

TÜRKİYE KRİTİK ENERJİ MİNERALLERİ GÖRÜNÜMÜ | 2025



Geniş
Yönetici Özeti

Extended
Executive Summary

Sabancı
Üniversitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY
ISTANBUL INTERNATIONAL
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE

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

Geniş Yönetici Özeti

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 (TCOMO)**, 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 tedarikçiden 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.

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 mıknatısların ihracatına getirdiği yeni kısıtlamalar, ABD, Avrupa ve diğer bazı bölgelerde otomotiv üretim kapasitelerinde düşüslere 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.

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

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 yayımlanması 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 tasarlarlarken kendi şartlarına uygun iyi uygulama örneklerini dikkate almasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

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.

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.

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. 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.

³ Critical Minerals Security Program

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

Türkiye madencilik sektörü, maden kaynakları ve üretim çeşitliliği bakımından dünya genelinde üst sıralarda yer almasına ve üretimde kaydedilen artışlara rağmen, GSYH 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).

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.

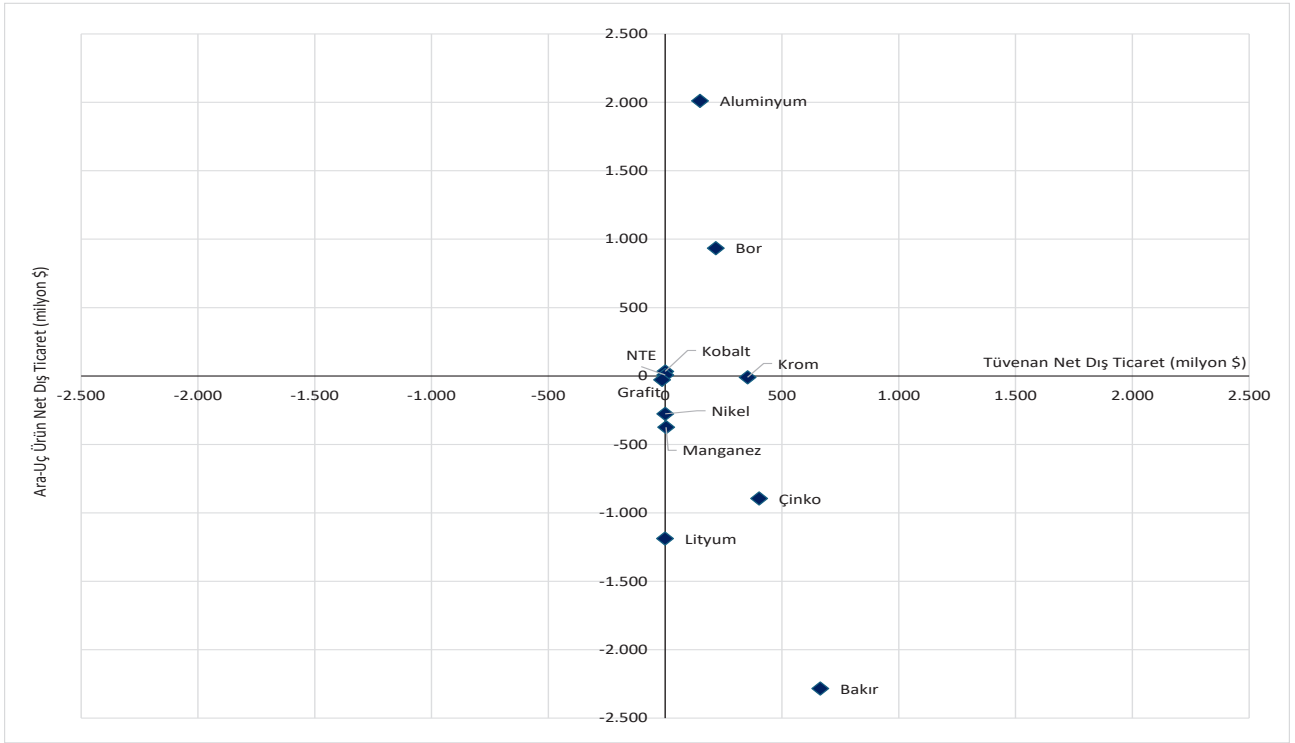
⁵ Joint Ore Reserves Committee

⁶ ETKB 2025 maden ticaret veri tablolarından yararlanılmıştır.

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

⁸ İthalat ve ihracat fiyat ortalamaları

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



Küresel gelişmelerin de gösterdiği üzere, fiziksel ve ekonomik risklerin zamanında yönetilebilmesi için, acil durum planlamaları, odaklı yatırım planları, değer zincirinde kırılganlıkları 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 IICEC 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 (IICEC 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.

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, 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. NTE tedarikini çeşitlendirmek için farklı coğrafyalarda rafinaj 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 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.

⁹ N-1 analizi

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



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.

Lityum ve genel olarak batarya teknolojileri, dünya genelinde rafinajda 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 Önele 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 grafitte talep 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. ICEC 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.

¹⁰ IEA 2025

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

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 mıknatıs üretimine uzanan geniş bir spektrumda yüksek katma değerli potansiyel gelişim alanları içermektedir.

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 gelmesi, 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 kırılma noktaları 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.

IIEEC 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 konjunktürde 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 çokboyutlu 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.

