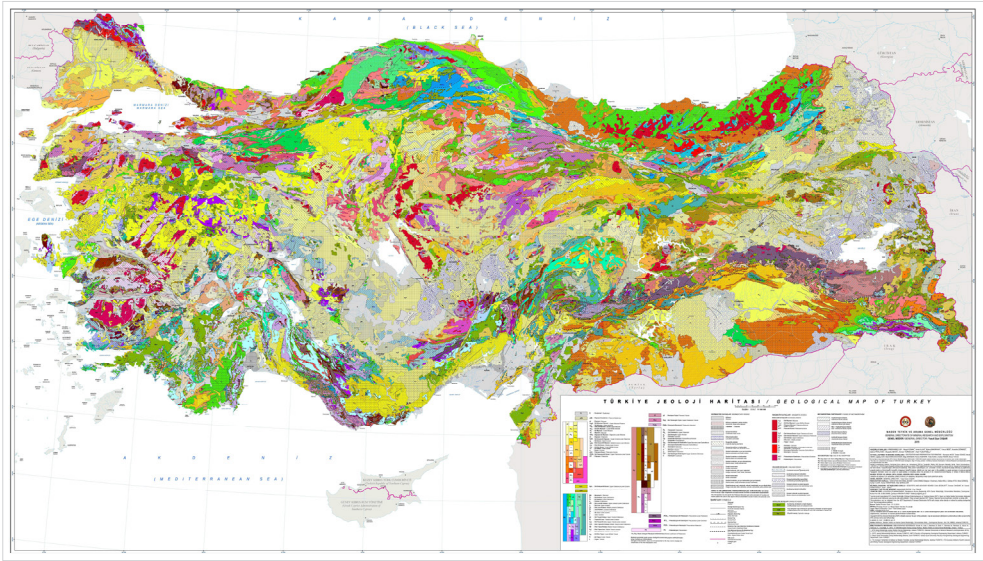
BÖLÜM 3:

Türkiye'de Kritik Enerji
Minerallerinde Görünüm
ve Gelecek Perspektifi

3.1. Türkiye’de Madenlere Genel Bakış

Türkiye Alpin–Himalaya orojenik¹ kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu yapı, tektonik, volkanik ve metamorfik süreçlerin etkisiyle farklı minerallerin belirli konsantrasyonlarda bir araya gelerek önemli maden oluşumlarını meydana getirmesini olanaklı kılmıştır (Şekil 3.1). Bu formasyonun neticesinde, Türkiye mineral çeşitliliği bakımından dünyada yedinci sırada yer almaktadır. Dünya genelinde tanımlanan yaklaşık 90 doğal kaynak türünün 70’e yakını Türkiye’de kaynak olarak bulunmaktadır (AA, 2023a; ETKB, 2020a; ETKB, 2023a). Türkiye’de yaklaşık 70 madenin üretimi gerçekleştirilmektedir (MTA, 2025a) (Detaylı bilgi için lütfen Bölüm 3.2’ye bakınız). Diğer taraftan, orojenezin aynı bölgelerde birden fazla kez tekrarlanması gibi dinamikler, maden yataklarının parçalanmasına ve daha küçük ölçekli yataklar şeklinde dağılmasına yol açmıştır. Bununla birlikte Türkiye’nin bütün bölgeleri, farklı maden kaynakları bakımından önemli potansiyel içermektedir (Şekil 3.2) (ETKB, 2023a; MTA, 2025b).

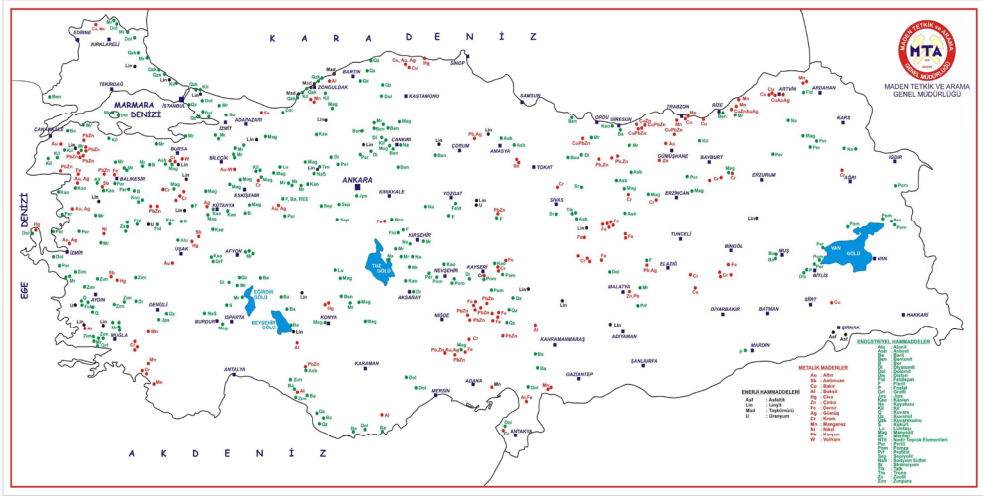
Şekil 3.1. Türkiye Jeoloji Haritası



Kaynak: MTA, 2025b

¹ Yer kabuğunun geniş ölçekte sıkışma, kıvrılma, kırılma ve yükselme hareketleri sonucunda dağ sıralarının oluşmasına neden olan tektonik süreç orojenez olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 3.2. Türkiye Maden Yatakları Haritası



Kaynak: MTA, 2025b

Güncel açıklamalar, Türkiye'nin dünya endüstriyel ham madde rezervlerinin %2,2'sini, metalik mineral rezervlerinin binde 4'ünü içerdiğini göstermektedir. Bor, soda külü, alçı taşı ve krom, Türkiye'nin rezerv büyüklükleri bakımından dünyada ilk beş sırada yer aldığı madenlerdir (AA, 2023a). Türkiye maden aramaları bakımından büyük ölçüde bakir bir potansiyel taşımaktadır. Sektör değerlendirmeleri ve politika belgeleri, Türkiye'nin bilinen maden kaynaklarının henüz sınırlı bir bölümünün üretime geçirilmiş olduğunu göstermektedir.

Güncel ve kapsamlı bir maden envanteri oluşturulması için önemli fırsatlar bulunmaktadır. Genel itibariyle, Türkiye doğrulanmış kritik enerji mineral rezervleri bakımından dünya genelinde henüz yeterince öne çıkmamaktadır. Ancak, yeni keşifler, envanter gelişimi ve katma değerli üretimde artışlar bakımından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Kritik ve stratejik mineraller odaklı geliştirilen yeni açılımlarda, arama ve geliştirme faaliyetlerinin öncelikli bir alan olarak tanımlanarak özel statüde değerlendirilmesi, bu yönde önemli bir gelişmedir (Detaylı bilgi için lütfen Bölüm 3.4'e bakınız). IICEC değerlendirmeleri, odaklı arama ve geliştirme stratejilerinin, arama yatırımlarında artışların, yapay zeka ile haritalama gibi yenilikçi yöntemlerin kullanımının, yeni keşifler ve sürdürülebilir rezerv artışları için somut kazanımlar sağlayabileceğine işaret etmektedir.

Güçlenen politika odağı ve yatırımcı yönelimleri ile Türkiye açısından öne çıkan başlıca ilerleme alanlarından birisi, madencilik envanterinde kaynaktan rezerve dönüşümün² güçlendirilmesi amacıyla rezerv doğrulama çalışmalarının geliştirilmesidir. Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu (UMREK) ile maden kaynakları ve rezervlerine ilişkin raporlamanın uluslararası standartlara uygun, şeffaf, güvenilir ve karşılaştırılabilir şekilde yapılmasını sağlamak üzere kurulan uygulamalarının ülke genelinde yaygınlaştırılmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir (Şekil 3.3) (UMREK, 2025).

Şekil 3.3. Maden Kaynaklarından Rezervlere Geçiş ve Temel Kavramlar

UMREK'ten uyarlanmıştır.

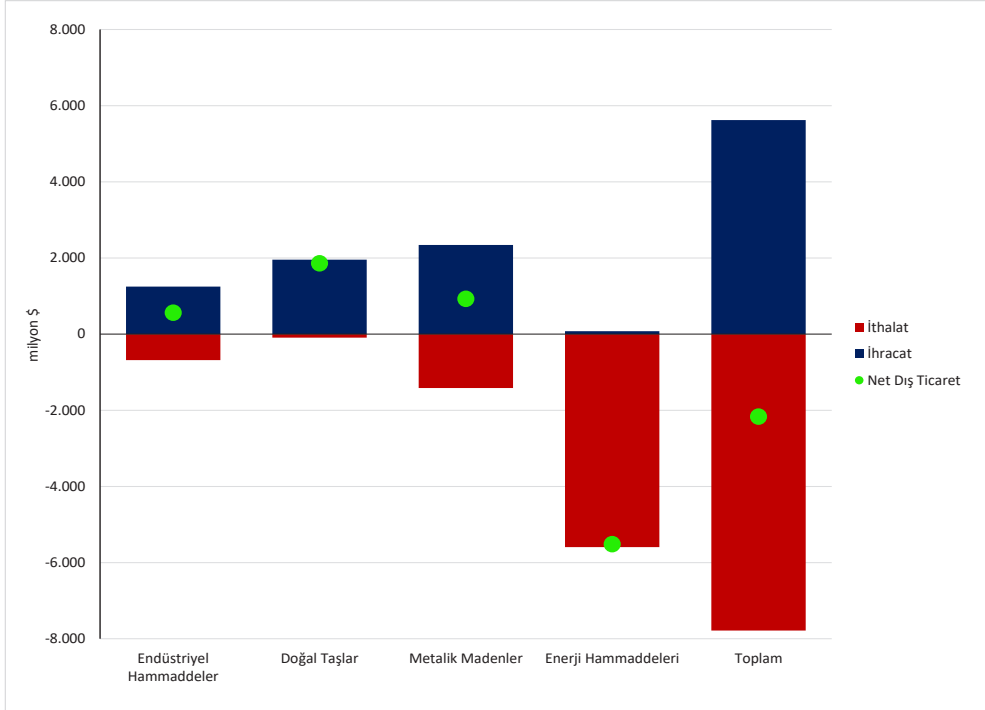
³ Joint Ore Reserve Committee.

3.2. Üretimde ve Temel Ekonomik Göstergelerde Madencilik Sektörünün Görünümü

Türkiye madencilik sektörü, maden kaynakları ve üretimi bakımından yüksek çeşitliliğe, bu çeşitlilik içerisinde dünyada en üst sıralarda yer almasına ve üretimdeki artışlara rağmen, GSYİH içinde halen yaklaşık %1'lik paya sahiptir. Bu payın %5 seviyesine ulaştırılması hedeflenmektedir. Bu önemli hedef, yeni keşifler, üretim artışları ve özellikle daha yüksek katma değerli madencilik için önemli fırsatlara işaret etmektedir (MTA, 2025a).

Genel olarak madenlerin dış ticaret dengelerindeki ağırlığı da Türkiye ekonomisi için önemlidir. Türkiye madenlerde altın hariç 2024 yılında 6 milyar \$ seviyesinde ihracata ulaşmış olmakla birlikte, 2,2 milyar \$ net ithalatçı durum göstermiştir. Ancak enerji hammaddeleri⁴ hariç tutulduğunda⁵ madenlerde altın hariç net ticaret dengesi 3,3 milyar \$ pozitif seyretilmiştir (Şekil 3.4) (MTA, 2025a).

Şekil 3.4. Maden Gruplarına Göre Net Dış Ticaret (2024, milyon \$)



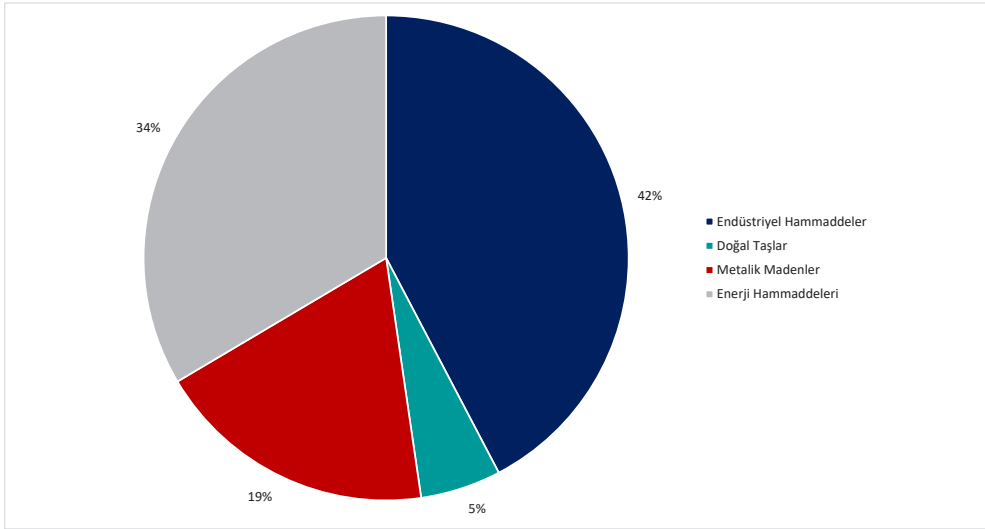
Kaynak: MTA, 2025a. IICEC analizi

⁴ Taş Kömürü, Linyit, Turba, Koklaşabilir Kömürler, Bitümler

⁵ Madencilik sektörünün toplam dış ticaret ithalat yükünün 60 milyar \$ olduğu belirtilmektedir.

Türkiye’de 2024 yılında yaklaşık 890 milyon ton (Mt) maden üretimi gerçekleşmiştir. Bunun %70’ini çimento ve inşaat malzemeleri üretimleri oluşturmaktadır. Bu üretimler hariç tutulduğunda, endüstriyel hammaddeler ve kömürden oluşan enerji hammaddeleri maden üretiminde sırasıyla %42 ve %34 paya sahiptir. Son dönemde dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de elektrifikasyondan temiz enerji üretimine, veri merkezlerine ilişkin planlardan havacılık ve savunma sanayisine kadar birçok stratejik sektörde önemi giderek artan metalik madenlerde toplam üretim ise Türkiye’nin çimento ve inşaat malzemeleri harici toplam maden üretiminin yaklaşık %20’sini oluşturmaktadır⁶ (Şekil 3.5) (MTA, 2025a).

Şekil 3.5. Üretim Maden Gruplarına Göre Dağılımı (2024, %)



Kaynak: MTA, 2025a

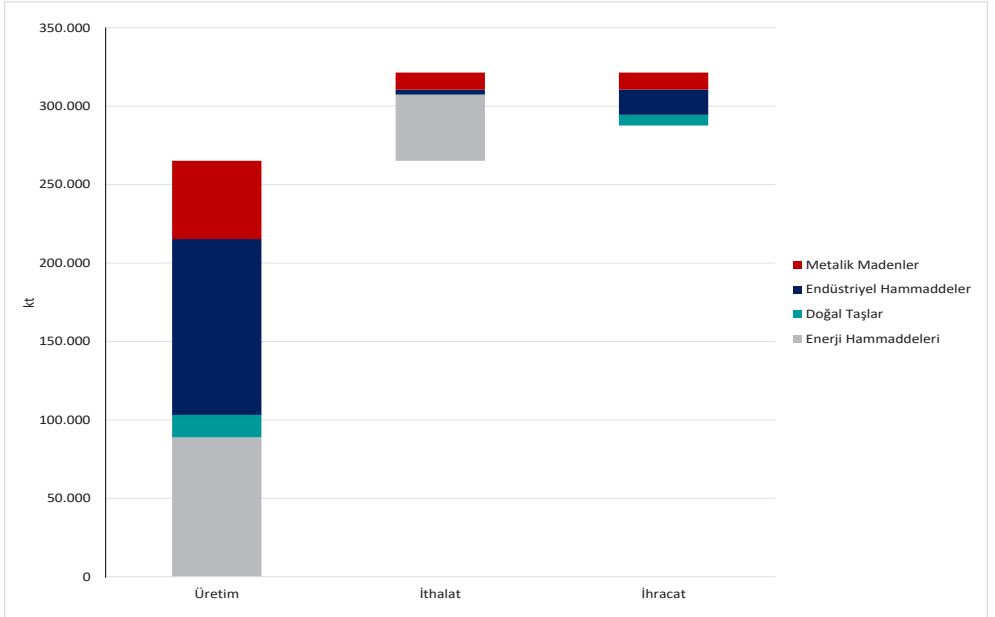
⁶ Üretimi yapılan metalik madenler: Altın, Antimuan, Alüminyum, Boksit, Bakır, Çinko, Demir, Gümüş, Kadmium, Krom, Kurşun, Kompleks Maden, Manganez, Molibden, Nikel, Pirit.

Bu madenlerden 6 tanesi Türkiye’nin yanı sıra ABD’nin ve AB’nin kritik mineral listelerinde de yer almaktadır (Detaylı bilgi için lütfen Bölüm 3.4’e bakınız.)

Türkiye'nin madencilik dış ticaretindeki maden çeşitliliği değerlendirildiğinde, en geniş grubun 33 maden ile endüstriyel hammaddeler olduğu görülmektedir. Bunu 18 maden ile metalik madenler izlemektedir⁷ (MTA, 2025a). 2024 yılında toplam maden üretiminin yaklaşık %20'sini oluşturan metalik madenlerin ithalatta %18 ve ihracatta %42 paya sahip olması, dış ticaret dengeleri açısından dikkat çekicidir (Şekil 3.6). Metalik madenlerde ihracat değerinin ithalattan yaklaşık üçte-iki daha fazla gerçekleşmesi 2024 yılında 900 milyon \$'a yakın bir net dış ticaret fazlasını göstermektedir.

Bu üretim ve dış ticaret yapısı, madencilikte kritik mineraller odaklı ve yüksek katma değerli büyüme için güçlü bir temel oluşturabilecektir. 12. Kalkınma Planı 2028 yılında maden ihracatında 10 milyar \$'a ulaşma hedefi içermektedir. IICEC, kritik mineral üretimlerinde büyüme sağlanması ve bu artışların değer zincirinde rafinaj ve işleme kapasiteleriyle desteklenmesi durumunda, enerjide ve diğer sektörlerde büyüyen iç taleplerin karşılanmasına ek olarak daha yüksek katma değerli ekonomik büyüme ve ihracat olanaklarının gelişebileceğini değerlendirmektedir.

Şekil 3.6. Maden Gruplarına Göre Üretim, İthalat ve İhracat Görünümü (2024, kt)



Kaynak: MTA, 2025a. IICEC analizleri

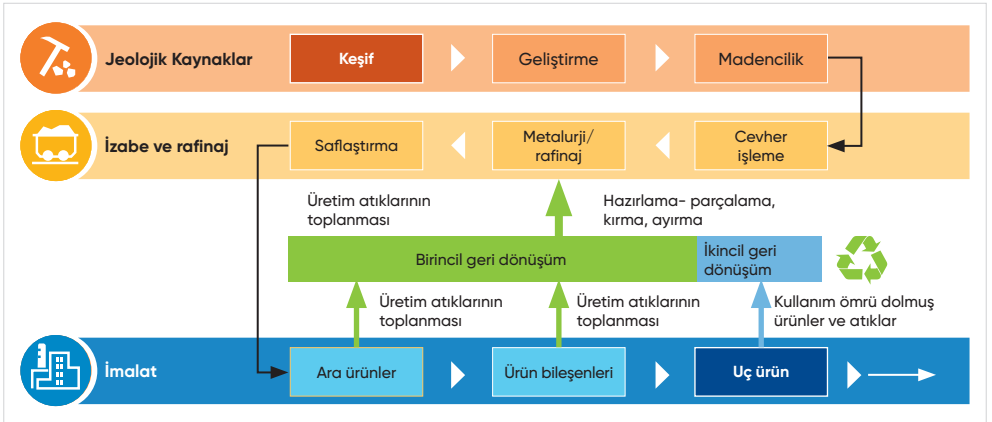
⁷ Altın hariç, altın net ithalatı yaklaşık 30 milyar \$ olarak değerlendirmektedir.

3.3. Bütüncül Dış Ticaret Dengeleri Analizi

Minerallerin tedarik zinciri, madencilikten uç ürünlere, bu ürünlerin ekipman teknolojilerine uzanan teknoloji-yoğun süreçleri içermektedir (Şekil 3.7). Bölüm 2’de belirtildiği gibi, bu karmaşık değer zincirinde madencilikten rafine uç ürünlere doğru ilerlemeler katma değeri yükseltmektedir. Çalışmada, Türkiye’nin tüvenan⁸ ve ara-uç ürün bazında dış ticaret dengeleri 29 maden bazında irdelenmiştir⁹. IICEC analizleri, Türkiye’nin madencilikten uç ürünlerin imalatına kadar olan değer zincirinde yoğunluğun maden cevheri üretiminde olduğunu göstermektedir. Bakır, çinko, alüminyum ve bor gibi pek çok mineralde önemli tutarda tüvenan ihracatı gerçekleştirmekle birlikte, genel olarak ara ve uç ürünlerde dışa bağımlılığının ve dolayısıyla dış ticaret açığının yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10).