Extended Executive Summary

Türkiye Critical Energy Minerals Outlook

Extended Executive Summary

- Serious risks and vulnerabilities are intensifying across critical mineral supply chains as a result of factors such as high geographical concentration of dependencies reaching over 90% on a single country for certain minerals, and export restrictions. Consequently, critical minerals security has become a core component not only of energy security but also of economic and national security of the countries.
- These developments are rapidly reinforcing multidimensional risks and vulnerabilities for Türkiye as well. At the same time, the growing need for reliable alternative suppliers is creating new opportunities for Türkiye. The country can achieve more secure and higher value-added supply chains through the advancement of policy and ecosystem developments with holistic planning perspectives.
- Despite rising demand for high value-added intermediate and end products, the continued concentration of the value chain at the mining stage, combined with insufficient processing and refining capacities, has resulted in a general upward trend in external dependency and foreign trade deficits. Growth targets in electrification and clean energy technologies and IICEC analyses indicate that annual demand for key critical energy minerals is expected to increase by a factor of 3 to 11 by 2053. In particular, demand for lithium and REEs is expected to grow very rapidly, driven by strong growth dynamics in electric vehicles and energy storage systems. Given the strategic use of many critical energy minerals beyond energy across sectors such as aviation, advanced materials technologies, electronics, and defense industries, the country's supply vulnerabilities could deepen further if refining and processing capacities do not expand in response to the rising product demands.
- Despite these dynamics that are rapidly increasing risks, Türkiye has also significant opportunities to both strengthen its own supply security and position itself as a high value-added supply hub. The discovery of globally significant Rare Earth Element (REE) resources presents a strategically important opportunity area, spanning from detailed reserve assessments to REE refining and the production of high-efficiency permanent magnets. In lithium and broader battery storage minerals technologies, global dynamics and recent developments in the domestic market point to strong potential for Türkiye to emerge as an alternative supply hub.
- In addition, there is substantial potential for new discoveries, reserve growth, and particularly increased value-added production across many critical energy minerals, including through regional and international partnerships. Regions with untapped potential, such as Africa and Latin America, stand out as key opportunity areas for Türkiye's mining and refining investments.
- Effectively managing growing risks and capitalizing on emerging opportunities requires a strategic planning approach that holistically encompasses emergency mechanisms, investment, technological development, and diplomacy pillars along the value chain. A national strategy document is expected to be released in the near term. A multifold progress in policy mechanisms and regulatory frameworks, investment and business models including incentives, diplomacy, and cross-sectoral cooperation will make significant contributions to Türkiye's energy security, growth potential in clean electrification, supply security in other strategic sectors, higher value-added economic development, and technology-oriented industrialization objectives, while also reinforcing national security.

Why Türkiye Critical Energy Minerals Outlook?

Energy security has shifted from being solely an energy policy concern to becoming a central pillar of economic and national security. As electrification progresses, the strategic importance and demand for critical minerals in energy systems are rising rapidly. Yet, the persistent geographical concentration of production and supply chains, the heavy reliance on a small number of countries, and export restrictions that have recently had global impacts have pushed the management of growing risks and vulnerabilities in this domain to the forefront of policymakers' agendas. The extensive use of critical minerals across multiple strategic sectors beyond energy further amplifies these risks, highlighting the urgent need for effective policy measures such as stockpiling, coordination mechanisms, and investment incentives to enhance supply chain diversification and resilience.

Within the context of Türkiye's rapidly evolving energy sector and electrification dynamics, demand for critical minerals is rising sharply. However, as in many other countries, domestic supply capacity, technological capabilities, and options for import diversification remain limited. In recent years, critical minerals have increasingly featured among Türkiye's policy priorities. The Critical and Strategic Minerals Lists were published in 2025, and work is underway on a comprehensive strategy document to establish priorities and targets. Strategic objectives and sectoral trends indicate substantial development potential across the entire value chain, from enhanced exploration and mining activities to the manufacturing of value-added products and advanced technologies.

Türkiye Critical Energy Minerals Outlook (TCMO) is a first-of-its-kind study in Türkiye. It has been prepared to strengthen awareness of the rapidly increasing importance of critical energy minerals, including most recent developments, across a broad ecosystem encompassing mining, energy, technology and equipment manufacturing, financing, and all other related sectors. In this pioneering work, global dynamics, relevant policy developments in Türkiye, sectoral trends and targets, foreign trade and demand analyses, and supply perspectives are assessed through an analytical perspective to identify risks, opportunities, and development areas. TCMO presents solid recommendations for a more secure and higher value-added future for Türkiye in critical energy minerals.

Key Findings

- 1. Globally intensifying serious threats in critical minerals and their supply chains are rapidly reinforcing multidimensional risks and vulnerabilities for Türkiye as well.**

Amid unprecedented geopolitical pressures on the energy sector, energy security has become a cornerstone of both economic and national security. In addition to supply risks linked to traditional energy sources such as oil and natural gas, the rapid growth of electrification is significantly expanding the scope of energy security. As the world transitions swiftly to an electrified energy system, the reliance on critical minerals within energy infrastructures is rising markedly. Many critical minerals required for renewable energy sources, electricity grids, electric vehicles, and energy storage systems, which will shape the future of electrification, are also indispensable inputs for strategic sectors such as chip technologies, the aviation and space industries, and the defense sector. In this transformation process, diversification, the key element for ensuring energy security, is moving in the opposite direction within critical energy mineral supply chains.

On the supply side, high geographical concentration remains a persistent challenge, particularly in the refining and processing stages required to transform critical minerals from mining into forms suitable for end-use. This is rapidly intensifying risks and vulnerabilities across global supply chains. The majority of capacity expansions in critical mineral refining continue to originate from a limited number of suppliers. For key critical energy minerals, the combined market share of the top three producers rose from 82% in 2020 to 86% in 2024¹.

High reliance on a single country further amplifies supply security risks. China accounts for an average refining share of around 70% across 19 of the 20 energy-related and strategic minerals. As of November 2025, more than half of these minerals are subject to export restrictions. China's market share is over 90% in battery metals and rare earth elements (REEs). In these two sectors, global supply outside China is projected to meet only about half of total global demand (excluding China) by 2035. China's roughly 95% share in the production of permanent magnets used in electric vehicle motors starkly illustrates the vulnerabilities confronting the energy and automotive industries.

Over the past five years, the International Energy Agency (IEA) has systematically highlighted the growing multidimensional risks associated with critical energy minerals at the global level, issuing persistent warnings that high geographical concentration could create severe vulnerabilities.

In 2025, these risks began to materialize as anticipated. In April, new export restrictions imposed by China on certain key rare earth elements and permanent magnets caused declines in automotive production capacity in the United States, Europe, and several other regions. The expansion of these restrictions in October to include battery technologies and production equipment further intensified existing and potential risks across global supply chains.

As demand for critical minerals continues to rise rapidly, the prevailing insecure supply structure significantly heightens vulnerability to supply and price shocks, price volatility, export restrictions as observed globally in 2025, and any other potential disruptions in supply chains.

These developments underscore that securing critical mineral supply chains must be treated as a fundamental priority, not only for energy security but also for economic resilience and national security. IEA analyses and policy recommendations emphasize the importance of emergency planning to manage rapidly growing risks, the urgent need to develop more diversified and resilient supply chains. The limitations of market mechanisms alone in achieving these objectives necessitate swift implementation of effective policies in areas such as stockpiling, investment incentives, innovation, and coordination.

In Türkiye, domestic supply capacity and opportunities to diversify imports remain limited, as in many other countries. Combined with rapidly growing demand for critical minerals and technologies and rising global risks, this situation presents multidimensional challenges, urging for timely and comprehensive management of these risks as a strategic priority.

¹ The study benefitted extensively from the comprehensive reports and datasets of the International Energy Agency (IEA).

2. Significant progress in Türkiye's critical minerals policies should be reinforced through strategic planning, roadmaps, and continued developments in institutional capacities to manage risks and effectively seize emerging opportunities.

Strengthening Türkiye's energy security and energy independence, accelerating the transition toward high value-added production in mining and related industrial sectors, improving the foreign trade balances, and achieving net-zero emissions targets are closely interlinked, multidimensional objectives. Within this context, the policy focus on critical minerals has grown markedly in recent years.

The 12th Development Plan (2024–2028) and the Ministry of Energy and Natural Resources (MENR) Strategic Plan (2024–2028) identify priority development areas, including expanding exploration activities, increasing value added in the mining sector, and developing end products through domestic processing of mining outputs. The plans also aim to pursue overseas sourcing options and establish strategic partnerships with supplier countries to reduce supply risks, while emphasising the importance of preparing a roadmap for securing supplies of critical minerals.

A key development in Türkiye's critical minerals policy was the publication of the Critical and Strategic Minerals Report in the first quarter of 2025. Several minerals such as lithium, copper, aluminium, nickel, rare earth elements (REEs), cobalt, and graphite, which are essential for electrification and a secure, sustainable energy future for both Türkiye and globally, were classified as "High-Importance Critical Minerals" or "Important Critical Minerals."² In 2025, an amendment to the Mining Law incorporated the definitions of critical and strategic minerals into the legal framework, granting these minerals specific legal status.

Following these developments, Türkiye is expected to adopt a holistic, long-term strategic planning approach encompassing the entire critical minerals value chain, from mining to final products and manufacturing industries. Within this framework, strategic focus areas are likely to include the development of emergency, stockpiling, and coordination mechanisms, expansion of mining and, in particular, value-added product capacities, detailed planning and roadmaps for medium- and long-term improvements that may require substantial investment and infrastructure. Advancement of refining and processing activities, introduction of investment incentive models, strengthening of technological development, human resources, and institutional capacities, and enhancement of supply security through overseas sourcing are deemed important in supporting such strategic framework. A comprehensive strategy document is expected to be released in the near future.

An assessment of recent global policy developments indicates that some major economies have already established stockpiling mechanisms for critical minerals. These practices, currently limited in number, are expected to become more widespread in response to increasing supply risks. Additionally, the adoption of financing and investment incentive policies has accelerated in recent years, with the number of such policies approaching 100. In this context, it is considered beneficial for Türkiye to draw on best practice examples adapted to its national conditions when designing its own policy mechanisms.

² The lists also include numerous critical and strategic minerals whose use and role in the energy sector are relatively limited, but which are significant in terms of supply and demand dynamics across other sectors.

International cooperation and strategic partnerships will also be decisive for Türkiye to manage rising risks in critical energy minerals while capitalizing on emerging opportunities. In this context, partnerships with reserve-holding countries, technology providers, and demand centres with limited domestic supply potential are of particular importance. For instance, developing and localizing technological capacity in the refining of rare earth elements (REEs), an area where supplier numbers are extremely limited and technology requirements are high, is considered a priority area for collaboration. Efforts to broaden and diversify the supply base, on the other hand, underscore the strategic value of investments in regions such as Africa and Latin America, which are rich in mineral reserves but where production remains underutilized.

Critical minerals security has emerged as a major global challenge. As a result, addressing rapidly growing risks cannot rely solely on national-level measures; robust international coordination mechanisms are essential. In this context, the IEA's "Critical Minerals Security Program" plays a pivotal role by facilitating coordinated actions among countries to strengthen global supply chains and reduce structural vulnerabilities. Türkiye's active participation to this program is expected to play an important role in advancing more secure and sustainable critical mineral supply chains.

3. While Türkiye is not rich in verified reserves of critical energy minerals in general, the country holds significant potential for new discoveries, inventory development, and expansion of value-added production.