Türkiye’nin önemli bir üretici olduğu bakırda 2024 yılında yaklaşık 670 milyon \$ tüvenan net ihracatına karşın 2,2 milyar \$ ara ve uç ürün net ithalatı ile toplam net dış ticaret açığı yaklaşık 1,6 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir (2020–2024 ortalaması 1,7 milyar \$/yıl). Türkiye halen rafine bakır talebinin yarısından fazlasını ithalatla karşılamakta olup, talepte büyüme dinamikleri bu oranda artış yönünde risklere işaret etmektedir. Kritik bir enerji minerali olarak bakırın elektrik sektörünün genelinde, özellikle temiz elektrifikasyon odaklı teknolojilerde çok yaygın kullanımı, geleceğin enerji sistemlerinin güvenliği için rekabetçi arz seçeneklerinin önemini daha da güçlendirmektedir.

Şekil 3.7. Mineral Tedarik Zincirine Genel Bakış



Kaynak: ADB, 2024

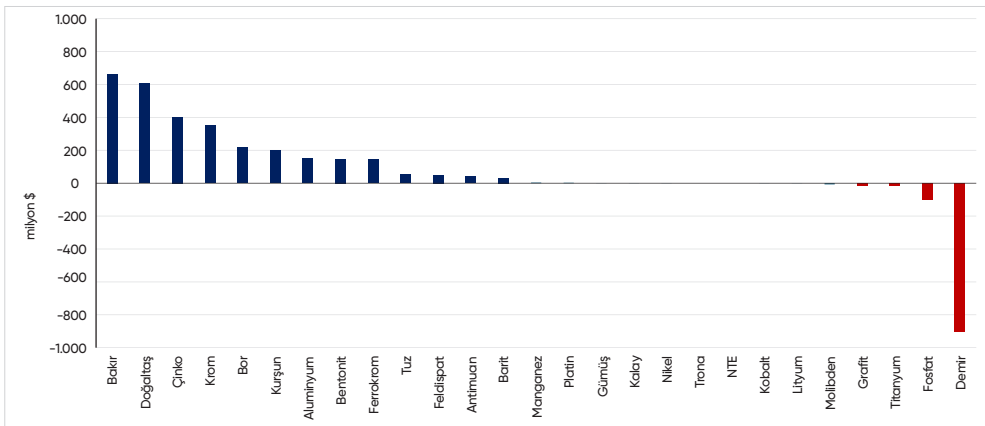
⁸ Kırma-eleme, yıkama, rafinasyon işleminden geçirilmemiş maden

⁹ ETKB 2025 Maden Ticaret Verileri

Diğer bir çarpıcı örnek olan lityumda ise son dönemde fiyatlarda yaşanan düşüşe karşın ara ve uç ürün net ithalatı 2020 yılındaki 280 milyon \$’dan 2024 yılında yaklaşık 1,3 milyar \$’a yükselmiştir. Elektrikli araçlarda ve enerji depolamada büyümenin katma değerli ürün ithalatını hızla yükselttiği değerlendirilmektedir. Dünya genelinde stratejik önemi hızla artan nadir toprak elementlerindeki (NTE) ara ve uç ürün talep gelişmeleri ve yerli üretim bazının oluşturulması hedefleri, bu mineralleri de önümüzdeki dönemde dış ticaret dengelerinde belirgin duruma getirecektir.

Dış ticaret dengelerinde birim tüvenan ve ürün fiyatlarının karşılaştırması, ara-uç ürünler ve cevher fiyatları arasındaki yüksek farkı göstermektedir. Örneğin 2024 yılı analizlerinde bu oranın lityumda 12, bakırda 6, kobaltta 3 civarında olduğu görülmektedir¹⁰. Analizler, Türkiye’nin kritik mineral kaynaklarının ekonomik değerinin artırılması, madencilikte sadece üretim artışına değil, değer zincirinde teknoloji-odaklı gelişmelerle ileri işlem görmüş uç ürünlerin imalatına ve ihracatına odaklanılması gerektiğini göstermektedir (Dış ticaret dengelerinde bazı kritik mineraller bazında detaylı analizler için lütfen Bölüm 3.8’e bakınız). Bu yönde gelişme sağlanması, dış ticaret dengelerine olumlu yansımaların yanı sıra, sektörün daha nitelikli ve rekabetçi bir yapıya kavuşmasını temin edecek, madenciliğin sadece hacimsel büyümenin ötesinde değer odaklı büyümeye geçişini hızlandıracaktır. Bunu gerçekleştirmek üzere, enerji teknolojileri ekipmanları imalat sanayideki mevcut durumun, gelişim potansiyelinin ve hedeflerin de mutlaka planlamalara dahil edilmesi gerekmektedir. Bu stratejik yaklaşım, aynı zamanda Bölüm 2’de sunulduğu gibi küresel ölçekte artan tedarik risklerinin ve kırılگانlıkların yönetilmesinde en etkili araçlardan birisi olacaktır.

Şekil 3.8. Altın ve Kömür Hariç¹¹ Tüvenan Net Dış Ticareti (2024, milyon \$)

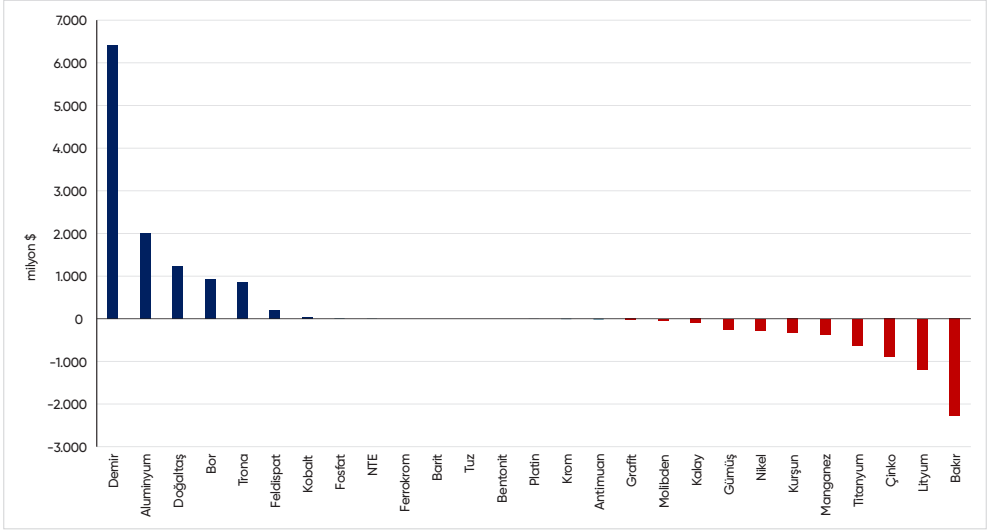


Kaynak: ETKB, 2025

¹⁰ İthalat ve ihracat fiyat ortalamaları. Ara ürünler ve uç ürünlerin ortalama fiyatları olup uç ürünler ile tüvenan arasındaki birim fiyat farkının çok daha yüksek olduğuna işaret etmektedir.

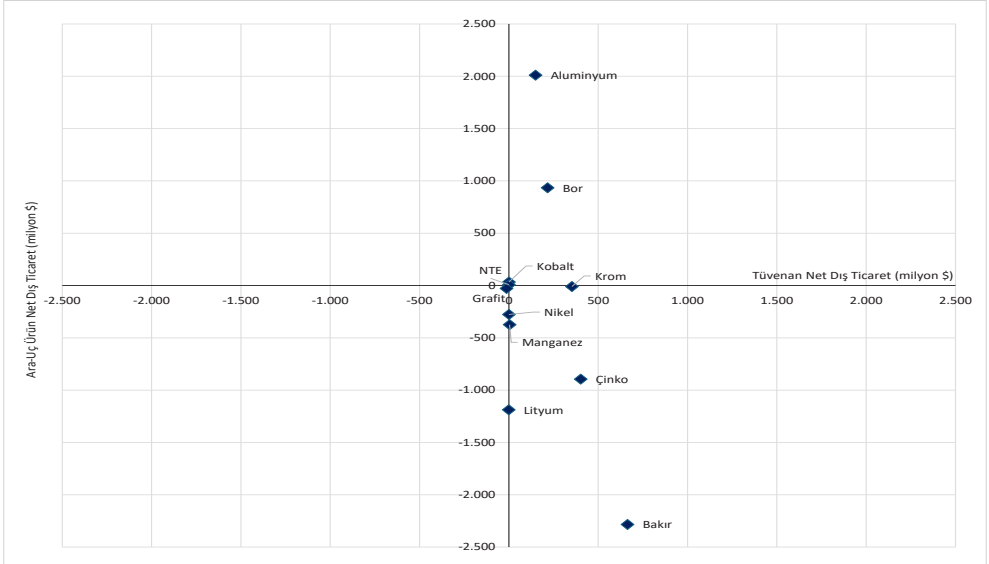
¹¹ Rafine edilmemiş altın ve tüvenan kömür Türkiye’nin tüvenan dış ticaretinin en büyük iki kalemini oluşturmaktadır. 2024 net ithalat değerleri sırasıyla yaklaşık 14 ve 5 milyar \$ olup, karşılaştırmalar için bu gösterimde yer verilmemiştir.

Şekil 3.9. Altın ve Kömür Hariç¹² Ara-Uç Ürün Net Dış Ticareti (2024, milyon \$)



Kaynak: ETKB, 2025

Şekil 3.10. Seçilmiş Kritik Enerji Minerallerinde Net Dış Ticaret Dengeleri (2024, milyon \$)



Kaynak: MTA, 2025a ve ETKB 2025 verileri. IIEEC analizleri

¹² 2024 yılında ara-uç ürün altın ve kömür dış ticaret değerleri sırasıyla 2 milyar \$ net ihracat ve 300 milyon \$ net ithalat olarak gerçekleşmiştir.

Çalışma, Türkiye için öncelikli bir diğer gelişim alanının, bütüncül ve detaylı bir tedarik zinciri envanterinin eksikliği olduğunu tespit etmektedir. Bu konuda önemli çalışmalar sürdürülmektedir (ETKB, 2023b). Mineral bazında tüvenan üretim ve dış ticaret verileri tutulmakla birlikte, özellikle iç tüketimin yapısal durumuna ve detaylarına ilişkin kapsamlı verilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Küresel gelişmelerin gösterdiği üzere, fiziksel ve ekonomik risklerin zamanında yönetilebilmesi, acil durum planlamalarının yapılması, yatırım planlarının geliştirilmesi arz ve talepte değer zincirine bütüncül bakış gerektirmektedir. IICEC buna yönelik olarak, madencilikten katot malzemeler gibi en uç ürünlere, trafolar ve enerji depolama sistemleri gibi ekipman bazında detaylara kadar tüm tedarik zinciri aşamalarında, dinamik arz-talep dinamiklerini gösteren veri altyapılarının kurumlar arası koordinasyon yoluyla geliştirilmesini önermektedir.

3.4. Politika Belgelerinde Kritik Mineraller Odaklı Önemli Gelişmeler

Türkiye'nin enerji güvenliği ve bağımsızlığı, yüksek katma değerli madencilik kapasitesinin geliştirilmesi, değer zincirlerinde uç ürün üretimi yetkinliklerine uzanarak büyümenin ve yükselmenin sağlanması, bu yönde teknolojik kapasitenin artırılması, enerjide ve madencilikte dış ticaret dengelerinin güçlendirilmesi ve net-sıfır emisyon hedeflerine ulaşılması gibi birbirleriyle yakından ilişkili çok boyutlu stratejik hedefleri doğrultusunda kritik minerallere yönelik politika odağı son dönemde belirgin biçimde güçlenmektedir (Şekil 3.11). Bu yöndeki gelişmeler ve planlamalar, Bölüm 2'de sunulan çok yönlü küresel riskler kapsamında tedbirlerin zamanında geliştirilmesi, küresel tedarikte alternatif arayışlarına yönelik fırsatların değerlendirilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Şekil 3.11. Türkiye'nin Kritik Mineraller Politikalarının Odak Alanları



IICEC analizleri

12. Kalkınma Planı (2024–2028) ve ETKB Stratejik Planı (2028), madencilik sektörünün genelinde ve kritik mineraller özelinde Türkiye’yi daha bir stratejik bir düzleme taşıyacak kapsamlı hedefler sunmaktadır. Bu planlar, küresel risklerin arttığı bir dönemde tedarik zincirlerinde hem dayanıklılığı arttırmayı hem de gelişen fırsatlardan daha etkin yararlanılmasını amaçlayan bütüncül bir dönüşüm perspektifi ortaya koymaktadır (ETKB, 2024a; SBB, 2023).

Bu dönüşümün ilk adımı, halen büyük ölçüde bakir bir alan olan madencilikte aramaların ve keşiflerin artırılması, rezerv geliştirme kapasitesinin güçlendirilmesidir. Kamu tarafından yapılan detay etüt miktarının beş kat artırılması, yurt dışında yürütülen arama proje sayısının 2’den 11’e çıkarılması ve atıklara yönelik envanter çalışmalarının tamamlanması gibi hedeflerin, rezervlerde büyümeyi desteklemesi beklenmektedir. Planlarda, tedarik risklerini azaltmak amacıyla yurt dışında alternatif kaynak geliştirme faaliyetlerinin genişletilmesi ve stratejik ortaklıkların artırılması hedeflenmektedir.

Planlarda öne çıkan en önemli diğer unsurlardan birisi, Türkiye’nin mineral odaklı sanayi kapasitesinin güçlendirerek katma-değerli üretime geçişin hızlandırılmasıdır. Bölüm 3.3’te sunulan analizlerin de gösterdiği gibi, mevcut dış ticaret yapısının sürdürülebilir olmaması ve tedarik güvenliğinin artan önemi, madenlerin hammadde olarak ihraç edilmesinin yerine ara ve uç ürünlere dönüştürülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, ara ve uç ürün üretimi şartıyla ihale edilen toplam maden sayısının 55’ten 100’e çıkarılması hedeflenmektedir. NTE ve lityum karbonat için endüstriyel ölçekte üretim tesislerinin devreye alınması ve yüksek bor katkılı ürün üreten tesis sayısının üçe çıkarılması planlanmaktadır.

Türkiye, NTE ve lityumda küresel ölçekte rekabetçi bir üretici konumuna ilerlemeyi, bor alanında ise mevcut üretim gücünü daha yüksek katma değerli ürünlere dönüştürerek tedarik zincirinin daha ileri aşamalarında yer almayı hedeflemektedir. Teknoloji, Ar-Ge ve yenilikçilik bu dönüşümün merkezindedir. Yerli teknolojilerin geliştirilmesini desteklemek üzere NTE ve diğer kritik minerallerde Ar-Ge proje sayısının 19’a çıkarılması amaçlanmaktadır (2024’te 13). Ayrıca, planlarda hedeflendiği üzere yapılan yeni mevzuat düzenlemelerinde izin süreçlerinin sadeleşmesinin, yatırımların gelişimine olumlu katkı yapması beklenmektedir.

Çok yönlü bu hedefleri destekleyen en önemli unsur, kritik minerallerde stratejik yönetim perspektifinin güçlenmesidir. Planlar, stratejik rezervlerin oluşturulması, stok yönetiminin geliştirilmesi, ihracat kısıtlamalarına yönelik politika araçlarının belirlenmesi ve bir ulusal yol haritası hazırlanması gibi somut adımlar içermektedir. Bu politika bileşenleri birlikte değerlendirildiğinde Türkiye’nin kritik minerallerde aramadan üretime, stratejik yönetimden teknoloji geliştirmeye kadar geniş bir perspektifte, kapsamlı bir kapasite gelişim sürecinde olduğu görülmektedir. Politikalar, Türkiye’nin kritik minerallerin madenciliğin ötesinde, bu mineralleri stratejik değerine göre yöneten bir ülke konumuna gelmesi hedefine işaret etmektedir. Türkiye ayrıca enerji ticaretindeki mevcut ve gelişen yetkinliklerine madencilikle ilişkili unsurları da ekleyerek bölgesel bir Enerji ve Maden Ticaret Merkezi olmayı hedeflemektedir (AA, 2025).

Bu gelişmelerin devamında, Türkiye'nin kritik minerallerde madencilikten uç ürünlere ve imalat sanayine uzanan değer zincirinin tamamını kapsayan, bütüncül ve uzun vadeli bir stratejik planlama perspektifinin hayata geçirilmesi beklenmektedir. Bu kapsamda, özellikle acil durum, stok ve koordinasyon mekanizmalarının geliştirilmesi, maden, ara ve uç ürün üretim kapasitelerinin artırılması, yüksek yatırım ve altyapı gerektirebilecek orta ve uzun vadeli iyileştirmeler için arz-talep dengelerini içeren detaylı planlamaların yapılması ve yol haritalarının hazırlanması ihtiyaçları öne çıkmaktadır. Ayrıca, yurtiçi kaynaklara ek olarak yurtdışı alternatiflerle çeşitliliğin ve tedarik güvenliğinin güçlendirilmesi, yatırım teşvik modellerinin devreye alınması, teknolojik gelişimin, insan kaynağının ve kurumsal kapasitenin güçlendirilmesi gibi odak alanları güvenli sürdürülebilir büyüme hedefleri bakımından önemli olacaktır. Yakın gelecekte bütüncül bir strateji belgesinin yayımlanması beklenmektedir.

Bölüm 2'de de sunulduğu gibi, dünyada kritik minerallerin güvenliğine yönelik artan riskler ve farkındalık neticesinde politika mekanizmalarındaki güncel gelişmeler incelendiğinde, ABD, Japonya, Güney Kore gibi büyük ekonomiler tarafından artan tedarik risklerine karşı dayanıklılığı sağlayabilmek stok mekanizmaları tanımlanmış olduğu, henüz sayısı az olan bu mekanizmaların tedarik zincirlerinde büyüyen risklerle birlikte dünya genelinde yaygınlaşmasının beklendiği görülmektedir. Finansman ve teşvik politikalarının, yüksek yatırım yoğunluğu, uzun proje geliştirme süreleri gibi zorlayıcı finansman risklerinin yönetilebilmesi, yeni projelerin yapılabilirliğinin sağlanabilmesi için son dönemde yatırım teşvik modellerinin uygulanmasında hızlı bir artış gözlenmektedir. Madencilik, üretim ve inovasyon süreçlerini desteklemeye yönelik yatırım ve vergi teşvikleri odaklı politikaların sayısı hızla yükselerek 100'e yaklaşmıştır. Değer zincirinde finansman desteğine yönelik kapsamlı tedbirler geliştiren ülkeler arasında Avustralya, ABD, Japonya, Güney Kore ve Birleşik Krallık gibi ülkeler öne çıkmaktadır (IEA, 2025a). Türkiye'nin politika mekanizmalarının detaylandırılmasında, stokların belirlenmesi, finansmana erişim, yatırım ihtiyaçları, hedeflenen yerli teknolojilerin ticarileşme seviyeleri gibi parametrelerde kendi şartlarına ve hedeflerine uygun iyi uygulama örneklerinin dikkate alınmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Uluslararası iş birlikleri ve stratejik ortaklıklar, Türkiye'nin kritik enerji minerallerinde artan risklerini daha etkin bir şekilde yönetebilmesi, aynı zamanda ortaya çıkan fırsatları değerlendirebilmesi bakımından belirleyici olacaktır. Bu doğrultuda, rezerv sahibi ülkeler, teknoloji deneyimi olan ülkeler ve yerel arz olanağı sınırlı olmakla birlikte talebi büyüyen piyasalarla farklı nitelikte ortaklıkların geliştirilmesi fırsatları öne çıkmaktadır. Örneğin, tedarikçi sayısının son derece sınırlı olduğu ve yüksek teknoloji gerektiren NTE rafinajında teknolojik kapasitenin geliştirilmesi ve yerileştirmesi önemli bir iş birliği alanı olarak öne çıkmaktadır. Tedarik bazının genişletilmesi ve çeşitlendirilmesi için mineral rezervleri bakımından zengin ancak üretim bakımından potansiyelinin altında kalan Afrika gibi bakir bölgelerde yatırım fırsatları bulunmaktadır (IEA, 2025b) (Detaylar için lütfen Bölüm 3.7.5'e bakınız) .