Sectoral assessments and policy documents indicate that Türkiye has brought only a limited share of its known mineral resources into production, leaving substantial untapped potential in mineral exploration and production. This outlook presents significant opportunities for establishing an up-to-date and comprehensive mineral inventory. Increasing exploration activities, strengthening technical infrastructures in line with international standards, and improving permitting efficiency have emerged as key recent developments. IICEC assessments highlight that targeted exploration and development strategies, increased exploration investments, and the adoption of innovative methods such as artificial intelligence-based mapping can accelerate new discoveries and support sustainable growth in reserves

A primary priority for Türkiye is the expansion of reserve verification activities to strengthen the conversion of mineral resources into reserves³ as part of a national inventory. The nationwide implementation of UMREK practices, which aim to ensure that reporting of mineral resources and reserves aligns with international standards in a transparent, reliable, and comparable manner, is of particular importance. A holistic technical and economic reserve inventory would support more predictable production and supply planning. More effective use of international verification mechanisms, such as JORC⁴, would enhance the global comparability of Türkiye's mineral potential to attract investment for facilitating the transition from new discoveries to production.

Despite ranking among the leading countries globally in terms of mineral resource endowment and production diversity, and despite increases in production, Türkiye's mining sector still accounts for approximately 1% of GDP. In the medium to long term, this share is targeted to reach around 5%, reflecting significant opportunities for new discoveries, increased production, and especially higher value-added activities. The role of minerals in foreign trade balances is also strategically important for the Turkish economy.

³ This translation requires several assessments for mines, ore enrichment, metallurgical processes, and economical analyses.

⁴ Joint Ore Reserve Committee

While Türkiye's mineral exports, excluding gold, reached approximately USD 6 billion, it remained a net importer of USD 2.2 billion in 2024. When energy raw materials and gold are excluded, the net trade balance in minerals remains positive at USD 3.3 billion. In 2024, metallic minerals represented around 20% of total mineral production and accounted for 18% of imports and 42% of exports. This provides a strong foundation for critical minerals-focused and high value-added growth opportunities for the mining industry.

4. Rising demand for high value-added intermediate and end products, coupled with limited domestic processing and refining capacities, is increasingly driving external dependency and widening the foreign trade deficit.

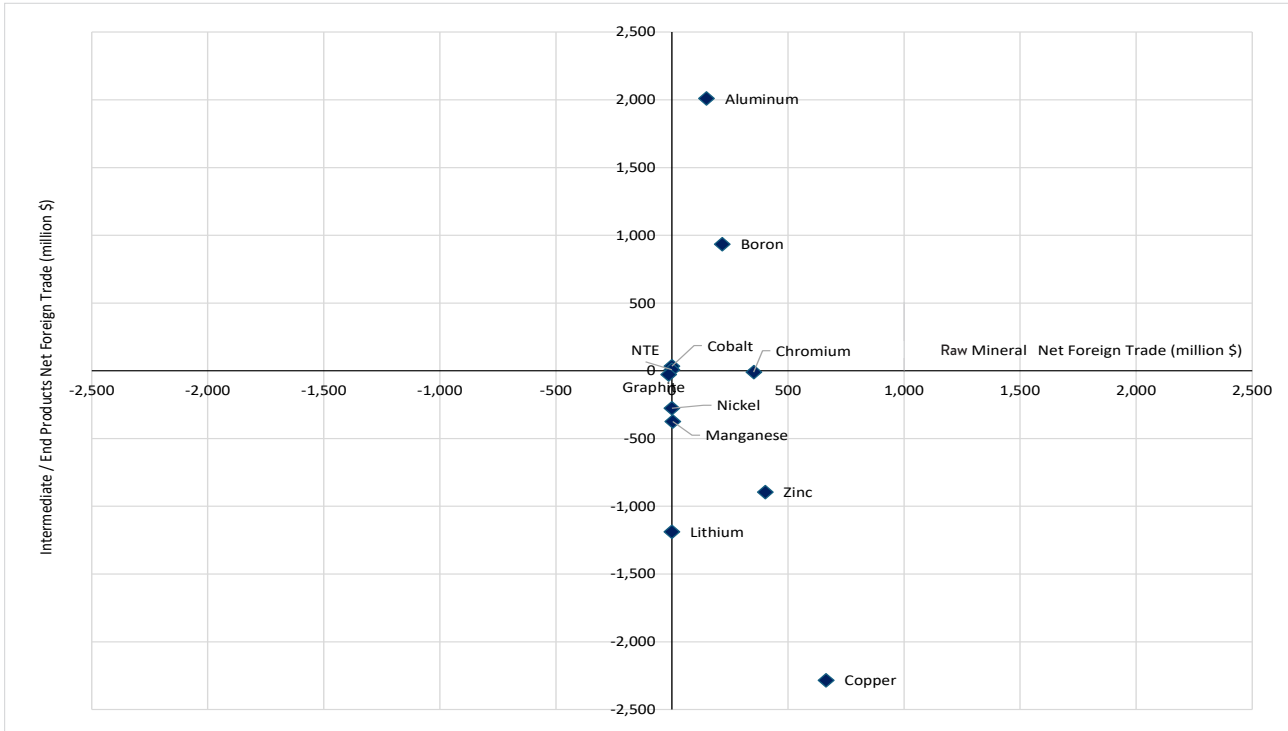
IICEC analyses indicate that, along the value chain from mining to the manufacturing of end products, Türkiye's production is largely concentrated at the mineral production stage. The study examined foreign trade balances for twenty-nine minerals, revealing that while substantial intermediate and end use product exports are achieved for minerals such as copper, zinc, aluminium, and boron, dependence on imports, and consequently foreign trade deficits, remains high in general for intermediate and end products (Figure 1).