Kritik ve Stratejik Madenler Raporu'nun 2025 yılının ilk çeyreğinde yayımlanmış olması en önemli gelişmelerden birisidir. Bu çerçevede, dünyadaki farklı örneklerle de benzer şekilde, kritiklik kategorileri, arz ve fiyat gibi temel risk faktörleri tanımlanmış mineraller bazında değerlendirilmiştir. Aralarında elektrifikasyonun, güvenli ve sürdürülebilir enerji geleceğinin tüm dünyada olduğu gibi Türkiye için de temel mineralleri olan lityum, bakır, alüminyum, nikel, Nadir Toprak Elementleri (NTE), kobalt, grafit gibi minerallerin de olduğu bazı mineraller "Yüksek Öneme Sahip Kritik Mineraller" ve "Önemli Kritik Mineraller" listelerinde yer almıştır¹³ (ETKB, 2025b).

2025 yılında Maden Kanunu'nda yapılan değişiklikle kritik maden ve stratejik maden tanımları yasal çerçeveye eklenmiş , bu madenlere özel statü kazandırılmıştır (Resmi Gazete, 2025). Kritik madenler, arz kesintisi veya yüksek fiyat artışı halinde ciddi ekonomik sorunlar veya güvenlik zafiyeti doğurabilecek, sanayi üretiminin temel girdilerinden olan ve yüksek arz riski taşıyan madenler olarak tanımlanmıştır. Stratejik madenler ise, ulusal güvenlik ve ekonomik refah için yüksek öneme sahip olan ve iç veya dış etkenler nedeniyle arzı kısıtlanabilecek madenleri belirtmektedir¹⁴.

Tablo 3.1. Türkiye Kritik Madenler Listeleri

Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler	Önemli Kritik Madenler	Potansiyel Kritik Madenler
Lityum	Nikel	Berilyum
Gümüş	Nadir Toprak Elementleri	Florit
Titanyum	Kömür	Krom
Demir	Paladyum	Bor
Manganez	Kobalt	Platin
Çinko	Bizmut	Manyezit
Bakır	Arsenik	Feldspat
Alüminyum/Boksit	Molibden	Kaolen
	Galyum	Trona
	Kurşun	Bentonit
	Kadmium	
	İndiyum	
	Germanyum	
	Niobyum	
	Kalay	
	Cıva	
	Antimuan	
	Barit	
	Gratit	

Kaynak: ETKB, 2025b

¹³ Listeler, enerji sektöründe kullanım yoğunluğu ve rolü nispeten daha sınırlı olup, farklı sektörlerin arz ve talep dinamikleri bakımından önem taşıyan çok sayıda kritik ve stratejik minerali de içermektedir.

¹⁴ Hem kritik hem stratejik olarak tanımlanan madenler için lütfen Bölüm 3.7.4'e bakınız.

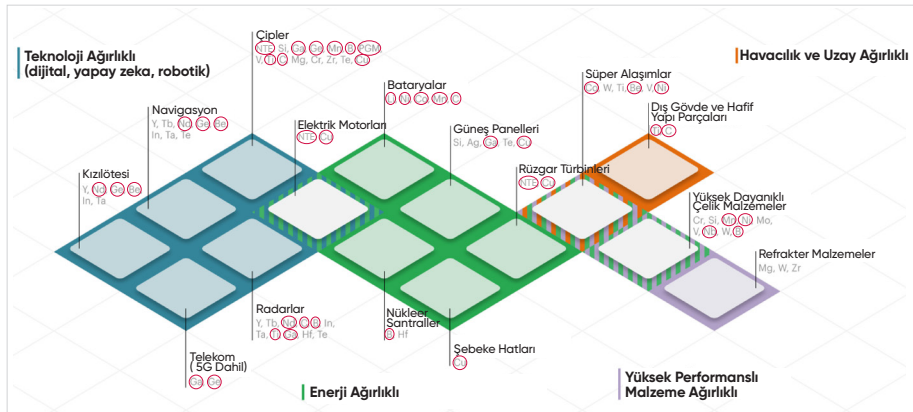
KUTU 3.1: Türkiye, AB ve ABD'nin Kritik Mineral Listeleri ve Öne Çıkan Ortak Kritik Enerji Mineralleri

Çalışmada, farklı ülkelerin kritik mineral listelerinin incelenmesi ve bu listelerin belirlenmesinde ülkelerin kendi kaynakları, ithalat riskleri dinamik yapıları şartlarına uygun faktörleri dikkate aldıkları görülmektedir. Bununla birlikte Bölüm 2’de sunulan aşırı coğrafi yoğunlaşma nedeniyle artan tedarik risklerinin enerji sektörünün ve diğer stratejik sektörlerin güvenliği üzerinde mevcut ve muhtemel olumsuz etkilerinin büyüklüğü, ortak bir risk değerlendirme parametresi olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, ekonomik büyümeye, dış ticaret dengelerine, katma-değerli üretime ve istihdama yansımalar gibi faktörlerin de değerlendirmelerde oldukça belirleyici olduğu görülmektedir.

Türkiye tedarik riskleri yüksek iki büyük ekonomi olan AB ve ABD tarafından kabul edilen kritik mineral listeleri incelendiğinde çok sayıda mineral ortaklığı olduğu görülmektedir (Şekil 3.12) (European Commission, 2025; ETKB, 2025b; USGS, 2025).

- Bakır, lityum, nikel, kobalt, nadir toprak elementleri ve grafit gibi kritik enerji minerallerinin,
- Alüminyum, manganez, bor, platin, antimuan, galyum, germanyum ve titanyum gibi enerji sektörünün yanı sıra savunma, dijitalleşme, robotik ve havacılık gibi stratejik alanlarda da yaygın kullanıma sahip minerallerin listelerde ortaklaşa yer aldığı belirlenmiştir.

Şekil 3.12. Türkiye, ABD ve AB Kritik Mineral Listelerinde Ortak Olan Mineraller¹⁵



Kaynak: IEA, 2025a. IICEC araştırması

¹⁵ Gösterimde örnekleri görünen minerallere ek olarak Arsenik, Barit, Berilyum, Bizmut, Florit ve Niyobyum mineralleri de Türkiye, AB ve ABD tarafından kabul edilen kritik mineral listelerinde ortak olarak yer almaktadır.

3.5. Kritik Enerji Mineralleri Talebinin Belirleyicileri ve Öne Çıkan Dinamikler

Dünya Bölüm 2’de sunulduğu gibi “Elektrik Çağı”na girerken, Türkiye’de elektrifikasyon enerji güvenliğini artırma, enerji bağımsızlığını güçlendirme ve 2053 yılında net-sıfır emisyon hedefleri ekseninde şekillenen enerji politikaları, enerji piyasalarındaki yatırımcı yönelimleri ve tüketici tercihleri neticesinde enerji sisteminin gelecek talep dinamiklerinin ve buna yönelik arz tercihlerinin temel belirleyicisi durumuna gelmektedir.

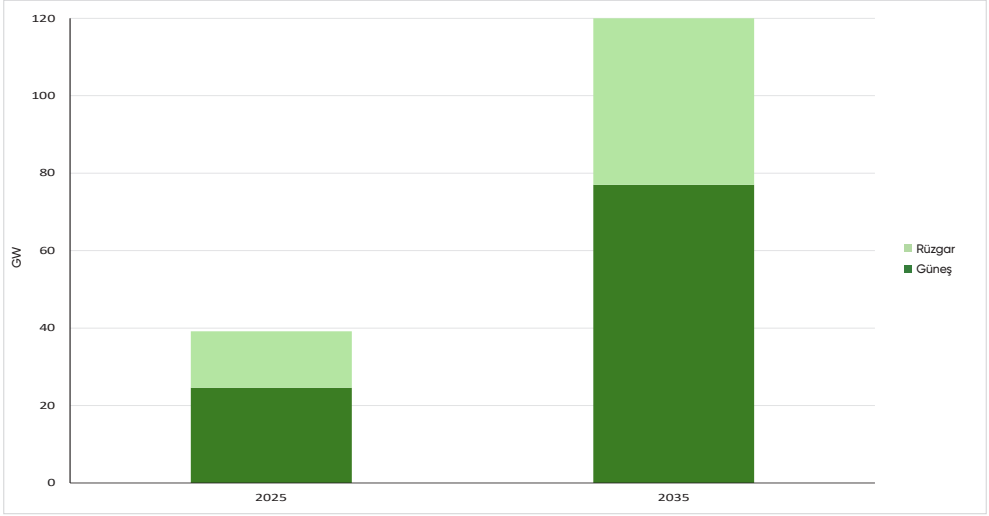
Elektrik talebi 2024 yılında %5,5 artışla 353,6 TW-saat olarak gerçekleşmiştir (TEİAŞ, 2025). Elektrik talebinde binalar ve sanayideki geleneksel elektrik kullanım alanlarına son dönemde hızla eklenen elektrikli ulaşım, gelecekte veri merkezlerinin kurulumu, ısı pompası çözümlerinde yaygınlaşma, iklimlendirme taleplerinde artış gibi yeni faktörler, elektrik talebinde güçlü büyüme dinamiklerini göstermektedir. Politika hedefleri ve analizler, 2035 yılına kadar olan dönemde, elektrik talebinde bir-buçuk kat civarında artışa işaret etmektedir¹⁶. Verimli bir enerji geleceği perspektifinde, elektrifikasyonun nihai enerji talebinde yaklaşık beşte-bir seviyesinde olan payının, önümüzdeki yirmi beş-otuz yıl içerisinde %50 seviyelerine ulaşabileceği görülmektedir¹⁷. Arz tarafında büyümede ise rüzgar ve güneşte toplam kurulu gücün 2035 yılına kadar üç katın üzerinde artışla 120 GW seviyesine ulaşması hedefi öne çıkmaktadır (Şekil 3.13) (ETKB, 2024b). Yüksek kaynak potansiyeli, gelişen teknolojiler, rekabetçi ve verimli büyüme dinamikleriyle daha uzun vadede rüzgar ve güneşte bu kapasitenin üzerine iki kata yakın ilave artışın gerçekleşebileceği değerlendirilmektedir.

2025 yılı içerisinde elektrikli araçların pazar payının %20’ye yaklaşması, otomotiv piyasasındaki gelişmeler, şarj altyapısındaki sürekli iyileşmeler Türkiye’yi e-mobilite büyümesinde de güçlü pazarlar arasında konumlandırmaktadır (Şekil 3.14) (ODMD, 2025; TÜİK, 2025). Nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme, ulaşım ve diğer yeni talep faktörleri, elektrik üretimindeki hızlı artışlarla birlikte, elektrik sistemlerinin omurgası olan elektrik şebekeleri son dönemde yıllık %3 seviyesinde büyümeye devam etmektedir. Geleceğin enerji sisteminde arz ve talep tarafındaki yeni dinamiklerin yönetilmesi ihtiyaçları iletim ve dağıtım şebekelerinde büyümelerin sürdürülebilmesini, dijitalleşme, akıllı şebekeler, HVDC gibi teknolojik fırsatlarla desteklenmesini gerektirecektir. Arz ve talepteki tüm bu dinamikler, daha güvenilir, rekabetçi ve esnek bir elektrik sistemi için henüz başlangıç seviyesinde olan enerji depolama sistemleri kurulumlarında kuvvetli bir büyümenin sağlanmasıyla yönetilebilecektir. Batarya kurulumlarının 2026 yılında 1500 GW-saat’e ulaşması beklenmekte olup, 2035 ve 2053 hedeflerinin gerçekleşebilmesi için tüm dünyada olduğu gibi hızlı artışların sürdürülmesi gerekecektir.

¹⁶ Türkiye Ulusal Enerji Planı’nda 2035 elektrik talebi 510,5 milyar kW-saat olarak öngörülmektedir. Yeni gelişen tüketim alanlarıyla bu talebin daha yüksek gerçekleşmesi potansiyeli yüksektir.

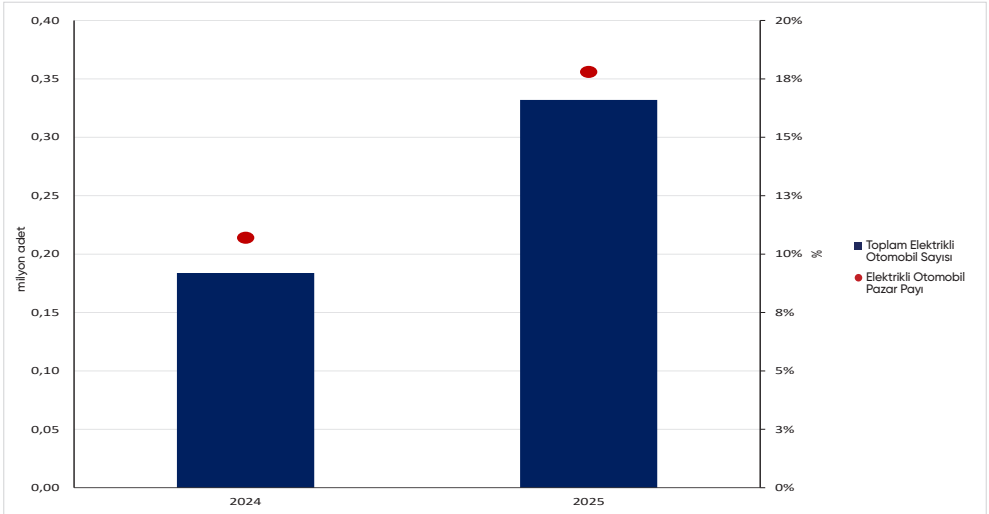
¹⁷ IIEEC Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü
<https://iieec.sabanciuniv.edu/tr/teeo>

Şekil 3.13. Güneş ve Rüzgar Kurulu Gücü¹⁸ ve 2035 Hedefi (GW)



Kaynak: TEİAŞ, 2025; IIEEC, 2025

Şekil 3.14. Elektrikli Otomobillerin Pazar Payı Gelişimi¹⁸ (2024, 2025, milyon adet, %)



Kaynak: ODMD, 2025

¹⁸ Kasım 2025 sonu itibarıyla

3.6. Kritik Enerji Mineralleri Talebi Geleceği

Çalışmada, kritik enerji minerallerinde talep görünümü ve geleceği analitik bir yaklaşımla incelenmiştir¹⁹ (Şekil 3.15. ve 3.16.) (Carrara et al., 2020; Carrara et al., 2025; IEA, 2025b). Bu çerçevede enerji sisteminin daha güvenli ve sürdürülebilir geleceğinde en fazla belirleyici olacak teknolojiler bazında mineral kullanım yoğunluklarındaki mevcut durum, trendler ve dünya örnekleri analiz edilmiştir²⁰. Elektrik sisteminde ve teknolojilerde 2053 yılına kadar olan dönemde büyüme perspektifleri, senaryo bazlı modelleme ile değerlendirilmiştir.

Modelleme ve analizler, batarya kimyalarındaki son dönem gelişmelerle birlikte teknolojik gelecek öngörüler, rüzgar türbinleri jeneratörlerinde kalıcı mıknatıs kullanımına ilişkin sektörde gelecekte öne çıkacak tercihler, şebekelerde alüminyum ve bakır kullanım dengesinin geleceğini belirleyecek fiyat-performans rekabeti ve şebeke mimarisinin uzun vadeli gelişimi gibi faktörlerdeki belirsizlikleri yansıtmaktadır. Analizler, orta ve uzun dönemde birim mineral yoğunluklarında yeni malzeme teknolojileri ve inovasyona bağlı iyileşme varsayımlarını da içermektedir²¹.

Kritik enerji mineralleri talebinde en büyük artış, halen çok kısıtlı talebin olduğu, ancak büyüme ihtiyaçlarının ve fırsatlarının yüksek olduğu enerji depolama sistemlerinde gerçekleşmektedir. Bu teknolojiler için yıllık talebin 2035 yılına kadar 11 ila 14 ve 2053 yılına kadar 20 ila 24 kat artması öngörülmektedir. Analizler, diğer bir hızlı büyüme alanı olan elektrikli araçlarda toplam kritik enerji mineralleri yıllık talebinde ise 2035 yılına kadar 3 ila 4 ve 2053 yılına kadar 5 ila 6 kat artışa işaret etmektedir.

Bu gelişmeler ve teknolojik trendler içerisinde, kritik enerji minerallerinde en hızlı büyümenin lityumda gerçekleşeceği görülmektedir. 2025 yılında yaklaşık 1 kt olan yıllık talebin, 2035 ve 2053 yıllarında sırasıyla 3,9-4,9 kt ve 7,8-10,3 kt seviyelerine ulaşması öngörülmektedir. Diğer bir ifadeyle, lityum talebinin 2035 yılına kadar 4 ila 5, 2053 yılına kadar ise 8 ila 11 kat artması beklenmektedir. Batarya kimyalarındaki rekabet dinamikleri ve lityum metal ve sodyum-iyon gibi yeni batarya teknolojilerinde özellikle 2035 sonrası beklenen gelişmeler, bu çarpanları uzun vadede kısmen aşağı veya yukarı yönde etkileyebilecektir. Nikel ve kobalt yıllık taleplerinin ise 2053 yılına kadar özellikle elektrikli araçlarda büyüme neticesinde 3 ila 4 kat artış gösterebileceği hesaplanmaktadır²².

¹⁹ IIEEC Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü 2025 Raporu ve IIEEC analizleri

²⁰ IEA, Global Critical Minerals Outlook 2025

<https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>

DOE Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies (GREET) 2025

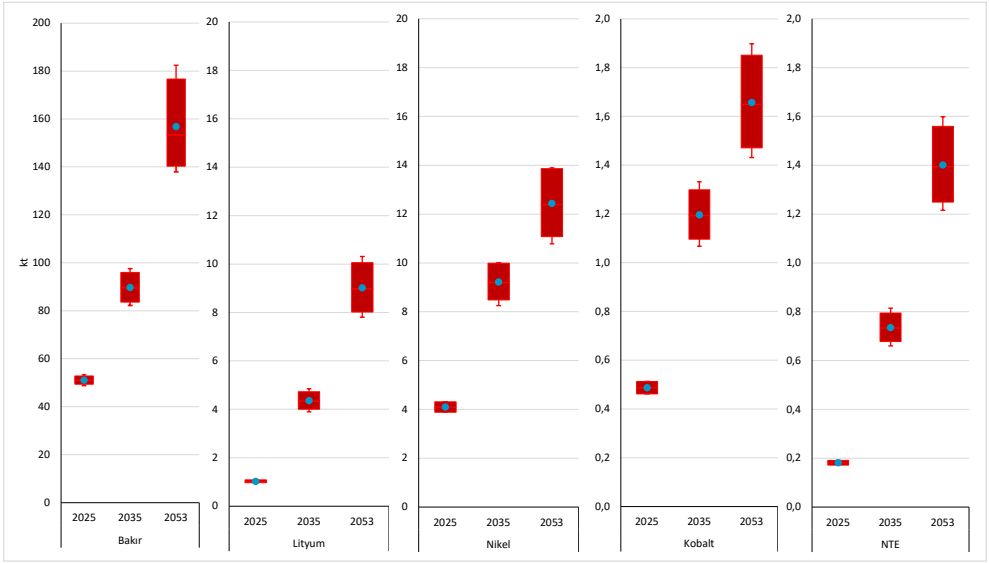
<https://www.energy.gov/cmei/greet>

²¹ IEA, Global Energy and Climate Model 2025

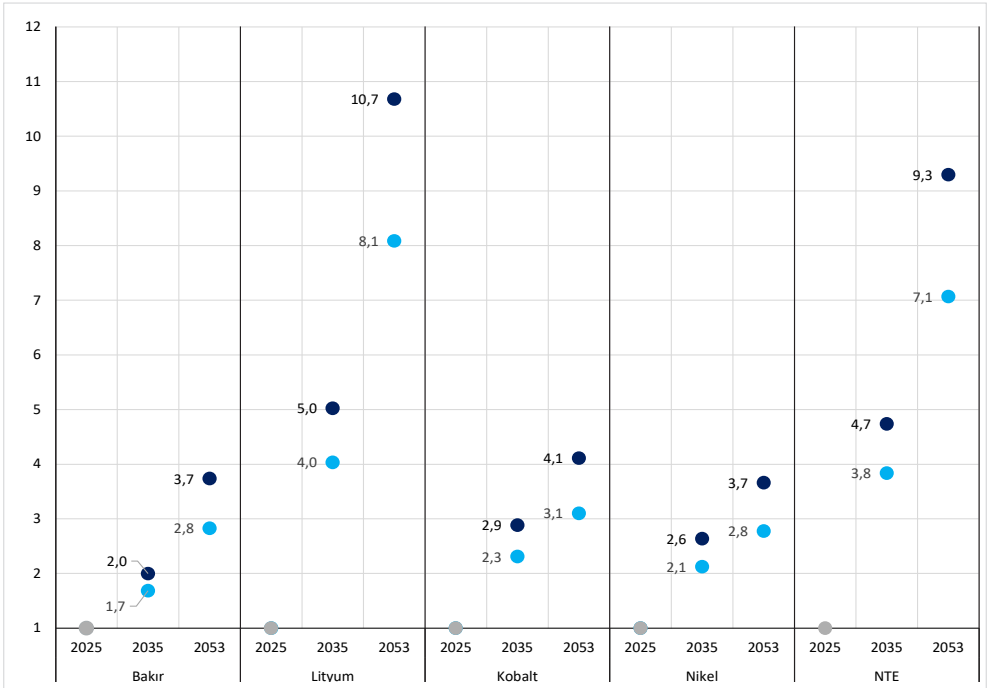
<https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model>

²² IIEEC analizlerinde enerji depolama sistemlerinde büyümenin mevcut yönelimlerde olduğu gibi ağırlıklı olarak LFP (lityum-demir-fosfat) teknolojilerinde gerçekleşeceği varsayılmıştır.

Şekil 3.15. Kritik Enerji Minerallerinde Talep Gelişim Perspektifi (2025-2053, kt)



Şekil 3.16. Kritik Enerji Minerallerinde Talep Gelişim Perspektifi (2025-2053, 2025=1)



IICEC analizlerinde temiz enerji teknolojilerinde kalıcı mıknatıs için nadir toprak elementleri gereksinimi de talepte yüksek büyüme dinamiklerine işaret etmektedir. Kalıcı mıknatısların kullanımında elektrikli araçlarda ve rüzgar kurulumlarında büyümeyle hızlı artışlar neticesinde 2025 yılında bu iki alanda yaklaşık 200 ton olarak hesaplanan yıllık talebin 2053 yılına kadar 7 ila 9 kat artışla 1,2-1,6 kt seviyesine ulaşabileceği hesaplanmaktadır. Bu talepte elektrikli araçların payı yaklaşık %80 seviyesinde gerçekleşmektedir.

Bakır, Türkiye enerji sisteminin daha yüksek elektrifikasyona doğru gelişiminde en yoğunluklu kullanılan mineral konumunu sürdürecektir. Türkiye'nin halen OECD ortalamasının yarısı seviyesinde olan kişi başına elektrik talebinde hızlı artışlar, şebekelerde büyüme hızının sürdürülebilmesini gerektirmektedir. IICEC analizleri, şebekeler başta olmak üzere rüzgar ve güneş teknolojilerinde, depolama sistemlerinde ve elektrikli araçlarda artan kullanımlarla yıllık bakır talebinde 2053 yılına kadar 3 katın üzerinde büyüme gerçekleşebileceğini göstermektedir. Mevcut durumda ağırlıklı kullanımı %45 pay ile şebekeler oluştururken özellikle elektrikli araçlarda ve enerji depolamada büyüme, gelecekte bakır talebinde bu teknolojilerin payını artacaktır.

3.7. Kritik Enerji Minerallerinde Risklere ve Fırsatlara Bakış

3.7.1. Nadir Toprak Elementleri (NTE)

NTE²³, kimyasal, manyetik ve optik özellikleri bakımından birbirine benzeyen 15 lantanit elementi ile itriyum ve skandiyumdan oluşan toplam 17 elementi kapsamaktadır (Şekil 3.17). Bu elementler, atom numaraları ve doğadaki bulunma özellikleri esas alınarak kendi içlerinde ağır²⁴ ve hafif²⁵ nadir toprak elementleri olarak sınıflandırılmaktadır. "Nadir" sıfatı ise bu elementlerin doğada az bulunmasından değil, genellikle farklı minerallerle birlikte dağınık biçimde yer almalarından kaynaklanmaktadır. Nitekim bazı NTE'lerin doğada bulunma sıklığının, bakır, krom, nikel, kurşun gibi temel metallerden daha fazla olduğu bilinmektedir. Hafif NTE, ağır NTE ile karşılaştırıldığında doğada daha yaygın biçimde bulunmaktadır (ETKB, 2025c).

NTE son dönemde enerji teknolojilerinden havacılık ve savunma sektörlerine kadar birçok katma-değerli sektörde kendilerine özgü optik ve manyetik karakteristikleri, genel olarak yumuşak ve kolay şekillendirilebilir yapısal özellikleriyle artan bir stratejik öneme sahiptir (Şekil 3.18) (ETKB, 2025d; AFDB, 2025; EURare, 2025; Government of Canada, 2021; IEA, 2025a; ING, 2025; TENMAK 2025; TÜREB, 2025).

²³ Rare Earth Elements

²⁴ Y (İtriyum), Eu (Evropiyum), Gd (Gadolinium), Tb (Terbiyum), Dy (Disprosyum), Ho (Holmiyum), Er (Erbiyum),

Tm (Tulyum), Yb (İterbiyum) ve Lu (Lutesyum)

²⁵ Sc (Skandiyum), La (Lantan), Ce (Seryum), Pr (Praseodimyum), Nd (Neodimyum), Pm (Prometyum) ve Sm (Samaryum)

Şekil 3.17. Periyodik Tabloda NTE

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Nh 113	Fl 114	Mc 115	Lv 116	Ts 117	Og 118
Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71				
Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103				

Kaynak: Royal Society of Chemistry, 2025

Şekil 3.18. NTE Kullanımına Sektörel Bakış

							
	Savunma	Elektrikli Araçlar	Medikal Cihazlar	Telefonlar	Ekranlar	Hoparlörler	Rüzgar Türbinleri
Seryum (Ce)			✓	✓	✓		
Disprosyum (Dy)	✓	✓				✓	✓
Erbiyum (Er)			✓		✓		
Evropiyum (Eu)	✓				✓		
Gadolinyum (Gd)	✓		✓				
Holmiyum (Ho)	✓						
Lantanyum (La)		✓		✓		✓	
Lutesyum (Lu)	✓		✓				
Neodimyum (Nd)	✓	✓		✓		✓	✓
Praseodimyum (Pr)	✓	✓				✓	✓
Prometyum (Pm)	✓						
Samaryum (Sm)	✓					✓	✓
Skandiyum (Sc)	✓						
Terbiyum (Tb)	✓	✓			✓	✓	✓
Tuliyum (Tm)			✓				
İterbiyum (Yb)			✓				
İtriyum (Y)	✓		✓		✓		

Kaynak: ING, 2025

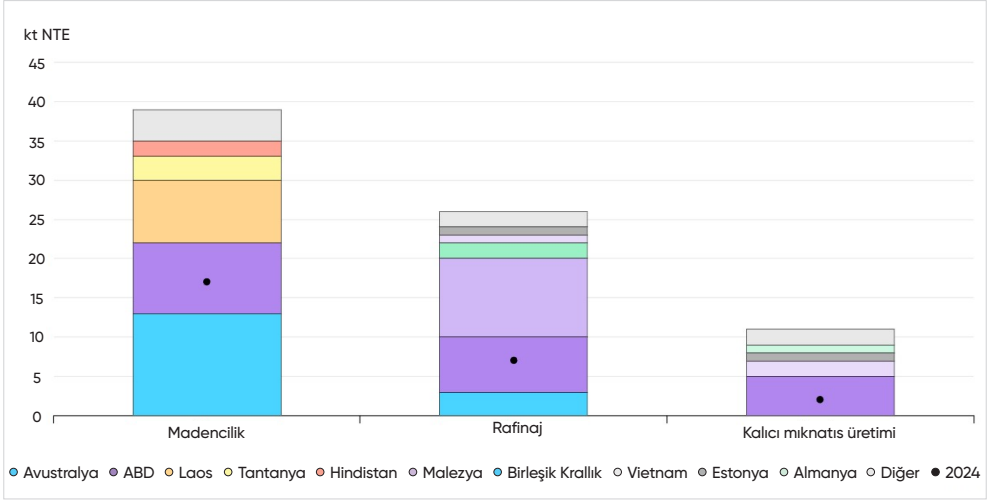
Kalıcı mıknatıslar NTE talebinin küresel ölçekte yaklaşık yarısını oluşturmaktadır (Government of Canada, 2025). Özellikle NTE bazlı NdFeB (Neodimyum-Demir-Bor) kalıcı mıknatıslar, rüzgardan elektrik üretimi teknolojilerinde ve elektrikli araçlarda kritik bir rol üstlenmektedir. Bu teknoloji, güçlü manyetik alan oluşturabilme karakteristiğiyle, harici bir elektrik akımına ihtiyaç duymamaktadır. Bu özelliği, kalıcı mıknatıslı jeneratörlerde özellikle büyük ölçekli rüzgar türbinlerinde yüksek güç yoğunluğu sağlanmasına, sistem ağırlığının azaltılmasına ve kompakt tasarımların geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Kalıcı mıknatıs teknolojisi, benzer avantajlarıyla elektrikli araçlarda kullanılan motorlarda da yaygın biçimde tercih edilmektedir (ETKB, 2024c; TÜREB 2025).

Bölüm 2’de sunulduğu üzere, küresel ölçekte NTE tedarikinde güvenliğin temini hızla büyüyen çok yönlü riskler içermektedir. Küresel talepte yüksek artışa karşın, özellikle rafinajda yüksek coğrafi yoğunluk devam etmektedir. NTE’lerin temiz enerji teknolojilerinin yanı sıra savunma sanayi gibi stratejik sektörlerde de temel girdiler arasında yer alması, son dönemdeki ihracat kısıtlamaları ve etkileri, tedarik zincirlerinde güvenilir çeşitlendirme ihtiyacını pekişmektedir. NTE tedariki için alternatif kapasitelerin geliştirilmesine yönelik olarak farklı coğrafyalarda madencilik, rafinaj ve kalıcı mıknatıs üretimi projeleri kurulum ve gelişim aşamasındadır (Şekil 3.19). Ancak, bu projelerin on yıl içerisinde gecikmesiz olarak işletmeye alınması durumunda dahi, 2035 yılında Çin’in NTE pazarındaki hakim pazar payının ancak %75’e düşeceği görülmektedir. Küresel arz ve talepten Çin’in arzı ve iç talebi çıkarıldığında, 2035 yılında öngörülen küresel talebin sadece %42’sinin karşılanabileceği hesaplanmaktadır²⁶. Kalıcı mıknatısların üretiminde Çin’in payının %94’e ulaşması, bu alandaki bağımlılığı daha da kritik hale getirmektedir. Küresel NTE ihracatında sadece %10 düzeyinde bir kesintinin, dünya genelinde yaklaşık 6,2 milyon otomobilin üretimini aksatabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenlerle, küresel tedarik zincirlerinde “kaynaktan mıknatısa” entegrasyon kritik bir darboğaz alanı olmayı sürdürmektedir (IEA, 2025a; IEA, 2025b).

Bölüm 3.6’da belirtildiği üzere, temiz enerji teknolojilerinde kalıcı mıknatıs kullanımının artmasına paralel olarak NTE talebinin hızlı büyüme göstermesi beklenmektedir. Bu çerçevede, 2035 yılında yıllık toplam talebinin 0,7–0,8 kt bandına yükselmesi öngörülmektedir (2025 yılına göre yaklaşık 3,5–4 kat büyüme). 2053 yılı itibarıyla ise, yıllık NTE talebinde 2035 seviyesine göre yaklaşık iki kat artış beklenmektedir. 2025–2053 döneminde kalıcı mıknatıslar için NTE talebinin sektörel dağılımında görece sınırlı değişimler öngörülmektedir. Elektrikli araçların payının, 2035 yılına kadar yaklaşık %80 seviyesinde yatay seyretmesi, 2053 yılına doğru ise %85 düzeyine doğru kademeli bir artış göstermesi beklenmektedir. Buna karşılık, rüzgar enerjisi teknolojilerinin toplam talep içindeki payının, mutlak talep artışına rağmen görece olarak azalarak %15 civarına gerileyeceği görülmektedir (Şekil 3.20). Rüzgar türbinlerinde teknolojilerindeki sektörel tercihlerin geleceği bu dağılımı kısmen değiştirebilecektir.

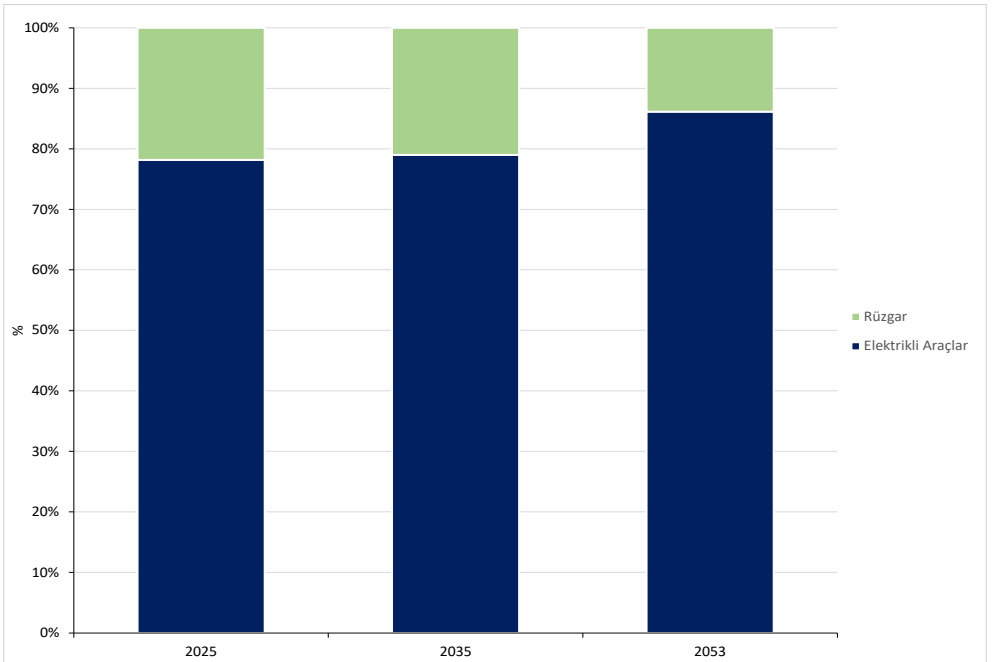
²⁶ N-1 analizi

Şekil 3.19. NTE Tabanlı Kalıcı Mıknatıslar için Madencilik, Rafinaj ve Üretime Yönelik Mevcut ve Planlanan Projelerin Bölgesel Dağılımı (2030, kt)



Kaynak: IEA, 2025c

Şekil 3.20. IICEC Analizlerinde Yıllık NTE Talebinin Teknoloji Bazında Gelişimi (2025–2053, %)



Dünya genelinde ciddi arz risklerini gösteren küresel görünümle birlikte, Türkiye’de de elektrikli araçların yaygınlaşması, rüzgar kurulu gücündeki büyüme ve diğer stratejik sektörlerin tüketim ihtiyaçları, NTE talebinin hızla artacağını göstermektedir. Bu gelişmeler açıklanan yüksek NTE kaynak keşfinin Türkiye açısından stratejik önemini güçlendirmektedir.

Türkiye’de NTE ilk olarak 1974 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından Eskişehir Beylikova saha keşfiyle tespit edilmiştir. Son dönemde sahada gerçekleştirilen 125.000 metrenin üzerinde sondaj çalışması neticesinde, başta NTE, barit ve florit gelmek üzere 694 Mt kaynak keşfi açıklanmıştır. Açıklanan bu büyük keşif 12,5 Mt NTE kaynağına karşılık gelmektedir (ETKB, 2025c). Beylikova sahası NTE kaynakları bakımından dünyanın en büyük ikinci sahası durumundadır. Bu gelişme, Türkiye için NTE alanında kaynaktan ileri uç ürünlere kadar uzanan değer zincirinin tamamında teknoloji-odaklı yaklaşımlarla değerlendirilebilecek önemli fırsatlara işaret etmektedir.

NTE, Türkiye’nin enerji ve maden politikalarının öncelikli bileşenleri arasında yer almaktadır. Yüksek ölçekli bu keşfin teknoloji-odaklı yatırımlarla ekonomiye kazandırılması ve bu alanda dünyanın ilk beş ülkesi arasına girilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda 2023 yılında ilk pilot NTE cevher işleme tesisi yıllık 1,2 kt kapasite ile işletmeye alınmıştır. Yılda 570 kt NTE rafinajına yönelik endüstriyel tesisin inşasına ise 2026 yılında başlanması hedeflenmektedir. Güncel planlamalar, 2030 yılına kadar birincil NTE kaynaklarından yılda 10 kt Nadir Toprak Oksiti (NTO) üretiminin gerçekleştirilmesine işaret etmektedir (AA, 2023b). Bu hedef, NTO üretiminde Türkiye’yi önemli bir aktör durumuna getirecektir.

NTE değer zinciri, madencilikten rafinaja ve özellikle kalıcı mıknatıs gibi ürünlere kadar yüksek teknoloji yoğunluğu içermektedir. Bu alandaki Ar-Ge ve teknoloji geliştirme çalışmaları, Türkiye Nükleer, Enerji ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) bünyesinde faaliyet gösteren Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN) tarafından yürütülmektedir. NATEN, NTE kaynak potansiyellerinin detaylı olarak belirlenmesinin yanı sıra değer zincirinin tüm aşamalarında gerekli teknolojik altyapıların ve iş birliklerinin oluşturulmasına yönelik önemli çalışmalar sürdürmektedir. İkincil NTE tedarikine yönelik faaliyetlerin de Türkiye’nin bu alandaki stratejik yaklaşımının önemli bir bileşenini oluşturduğu görülmektedir (TENMAK, 2025). NTE teknolojilerine ilişkin ulusal stratejileri ve eylem planlarını ortaya koyacak kapsamlı bir çalışmanın yakın zamanda açıklanması beklenmektedir.

Küresel talepte yüksek artış, rafinajda Çin’e %91 oranında bağımlılık, NTE minerallerinin temiz enerji teknolojilerinin yanı sıra savunma sanayi gibi stratejik sektörlerde de yoğun kullanımı, son dönemdeki ihracat kısıtlamaları ve etkileri, tedarik zincirlerinde güvenilir çeşitlendirme ihtiyaçları, bu keşfin çok yönlü stratejik önemini pekiştirmektedir.

Türkiye'nin gelişen stratejileri, kaynakların çıkarılmasının ve işlenmesinin devamında katma değerli ürünler için rafinajda ve imalatla ileri teknolojik süreçlerin kazanılmasını da önceliklendirmektedir. Özellikle, otomotiv endüstrisinde, rüzgar teknolojilerinde, savunma sanayide kritik kullanımları olan, küresel tedarik zincirinde Çin'in %94 pazar payına sahip olduğu NTE tabanlı kalıcı mıknatıslarda sürdürülebilir üretim kapasitelerinin oluşturulması küresel ölçekte stratejik önem taşımaktadır. Bu yönde gelişmelerle Türkiye kendi talebindeki hızlı büyümenin yerli arz seçenekleriyle karşılanmasının yanı sıra küresel arzda alternatif bir tedarikçi konumuna gelebilecektir.

Yüksek potansiyelin değerlendirilebilmesinde gelişim alanları bulunmaktadır. Türkiye'nin büyük kaynak keşfinin, uluslararası standartlarda rezerv doğrulama adımları ile desteklenmesi ve kaynaktan rezerve detaylı geçiş çalışmaları önemlidir. Cevher çıkarma, ölçekli üretim ve rafinaj kapasitelerinin oluşturulması ile yüksek katma değerli stratejik uç ürünlerin imalat bazının geliştirilmesi, yüksek tutarlı yatırımları ve dünyada sınırlı sayıda ülkede uygulamaları olan ileri teknolojik çözümlerin hayata geçirilmesini gerektirmektedir.

Ar-Ge ve inovasyon yetkinliklerine yatırım yapılması, teknolojik deneyime sahip ülkelerle teknoloji transferi ve yerleştirilme odaklı iş birliklerinin geliştirilmesi, yüksek potansiyelin azami şekilde değerlendirilebilmesini güçlendirecektir. Tüm bu gelişmelerin stratejik ve bütüncül bir planlama çerçevesi içerisinde sağlanması durumunda, Türkiye NTE alanında gelişen bir oyuncu olarak stratejik uç ürünlere kadar küresel ölçekte önemli rol üstlenebilecektir. Bu gelişme, Türkiye'yi genel olarak kritik minerallerin geleceğinde dünyada önde gelen oyuncularından birisi konumuna da yükseltebilecektir.