In copper, for which Türkiye is a significant producer, net run-of-mine exports reached approximately USD 670 million in 2024; however, net imports of intermediate and end products totaled around USD 2.2 billion, resulting in a net foreign trade deficit of roughly USD 1.6 billion (2020–2024 average is USD 1.7 billion/year). Türkiye continues to meet over half of its refined copper demand through imports, and ongoing demand growth suggests rising deficit risks in this area. Lithium provides another striking example. Despite recent price declines, net imports of intermediate and end products increased from USD 280 million in 2020 to approximately USD 1.3 billion in 2024, reflecting rapidly growing demand driven by electric vehicles and energy storage systems. Rare Earth Elements (REEs), with rising global strategic importance, are also expected to play an increasingly prominent role in Türkiye's foreign trade balances going forward.

An analysis of unit run-of-mine and product prices within foreign trade balances highlights the scale of the value-added gap between ores and intermediate or end products. In 2024, the ratio of intermediate and end product prices to run-of-mine prices was approximately 12 for lithium, 6 for copper, and 3 for cobalt. Enhancing the economic value of Türkiye's mineral resources, therefore, depends on successfully advancing refining and further processing stages through to value-added end products, alongside developing the necessary technological, financial, and institutional capacities. This transformation would support the expansion of higher value-added production and exports, create skilled employment opportunities, and drive advanced industrialisation processes that strengthen economic resilience and competitiveness. To achieve these objectives, the development potential and targets of the manufacturing industry must also be integrated into a holistic strategic planning perspective.

As global developments highlight, effectively managing physical and economic risks requires the timely implementation of emergency planning, targeted investment strategies, and measures that reduce vulnerabilities along the value chain. The study identifies another key priority for Türkiye as the absence of a comprehensive and detailed supply chain inventory. While run-of-mine production and foreign trade data are available on a mineral-by-mineral basis, there is a clear need to develop integrated data infrastructures, particularly regarding domestic consumption patterns. To address this, data systems should be established to track physical flows and dynamic supply–demand interactions across all stages from mining to advanced products such as cathode and anode materials, while also capturing activity-level details including transformer components, energy storage systems, and many others through coordinated inter-institutional efforts.

Figure 1. Net Foreign Trade Balances for Selected Critical Energy Minerals (2024, USD million)



5. IICEC analyses, along with the growth targets in electrification and clean energy, indicate that annual demand for key critical energy minerals is projected to rise 3-11 times by 2053.

The world enters the “Age of Electricity”. Electrification is also driven fast in Türkiye by energy policies shaped around increasing energy security, strengthening energy independence, and achieving net-zero emissions targets by 2053; investor orientations in energy markets; and consumer preferences. While this transformation changes the nature of the technologies used in energy systems, it also increases demand for the critical energy minerals required for these technologies. In addition to traditional electricity use, rapidly expanding electric mobility, the anticipated deployment of new data centres, the wider adoption of heat pump solutions, and rising demand for cooling and air conditioning are emerging as new drivers, pointing to strong growth dynamics in the country’s electricity demand. Policy targets and analyses indicate that electricity demand is expected to increase by around 1.5 times by 2035. The share of electrification in final energy demand, currently at around one-fifth, is projected to reach approximately 50% over the next twenty-five to thirty years (IICEC Türkiye Energy Efficiency Outlook 2025).

On the supply side, growth is largely driven by capacity additions in wind and solar energy. Expanding electric vehicle market shares, developments in the automotive sector, and improvements in charging infrastructure position Türkiye as a strong growth market for e-mobility. Electricity grids, which constitute the backbone of power systems, have continued to expand at an average annual rate of around 3% in recent years. Looking ahead, managing evolving supply and demand dynamics in future energy systems will require sustained expansion of transmission and distribution networks, supported by technological opportunities such as digitalisation, smart grids, and HVDC systems. These dynamics on both the supply and demand sides can be effectively managed through accelerated deployment of energy storage systems, which are currently at an early stage, to deliver a more reliable, flexible, and cost-competitive electricity system.

The study assesses the demand outlook and future trajectory for critical energy minerals required for these technologies, which are essential for a secure and sustainable energy future, using an analytical, scenario-based approach (Figure 2). In addition to technological growth pathways through 2053, mineral intensities for technologies are analysed, including drawing on international examples. The modelling and analyses account for uncertainties such as long term developments in battery chemistries, anticipated future preferences for permanent magnets in wind turbine generators, price-performance trade-offs shaping the use of aluminium and copper in grids, and the long-term evolution of grid architectures. The analyses also incorporate assumptions on potential improvements in unit mineral intensities over the medium and long term, particularly those enabled by new materials and technological innovation.

IIcec analyses indicate that the largest increase in demand for critical energy minerals will occur in energy storage systems, which currently have relatively limited demand but exhibit very high growth potential. Annual demand is projected to rise by a factor of 11–14 by 2035 and 20–24 by 2053. In electric vehicles, another rapidly growing sector, annual demand for critical energy minerals is expected to increase by a factor of 3–4 by 2035 and 5–6 by 2053.