3.7.2. Lityum ve Diğer Batarya Mineralleri

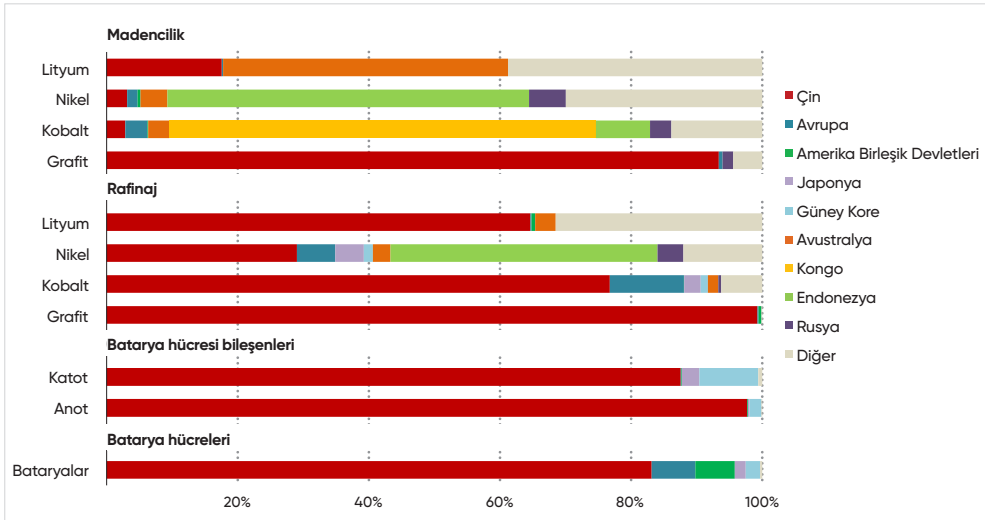
Lityum, dünya genelinde batarya teknolojilerindeki hızlı büyümenin en temel girdisi olmaya devam edecektir. Lityuma alternatif batarya kimyaları ve malzeme teknolojileri üzerine araştırmalar sürmekle birlikte, mevcut teknik sınırlamalar, performans gereksinimleri ve maliyet yapıları dikkate alındığında, yakın dönemde lityumun geniş ölçekli biçimde ikame edilmesi güç görünmektedir (IEA, 2024; IEA, 2025a).

Lityum ve genel olarak batarya teknolojileri, küresel ölçekte rafinajda ve uç ürün imalatında coğrafi konsantrasyonun ve tek ülkeye bağımlılığının en yüksek olduğu alanlar arasında yer almaktadır. Dünya lityum rafinajında %70 paya sahip olan Çin, aynı zamanda batarya tedarikinin yaklaşık %90'ını kontrol etmektedir (Şekil 3.21) (IEA, 2025a). Bu yüksek yoğunlaşma, enerji güvenliğinin geleceğinin yanı sıra bu teknolojilere dayalı temiz enerji teknolojileri ve pek çok farklı stratejik sektör için önemli riskleri beraberinde getirmektedir.

Bölüm 3.6'da sunulan IICEC analizleri, Türkiye'nin lityumda dış ticaret açığının çok hızlı büyüdüğünü göstermektedir (Şekil 3.22 ve Şekil 3.23) (ETKB, 2025a). Analizlerde temiz enerji teknolojilerinin mineral taleplerinde en hızlı büyümelerin enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçlarda gerçekleşeceği, kritik enerji minerallerinde en hızlı talep artışının lityumda yaşanacağı görülmektedir. Enerji depolama sistemlerinin orta ve uzun vadede toplam talep içindeki payı artmakla birlikte, lityum talebinin yaklaşık %95'inin elektrikli araçlardan kaynaklanacağı öngörülmektedir (Şekil 3.24 ve Şekil 3.25).

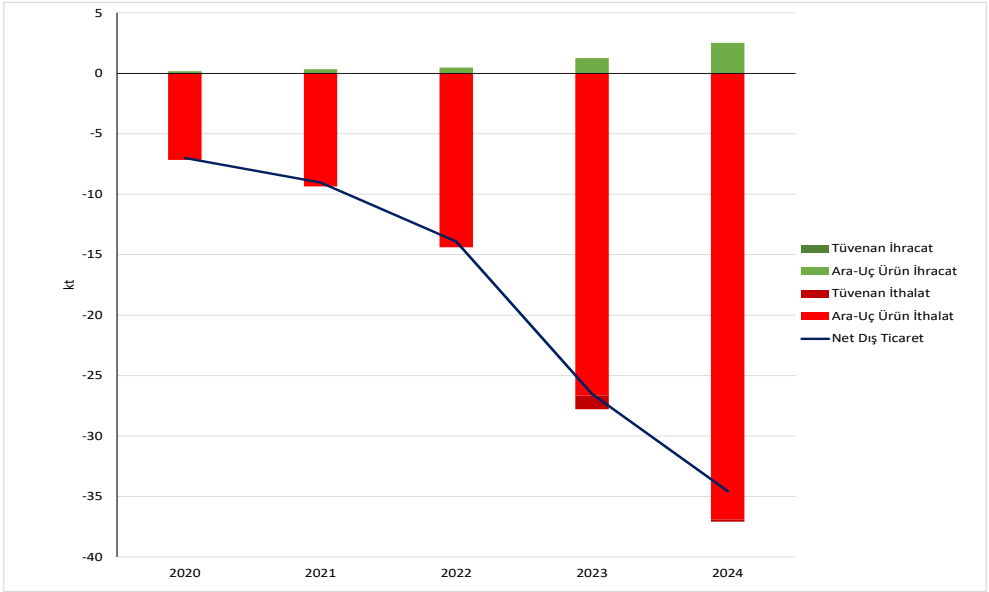
Lityum, Türkiye'nin yayımladığı Yüksek Öneme Sahip Kritik Madenler Listesi'nde ilk sırada yer almaktadır (ETKB, 2025b). Küresel ölçekte artan arz risklerine karşın, Türkiye'de gerek lityum üretimi, gerekse de batarya kurumları ve teknolojileri gelişimi yönünde atılmaya başlanan adımlar, dünyada tedarik güvenliği için artan çeşitlendirme arayışları ile birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye için stratejik fırsatları da beraberinde getirmektedir.

Şekil 3.21. Küresel Batarya Tedarik Zincirinin Coğrafi Dağılımı (2024, %)



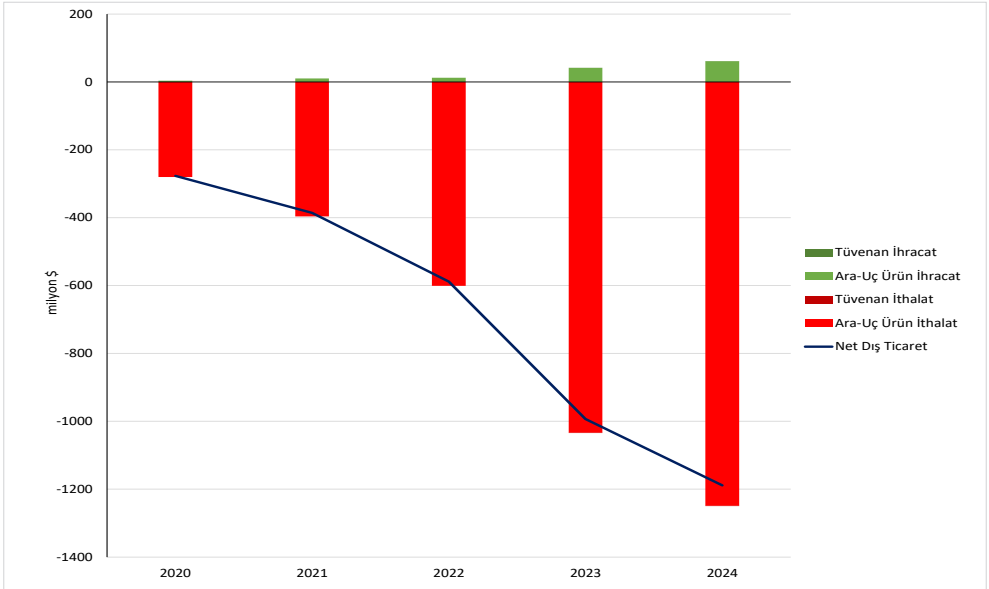
Kaynak: IEA, 2025b

Şekil 3.22. Lityum Net Dış Ticaret Dengesi Gelişimi (2020-2024, kt)



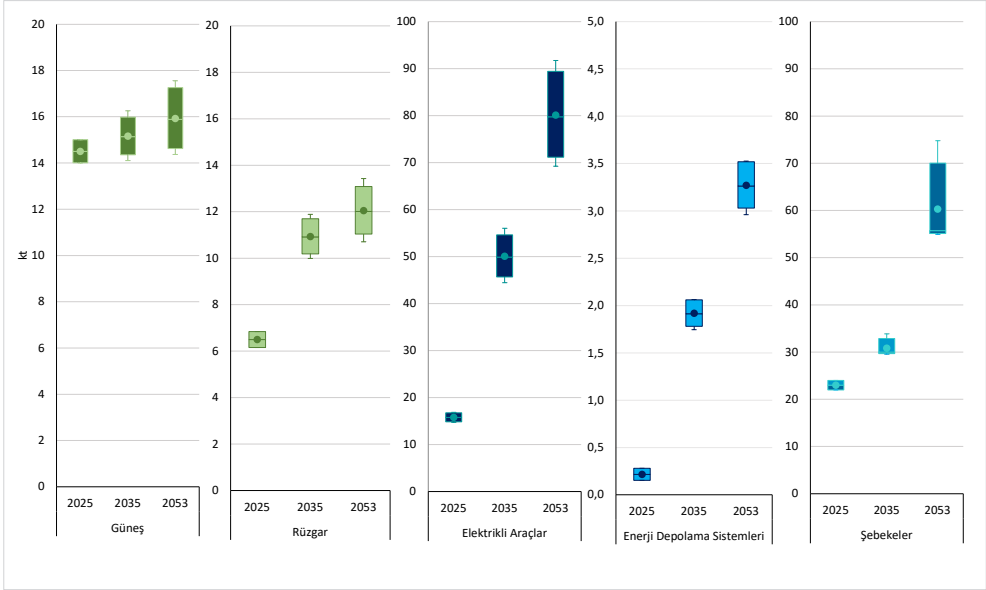
Kaynak: ETKB, 2025a. IICEC analizleri

Şekil 3.23. Lityum Net Dış Ticaret Dengesi Gelişimi (2020-2024, milyon \$)

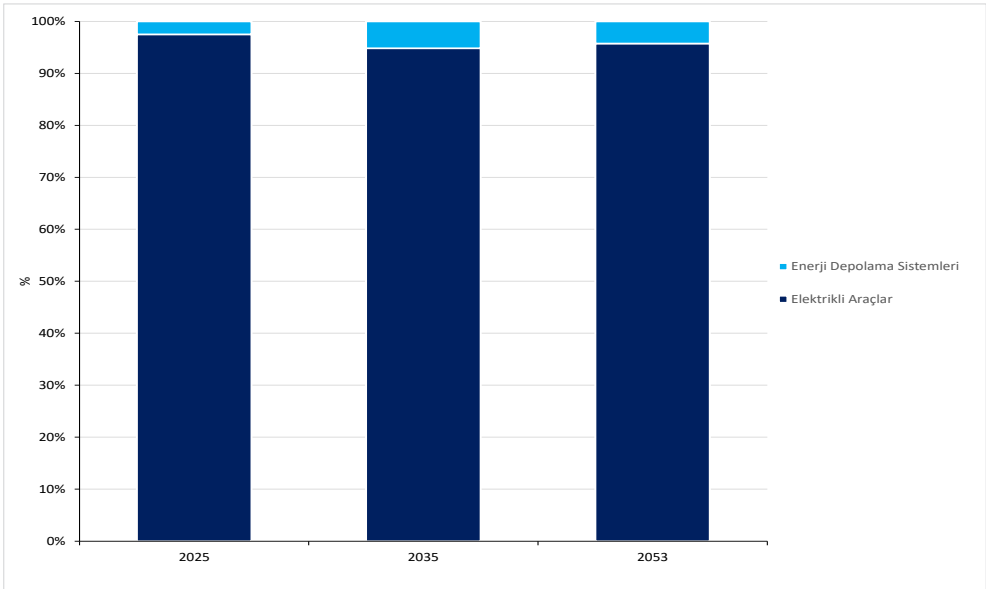


Kaynak: ETKB, 2025a. IICEC analizleri

Şekil 3.24. Enerji Teknolojileri Bazında Kritik Enerji Mineralleri Talep Gelişim Perspektifi (2025-2053, kt)



Şekil 3.25. IIEEC Analizlerinde Yıllık Lityum Talebinin Teknoloji Bazında Gelişimi (2025-2053, %)



Mineral arzı tarafında, Türkiye'nin henüz ekonomik ölçekte tespit edilmiş kayda değer bir lityum kaynağı bulunmamakla birlikte, bor üretim süreçlerinden kaynaklanan atıklardan lityum geri kazanımına yönelik projeler geliştirilmeye devam edilmektedir (AA, 2024a; AA, 2024b; Eti Maden, 2024; ETKB, 2020b). Türkiye'nin dünya genelinde sahip olduğu güçlü bor rezervleri, bu alanda üretim kapasitelerinin ölçeklendirilmesi ve ilgili teknolojik yetkinliklerin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Bölüm 3.4'de sunulduğu üzere, bu yönde belirlenen somut hedeflerin hayata geçirilmesi, önümüzdeki dönemde katma-değerli ölçeklenme olanaklarını güçlendirebilecektir. Türkiye'nin zengin jeotermal kaynak potansiyeli de lityum üretimi için önemli fırsat alanı olarak öne çıkmaktadır (DOE, 2021; WB, 2022).

Batarya ekosisteminin diğer temel girdilerinden birisi olan grafitte, Türkiye halihazırda sınırlı düzeyde üretime sahiptir (2024 yılında 26,3 kt) (ETKB, 2025a). Grafit küresel ölçekte stratejik önemde mineraller arasında yer almaktadır. Özellikle yüksek saflığa sahip grafitte olan talep hızla yükselirken, küresel arzda çok yüksek coğrafi konsantrasyon sürmektedir. Bölüm 2'de sunulduğu gibi, Çin grafit madenciliğinde %85, rafinajında ise %96 paya sahiptir (IEA, 2025a). Türkiye madenciliğinde dünya genelinde coğrafi yoğunluğun yüksek olduğu nikel ve kobalt üretimi de henüz sınırlı düzeyde gerçekleşmektedir (ETKB, 2023a; ETKB, 2025a). Nikelle ilişkin dış ticaret dengeleri analizleri, Türkiye'nin değer zincirinde tüvenan ağırlıklı yapıyı gösteren bir diğer örnektir. Batarya teknolojilerinde kritik öneme sahip olan demir ve fosfat kaynaklarının Türkiye'deki varlığı ve üretimde artış potansiyeli taşıması, batarya üretimi fırsatlarını güçlendiren faktörler olarak görülmektedir.

Dünyada ve Türkiye'de elektrifikasyonun hızla gelişmesi, havacılık, savunma sanayii gibi sektörlerde büyüme perspektifleri ile birlikte değerlendirildiğinde, bataryalara olan talebin önümüzdeki dönemde çok güçlü biçimde artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, batarya minerallerinin tamamında arama, keşif ve üretim faaliyetlerinin yoğunlaştırılmasının Türkiye için önemli bir fırsat alanı sunduğu değerlendirilmektedir.

Türkiye'de batarya üretimine yönelik yatırımlar ve hızla gelişen ekosistem bu açıdan çok olumlu gelişmelerdir. Batarya kurulumlarının 2026 yılı içerisinde 2000 GW-saat seviyesine yaklaşması beklenmektedir. Bu yüksek büyüme, yerli imalat bazının büyümesini ve ölçek kazanmasını destekleyecektir. Türkiye'nin, batarya minerallerinde ve teknolojilerinde yerli üretim fırsatlarını teknolojik gelişimlerle birlikte değerlendirebilmesi durumunda, küresel ölçekte artan alternatif tedarikçi ihtiyacı içerisinde önemli bir üretim ve tedarik üssü konumuna gelmesi mümkün görünmektedir. Bu yönde sağlanacak ilerleme, enerji güvenliğinin temini, temiz elektrifikasyonun gelişimi, katma-değerli sanayileşme, ihracat ve ileri teknoloji geliştirme hedeflerine güçlü katkılar sağlayacaktır.

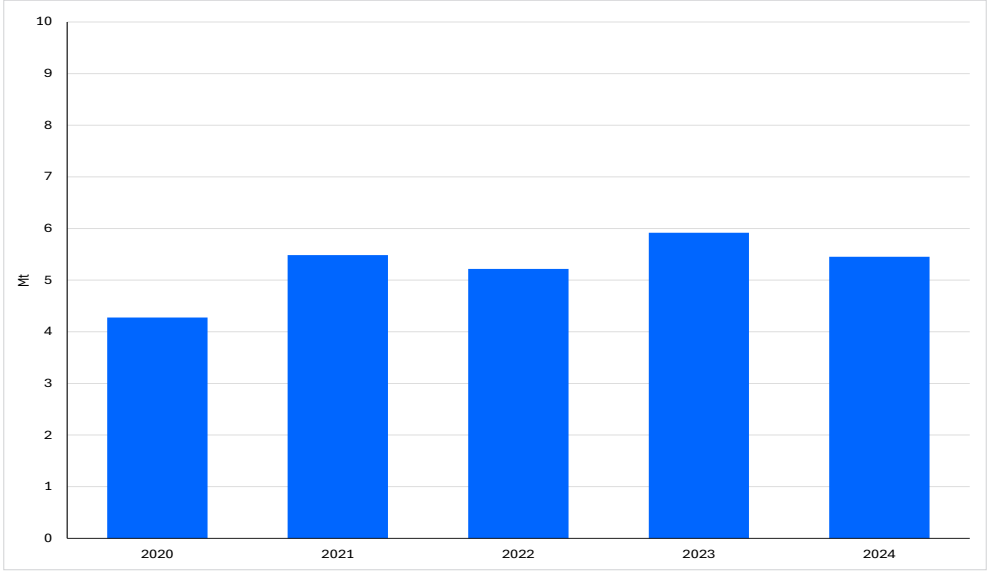
3.7.3. Bakır

İnsanlık tarihinde çıkarılan ve işlenen ilk minerallerden biri olan bakır, ekonomik faaliyetler için önemini sürdürürken yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle elektrifikasyonun en temel bileşenlerinden birisi durumundadır. Bakır tedarikinde öne çıkan temel kırılganlıklar, öncelikle bakırın özellikle elektrik uygulamalarında sunduğu üstün performans nedeniyle bazı kullanımlarda ikame edilmesinin güç olmasıyla ilişkilidir. Buna ek olarak, dünyada bakır projeleri stok büyüklüğünün yetersizliği, cevher kalitesinin zaman içinde düşmesi gibi faktörler nedeniyle Bölüm 2’de sunulduğu gibi mevcut projelerin zamanında devreye girmesi durumunda dahi 2035 yılında %30 seviyesinde küresel arz açığı öngörülmektedir. Bu durum, bakırın kritik minerallerin tedarik güvenliğinin geleceğinde önemini pekiştirmektedir.

Türkiye önemli bakır rezervlerine sahip olup, tüvenan bakır üretimi 2024 yılında yaklaşık 5,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.26) (ETKB, 2025a). Bölüm 3.3’de belirtildiği gibi Türkiye bakır değer zincirinin cevher üretimi odaklı olmaya devam etmesi nedeniyle, dış ticaretin görünümünde miktar bazında belirgin bir ayrışma görülmektedir. 2024 yılında ihracat yaklaşık 500 kt ile ağırlıklı olarak tüvenan bakırdan oluşurken, ithalat ise benzer büyüklükte olmasına karşın büyük ölçüde ara ve uç ürünler şeklinde gerçekleşmiştir. Bu yapısal durum, nedeniyle bakırda net ithalatçı konum devam etmektedir (Şekil 3.27 ve Şekil 3.28). 2020-2024 döneminde bakırda net ithalat tutarı yıllık ortalama 1,7 milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Yüksek tüvenan ihracatına karşın Türkiye’nin rafine bakır talebinin yarısından fazlasını ithalat yoluyla karşıladığı bilinmektedir.

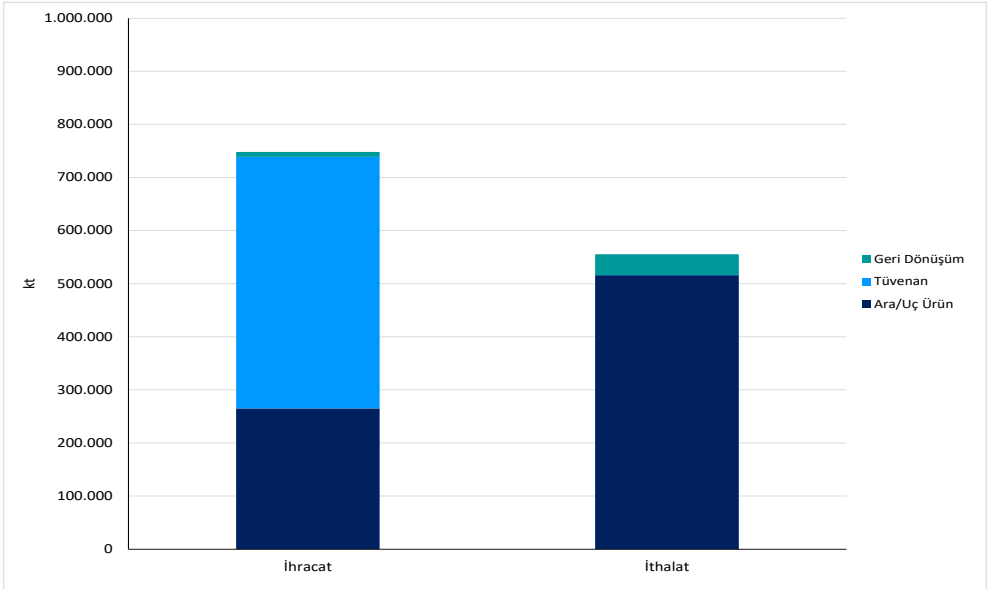
Elektrifikasyonda büyüme içerisinde bakır talebinin şebekelerin payında kısmi azalmalarla daha çeşitlendirilmiş bir nitelik kazanacak olması, tedarikte kırılganlıkların yönetilmesinin temiz enerji geleceğinin belirleyicisi olacak tüm sektörlerde güçlü büyümenin sağlanabilmesi bakımından önemini göstermektedir (Şekil 3.29). IICEC analizleri, Türkiye’nin bakır madenciliği ve rafine ürün üretiminde önemli ilerleme kaydetmiş olmakla birlikte büyük dış ticaret açığının devam ettiğini, talepte yüksek büyümenin süreceğini göstermektedir. Tedarik zincirinin görünümü, katma-değerli üretim kapasitelerinin büyütülmesi gerekliliğine işaret etmektedir. Maden üretim artışları, yeni keşifler ve işleme kapasitelerinin artırılması gibi ilerlemeler, potansiyel tedarik ve rekabetçilik risklerinin yönetilmesi, dış ticaret dengelerinin iyileştirilmesi, geleceğin elektrik sistemlerinin sürdürülebilir gelişiminin güvenceye alınması gibi çok yönlü dinamikler bakımından öncelikli gelişim alanları olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 3.26. Tüvenan Bakır Üretimi (2020-2024, Mt)



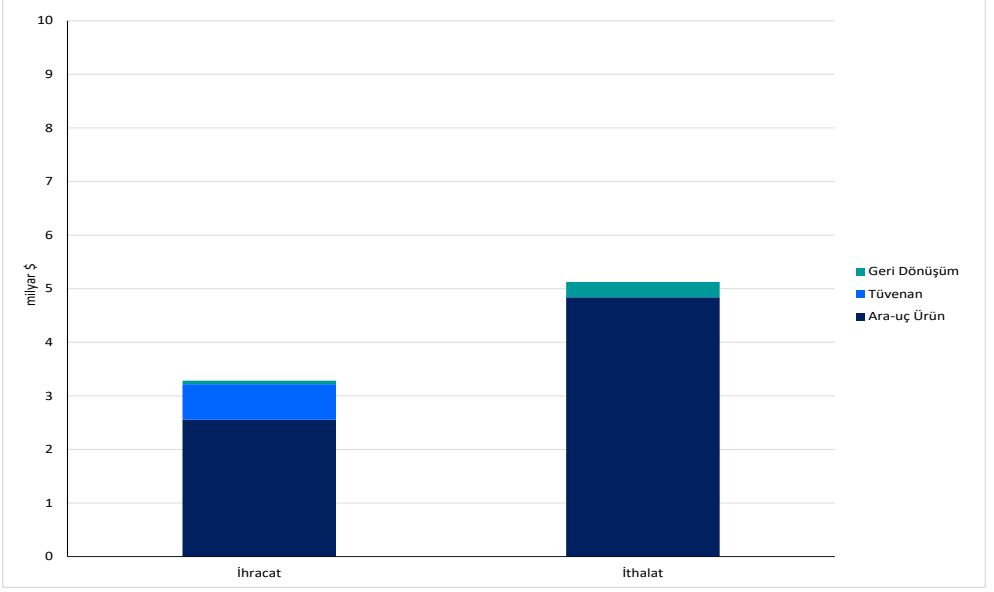
Kaynak: ETKB, 2025a

Şekil 3.27. Bakır Net Dış Ticareti (2024, kt)



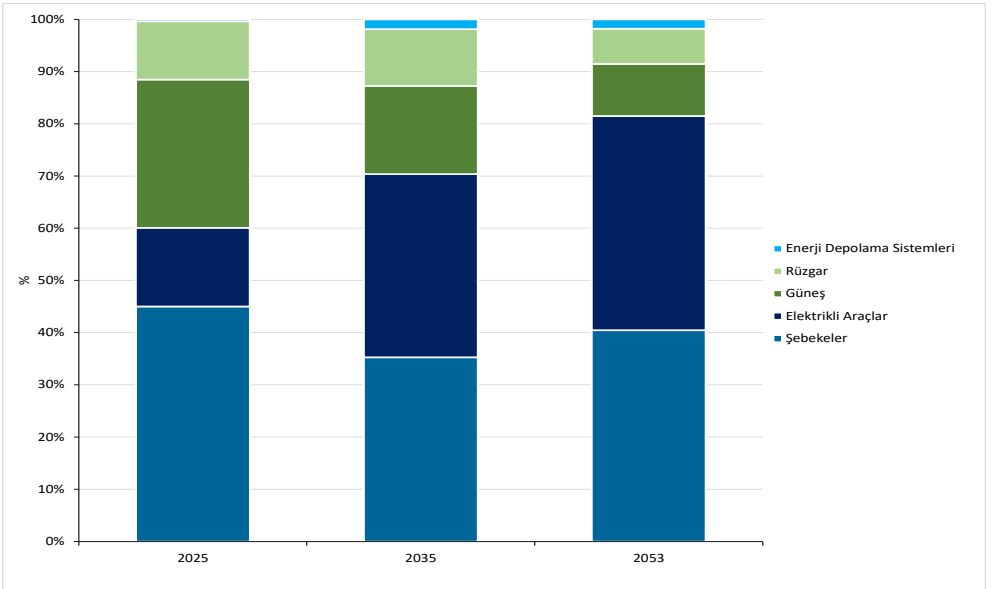
Kaynak: ETKB, 2025a

Şekil 3.28. Bakır Net Dış Ticareti (2024, milyar \$)



Kaynak: ETKB, 2025a

Şekil 3.29 IICEC Analizlerinde Yıllık Bakır Talebinin Teknoloji Bazında Gelişimi (2025-2053, %)



3.7.4. Diğer Kritik Enerji Mineralleri

Alüminyum, sahip olduğu fiziksel ve teknik özellikler nedeniyle Türkiye açısından önemli bir kritik enerji minerali konumundadır. Türkiye, alüminyumda küresel ölçekte öne çıkan üretici ülkeler arasında yer almakta; ara ve uç ürünler dahil edildiğinde dış ticarete net ihracatçı konumunu sürdürmektedir. Küresel ölçekte alüminyumun bakıra kıyasla daha yüksek bulunurluğa sahip olması, tedarik açısından görece bir avantaj sağlamaktadır. Bakırdan daha düşük iletkenliğe sahip olmakla birlikte, alüminyumun hafifliği ve maliyet avantajı, özellikle elektrik şebekelerinde yaygın kullanımını desteklemektedir.

Sektörel değerlendirmeler ve IICEC analizleri, Türkiye’de alüminyumun özellikle havai iletim hatlarındaki yoğun kullanımı çerçevesinde, iletim ve dağıtım şebeke altyapısındaki toplam iletken kütlenin yaklaşık yarısını oluşturduğuna işaret etmektedir. Geleneksel kullanım alanlarının ötesinde, alüminyumun hammadde olan boksitten elde edilebilen galyumun, yarı iletken teknolojileri ve ileri elektronik uygulamalar açısından stratejik bir potansiyel sunduğu değerlendirilmektedir. Bu çerçevede, boksit ve alüminyum değer zincirinin yalnızca geleneksel üretimlerde değil, aynı zamanda stratejik ürünlerin kazanımı ve ileri teknoloji uygulamaları ekseninde de ele alınması Türkiye açısından önemli bir gelişim alanı olarak öne çıkmaktadır.

Çinko, krom, manganez ve bor gibi bazı kritik mineraller, Türkiye’nin mevcut üretim yapısı, rezerv büyüklükleri ve geliştirilmemiş potansiyelleri dikkate alındığında, enerji sistemlerinde üstlendikleri tamamlayıcı roller çerçevesinde değerlendirilmelidir. Çinko, korozyon direnci ve aşım uygulamalarındaki yaygın kullanımıyla enerji altyapılarının dayanıklılığını artırırken, son dönemde gelişen çinko-bazlı batarya teknolojileri ile yeni bir kullanım alanı kazanmaktadır. Krom, özellikle yüksek sıcaklık ve dayanım gerektiren uygulamalarda temiz enerji teknolojilerinin performansını destekleyen bir mineral olarak öne çıkmaktadır. Manganez ise bazı batarya kimyalarında kritik bir bileşen olmaya devam etmekte ve enerji depolama teknolojilerindeki çeşitlenme ile birlikte önemini korumaktadır (IEA, 2021; IEA, 2025a).

Türkiye’nin dünya rezervlerinin çok büyük bir bölümüne sahip olduğu bor minerali ise, enerji sistemleri açısından en yüksek katma değer potansiyeli barındıran alanlardan birini oluşturmaktadır. Bor, ileri kompozit malzemeler, enerji depolama çözümleri, nükleer reaktör teknolojileri ve kalıcı mıknatıs üretimi gibi geniş bir yelpazede stratejik uygulamalara olanak sağlamaktadır. Bu çerçevede, çalışmanın genelinde vurgulandığı üzere, kritik minerallerin yalnızca hammadde üretimi perspektifiyle değil, teknoloji-odaklı ve katma değerli kullanım alanlarına yönelik bir bakışla değerlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye’nin kritik ve stratejik madenler listelerinde ortak olarak bulunan minerallerin ise, enerji sektörü ve farklı ekonomik sektörlerin ihtiyaçlarıyla eş zamanlı olarak savunma sanayii açısından risk ve fırsatların dinamik biçimde değerlendirilmesini gerekli kılan önemde olduğu değerlendirilmektedir (Tablo 3.1).

Tablo 3.2. Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Listelerinde Ortak Mineraller

Kobalt
Krom
Molibden
Nikel
Niyobyum
Titanyum
Alüminyum
Çinko
Demir
Manganez

Kaynak: ETKB, 2025b

3.7.5. Bölgesel Gelişmeler ve Fırsatlar

Jeopolitiğin enerji güvenliği ve enerji ticareti üzerindeki etkilerinin belirgin şekilde arttığı mevcut konjonktürde, Türkiye'nin madencilik ve enerji ekosistemlerindeki önemli gelişmelerin ve hedeflerin yanı sıra coğrafi konumu stratejik önemi güçlendirmektedir. Öncelikle Türkiye'nin talep büyümesi, değer zincirinde madencilikten ileri teknolojilerde gelişmeye destekleyen güçlü dinamiklere sahiptir. Diğer taraftan, Avrupa gibi yüksek talep merkezi olmakla birlikte yerel üretim olanakları kısıtlı olan bölgesel piyasalara, Hazar Bölgesi gibi kritik minerallerde önemli girişimlerin gelişmeye başladığı coğrafyalara yakınlık ise daha güvenli tedarik zincirlerinin geliştirilmesi ve entegrasyonu için yeni iş birliklerine zemin oluşturmaktadır. Bu çok yönlü perspektif, Türkiye'nin olgunlaşan enerji piyasaları işletme deneyiminin madenleri de içerecek şekilde bölgesel bir Enerji ve Maden Ticaret Merkezi yönünde genişlemesi vizyonunu desteklemektedir.

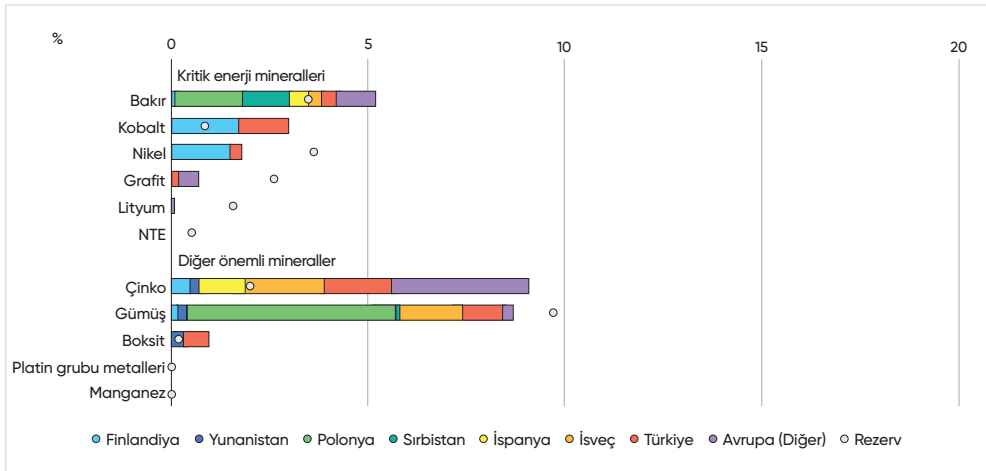
Kritik minerallerde rezerv büyüklükleri ve üretimler bakımından sınırlı kapasiteye sahip olan Avrupa'da tedarik güvenliğinin sağlanması öncelikli sanayi hedefleri ekseninde konumlandırılmaktadır. AB tarafından tedarik risklerinin yönetilmesi için geliştirilen Critical Raw Materials Act²⁷, tanımlanan hammaddelerde tedarik güvenliğinin sağlanmasına yönelik kapsamlı bir çerçeve içermekte, madencilik ve rafinaj kapasitelerinde önemli artışların sağlanmasını, tek bir ülkeye yüksek oranda bağımlılığın azaltılmasını hedeflemektedir. AB, tedarik zincirlerinin dayanıklılığını artırmayı hedefleyen bu çerçeve içerisinde hem kendi tedarik zincirlerini geliştirmeyi, hem de uluslararası iş birliklerini güçlendirmeyi amaçlamaktadır. 2030 yılına yönelik sayısal hedefler, stratejik hammaddelerde AB içi tedarik kapasitenin güçlendirilmesi amacıyla, çıkarma aşamasında yıllık talebin en az %10'unun, işleme aşamasında en az %40'ının ve geri dönüşüm yoluyla en az %25'inin AB sınırları içerisinde karşılanması hedeflenmektedir.

²⁷ Kritik Hammaddeler Yasası.

AB stratejik hedeflerinde rafinaj özellikle öne çıkmaktadır. AB bu alanda yıllık talebinin %65'inden fazlasının AB dışında tek bir ülkeden gelmemesini hedeflemektedir²⁸ (IEA, 2025a). Bu hedefler, özellikle rafine ürünlerin tedarikinde çeşitlendirme sağlanabilmesi için alternatiflerin geliştirilmesi ihtiyacını göstermektedir. Batarya taleplerinde yüksek artış ve kullanımlarda yaygınlaşma neticesinde özellikle geri dönüşüm, teknoloji ortaklıkları gibi fırsatların da Türkiye ile AB arasında gelecekte yeni iş birliklerine zemin oluşturabileceği değerlendirilmektedir (Şekil 3.30).

Türk Devletleri Teşkilatı (TDT) çatısı altında kritik mineraller odağında geliştirilebilecek ortak yatırımlar ve mekanizmalar bir diğer önemli iş birliği alanı olarak görülmektedir. Arama, çıkarma, rafinasyon ve ileri teknoloji uygulamalarını kapsayan değer zincirinin tüm aşamalarında kurulabilecek yeni ortaklıklar, kaynakların daha etkin değerlendirilmesine, ölçek ekonomilerinin ve bölgesel tedarik zincirlerinin güçlendirilmesine katkı sunacaktır (ETKB, 2025d; TDT, 2025). Hazar'dan Avrupa'ya uzanan enerji koridorunun kritik minerallerde yeni açılımlar için stratejik önemde olduğu değerlendirilmektedir. Bu koridor, petrol ve doğal gazın yanı sıra son dönemde elektriği de içerecek yönde gelişen yeni projelerle büyümektedir. Kritik minerallere odaklı iş birlikleri, bölgenin küresel değer zincirlerindeki stratejik konumunu güçlendirecektir.

Şekil 3.30. Avrupa'nın Dünya Kritik Mineral Üretimlerinde ve Rezervlerinde Payı (2024, %)



Kaynak: IEA, 2025d

²⁸ Detaylı bilgi için

https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_en

<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/57318397-fdd4-11ed-a05c-01aa75ed71a1>

<https://www.iea.org/policies/17662-european-critical-raw-materials-act>

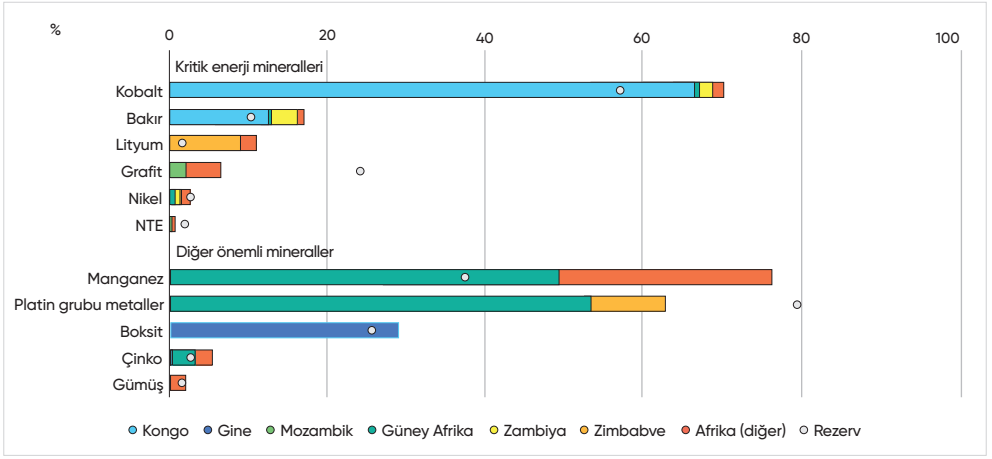
KUTU 3.1: Afrika Neden Önemli ?

Afrika, kritik minerallerde yüksek rezervleri ve bakır potansiyeli çerçevesinde gelecekte küresel arz olanaklarının çeşitlendirilebilmesi bakımından öne çıkmaktadır. Dünya kobalt rezervlerinin yaklaşık %60'ı, krom rezervlerinin yarısından fazlası, manganez rezervlerinin yaklaşık %40'ı, grafit rezervlerinin dörtte-birinden fazlası ve bakır rezervlerinin yaklaşık %10'u Afrika kıtasında bulunmaktadır. Küresel kobalt üretiminin %70'i, manganez üretiminin yaklaşık dörtte-üçü, bakır üretiminin yaklaşık %20'si, lityum üretiminin %10'undan fazlası Afrika'da gerçekleşmektedir. Afrika, önemli büyüklükte rezervlere ve maden üretimlerinde sağlanan artışlara karşın henüz sınırlı ölçüde değerlendirilebilmiş yüksek potansiyel taşımaya devam etmektedir (Şekil 3.31) (IEA, 2025a; IEA, 2025c).

Kıtada kritik minerallerin rafinaj işlemleri ve ekipman imalatı için az sayıda tesis bulunmaktadır. Bu nedenle madencilik üretiminin çok büyük bölümü ham cevher olarak veya yarı işlenmiş formlarda yurtdışına ihraç edilmeye devam etmektedir. Bunun neticesinde Afrika'nın temiz enerji teknolojilerinin imalatından elde edilen küresel ekonomik değerdeki payı %1'in altında gerçekleşmektedir (IEA, 2025a). Rezerv büyüklükleri ile, üretimler, kapasite ve ekonomik değer gelişimi arasındaki büyük farklar bulunmaktadır.

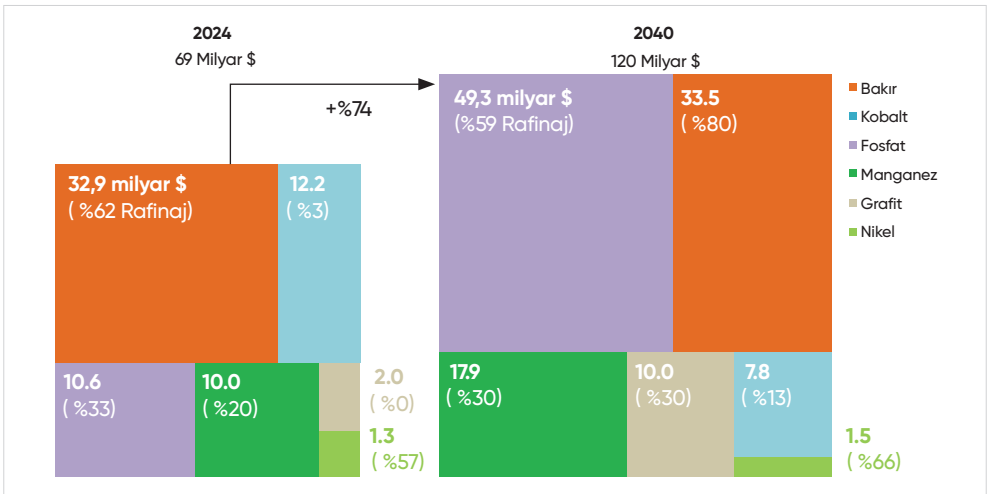
Bu görünüm, Afrika'nın kritik minerallerde arama, üretim, rafinaj, teknoloji üretimi yatırımlarının artırılması halinde henüz yeterince değerlendirilememiş yüksek potansiyelinin küresel tedarik bazının büyütülmesi ve çeşitlendirilmesi yönünde önemli rol oynayacağını göstermektedir. Afrika'da rafinaj kapasitesinin artırılabilmesiyle çıkarılan madenlerin kıtada işlenmesinin, ekonomik değeri hızla yükseltebileceği görülmektedir. Bakır, kobalt, fosfat, manganez, grafit ve nikelde rafinaj yoluyla toplam piyasa değeri yaklaşık 70 milyar \$ düzeyinden 2040 yılına kadar yaklaşık %75 artışla 120 milyar \$ düzeyine ulaşabilecektir (Şekil 3.32) (IEA, 2025a; IEA, 2025e). Özellikle Sahra Altı Afrika, kritik mineral rezervleri ve üretimi bakımından önemli bir ağırlık taşımaktadır. Dünya kobalt üretiminin %70'inden fazlası Kongo Demokratik Cumhuriyeti'nde gerçekleşmektedir. Küresel manganez üretiminin %60'tan fazlası Güney Afrika, Gabon ve Gana'da yoğunlaşmaktadır. Güney Afrika, Zimbabve, Zambiya, Kongo Demokratik Cumhuriyeti, Nijerya ve Namibya başta olmak üzere kıtada pek çok ülke kritik minerallerde mevcut üretimleri ve kaynak potansiyelleri ile öne çıkmaktadır (Şekil 3.33) (IEA, 2025a; BCG, 2025).

Şekil 3.31. Afrika'nın Dünya Kritik Mineral Üretimlerinde ve Rezervlerinde Payı (2024, %)



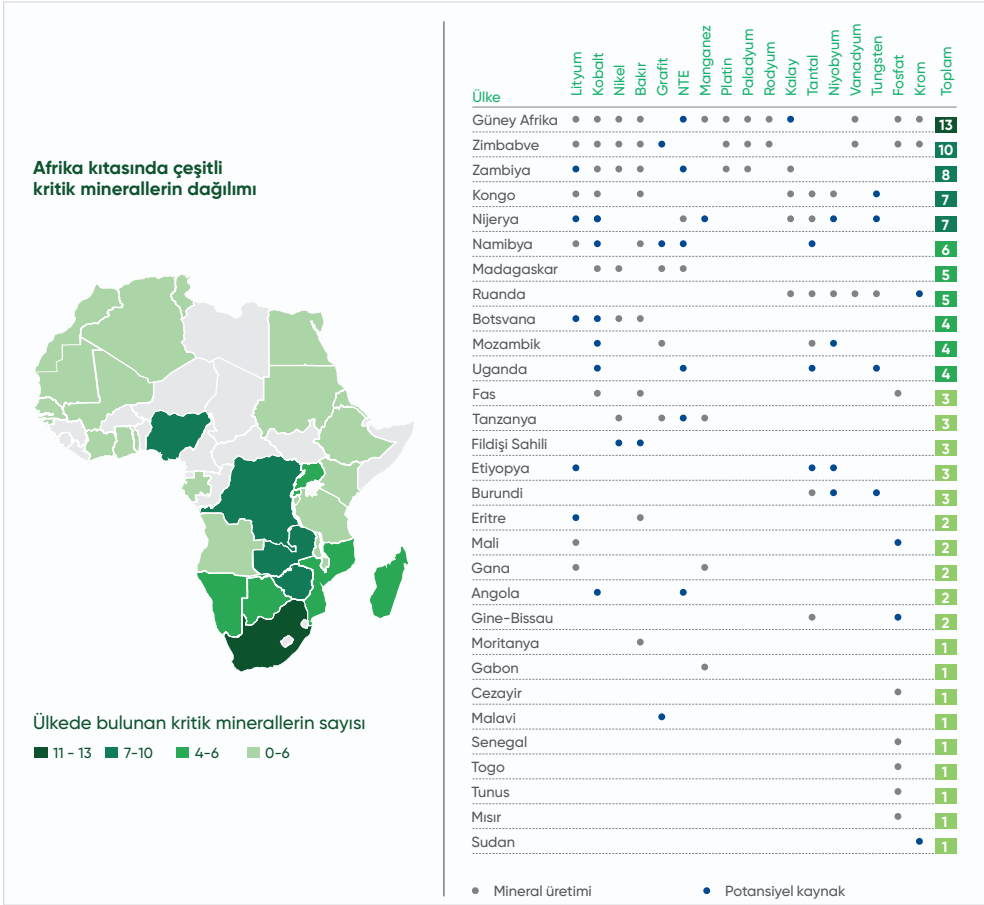
Kaynak: IEA, 2025d

Şekil 3.32. Seçilmiş Minerallerin Piyasa Değeri ve Rafine Minerallerin Afrika'daki Payı (2024 ve 2040, %)



Kaynak: IEA, 2025b

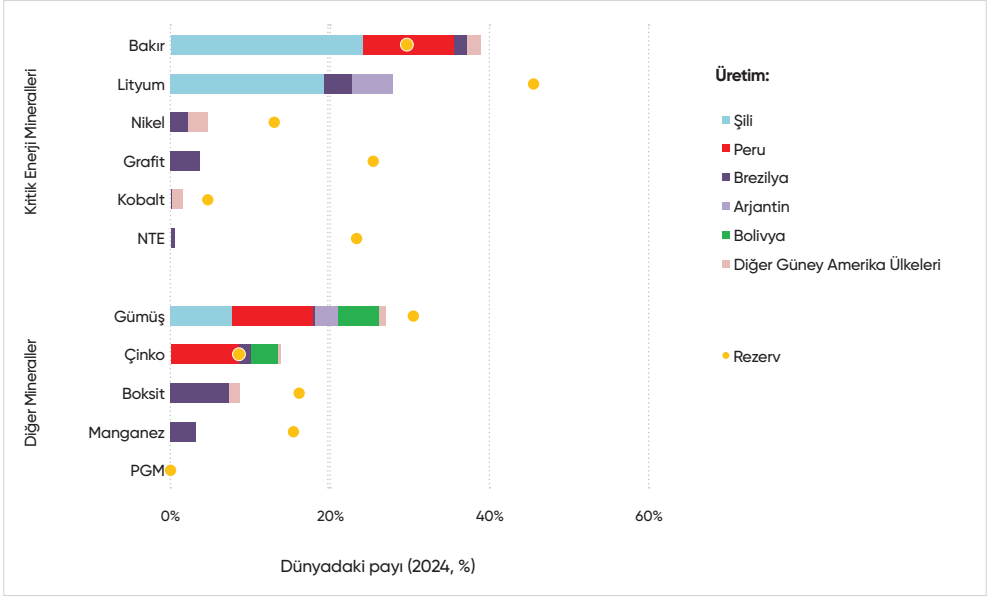
Şekil 3.33. Afrika Kıtasında Bazı Kritik Minerallerin Üretimi ve Potansiyeline Bakış (2024)



Kaynak: BCG, 2025

Orta ve Güney Amerika, sahip olduğu zengin rezervler ve yerleşik madencilik altyapısı kapsamında küresel kritik mineraller arzında belirleyici bir konuma sahiptir. Bölge, dünya lityum rezervlerinin yaklaşık %45'ini ve bakır rezervlerinin %30'unu barındırmaktadır. Küresel bakır üretiminin yaklaşık %40'ı ve lityum üretiminin %30'u bu bölgede gerçekleşmektedir. Şili-Bolivya-Arjantin hattında yer alan ve "Lityum Üçgeni" olarak tanımlanan alan, dünyada lityum rezervlerinin en fazla yoğunlaştığı bölgelerden birisidir. Arjantin'in lityum üretiminin 2022-2024 döneminde iki katına çıkmış olması, bölgenin arz artış kapasitesinde gelişimi gösteren bir örnektir. Şili dünya bakır üretiminde ilk sırada yer alırken, Peru üçüncü büyük üretici konumundadır. Orta ve Güney Amerika bölgeleri, dünya NTE rezervlerinin %20'sinden fazlasına sahip olmasına karşın Çin dışındaki tüm ülkeler gibi üretimde halen çok sınırlı paya sahiptir. (Şekil 3.34) (IEA, 2025a; IEA, 2025b).

Şekil 3.34. Orta ve Güney Amerika Ülkelerinin Dünya Kritik Mineral Üretimlerinde ve Rezervlerinde Payı (2024, %)



Kaynak: IEA, 2025a

Bölgesel iş birlikleri, Afrika ve Latin Amerika gibi kaynaklar bakımından zengin bölgelerde odaklı madencilik ve rafinaj yatırımları ile daha ileriye taşınabilecektir. Böylelikle Türkiye kendi arz güvenliğinin ve çeşitlendirmesinin güçlendirilmesine ek olarak, kritik minerallerin küresel arzında ve tedarik zincirlerinin güvenliğinde artan paya sahip olabilecektir. Bu yönde gelişmeler, ölçek ekonomisi ve teknolojik gelişim fırsatlarını da pekiştirecektir.

Referanslar

- African Development Bank (AFDB) (2025), Critical Mineral Insights - Rare Earth Elements
<https://www.afdb.org/en/documents/critical-mineral-insights-rare-earth-elements>
- Anadolu Ajansı (AA) (2023a), Bakan Bayraktar, Maden İhracatının Yıl Sonunda 6 Milyar Doları Aşacağını Bildirdi
<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/bakan-bayraktar-maden-ihracatinin-yil-sonunda-6-milyar-dolari-asacagini-bildirdi/3761868>
- Anadolu Ajansı (AA) (2023b), İlk defa elde edilecek nadir toprak elementleri oksitlerinin üretimine başlandı
<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/ilk-defa-elde-edilecek-nadir-toprak-elementleri-oksitlerinin-uretimine-baslandi/2892485>
- Anadolu Ajansı (AA) (2024a), Eskişehir’de geliştirilen bor katkılı çevreci lityum iyon pil, seri üretime hazır
<https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/eskisehirde-gelistirilen-bor-katkili-cevreci-lityum-iyon-pil-seri-uretime-hazir/3104766>
- Anadolu Ajansı (AA) (2024b), Turkey to launch 1st lithium production plant on Dec 26
<https://www.aa.com.tr/en/energy/projects/turkey-to-launch-1st-lithium-production-plant-on-dec-26/31389>
- Anadolu Ajansı (AA) (2025), Nadir toprak elementlerinde ilk 5 hedefi için uluslararası işbirlikleri kilit rol oynayacak
<https://www.aa.com.tr/tr/enerjiterminali/maden/nadir-toprak-elementlerinde-ilk-5-hedefi-icin-uluslararasi-isbirlikleri-kilit-rol-oynayacak/52342>
- Asia Development Bank (ADB)(2024), ADB Briefs,
<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/966351/adb-brief-298-critical-minerals-supply-chains.pdf>
- Boston Consulting Group (BCG) (2025), Africa Unleashed: Harnessing Africa’s Critical Mineral Opportunity
<https://web-assets.bcg.com/9f/e8/d1283f694b5bb305ad61ad690e26/harnessing-africas-critical-mineral-opportunity.pdf>

- Carrara, S., et al. (2020), Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119941>
- Carrara, S., et al. (2025), Deep dive on critical raw materials for wind turbines in the EU
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC141759>
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (SBB) (2023), On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)
https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/11/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_17112023.pdf
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2020a), Türkiye Madencilik Sektörü Gelişim Raporu
<https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/TMSGR2020.pdf>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2020b), ETİ Maden Lityum Üretim Tesisi Açılış Töreni
<https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=749>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2023a), Yabancı Yatırımcılar İçin Maden Yatırım Rehberi
<https://enerji.gov.tr/yatirim-destekleri-maden-yatirim-rehberi>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2023b), Madencilik Dış Ticaret Verileri Standardizasyon Projesi Uygulama Kılavuzu (4. Faz Revizyonu)
https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/1_2_ve_3_4_Faz_GT%C4%B0P_listesi.pdf
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2024a), 2024-2028 Stratejik Planı
<https://sp.enerji.gov.tr/>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2024b), Yenilenebilir Enerjide 2035 Yol Haritası
<https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21380>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2024c), Mineraller
https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/Mineraller_2024.pdf

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2025a), Maden İstatistikleri
<https://enerji.gov.tr/tkdb-istatistikler>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2025b), Türkiye Kritik ve Stratejik Madenler Raporu
https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/TKDB/tr/Belgeler/Tu%CC%88rkiye_Kritik_ve_Stratejik_Madenler_Raporu.pdf
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2025c), Nadir Toprak Elementleri
<https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabii-kaynaklar-nadirtoprakelementleri>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2025d), Türk İş Dünyasını Bir Araya Getirecek Adım
<https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=31675>
- Eti Maden (2024), Sürdürülebilirlik Raporu 2024
<https://www.etimaden.gov.tr/surdurulebilirlik-raporlari>
- European Commission (2025), Critical Raw Materials
https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en
- Government of Canada (2021), Emerging Technology Snapshot Rare Earth Elements
https://publications.gc.ca/collections/collection_2021/cnrc-nrc/NR16-317-2020-eng.pdf
- ING (2025), How rare earths became the next trade war weapon
<https://think.ing.com/downloads/pdf/article/how-rare-earths-became-the-next-trade-war-weapon>
- International Energy Agency (IEA) (2021), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions
<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- International Energy Agency (IEA) (2024), Batteries and Secure Energy Transitions, World Energy Outlook Special Report
<https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>

- International Energy Agency (IEA) (2025a), Global Critical Minerals Outlook 2025
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2025b), World Energy Outlook 2025
<https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality>
- International Energy Agency (IEA) (2025c), With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality
<https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality>
- International Energy Agency (IEA) (2025d) Global Critical Minerals Outlook 2025: Regional snapshots
<https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025/regional-snapshots>
- International Energy Agency (IEA) (2025e), Stepping Up the Value Chain in Africa: Minerals, materials and manufacturing
<https://www.iea.org/reports/stepping-up-the-value-chain-in-africa>
- Joint Ore Reserves Committee (JORC) (2025)
<https://www.jorc.org/>
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) (2025a), 2024 Madencilik Sektörüne Ait Temel Ekonomik Göstergeler
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/TEG2025yayin.pdf>
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) (2025b), Türkiye Maden Yatakları Haritaları
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari>
- Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği (ODMD) (2025), Pazar- Perakende Satışlar
https://www.odmd.org.tr/web_2837_1/neuralnetwork.aspx?type=36

- Resmî Gazete (2025), 7554 Sayılı Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Duyurusu
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/07/20250724-1.htm>
- Royal Society of Chemistry (2025), Periodic Table
<https://periodic-table.rsc.org/>
- Sabancı Üniversitesi IIcec (2025), Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü
<https://iicec.sabanciuniv.edu/teeo>
- The Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF) (2025), Copper Factsheet
<https://www.afdb.org/en/documents/critical-mineral-insights-copper>
- Türk Devlet Teşkilatı (TDT) (2025), Türk Konseyi Hakkında
<https://www.turkicstates.org/tr/turk-konseyi-hakkinda>
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) (2025), Türkiye Elektrik İstatistikleri
https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf
- Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) (2025), Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN)
<https://www.tenmak.gov.tr/nadir-toprak-elementleri-arastirma-enstitusu>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2025), Motorlu Kara Taşıtları, Ekim 2025 İstatistikleri
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ekim-2025-54045>
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB) (2024), Nadir Toprak Elementleri ve Stratejik Önemi
- Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu (UMREK) (2025)
<https://umrek.com.tr/>
- United States Department of Energy (DOE) (2021), Can Geothermal Energy Solve the Lithium Shortfall?
<https://www.energy.gov/eere/geothermal/articles/can-geothermal-energy-solve-lithium-shortfall>
- United States Geological Survey (USGS) (2025), Mineral Commodity Summaries 2025
<https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2025>
- World Bank (WB) (2022), Opportunities for Direct Uses of Geothermal Energy in Türkiye
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099514406212275943/pdf/IDU0fc2448190f4e9040ff0963e05be33aba1155.pdf>

BÖLÜM 4:

Riskler, Fırsatlar,

Gelişim Alanları

Özet Değerlendirmesi

&

IICEC Önerileri

4.1. Riskler

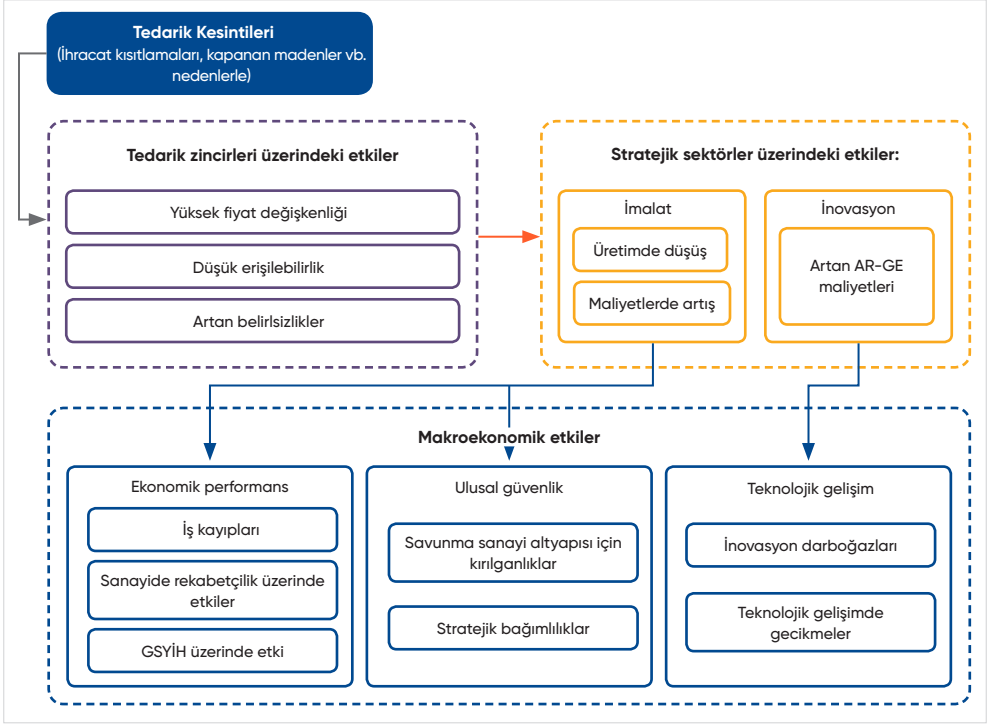
Çalışmada sunulan bulgular, kritik enerji minerallerine ilişkin küresel tedarik zincirlerinde son derece yüksek düzeyde coğrafi yoğunlaşmanın, sistemik kırılganlıkları derinleştiren başlıca risk alanlarından biri olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Yeterli şeffaflığa sahip olmayan alternatif tedarik kaynakları ve çeşitlendirme olanakları oldukça sınırlı kalan bu piyasalarda, son dönemde sayısı ve kapsamı giderek artan örneklerde de görüldüğü üzere, ihracat kısıtlamaları ve arz kesintileri değer zincirindeki fiziksel akışlarda ciddi aksamalara yol açmakta, buna paralel olarak fiyat oynaklığı ve ani fiyat şokları gibi ekonomik riskler de güçlenmektedir. Bu durum, yalnızca kısa vadeli arz güvenliği sorunları yaratmakla kalmamakta, aynı zamanda uzun vadeli yatırım kararlarını ve teknoloji geliştirme süreçlerini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Türkiye'nin kritik mineraller değer zincirindeki madencilik üretim ağırlıklı yapının sürmesi, buna karşılık ara ve uç ürünlerde dışa bağımlılığın artması, söz konusu küresel kırılganlıkların ülke ekonomisi üzerindeki mevcut ve potansiyel etkilerini daha da pekiştirmektedir. Özellikle rafinaj, ileri işleme, malzeme teknolojileri ve nihai ürün entegrasyonu gibi aşamalarda sınırlı kapasiteye sahip olunması, tedarik zincirinin orta ve üst bileşenlerinde yaşanabilecek kesintilerin daha hızlı ve yüksek maliyetlerle yansımalarına neden olabilecektir.

Bu yapısal dinamikler; enerji güvenliği ve bağımsızlığı, rekabetçi ve teknoloji-odaklı enerji dönüşümü, katma-değerli sanayileşme yoluyla teknolojik gelişim ve dış ticaret dengelerinin etkin biçimde yönetimi gibi çok yönlü hedefler açısından önemli yapısal riskleri beraberinde getirmektedir. Nadir toprak elementleri (NTE), lityum, bakır, grafit gibi enerji sektörünün güvenli ve sürdürülebilir geleceği bakımından yüksek öneme sahip birçok mineralin, aynı zamanda Türkiye için stratejik nitelik taşıyan havacılık, savunma sanayi, otomotiv, elektronik ve ileri malzeme imalatı gibi sektörlerin temel girdileri arasında yer alması, kritik minerallerde tedarik zincirlerinin güvenliğine yönelik bütüncül risk yönetimi yaklaşımının önemini pekiştirmektedir. Nitekim 2025 yılı itibarıyla farklı bölgelerde kritik minerallere yönelik ihracat kısıtlamaları ve ticari önlemler sonucunda yaşanan üretim zorlukları ve artan belirsizlikler, Türkiye'nin en önemli üretim ve ihracat kalemlerinden biri olan otomotiv sanayisinin rekabetçi ve sürdürülebilir yapısını koruyabilmesi açısından kritik minerallerde tedarik zinciri dayanıklılığının stratejik bir öncelik olarak ele alınması gerektiğini açıkça göstermektedir (Tedarik kesintilerinin çok yönlü etkilerine ilişkin küresel ölçekte geçerli bir kavramsal çerçeve için lütfen Şekil 4.1'e bakınız¹).

¹ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>

Şekil 4.1. Minerallerin Tedarik Kesintilerinin Stratejik Etkilerine Bakış



Kaynak: IEA, 2025

4.2. Fırsatlar

IIcec analizleri, küresel ölçekte giderek artan çok yönlü risklerin yönetilebilmesine yönelik çeşitlendirme ve alternatif tedarik arayışları ile Türkiye’de son dönemde belirginleşen stratejik yönelimler birlikte değerlendirildiğinde, kritik mineraller alanında önemli fırsat pencerelerinin bulunduğu işaret etmektedir. Türkiye’nin sürdürülebilirlik, arz güvenliği ve yüksek katma değerli madencilik ve tedarik zinciri geliştirme hedeflerini merkeze alan bir dönüşümü benimsemesi, bu fırsatların somut çıktılara dönüştürülebilmesi açısından güçlü bir zemin oluşturmaktadır.

Bu çerçevede, büyük ölçüde bakir olan maden arama ve keşifleri potansiyelinin sistematik ve teknoloji destekli yaklaşımlarla değerlendirilmesi, ekonomik rezerv envanterinin daha fazla çeşitlendirilmesine ve büyütülmesine katkı sağlayacaktır. Böyle bir genişleme, uzun vadeli üretim ve arz planlamalarının daha sağlıklı yapılabilmesine, stratejik yatırım kararlarının güçlendirilmesine ve gerekli finansman için öngörülebilirliğin artırılmasına katkı sağlayacak, aynı zamanda belirsizlikleri azaltarak uzun dönemli iş birlikleri ve yatırımlar için destekleyici olacaktır.

Madencilikten rafinaja, ara ürünlerden, uç ürünlere ve ilgili yan faaliyet alanlarına kadar uzanan değer zincirindeki tüm aşamaları kapsayan güncel, detaylı ve bütüncül tedarik zinciri envanterlerinin oluşturması ise arz ve fiyat risklerinin daha etkin biçimde yönetimine önemli katkı sunacaktır. Bu tür envanterler, yeni tedarik seçeneklerine yönelik potansiyelin detaylı olarak belirlenmesine, bunları temin edecek teknoloji ve yatırım yol haritalarının geliştirilmesine de olanak sağlayacaktır. Bu yönde çalışmalar, ilgili politika belgelerinde de belirtildiği üzere, öncelikli yatırım alanlarına odaklanma stratejisinin kurumsal ve analitik zeminini güçlendirecektir.

Böylelikle, sınırlı kaynakların daha etkin kullanılması ve odaklı teknolojik yatırımlarla büyümenin sürdürülebilirliği güçlenecektir. Özellikle rafinaj ve ileri işleme kapasitelerinin geliştirilmesi, Türkiye'nin kritik mineraller değer zincirinde yükselmesini sağlayacak, artan iç talebe karşın dış ticaret dengelerini iyileştirecek ve küresel tedarik zincirlerindeki çok yönlü risklerin, temiz enerji teknolojileri, diğer stratejik sektörler ve makro ekonomik dengeler üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletecektir. Bu kapsamda yenilikçi teknolojiler, kaynak ve malzeme kullanımlarında optimizasyon yoluyla mineral yoğunluklarının azaltılması, geri dönüşüm stratejilerinin hayata geçirilmesi, yatırımlarda sorumlu madencilik uygulamalarının esas alınması gibi temel unsurlar yoluyla sürdürülebilirlik perspektifi geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Çalışmada sunulan bulgular çerçevesinde Türkiye için öne çıkan en önemli fırsatlardan birisi, enerji sektörünün yanı sıra yapay zeka, robotik, savunma sanayi ve ileri imalat gibi birçok alanda stratejik önemdeki kritik minerallerin küresel arzında aşırı coğrafi yoğunluk ve sınırlı sayıda ülkeye yüksek bağımlılık nedeniyle dünya genelinde tedarik zincirlerini çeşitlendirme ihtiyacının ve bu yöndeki stratejik çözüm arayışlarının güçlenmesidir. Türkiye, son dönemde politika çerçevesindeki gelişmelerin devamında uygun yatırım teşvikleri, yenilikçi finansman ve teknoloji modelleriyle, özellikle odaklı rafinaj, ara ürün ve yüksek katma değerli üretim alanlarında kendi talebinin karşılanmasına ek olarak bölgesel ve küresel ölçekte öne çıkan bir aktör konumuna ulaşma potansiyeline sahiptir.

Bu kapsamda, özellikle nadir toprak elementlerinde (NTE) açıklanan yüksek kaynak keşfi, rafinaj ve yüksek katma değerli üretim hedefleri bu bakımdan stratejik önemdedir. Enerji sektörünün geleceğinde kritik bir rol oynayan batarya teknolojilerinde küresel ölçekte hızla artan talep, Türkiye'de batarya ekosistemine kaydedilmeye başlanan yatırımlar ve hedeflerle birlikte değerlendirildiğinde, yüksek katma-değerli üretim ve güvenli tedarik seçeneklerinin gelişmesi bakımından önemli fırsatlar sunmaktadır. Küresel arzda yüksek coğrafi yoğunluğun sürdüğü ve enerji sektörünün yanı sıra savunma sanayi, ulaştırma sistemleri, veri merkezleri ve ileri imalat gibi stratejik sektörlerde de önemli girdiler arasında yer alan NTE tabanlı kalıcı miktatsızlar, batarya malzemeleri ve teknolojileri, Türkiye'nin yüksek katma değerli, alternatif bir üretim ve tedarik üssü niteliği kazanması bakımından yüksek potansiyel içermektedir.

Türkiye'nin büyüyen ve gelişen enerji piyasasında elektrifikasyonda hızlı artış, temiz enerji teknolojilerinde yaygınlaşmayı, ekipman imalatını ve ölçeklendirme fırsatlarını desteklerken, jeopolitiğin enerji güvenliği ve enerji ticareti üzerindeki etkilerinin belirgin biçimde arttığı mevcut küresel konjonktürde Türkiye'nin coğrafi konumu, bölgesel ve uluslararası iş birlikleri ayrıca stratejik bir avantaj oluşturmaktadır. Türkiye'nin Avrupa gibi yüksek talep merkezlerine yakınlığının yanı sıra, Hazar Bölgesi gibi kritik minerallerde yeni girişimlerin ve yatırımların geliştiği bölgelerle ilişkileri, bölgesel tedarik zincirlerinin entegrasyonu ve güvenliğin güçlendirilmesi yönünde önemli iş birliği fırsatlarına işaret etmektedir.

Kritik mineral kaynakları bakımından zengin ancak potansiyelinin değerlendirilmesinde henüz bakir durumda olan bölgelerde sağlanacak açılımlar bu fırsatları daha da güçlendirilebilecektir. Bu çerçevede Afrika'da odaklı madencilik, rafinaj ve altyapı yatırımlarının önemli bir potansiyel sunduğu; benzer şekilde Latin Amerika gibi kritik mineraller bakımından zengin farklı bölgelerde kurulacak stratejik ortaklıkların da Türkiye'nin küresel tedarik zincirlerindeki konumunu pekiştireceği düşünülmektedir. Böylelikle Türkiye, kendi arz güvenliğine yönelik tedarik çeşitliliğini ve dış ticaret dengelerini iyileştirmenin ötesinde kritik minerallerinin bölgesel ve küresel güvenliğinde etkin rol oynayabilecek, dünya genelinde kritik minerallerin değer zincirlerinde katma-değerli konumlanma alternatiflerini çeşitlendirebilecektir.

4.3. Gelişim Alanları

Çalışmada sunulan çok yönlü risklerin etkin biçimde yönetilebilmesi ve giderek belirginleşen fırsatların değerlendirilebilmesi, kritik mineraller değer zincirinin tüm aşamalarını kapsayan bütüncül bir stratejik planlama yaklaşımını gerekli kılmaktadır. Bu yaklaşımın yakın, orta ve uzun dönemli politika araçlarını eşgüdüm içinde ele alması, olası arz kesintilerine ve piyasa şoklarına karşı acil durum ve kriz yönetim mekanizmalarını içermesi, yatırım, teknolojik gelişim ve diplomasi boyutlarını değerlendirmesi önem taşımaktadır. Bu çerçevede, Türkiye'nin yakın dönemde açıklanması beklenen Strateji Belgesi'nin kritik mineraller alanında güçlü bir vizyonun oluşturulması için çok önemli bir adım olacağı değerlendirilmektedir.

Politika mekanizmalarında ve düzenleyici çerçeveler kapsamında, teşvikleri de içeren yenilikçi yatırım ve iş modellerinin geliştirilmesi, katma-değerli üretimi ve değer zinciri dönüşümünü destekleyecek teknoloji odaklı yaklaşımların yaygınlaştırılması, kamu-özel sektör-akademi iş birlikleri ve uluslararası ortaklıklarla sağlanacak ilerlemeler, Türkiye açısından çok boyutlu kazanımlar sağlayacaktır. Bu gelişmeler, enerji güvenliğine ve bağımsızlığına, çok yönlü faydalara sahip temiz elektrifikasyonda büyüme perspektifine, kritik mineralleri temel girdi olarak kullanan diğer stratejik sektörlerin tedarik güvenliğine, daha yüksek katma-değerli ekonomik büyümeye, teknoloji-odaklı sanayileşme hedeflerine önemli katkılar sağlayacak, ulusal güvenliği de güçlendirecektir.

Şekil 4.2. Küresel Dinamikler ve Türkiye Değerlendirmeleri Çerçevesinde Riskler, Fırsatlar ve Gelişim Alanlarına Bakış

Risk ve Fırsat Alanları	Stratejik Planlama ile Gelişim Alanları
Risk Alanları • Artan enerji güvenliği riskleri • Elektrifikasyon ve enerji dönüşümü için rekabetçi tedarik riskleri • Enerjinin ötesinde stratejik sektörler için riskler • Dış ticaret dengelerine olumsuz etkiler Fırsat Alanları • Ekonomik rezerv envanterinin ve değer zincirinde katma değerli üretimin büyütülmesi • Dünya genelinde özellikle rafinajda çeşitlendirme ve güvenilir tedarikçi arayışları • Güçlü talep dinamiklerine sahip piyasa • İş birlikleri	1. Önemli politika mekanizmaları ve yol haritaları 2. Madencilik ve bütüncül değer zinciri envanteri gelişimi 3. Rafinaj odaklı stratejik büyüme perspektifi 4. Yatırım teşvik modelleri, inovasyon ve teknoloji 5. Diplomasi, bölgesel ve uluslararası işbirlikleri 6. Minerallerde ve teknolojilerde odaklı yaklaşımlar
Anahtar Risk - Başarı Faktörleri	
• Tedarik zincirlerinde kırılganlıklar - Tedarik zincirlerinde dayanıklılık • Tedarik zincirlerinde yoğunlaşma - Tedarik zincirlerinde güvenilir çeşitlendirme • Düşük teknolojik gelişim - Yüksek katma değerli üretim	

IICEC Önerileri

IICEC, kritik enerji minerallerinde Türkiye'nin artan enerji güvenliği, ekonomik ve stratejik risklerinin yönetilmesi, potansiyelinin ve yüksek katma değerli fırsatlarının değerlendirilebilmesi için tedarik zincirlerinde bütüncül bir stratejik planlamanın hayata geçirilmesini,

1. Stok mekanizmalarının belirlenmesini, yüksek katma değerli üretimi, tedarikte çeşitlendirmeyi ve risklere dayanıklılığı artıracak yol haritalarının oluşturulmasını,
2. Madencilikte ve tedarik zincirlerinin genelinde güncel, detaylı ve bütüncül envanterlerin geliştirilmesiyle ekonomik potansiyelin belirlenmesini ve öngörülebilirliğin güçlendirilmesini,
3. Rafinajda bölgesel ve küresel bir oyuncu olma yönünde gelişen fırsatların, uzun dönemli planlama, stratejik yatırım ve teknoloji modelleriyle değerlendirilmesini,
4. Nitelikli ve sürdürülebilir büyüme için yatırım teşvik modellerinin, inovasyon ve Ar-Ge yetkinliklerinin, iş gücü programlarının ve kurumsal kapasitelerin geliştirilmesini,
5. Türkiye'nin stratejik konumu, diplomasi ve uluslararası iş birlikleri yoluyla sağlanabilecek çok boyutlu ekonomik ve stratejik faydaların değerlendirilmesini,
 - Özellikle rezervleri ve üretim potansiyeli yüksek olan Afrika'da, kamu ve özel sektör yatırımlarıyla madencilikte ve rafinajda konumlanmanın temin edilmesini,
 - Talebi, güvenlik, çeşitlendirme ve rekabetçilik ihtiyaçları artan piyasalarla tedarik, ticaret, geri dönüşüm fırsatlarının değerlendirilmesini,
 - IEA Kritik Mineraller Güvenliği Programı'na aktif katılım yoluyla koordinasyon mekanizmalarına katkı sağlanmasını,
6. Mineral ve teknoloji odaklı özel yaklaşımlar içerisinde, özellikle,
 - Nadir toprak elementlerinde açıklanan büyük kaynak keşfinin, rezerv doğrulamalarından uç ürünlere kadar stratejik değer zinciriyle geliştirilmesini,
 - Lityumda ve batarya teknolojilerinde üretim, inovasyon ve tedarik üssü olma fırsatlarının değerlendirilmesini,
 - Rafinaj, batarya katot ve anot malzemeleri, yüksek verimli kalıcı mıknatıs gibi alanlarda teknolojik gelişime odaklı uluslararası ve sektörler arası iş birliklerinin geliştirilmesini,
 - Bakırda arama, katma değerli üretim ve işleme kapasitelerinin geliştirilmeye devam edilmesini

önermektedir.

EKLER

- **EK A:** Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları
- **EK B:** Kısaltmalar
- **EK C:** Senaryo Sonuçları

EK A:

Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları

- IEA Raporları ve İstatistikleri
- 12. Kalkınma Planı (2024-2028)
- ETKB Stratejik Planı (2024-2028)
- ETKB Kritik ve Stratejik Madenler Raporu (2025)
- ETKB Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanlığı Mineraller Raporu
- ETKB Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanlığı Önemli Madenler Tış Ticaret Verileri
- ETKB Enerji Denge Tabloları
- ETKB Yenilenebilir Enerjide 2035 Yol Haritası
- TENMAK NATEN web sitesi
- MTA Raporları ve İstatistikleri
- MAGEP İstatistikleri
- ETİ Maden Raporları
- TEİAş İstatistikleri
- TÜİK İstatistikleri
- GREET modeli verileri
- ODMD Pazar Raporları
- IICEC Türkiye Energy Outlook Modeli
- IICEC Türkiye Enerji Verimliliği Görünümü Raporu
- IICEC veri tabanı ve piyasa araştırmaları
- Sektör paydaşları ile görüşmeler ve diğer sektörel raporlar

EK B:

Kısaltmalar

AA:	Anadolu Ajansı
AB:	Avrupa Birliği
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
CPS:	IEA Current Policies Scenario
DOE:	United States Department of Energy
DPA:	Defence Protection Act
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GSYİH:	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
IEA:	Uluslararası Enerji Ajansı
IISD:	International Institute for Sustainable Development
IRA:	Inflation Reduction Act
JORC:	Joint Ore Reserve Committee
Kt:	Kiloton
MSP:	Mineral Security Partnership
Mt:	Milyon ton
MTA:	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NATEN:	Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü
NTE:	Nadir Toprak Elementleri
NZE:	IEA Net Zero Emissions Scenario
ODMD:	Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği
SBB:	Strateji ve Bütçe Başkanlığı
STEPS:	IEA Stated Policies Scenario
TDT:	Türk Devletleri Topluluğu
TEİAŞ:	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TENMAK:	Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu
TÜİK:	Türkiye İstatistik Kurumu

UMREK:	Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu
UN:	United Nations
USGS:	United States Geological Survey
WEF:	World Economic Forum
WB:	World Bank

EK C:

Senaryo Sonuçları

Yıllık Mineral Talebinin Teknolojilere Göre Gelişimi	Düşük Senaryo			Yüksek Senaryo		
	kt	kt	kt	kt	kt	kt
Bakır	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Güneş	14,0	14,1	14,4	15,0	16,2	17,6
Rüzgar	5,4	8,9	9,6	6,0	10,6	12,0
Elektrikli Araçlar ve Enerji Depolama Sistemleri	7,4	29,6	59,1	8,3	36,9	78,1
Şebeke	22,0	29,6	54,9	24,0	33,9	74,8
Toplam	48,8	82,2	138,0	53,3	97,6	182,4
Lityum	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Elektrikli Araçlar ve Enerji Depolama Sistemleri	1,0	3,9	7,8	1,1	4,9	10,3
Toplam	1,0	3,9	7,8	1,1	4,9	10,3
Kobalt	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Elektrikli Araçlar ve Enerji Depolama Sistemleri	0,5	1,1	1,4	0,5	1,3	1,9
Toplam	0,5	1,1	1,4	0,5	1,3	1,9
Nikel	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Güneş	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Rüzgar	0,7	0,9	1,0	0,8	1,1	1,2
Elektrikli Araçlar ve Enerji Depolama Sistemleri	3,2	7,3	9,8	3,5	9,1	13,0
Toplam	3,9	8,3	10,8	4,3	10,2	14,2
NTE	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Rüzgar	0,04	0,1	0,2	0,04	0,2	0,2
Elektrikli Araçlar ve Enerji Depolama Sistemleri	0,1	0,5	1,0	0,1	0,6	1,4
Toplam	0,2	0,7	1,2	0,2	0,8	1,6

Teknolojilerde Yıllık Mineral Talebi Gelişimi	Düşük Senaryo			Yüksek Senaryo		
	kt	kt	kt	kt	kt	kt
Güneş	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Bakır	14,0	14,1	14,4	15,0	16,2	17,6
Nikel	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Toplam	14,0	0,0	14,4	15,0	16,3	17,6
Rüzgar	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Bakır	5,4	8,9	9,6	6,0	10,6	12,0
Nikel	0,7	0,9	1,0	0,8	1,1	1,2
NTE	0,04	0,1	0,2	0,04	0,2	0,2
Toplam	6,2	10,0	10,7	6,8	11,9	13,4
Elektrikli Araçlar ve Enerji Depolama Sistemleri	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Bakır	7,4	29,6	59,1	8,3	36,9	78,1
Lityum	1,0	3,9	7,8	1,1	4,9	10,3
Kobalt	0,5	1,1	1,4	0,5	1,3	1,9
Nikel	3,2	7,3	9,8	3,5	9,1	13,0
NTE	0,1	0,5	1,0	0,1	0,6	1,4
Toplam	12,1	42,4	79,2	13,6	52,9	104,7
Şebeke	2025	2035	2053	2025	2035	2053
Bakır	22,0	29,6	54,9	24,0	33,9	74,8
Toplam	22,0	29,6	54,9	24,0	33,9	74,8

TÜRKİYE KRİTİK ENERJİ MİNERALLERİ GÖRÜNÜMÜ | 2025



Sabancı
Universitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY
İSTANBUL INTERNATIONAL
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE