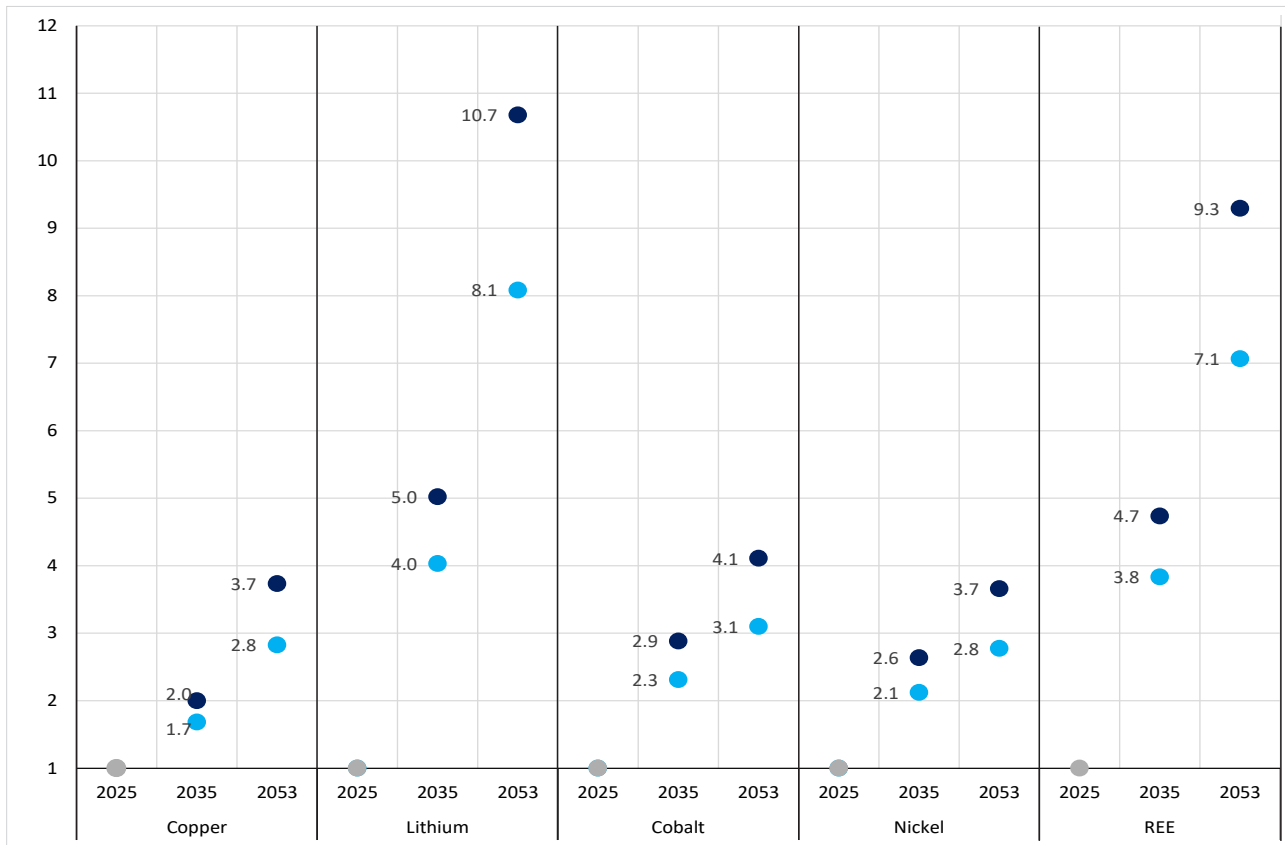
Aligned with these developments and technological trends, lithium is projected to experience the fastest growth in demand among critical energy minerals, with demand increasing by a factor of 4–5 by 2035 and 8–11 by 2053. Competition among battery chemistries and anticipated advances in new battery technologies after 2035, such as lithium-metal and sodium-ion batteries, may partially shift these multipliers upward or downward over the longer term. Annual demand for nickel and cobalt is expected to grow by a factor of 3–4 by 2053, largely driven by electric vehicle adoption.

Demand for rare earth elements (REEs) used in permanent magnets for clean energy technologies is also projected to rise strongly. With expanding electric vehicle and wind capacity, annual REE demand is estimated to increase by a factor of 7–9 by 2053, with approximately 80% of this demand attributable to electric vehicles. Copper will remain the most intensively used mineral in Türkiye's transition to a more electrified energy system. Rising consumption across electricity grids, wind and solar technologies, storage systems, and electric vehicles could more than triple annual copper demand by 2053. While grids currently account for the largest share of copper use at around 45%, growing demand from electric vehicles and energy storage will make these technologies more visible in future consumption profiles in the energy system.

6. The discovery of substantial Rare Earth Element (REE) resources represents a strategic opportunity spanning the entire value chain, from resource development to refining and the production of high-performance permanent magnets.

As a result of recent drilling activities in Beylikova, Eskişehir, a resource discovery of 694 Mt primarily comprising REEs, barite, and fluorite has been announced, corresponding to 12.5 Mt of REE resources. This major discovery positions the site as the world's second-largest in terms of REE resources. REEs are a priority component of Türkiye's energy and mining policies, with the strategic objective of becoming one of the world's top five producers in this field. In 2023, Türkiye commissioned its first pilot REE ore processing facility with an annual capacity of 1.2 kt. With the planned establishment of an industrial-scale REE refining facility of 570 kt/year, the target is to produce 10 kt/year of Rare Earth Oxides (REOs) from primary REE resources by 2030. Research and development and technology advancement in the REE field are being carried out by the Rare Earth Elements Research Institute (NATEN) under the Turkish Energy, Nuclear and Mineral Research Agency (TENMAK). A comprehensive study outlining strategies and action plans regarding REE technologies is expected to be released in the near term.

Figure 2. Demand Growth Outlook for Critical Energy Minerals (2025–2053, 2025 = 1)



The strategic importance of this discovery is reinforced by rapidly growing global demand, China's 91% share in global refining, the extensive use of REE minerals not only in clean energy technologies but also in critical sectors such as defense, recent export restrictions, and the urgent need for diversified and reliable supply chains. Although refining projects aimed at supply diversification are under development in various regions, even with timely commissioning, China's global market share is projected to decline to only around 75% by 2035. Excluding China's supply and domestic demand, only 42% of projected global demand in 2035 could be met.

Türkiye's evolving strategies prioritize not only the extraction and processing of REE resources but also the acquisition of advanced technological capabilities in refining and the manufacturing of high value-added products. Establishing sustainable production capacities for REE-based permanent magnets—which are critical for the automotive industry, wind technologies, and the defence sector, and for which China currently holds a 94% share of global supply—represents a strategic opportunity at the global level. Progress in this direction would allow Türkiye to meet rapidly growing domestic demand from local supply and emerge as an alternative supplier in global markets.

Several key development areas are critical to fully realizing this potential. It is essential that Türkiye's major resource discovery is supported by international-standard reserve verification and detailed transition studies from resource to reserve. The establishment of ore extraction, scaled production, and refining capacities, alongside a manufacturing base for high value-added strategic end products, will require substantial investments and the deployment of advanced technological solutions, currently implemented in only a limited number of countries worldwide. Investment in R&D, innovation capabilities, and strategic partnerships focused on technology transfer and localisation will further strengthen the effective utilisation of this potential.

If these developments are pursued within a strategic and holistic planning framework, Türkiye could assume a significant global role as an emerging REE player, extending through strategic end products. This progress could also position Türkiye as a leading country in the broader critical minerals sector, supporting energy security, industrial competitiveness, and technological advancement on a global scale.

7. Emerging global and national dynamics in lithium and battery storage technologies highlight significant potential for Türkiye to enhance its supply security and position as a global supply base.

Lithium remains the cornerstone mineral driving the rapid global expansion of battery technologies. Although research into alternative battery chemistries and materials is ongoing, current technical limitations, performance requirements, and cost structures suggest that lithium is unlikely to be substituted in the near term. Lithium, along with battery technologies more broadly, exhibits some of the highest levels of geographical concentration and single-country dependence in refining and end-product manufacturing worldwide. China, which accounts for roughly 70% of global lithium refining, controls approximately 90% of global battery supply. This concentration poses significant risks not only to energy security but also to a wide range of strategic sectors reliant on these technologies.

IICEC analyses indicate that Türkiye's foreign trade deficit in lithium is increasing rapidly and that lithium is expected to experience the fastest demand growth among critical energy minerals in the coming years. Lithium also ranks first on Türkiye's High-Importance Critical Minerals List. Despite the associated risks, Türkiye's initial steps in lithium production, coupled with the development of domestic battery institutions and technologies, create strategic opportunities, particularly as the global search for supply diversification intensifies.

While Türkiye does not yet possess economically proven lithium resources of significant scale, projects targeting lithium extraction from boron production are under development. Türkiye's globally leading boron reserves provide potential for scaling production capacities and developing related technological capabilities. Its rich geothermal resources also offer important opportunities for lithium production. Graphite, currently produced at a limited scale in Türkiye, is another mineral of growing global strategic importance. High-purity graphite demand is rising rapidly, while supply remains highly geographically concentrated. Türkiye is also a producer of nickel and cobalt, albeit at low scales compared to large global peers at present. The availability of iron and phosphate resources and their potential for increased production further strengthen opportunities for domestic battery manufacturing. Intensifying exploration, discovery, and production across all battery-critical minerals, therefore, represents a significant strategic opportunity.

Investments in battery manufacturing and the development of a supporting domestic ecosystem are highly positive developments. Rapid growth in battery installations, expected from 2026 onwards, will support the scaling of Türkiye's manufacturing base. By leveraging domestic production opportunities in battery minerals and technologies through focused technological development, Türkiye could emerge as a key production and supply hub, addressing growing global demand for alternative suppliers. Such a positioning would contribute not only to energy security and clean electrification but also to the expansion of value-added exports.

8. Across a wide range of critical energy minerals, there are significant opportunities including through international partnerships in regions such as Africa.

The widespread use of copper as a core component of electricity grids and across economies is driving strong and persistent global demand. At the same time, the projected global supply gap in copper mining, estimated to reach approximately 30% by 2035, points to structural risks for supply security in a mineral at the center of an electricity system. The inclusion of copper in the United States' updated Critical Minerals List in November further underscores its growing strategic importance. IICEC analyses indicate that, despite significant progress in Türkiye's copper mining and refined product production, a high foreign trade deficit persists, while demand is expected to continue rising. In this context, priority actions can include increasing mine production, supporting new discoveries, expanding processing capacities, managing supply and competitiveness risks, improving foreign trade balances, and safeguarding the sustainable development of electricity systems.

Aluminium is another critical energy mineral for Türkiye due to its specific characteristics. Türkiye is among the world's significant aluminium producers and maintains a net exporter position, including for intermediate and end products. Globally, aluminium's greater abundance relative to copper is advantageous for supply security. Although aluminium has lower conductivity than copper, its light weight and cost advantages make it an important component of electricity grids in Türkiye, as is the case worldwide⁵. Additionally, the potential to recover gallium from bauxite should be assessed, particularly for its applications in strategic sectors such as semiconductors.

Other critical minerals—including zinc, chromium, manganese, and boron—should be considered in light of their complementary roles in energy systems, taking into account Türkiye's current production, reserves, and value-added production potential. Zinc is notable for corrosion resistance, alloy applications, and emerging next-generation zinc-based battery technologies. Chromium enhances performance in clean energy technologies, while manganese remains a key component in specific battery chemistries. Boron, where Türkiye holds a significant share of global reserves, offers high value-added development potential across a wide range of applications, from advanced composites and nuclear technologies to energy storage and permanent magnets.

Globally, efforts to address supply concentration highlight Africa as a region with substantial, largely untapped mineral reserves. The continent holds over one-quarter of global graphite reserves, around 60% of cobalt, more than half of chromium, approximately 40% of manganese, and roughly 10% of copper reserves. Africa also accounts for 70% of global cobalt production, about three-quarters of manganese production, 20% of copper production, and over 10% of lithium production. Despite these reserves and recent increases in mining output, much of Africa's potential remains underutilized, with limited refining and equipment manufacturing capacity leading to the export of most minerals as raw or semi-processed materials. Türkiye could play a strategic role by developing targeted, mineral- and country-specific approaches, mobilising public and private investments, and establishing partnerships across the continent. Similar cooperation opportunities exist in other resource-rich regions, such as Latin America.

⁵ Sectoral assessments and IICEC analyses indicate that aluminum make up about half of the total mass in transmission and distribution grids, mainly driven by large use in overhead transmission lines.

Summary Assessment of Risks, Opportunities, and Development Areas

The analysis presented in this study indicates that Türkiye faces multidimensional and increasingly deepening risks across critical energy mineral supply chains. Primary risks arise from insufficient refining, technological, and value-added product capacities, which could exacerbate supply disruptions, increase external dependency, and widen foreign trade deficits in advanced products. These vulnerabilities have significant implications for energy security, the sustainability and competitiveness of electrification, and the emerging energy economy. Moreover, given the extensive use of critical minerals across strategic sectors—including electronics, automotive, aviation, and defence—supply shortfalls could have economic and security repercussions extending well beyond the energy sector. For instance, the competitive and sustainable development of Türkiye's automotive industry, one of its largest production and export sectors, relies on resilient critical mineral supply chains.

IICEC analyses also highlight significant opportunities for Türkiye. The global need for alternative suppliers to mitigate high geographical concentration of critical minerals reinforces Türkiye's potential to meet domestic demand in refining and technological production, while emerging as a regional and global player. Key enablers include the large-scale Rare Earth Element (REE) resource discovery and planned refining targets, positive developments in the battery ecosystem, and the persistent concentration of global supply for minerals critical to energy and strategic sectors such as defence, transport, and data centres. Mobilising Türkiye's largely untapped mineral exploration potential can support the development of an economically viable, diversified, and up-to-date reserve inventory. Establishing a comprehensive supply chain inventory from mining through manufacturing to end products would facilitate minerals, technologies, and investments-oriented roadmaps and enhance supply predictability.

Türkiye's geographical position adds strategic relevance in the current geopolitical context. Strong domestic demand dynamics, combined with proximity to high-demand regional markets with limited production capacity such as Europe and regions where critical mineral initiatives are advancing including the Caspian, position Türkiye as a key player in integrating secure regional supply chains. These opportunities could be further strengthened through targeted investments in mining and refining, particularly in Africa and Latin America, enabling Türkiye not only to secure its own supply but also to contribute to regional and global supply security.

Effectively managing these multidimensional risks and capitalising on emerging opportunities requires a strategic planning approach that holistically covers the entire value chain, integrates near-, medium-, and long-term policy instruments, and combines emergency mechanisms with investment, technological development, and diplomatic strategies. The forthcoming Strategy Document is expected to be a critical step in this direction. Progress in policy frameworks, investment models—including incentives—technological development, and international cooperation to support value-added production and value chain transformation will strengthen Türkiye's energy security and independence, support clean electrification with multiple co-benefits, enhance the supply security of other strategic sectors, promote higher value-added economic growth, and advance technology-oriented industrialisation, while reinforcing national security.

IIEEC Recommendations

IIEEC recommends the implementation of a holistic strategic planning approach across critical energy mineral supply chains in order to manage Türkiye's rising energy security, economic, and strategic risks, and to effectively leverage its potential and high value-added opportunities,

1. Defining stockpiling mechanisms and developing roadmaps that enhance high value-added production, supply diversification, and resilience to risks,
2. Establishing up-to-date, detailed, and integrated inventories across mining and the wider supply chain in order to identify economic potential and strengthen predictability,
3. Capitalizing on emerging opportunities to become a regional and global player in refining through long-term planning, strategic investment and technology models,
4. Strengthening investment incentive frameworks, innovation and R&D capabilities, workforce programmes, and institutional capacities to support value-added and sustainable growth.
5. Leveraging Türkiye's strategic location, diplomacy, and international cooperation to capture multidimensional economic and strategic benefits, including:
 - Positioning in mining and refining through public and private sector investments, particularly in Africa, where reserves and production potential are high,
 - Utilizing supply, trade, and recycling opportunities with markets where demand, security, diversification, and competitiveness needs are increasing,
 - Contributing to coordination mechanisms through active participation in the IEA Critical Minerals Security Program.
6. Adopting mineral- and technology-specific approaches, with particular emphasis on:
 - Developing the large Rare Earth Element resource discovery through a strategic value chain spanning from reserve verification to end products,
 - Materializing opportunities to become a production, innovation, and supply hub in lithium and battery technologies;
 - Advancing international and cross-sectoral cooperation focused on technological development in areas such as refining, battery cathode and anode materials, and high-efficiency permanent magnets,
 - Continuing to develop exploration, value-added production, and processing capacities in copper.

TÜRKİYE KRİTİK ENERJİ MİNERALLERİ GÖRÜNÜMÜ | 2025



Sabancı
Üniversitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY
ISTANBUL INTERNATIONAL
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE