



**Nadir Toprak Elementlerinin Jeolojik Oluşum Ortamları:  
Dünya ve Türkiye'den Örnekler**  
*Geological Formation Environments of Rare Earth Elements:  
Examples from Around the World and Türkiye*

**Okay Çimen<sup>1\*</sup> , Cahit Dönmez<sup>2</sup> **

<sup>1</sup> *Munzur Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, 62000, Tunceli, Türkiye*

<sup>2</sup> *MTA Uluslararası Madencilik A.Ş., 06530, Ankara, Türkiye*

• Geliş/Received: 19.12.2025 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 24.02.2026 • Kabul/Accepted: 24.02.2026  
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 13.04.2026 • Baskı/Printed: 30.04.2026

*Derleme Makale / Review Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Nadir toprak elementleri (NTE), başta NdFeB ve SmCo tipi kalıcı mıknatıslar olmak üzere savunma sanayi, enerji, elektronik, lazer ve sensör teknolojileri gibi stratejik alanlarda kullanılan kritik hammaddelerdir. 2000'li yıllardan itibaren küresel nadir toprak elementleri arzı, yüksek sermaye gereksinimleri ve çevresel düzenlemelerin getirdiği maliyetler nedeniyle Çin dışındaki üreticilerin rekabet gücünü yitirmesi sonucunda, madencilik, zenginleştirme ve ayırma süreçlerinde Çin'in baskın olduğu bir yapı kazanmıştır. Bu derleme çalışmasında, NTE'lerin jeolojik oluşum ortamları, yatak tipleri ve küresel rezerv-kaynak dağılımları bütüncül bir çerçevede ele alınmaktadır.

NTE mineralizasyonları, karbonatitler, alkalin magmatik sistemler ve Demir Oksit Bakır Altın (DOBA) yatakları gibi birincil jeolojik kaynaklar ile iyon-adsorpsiyon killeri, plaserler ve lateritik oluşumlar gibi ikincil kaynaklar içerisinde gelişmektedir. Birincil kaynaklar genellikle hafif NTE'lerce zengin ve yüksek maliyetli üretim süreçlerine sahipken, ağır NTE'ler çoğunlukla ikincil kaynaklardan elde edilmektedir. Dünya genelinde NTE rezervlerinin yaklaşık 90-120 Mt, potansiyel kaynakların ise ~480 Mt düzeyinde olduğu kabul edilmekte olup, Çin hem rezerv hem de kaynak bazında lider konumdadır. Avrupa'da Grönland, İsveç, Finlandiya, Norveç, Almanya ve Türkiye önemli NTE potansiyeline sahip bölgeler arasında yer almaktadır. Türkiye'de yatak ölçeğinde tanımlanmış başlıca NTE alanları Eskişehir-Kızılcaören (Beylikova) ve Malatya-Kuluncak sahalarıdır. Bu sahalar, alkalin magmatizma ile ilişkili olup özellikle Nd ve Pr (La ve Ce dışında) bakımından zengin karakter sergilemekte ve NdFeB mıknatıs üretimi açısından stratejik öneme sahiptir. Eti Maden tarafından yapılan son çalışmalar, Eskişehir-Kızılcaören sahasında yaklaşık 694 Mt büyüklüğünde ve %1,5-1,8 toplam NTE tenörüne sahip büyük ölçekli bir kaynak bulunduğunu göstermektedir. Eskişehir-Kızılcaören sahası Batı Anadolu'daki açılmalı tektonik rejimle ilişkiliyken, Malatya-Kuluncak sahası Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'nde gelişen Geç Kretase-Erken Paleosen yaşlı çarpışma sonrası alkalin magmatizmasıyla ilişkilidir. Türkiye genelinde benzer alkalin sistemlerin varlığı, NTE aramacılığı ve kritik mineral stratejileri açısından önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir.

Bu sentez, NTE arama stratejilerinin geliştirilmesine, küresel tedarik zincirlerinin çeşitlendirilmesine ve Türkiye'nin NTE potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalara bütüncül bir jeolojik referans çerçevesi sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Alkalin magmatizma, birincil jeolojik kaynaklar, ikincil jeoloji kaynakları, kritik mineraller, lateritleşme, nadir toprak elementleri.

**Abstract:** Rare earth elements (REEs) are critical raw materials used in strategic fields such as defense, energy, electronics, lasers, and sensor technologies, and particularly in the production of permanent magnets including NdFeB and SmCo types. Since the early 2000s, the global supply of rare earth elements has become dominated by China for mining, beneficiation, and separation processes, as non-Chinese producers have lost competitiveness due to high capital requirements and the costs imposed by environmental regulations. This review addresses the geological formation environments, deposit types, and global reserve–resource distributions of REEs within an integrated framework.

REE mineralization occurs within primary geological sources such as carbonatites, alkaline magmatic systems, and iron oxide copper–gold (IOCG) deposits, as well as in secondary sources including ion-adsorption clays, placers, and lateritic formations. Primary sources are generally enriched in light REEs and are characterized by high-cost production processes, whereas heavy REEs are predominantly obtained from secondary sources. Globally, REE reserves are estimated to be approximately 90–120 Mt, while potential resources are on the order of ~480 Mt, with China occupying a leading position in terms of both reserves and resources. In Europe, Greenland, Sweden, Finland, Norway, Germany, and Türkiye are among the regions with significant REE potential. In Türkiye, the principal REE areas defined at the deposit scale are the Eskişehir–Kızılcaören (Beylikova) and Malatya–Kuluncak districts. These districts are associated with alkaline magmatism and display enrichment particularly in Nd and Pr (beyond La and Ce), rendering them strategically important for NdFeB permanent magnet production. Recent studies conducted by Eti Maden indicate that the Eskişehir–Kızılcaören area hosts a large-scale resource of approximately 694 Mt with total REE grades of 1.5–1.8%. The Eskişehir–Kızılcaören area is related to the extensional tectonic regime of Western Anatolia, whereas the Malatya–Kuluncak area is associated with post-collisional alkaline magmatism of Late Cretaceous–Early Paleocene age developed within the Central Anatolian Crystalline Complex. The presence of similar alkaline systems across Türkiye indicates significant potential for REE exploration and critical mineral strategies.

This synthesis provides a comprehensive geological reference framework for the development of REE exploration strategies, the diversification of global supply chains, and evaluation of Türkiye's REE potential.

**Keywords:** Alkaline magmatism, critical minerals, lateritization, primary geological resources, rare earth elements, secondary geological resources.

## GİRİŞ

Nadir toprak elementleri (NTE), periyodik tabloda atom numaraları 57-71 arasında yer alan ve lantanitler serisi olarak tanımlanan 15 elementten oluşan bir gruptur. Bu grup; lantanyum (La), seryum (Ce), praseodimiyum (Pr), neodimiyum (Nd), prometyum (Pm), samaryum (Sm), evropiyum (Eu), gadolinyum (Gd), terbiyum (Tb), disprosyum (Dy), holmiyum (Ho), erbiyum (Er), tulyum (Tm), iterbiyum (Yb) ve lütesyum (Lu) elementlerini kapsamaktadır. Kimyasal ve jeokimyasal özellikleri açısından lantanitlerle önemli benzerlikler gösteren skandiyum (Sc, 21) ve itriyum (Y, 39) elementleri, Uluslararası Saf ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) tarafından nadir toprak elementleri grubuna dâhil edilmektedir. Bu iki element, özellikle üç değerlikli iyon durumlarında lantanitlerle benzer

iyonik yarıçaplara ve kimyasal davranışlara sahiptir. Nadir toprak elementleri, elektron konfigürasyonları ve atomik yarıçaplarındaki sistematik değişime bağlı olarak genellikle iki ana alt grupta sınıflandırılmaktadır. Buna göre hafif nadir toprak elementleri (HNTE) grubu La, Ce, Pr, Nd, Sm ve Eu elementlerini içerirken, ağır nadir toprak elementleri (ANTE) grubu Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu elementlerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte, bazı araştırmalarda samaryum (Sm), evropiyum (Eu) ve gadolinyum (Gd) elementleri geçiş özellikleri göstermeleri nedeniyle orta nadir toprak elementleri (ONTE) başlığı altında ayrı bir alt grup olarak değerlendirilmektedir (Çimen, 2025).

NTE'ler, sahip oldukları özgün kimyasal ve fiziksel özellikler nedeniyle günümüzde birçok yüksek teknoloji uygulaması için vazgeçilmez

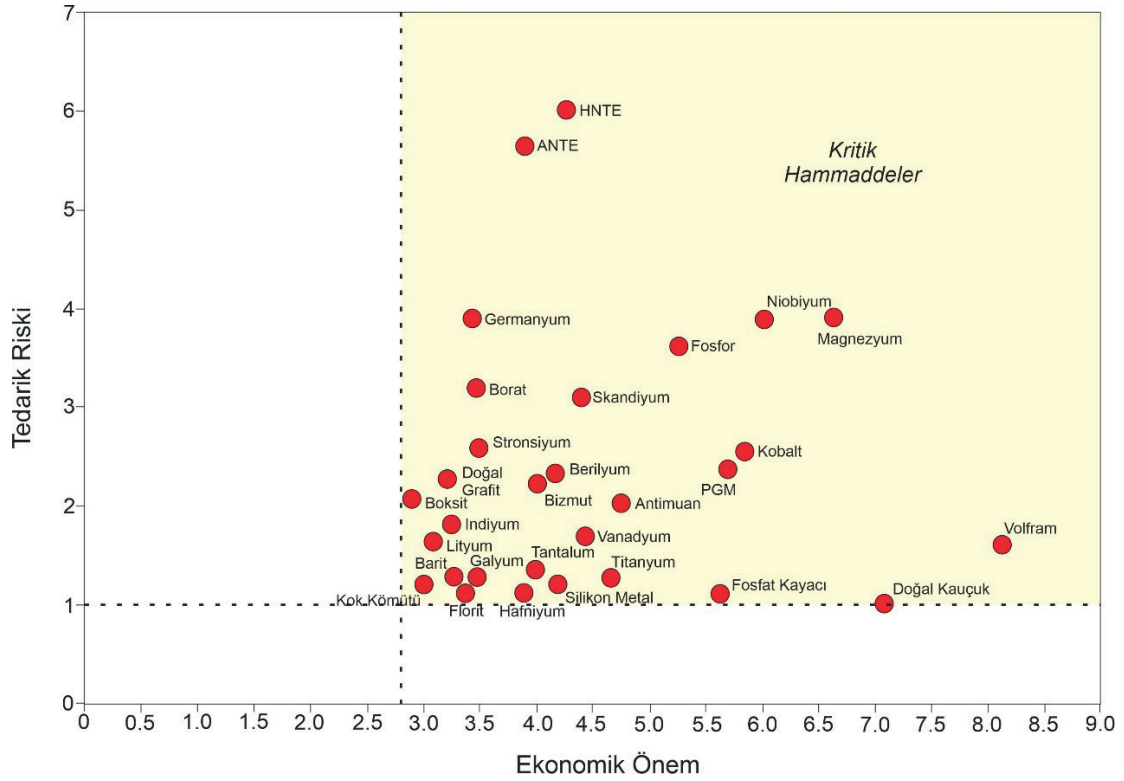
ve stratejik öneme sahip hammaddeler arasında yer almaktadır. Savunma sanayi, yenilenebilir enerji altyapıları, güneş enerjisi sistemleri, elektrikli araç teknolojileri ile bilgisayarlar ve akıllı telefonlar gibi ileri teknoloji ürünlerinin üretiminde NTE'ler kritik bileşenler olarak kullanılmaktadır (Goodenough vd., 2018). Nd, Dy ve Pr elementleri başta olmak üzere bazı NTE'ler, rüzgâr türbinleri, sabit disk sürücülerini ve elektrikli araç motorlarında kullanılan yüksek performanslı kalıcı mıknatısların üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir. Buna karşılık, Eu, Y, Tb, La ve Ce elementleri; fosfor esaslı floresan aydınlatma sistemleri, akıllı telefon ekranları ve batarya teknolojileri açısından kritik öneme sahip bileşenler arasında yer almaktadır (Guyonnet vd., 2015; Goodenough vd., 2018).

Küresel ölçekte NTE'lerin endüstriyel üretimi ilk kez 1952 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan Mountain Pass yatağında başlamıştır. Bu elementlerin ticari ve endüstriyel kullanım alanları ise 1960'lı yılların başında, özellikle enformasyon teknolojileri ve petrol endüstrisi başta olmak üzere çeşitli sektörlerde yaygınlaşmaya başlamıştır. 1985 yılında Çin tarafından uygulamaya konulan ihracat vergisi indirimleri ve buna eşlik eden teşvik politikaları sonrasında, küresel NTE üretiminin ağırlık merkezi büyük ölçüde Çin'e kaymıştır. Küresel ölçekte zaman zaman yaşanan ekonomik dalgalanmalara ve krizlere rağmen, ileri teknoloji uygulamalarında NTE'lere duyulan ihtiyaç doğrultusunda bu elementlere yönelik talep artışı süreklilik göstermiş ve günümüze kadar kesintisiz biçimde devam etmiştir (Zhou vd., 2017). Tarihsel üretim verileri incelendiğinde, 1985-1995 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya ve Çin'in benzer NTE üretim paylarına sahip olduğu görülmektedir. Buna karşılık, özellikle 2005-2010 yılları arasında Çin'in üretim kapasitesini hızla artırmasıyla birlikte, küresel NTE arzında neredeyse tekel konumuna yükseldiği anlaşılmaktadır. Son yıllarda Çin'in küresel NTE üretimindeki baskın konumu kısmen azalmış

olmakla birlikte, yaklaşık %70 düzeyindeki payı ile hâlen ana üretici konumunu sürdürmektedir (Liu vd., 2023).

NTE'lerin yer kabuğundaki mutlak bolluklarının düşük olmasından ziyade, bu elementlerin zenginleştirilmesi ve birbirlerinden ayrılarak saflaştırılmasında karşılaşılan teknik ve ekonomik güçlükler bulunmaktadır. Yapay olarak üretilen ve radyoaktif özellik gösteren prometyum (Pm) dışında kalan NTE'ler, doğada yaygın olarak bulunmakta olup yer kabuğundaki ortalama bollukları yaklaşık 0,3 ppm ile 163 ppm arasında değişmektedir. Bununla birlikte, bu elementlerin yüksek ergime sıcaklıkları (yaklaşık 798 °C–1663 °C) ve benzer kimyasal davranışları, metalürjik ve kimyasal işlem süreçlerini önemli ölçüde zorlaştırmaktadır (EuRare, 2018). Günümüzde ileri teknoloji uygulamalarının vazgeçilmez bileşenleri arasında yer alan NTE'ler, sahip oldukları görece yüksek ekonomik değer ve daha da önemlisi yüksek tedarik riski nedeniyle stratejik öneme sahip hammadde grupları arasında değerlendirilmektedir. Bu artan stratejik önem doğrultusunda, Avrupa Birliği tarafından 2011 yılından itibaren üçer yıllık periyotlarla yayımlanan Kritik Hammaddeler Listesi'nde NTE'ler, sürekli olarak en yüksek tedarik riski taşıyan hammaddeler arasında yer almaktadır (EC, 2020; Çimen, 2025; Şekil 1).

Yüksek teknoloji uygulamalarında NTE'lerin kullanımının zorunlu hâle gelmesi ve buna karşılık hammadde tedarikinde önemli risklerin bulunması, NTE madenciliğine yönelik talep artışının önümüzdeki dönemde de devam edeceğine işaret etmektedir. Bu doğrultuda, küresel ölçekte NTE potansiyelinin ortaya konulmasına yönelik arama ve keşif projeleri son yıllarda hız kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında, NTE'lerin jeolojik oluşum ortamları ayrıntılı biçimde ele alınmakta; farklı yatak tipleri çerçevesinde dünya genelinden ve Türkiye'den seçilmiş örnekler sunularak NTE oluşumlarının karşılaştırmalı bir değerlendirmesi yapılmaktadır.



**Şekil 1.** Kritik Hammaddeler içerisinde NTE'lerin pozisyonu (HNTe: Hafif NTE'ler, ANTE: Ağır NTE'ler, PGM: Platin Grubu Metaller, Avrupa Komisyonu, 2020; Çimen, 2025).

**Figure 1.** Position of REEs among critical raw materials (LREE: Light REEs, HREE: Heavy REEs, PGM: Platinum Group Metals; European Commission, 2020; Çimen, 2025).

## JEOLJİK OLUŞUM ORTAMLARI

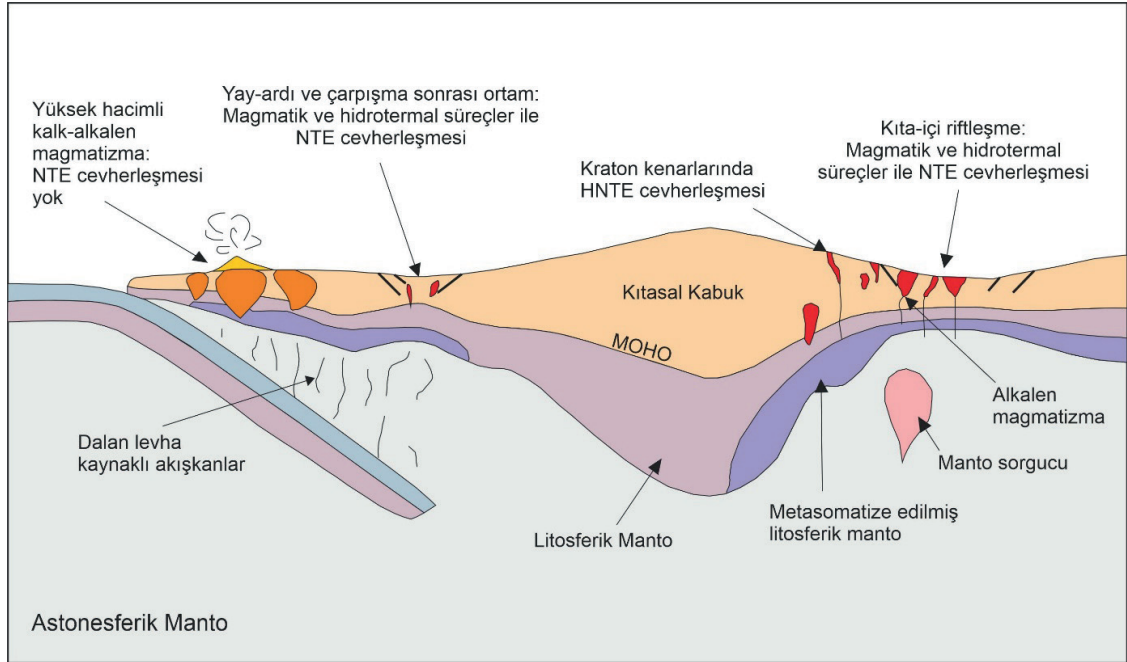
### Birincil ve İkincil Jeolojik Kaynaklar

NTE'lerin cevherleşme ortamları, oluşum süreçleri temel alınarak birincil magmatik sistemler ve ayrışma, aşınma, taşınım ve depolanma süreçleri sonucunda gelişen ikincil sistemler olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmektedir. Küresel ölçekte yüksek tenör ve büyük rezerv potansiyeline sahip NTE yatakları çoğunlukla birincil magmatik sistemlerle ilişkili olup, başta karbonatitler ve alkalen kompleksler olmak üzere, yer yer demir-oksit bakır-altın (DOBA) yatakları ile birlikte bulunmaktadır (Zhou vd., 2017). Buna karşılık, genellikle daha sınırlı rezerv ve tenör değerlerine sahip olmakla birlikte, madencilik ve zenginleştirme açısından nispeten daha elverişli olan plaser yatakları, iyon absorpsiyon killeri,

lateritik oluşumlar ve fosforitler, NTE açısından ikincil sistemleri temsil etmektedir (Cocker, 2012). Birincil magmatik sistemlerle ilişkili NTE cevherleşmelerinin geliştiği jeolojik ortamlar incelendiğinde, bu tür oluşumların çoğunlukla kıta-içi riflleşme, yay-ardı ve çarpışma sonrası tektonik ortamlarda gerçekleşen magmatik ve hidrotermal süreçlerle ilişkili olduğu görülmektedir. Buna karşın, yüksek hacimli kalk-alkalen magmatizmanın baskın olduğu aktif yay ortamlarında ekonomik öneme sahip NTE cevherleşmelerine genellikle rastlanmamaktadır (Şekil 2; Goodenough vd., 2016). Birincil magmatik sistemlerde NTE cevherleşmeleri çoğunlukla bastnazit, monazit, ksenotim, ödialit, allanit, zirkon ve apatit gibi minerallerde yoğunlaşmakta; buna daha nadir gelişen farklı NTE mineralleri eşlik edebilmektedir (Cocker, 2012).

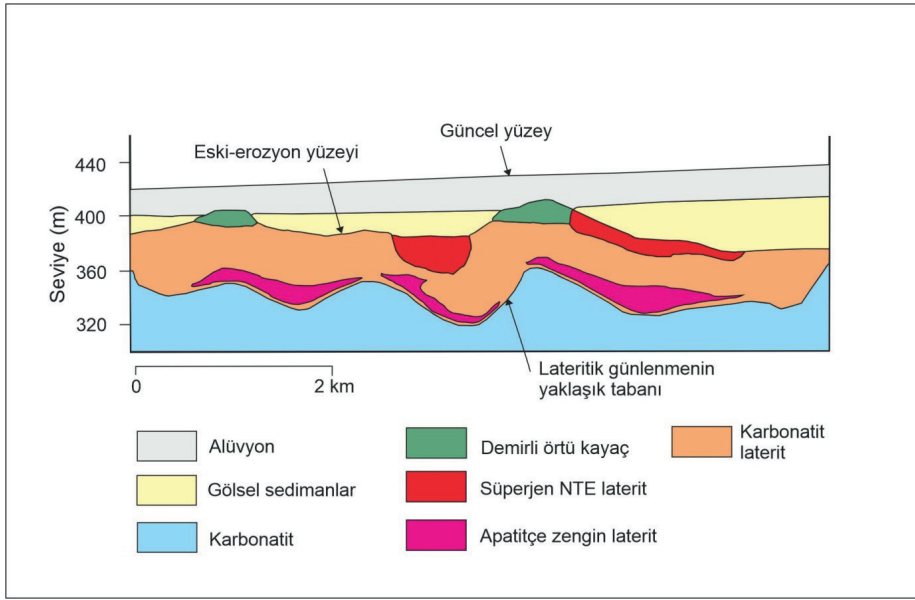
Sıcak ve nemli iklim koşulları altında gelişen yoğun kimyasal ayrışma süreçleri sonucunda oluşan lateritler, ekonomik ölçekte NTE içerebilen önemli ikincil cevherleşme ortamları arasında yer almaktadır (Şekil 3, Cocker, 2012). Bu tür ortamlarda gerçekleşen ileri derecedeki günlenme süreçleri, birincil ana kayalardan türeyen Al, Fe, Mn, Ni, Au, P ve Nb gibi elementlerin belirgin biçimde zenginleşmesine olanak sağlamaktadır. Söz konusu elementlerin, normal koşullar altında birincil minerallerden (örneğin Ni'nin olivinlerden, Al'un mika, kil veya feldispatlardan) doğrudan ve ekonomik olarak kazanılması genellikle güçtür. Lateritleşme süreci, kayaların mineralojik bileşimini ve buna bağlı olarak mineraller içerisindeki kimyasal bağ yapısını köklü biçimde değiştirmektedir. Bu süreç sonucunda Al içeren mikalar ve killer boksitlere, olivin ise garniyerit, Ni-zengin smektit veya Ni içeren götit gibi ikincil minerallere dönüşmektedir.

Bu tip sistemlerde NTE potansiyeli taşıyan alkalen kimyaya sahip kayaların uzun süreli fiziksel ve kimyasal ayrışmaya uğraması sonucunda NTE'ler mobilize olmakta ve özellikle kil minerallerinin yüzeylerinde adsorbe olarak NTE birikimi için elverişli jeokimyasal koşulları sağlamaktadır (Zhu vd., 2022). Bu mineralojik dönüşüm, metal kazanımını teknik ve ekonomik açıdan daha elverişli hâle getirmektedir. Asya, Avustralya, Afrika ve Güney Amerika'da, seviyelerde NTE içeriğine sahip çok sayıda lateritik oluşum tanımlanmıştır (Cocker, 2012). Özellikle Güneydoğu Çin'de lateritleşmiş granitik kayalar, 1980'li yıllardan itibaren ANTE'lerin başlıca kaynaklarından biri olarak işletilmektedir ve dünya ANTE rezervlerinin %80'den fazlasının bu bölgede bulunduğu kabul edilmektedir. Benzer şekilde, Avustralya'daki Mt. Weld yatağı da lateritik sistemlere dayalı NTE üretimine örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2. Alkalen magmatik kayalar ve karbonatitler ile ilişkili NTE cevherleşmelerine ait jeolojik ortamlar (Goodenough vd., 2016'dan değiştirilmiştir).

Figure 2. Geological settings of REE mineralization associated with alkaline igneous rocks and carbonatites (modified after Goodenough et al., 2016).



**Şekil 3.** İkincil lateritik sistemlerle ilişkili NTE cevherleşmesine bir örnek (Mt. Weld-Avustralya, Cocker, 2012'den değiştirilmiştir).

**Figure 3.** An example of REE mineralization associated with secondary lateritic systems (Mt Weld, Australia; modified after Cocker, 2012).

### Jeolojik Oluşum Ortamının Metalurjik Süreçlere Etkisi

NTE'lerin zenginleştirilmesi ve saflaştırılmasına yönelik proseslerde mineralojik bileşim, süreç verimliliğini belirleyen en kritik parametrelerden biri olarak değerlendirilmektedir; zira her bir mineral fazı, kendine özgü teknik yaklaşımlar ve işlem akış şemaları gerektirmektedir (Jordens vd., 2013). Bu bağlamda, odialit, zirkon ve allanit gibi silikat yapıları ve refrakter özellik gösteren minerallerden NTE kazanımı hem teknik zorluklar hem de yüksek işlem maliyetleri nedeniyle sınırlayıcı bir unsur oluşturmaktadır. Buna ek olarak, ANTE'lerin, HNTE'lere kıyasla zenginleştirilmesi ve saflaştırılması süreçleri, daha karmaşık kimyasal davranışları nedeniyle önemli ölçüde daha zahmetlidir. Lateritik ve iyon absorpsiyon sistemlerinde ise NTE'ler çoğunlukla mineral yüzeylerine hidrasyon katyonları veya hidroksil-hidrasyon katyonları biçiminde zayıf bağlarla adsorbe edilmiş durumda bulunmaktadır. Bu özellik, inorganik tuzlarla iyon değişimi, zayıf

hidroklorik asit liçi ve solvent ekstraksiyonu gibi yöntemler aracılığıyla NTE kazanımının, birincil silikatlı sistemlere kıyasla daha kolay ve düşük maliyetli biçimde gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamaktadır (Cocker, 2012).

Dünya genelindeki başlıca NTE yataklarının tenör ve rezerv değerleri incelendiğinde, Bayan Obo (Çin), Strange Lake (Kanada), Zandkopsdrift (Güney Afrika), Mountain Pass (ABD) ve Bear Lodge (ABD) gibi birincil magmatik sistemlerle ilişkili NTE cevherleşmelerinde toplam nadir toprak oksit ( $\Sigma$ NTO) tenörlerinin yaklaşık %1,16 ile %8,24 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 1). Buna karşılık, lateritik ayrışma ve zenginleşme süreçleriyle ilişkili sistemlerde NTE tenörleri daha geniş bir aralıkta dağılmakta olup, yaklaşık %0,035 ile %11,7 arasında değişmektedir. İkincil sistemlerde NTE'lerin zenginleştirilmesi ve saflaştırılması süreçlerinin, birincil magmatik sistemlere kıyasla daha basit ve düşük maliyetli olması nedeniyle, bu tür ortamlarda nispeten düşük tenörler dahi ekonomik

olarak işletilebilir kabul edilmektedir (örneğin %0,4 ve üzeri). Çin'de yer alan Jianghua sahası bu genellemeye bir istisna oluşturmaktadır. Çizelge 1'de de gösterildiği üzere, bu saha dünya genelinde nadir bulunan ve birim fiyatları daha yüksek olan ağır nadir toprak elementleri (ANTE) bakımından zengin içeriği sayesinde, toplam NTE tenörü daha düşük olmasına rağmen ekonomik olarak değerlendirilebilir niteliktedir. Güneydoğu Çin'deki granitik kayaçların lateritik günlenmesi sonucu gelişen bu tür ekonomik NTE cevherleşmeleri, literatürde iyon absorpsiyon tipi yataklar olarak tanımlanmaktadır. Sahada yaklaşık %0,03 tenöre sahip 13,5 milyon ton hafif NTE ile %0,5 tenöre sahip 2,13 milyon ton ağır NTE rezervi rapor edilmiştir. Cevher zonlarının kalınlığı yaklaşık 0,3 m ile 20 m arasında değişmektedir (Cocker, 2012).

### Önemli NTE Yataklarının Jeolojik Özellikleri

NTE üretimi açısından dünyanın en önemli cevherleşme alanı olarak kabul edilen Bayan Obo (Çin) sahasında ortalama NTE tenörü %6, rezerv

miktarı ise yaklaşık 48 Mt olarak rapor edilmiştir (Çizelge 1). Toplam kaynak miktarının yaklaşık 100 Mt düzeyinde olduğu ve ANTE oranının %1,13 seviyesinde bulunduğu belirtilmektedir (Liu vd., 2023). Sahada NTE üretiminin yanı sıra demir ve florit üretimi de gerçekleştirilmekte olup, cevherleşme önemli miktarda Nb içeriğiyle de dikkat çekmektedir. Yatak içerisindeki cevher kütleleri mercek şekilli olup yaklaşık doğu-batı (D-B) doğrultuludur ve güneye eğimlidir. Bu kütleler, D-B uzanımlı dolomitler içerisinde konumlanmaktadır. Karbonatit plütonu ile yan kayaçlar (metamorfik temel ve sedimanter birimler) arasındaki temas zonunda yoğun alkali hidrotermal alterasyon gelişmiştir (She vd., 2025). Yatakta gözlenen NTE mineralizasyonunun karbonatit magmatizması ile ilişkili olduğu görüşü literatürde büyük ölçüde kabul görmektedir (Li vd., 2025 ve içerisindeki referanslar). Bununla birlikte, cevherleşmenin yaşına ilişkin olarak 1800 My ile 390 My arasında değişen çok sayıda yaş verisi yayımlanmış olup, henüz kesin bir görüş birliği sağlanamamıştır (Fan vd., 2016 ve içerisindeki referanslar).

**Çizelge 1.** Bazı büyük NTE yatakları için tenör ve rezerv bilgileri ( $\Sigma\text{NTO}=\text{NTO}+\text{Y oksit}$ , Cocker, 2012).

**Table 1.** Grade and reserve information for some major REE deposits ( $\Sigma\text{REO} = \text{REO} + \text{Y}_2\text{O}_3$ ; Cocker, 2012).

Yatak Adı	Ülke	Kaynak Kayacı	Lateritleşme	Tenör	Rezerv (Mt)
Ngulla	Tanzanya	Karbonatit	Evet	%2,24 NTO	170
Bayan Obo	Çin	Demir Oksit-bakır-altın (IOCG)	Hayır	%6 $\Sigma\text{NTO}$	48
Strange Lake	Kanada	Alkale kompleks	Hayır	%1,16 NTO	36,53
Mt. Weld	Avustralya	Karbonatit	Evet	%7,9-11,7 NTO	23,94-9,7
Zandkopsdrift	Güney Afrika	Karbonatit	Hayır	%2,32 NTO	22,92
Tantalus	Madagaskar	Granit	Evet	%1,52 NTO	14,4
Mt. Pass	ABD	Karbonatit	Hayır	%8,24 NTO	13,6
Bear Lodge	ABD	Alkale kompleks	Hayır	%3,6 NTO	10,7
Dong Pao	Vietnam	Granit	Evet	%5,22 NTO	7,4
Araxa	Brezilya	Karbonatit	Evet	%5 $\Sigma\text{NTO}$	6,34
Jianghua	Çin	Granit	Evet	%0,035 $\Sigma\text{NTO}$	0,012
Mabounie	Gabon	Karbonatit	Evet	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Madeira	Brezilya	Karbonatit	Evet	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Pitinga	Brezilya	Apogranit	Evet	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Stromberg	Avustralya	Altere tüflü kumtaşı	Evet	%0,43 $\Sigma\text{NTO}$	Bilinmiyor

Bu geniş yaş aralığı, çok fazlı bir mineralizasyon sisteminin varlığına işaret etmektedir. Çin sınırları içerisinde Bayan Obo dışında öne çıkan diğer önemli NTE yatakları arasında Maoniuping (Sichuan), Weishan (Shandong), Xunwu ve Longnan (Jiangxi) ile Longyan (Fujian) yer almakta olup, bu yataklar karbonatitler, kuvars siyenitler ve alkali granitlerle ilişkili olarak gelişmiştir (Wu vd., 1996).

Diğer bir NTE üretimi yapılan önemli cevherleşme sahası ABD'nin Californiya Eyaletinde bulunan Mountain Pass yatağıdır. Bu yatak ihtiva etmiş olduğu %8,24 NTE tenörü ve 13,6 Mt'luk rezervi ile Çin dışında NTE madenciliği yapılan en önemli sahalardan biridir (Çizelge 1). Yatak tipik bir HNTE baskın cevherleşmeyi ihtiva etmektedir ve ANTE oranı %0,49 düzeyindedir (Liu vd., 2023). Mountain Pass karbonatiti ve ilişkili alkali kayaçlar, yaklaşık 130 km uzunluğa sahip dar bir alkali kayaç kuşağı içerisinde yer almaktadır ve NTE cevherleşmesini barındıran Sulphide Queen karbonatiti, orta derecede eğimli ve tabakamsı bir intrüzyon niteliğindedir. Bu kütle, yaklaşık 1400 My yaşında, benzer boyut ve doğrultuya sahip alkali plütonlarla birlikte gelişmiş olup, bölgede yaygın olarak gözlenen karbonatit ve alkali dayklarla mekânsal ve genetik ilişki göstermektedir (Castor, 2008). Bölgedeki Sulphide Queen karbonatiti iki ana karbonatit grubundan oluşmaktadır: a) Cevher tipleri, bastnazit-barit-sovit bileşimli kalsit karbonatitler ile bastnazit-barit-dolomit bileşimli dolomit karbonatitleri ve bunların karışımlarını içermektedir. b) Diğer tipler ise, parasit ve monazit gibi mineraller içeren hem kalsit hem de dolomit karbonatitlerden oluşmaktadır (Qasim vd., 2024). Cevher kütlesi mekansal olarak sınırlı bir yayılıma sahip olsa da (en geniş kesimde yaklaşık 700 m genişliğe ve en fazla 150 m kalınlığa ulaşmaktadır), yüksek tenörü sayesinde ekonomik açıdan oldukça değerli bir yatak niteliği taşımaktadır (Castor, 2008).

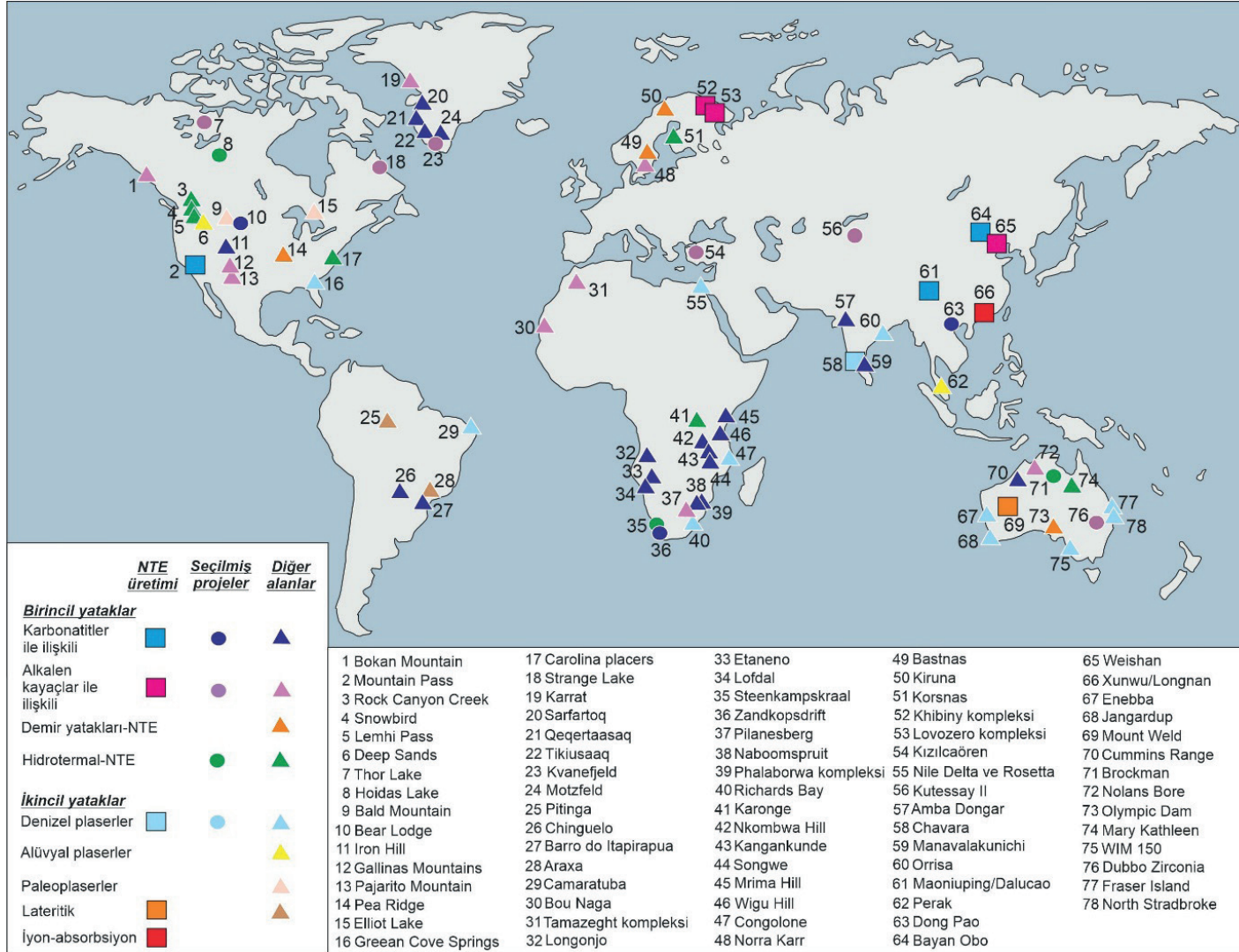
İkincil sistemlere iyi bir örnek olan Mount Weld yatağı (Batı Avustralya), dünya ölçeğinde bir NTE yatağı olup, 2011 yılında işletmeye açılmasından bu yana küresel REE arzında önemli bir kaynak haline gelmiştir. Yatak içerisindeki tenör oranı %7,9-11,7 arasında değiştirmektedir ve 23,94 Mt seviyesinde rezerve sahiptir (Çizelge 1). İlgili sahanın ANTE oranı ise %3,97 seviyesindedir (Liu vd., 2023). Mount Weld yatağı, intrüzif bir karbonatit stokunun ayrılmış üst zonu içerisinde yer almaktadır (Lottermoser, 1990). Yatakta ortalama NTE tenörü %9,8 düzeyinde olup, NTE içerikleri yer yer %45 seviyesine kadar ulaşmaktadır. Bu yüksek tenör değerleri, Mount Weld'i dünya üzerindeki en zengin NTE yatakları arasına yerleştirmektedir (Zhukova vd., 2021 ve içerisindeki referanslar). Mount Weld, dünya genelindeki Ngualla (Tanzanya), Bonga (Angola), Chilwa Island ve Mirima Hill (Malavi) gibi diğer karbonatit kompleksleriyle benzer litolojik özellikler sergilemektedir. Bu tip komplekslerde yaklaşık 600 m çapında merkezi bir magnezyokarbonatit-ferrokarbonatit birimi bulunmakta; bu çekirdek, yaklaşık 1,2 km genişliğinde bir kalsiyokarbonatit halkası ile çevrelenmektedir. Tüm sistem ise dış kesimde gelişmiş bir fenitleşme zonu ile kuşatılmıştır (Chandler vd., 2024). Mount Weld karbonatitinden elde edilen monazit-(Ce) üzerinde gerçekleştirilen Th-Pb yaşı ( $2056 \pm 67$  Ma), birincil mineralizasyonun yaşı için Paleoproterozoik döneme işaret etmektedir (Zhukova vd., 2021). Yatak içerisinde NTE'ler, çeşitli demir oksit, hidroksit ve oksihidroksitler (özellikle götit ve limonit) içerisinde ince taneli olarak yayılmış ikincil NTE-fosfat mineralleri bünyesinde bulunmaktadır ve bu mineralojik özellik, yataktaki REE zenginleşmesinin büyük ölçüde süperjen alterasyon ve ayrışma süreçleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir (Cook vd., 2023 ve içerisindeki referanslar). İkincil sistemlere örnek olarak diğer bir önemli NTE yatak türü olan iyon-adsorpsiyon tipi yataklar başlıca

Çin'in Jiangxi, Guangxi, Guangdong ve Fujian gibi güney eyaletlerinde yoğunlaşmıştır. Bu bölgeler, küresel ANTE üretiminin büyük kısmını karşılamakta olup, özellikle ayrılmış granitler üzerinde gelişen kil mineralleri yüzeylerine adsorbe olmuş NTE'ler ile karakterize edilmektedir (Guo vd., 2024). Örneğin, Jianghua yatağı 12.000 t civarında bir rezerv ile 350 ppm oranında bir tenöre sahiptir (Çizelge 1). Tüm bölgelerin 200 ppm NTE içeriği ile 8,4 Mt'luk bir kaynak potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir ve ANTE oranı %51,1 seviyesindedir (Liu vd., 2023). Bu tarz sistemlerde uygun ana kayaçlar arasında alkali mafik ve ultramafik kayaçlar, NTE bakımından zengin granit, siyenit, riyolit ve çeşitli metamorfik kayaçlar yer almaktadır ve bunların uzun süreli fiziksel ve kimyasal ayrışma süreçlerine maruz kalması ile NTE'lerin serbestleşmesi ve özellikle kil mineralleri üzerinde adsorpsiyon yoluyla zenginleşmesi için elverişli bir ortam oluşturmaktadır (Zhu vd., 2022). Jiangxi, Guangdong ve Fujian gibi bölgelerde iyon-adsorpsiyon tipi NTE yatakları, genellikle düşük rakımlı (100-300 m), hafif eğimli ve iyi drene olmuş tepelik alanlarda gelişmektedir. Ancak, daha yüksek rakım ve enlemlerde de Hedi sahası (Zhejiang Eyaleti) gibi benzer yataklar tanımlanmıştır ve bu tür oluşumların daha yüksek topoğrafik ve kuzey konumlu alanlarda da gelişebildiğine işaret etmektedir (Guo vd., 2024 ve içerisindeki referanslar). Örneğin, Qingyuan iyon-adsorpsiyon tipi NTE yatağının ana kayacını oluşturan biyotit monzogranit porfirinin, geç Yanshaniyen (135 My) döneminde Zhejiang ile Fujian eyaletleri arasındaki sınır bölgesinde olduğu öne sürülmüştür (Chen vd., 2020). Yatağın kil minerali içerikleri %4 ile %47 (ağırlıkça) arasında değişmekte olup, tanımlanan kil mineralleri başlıca kaolinit (yer yer halloysit formunda) olup, buna ikincil düzeyde illit ve iz

miktarda gibsit eşlik etmektedir (Guo vd., 2024). Özetle, yüksek NTE içeriğine sahip granitik kayaçlar, metamorfik ya da magmatik-hidrotermal süreçler, sıcak ve nemli iklim koşulları, düşük eğimli topoğrafya, geniş alanlı yayılım ve kalın granitik regolit gelişimi gibi parametrelerin varlığı iyon-adsorpsiyon tipi NTE yataklarının oluşumu açısından son derece önemlidir (Zhu vd., 2022).

## **DÜNYA GENELİ REZERV VE KAYNAK DURUMU**

Günümüzde dünya genelinde aktif olarak NTE madenciliği yapılan maden yatağı sayısı sınırlı olup yaklaşık 9 saha ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte, küresel ölçekte NTE potansiyeline sahip çok sayıda cevherleşme alanı tanımlanmış durumdadır ve bu alanların bir kısmı, NTE madenciliği amacıyla geliştirilmekte olan yeni hedef sahalar konumundadır (Şekil 4; Walters vd., 2011). Barakos vd. (2015) tarafından, halen NTE üretimi yapılan yataklar jeolojik oluşum türlerine göre birincil ve ikincil yataklar olarak sınıflandırılmıştır. Söz konusu sınıflandırma çerçevesinde, gerek birincil magmatik sistemlerle ilişkili yatakların gerekse ikincil süreçler sonucunda gelişen cevherleşmelerin, ekonomik açıdan işletilebilir düzeyde rezerv ve tenör değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Dünya NTE ihtiyacı hâlen büyük ölçüde Güneydoğu Asya'daki madencilik faaliyetleriyle karşılanmaktadır. Buna karşılık, potansiyel NTE cevherleşme alanlarının başta Avustralya, Güney Afrika ve Kuzey Amerika olmak üzere belirli kıtalarda yoğunlaştığı dikkat çekmektedir (Şekil 4). Buna ek olarak, dünya genelinde tanımlanmış 11 NTE cevherleşme alanı için işletmeye yönelik geliştirme ve fizibilite çalışmaları sürdürülmekte olup, bu sahaların orta ve uzun vadede küresel NTE arzına katkı sağlaması beklenmektedir.

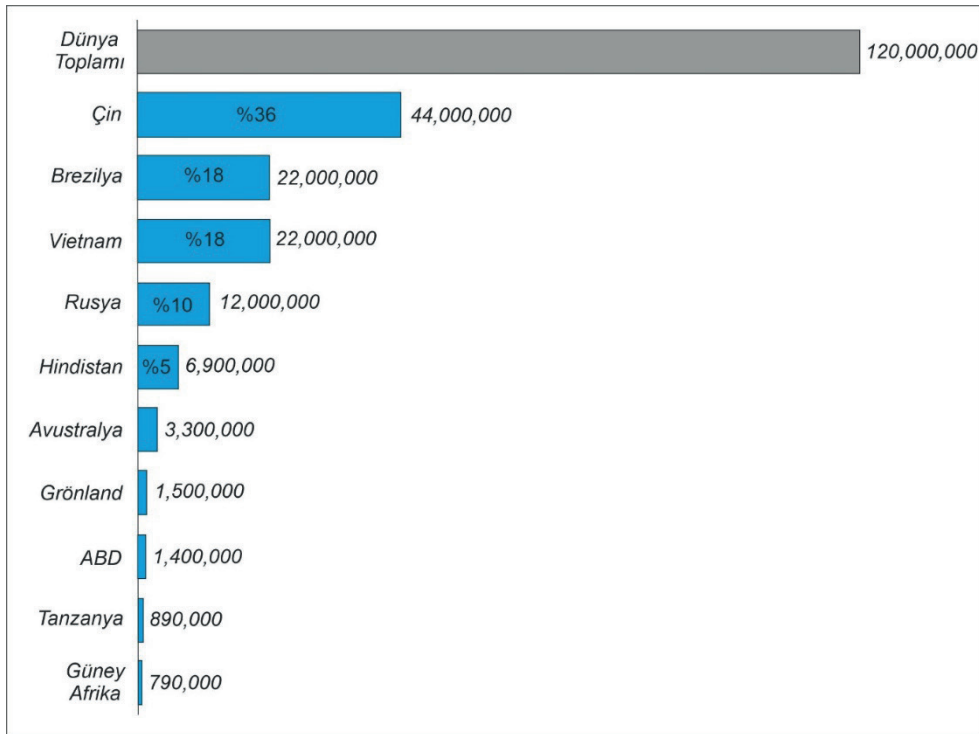


Şekil 4. Dünya genelinde NTE üretimi yapılan, seçilmiş önemli projeler ve diğer cevherleşme alanlarını gösteren lokasyonlar (Walters vd., 2011 ve Barakos vd., 2015'ten değiştirilmiştir).

Figure 4. Locations of selected major REE production projects and other significant mineralized areas worldwide (modified after Walters et al., 2011 and Barakos et al., 2015).

Küresel ölçekte toplam NTE rezervinin yaklaşık 120 milyon metrik ton (Mt) düzeyinde olduğu kabul edilmektedir (Şekil 5). Ülke bazında değerlendirildiğinde, Çin, yaklaşık 44 Mt rezervi ile dünya genelinde en yüksek NTE rezerv payına sahip ülke konumundadır. Çin'i, 22 Mt rezerv büyüklüğü ile Brezilya ve Vietnam izlemekte olup, Rusya ise yaklaşık 12 Mt rezerviyle önemli bir paya sahiptir. Bunlara ek olarak, Hindistan (6,9 Mt), Avustralya (3,3 Mt), Grönland (1,5 Mt), Amerika Birleşik Devletleri (1,4 Mt), Tanzanya (0,9 Mt) ve Güney Afrika (0,8 Mt) da dikkate değer NTE rezervlerine sahip ülkeler arasında yer almaktadır. Mevcut veriler ışığında, Çin'in dünya genelindeki toplam NTE rezervlerinin yaklaşık %36'sını bünyesinde barındırdığı görülmektedir. Buna karşılık, Brezilya ve Vietnam, her biri yaklaşık %18'lik payları ile küresel ölçekte öne çıkan diğer iki önemli ülkeyi temsil etmektedir.

Uluslararası ölçekte NTE tedarik zincirlerinin çeşitlendirilmesi ve yeniden yapılandırılmasına yönelik çalışmalarda, burada sunulan rezerv büyüklükleri ile bu rezervlerin küresel yüzdelik dağılımları kritik bir değerlendirme ölçütü olarak dikkate alınmalıdır (Şekil 5). Amerikan Jeolojik Araştırmalar Merkezi (USGS) tarafından yayımlanan 2024 ve 2025 tarihli raporlarda, küresel ölçekte toplam NTE rezervi sırasıyla yaklaşık 110 Mt ve >90 Mt olarak rapor edilmiştir. Bu veriler, farklı değerlendirme yaklaşımları ve güncelleme dönemleri nedeniyle küresel toplam NTE rezerv büyüklüğüne ilişkin kesin ve tekil bir değer bulunmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, mevcut literatür ve resmi raporlar birlikte değerlendirildiğinde, dünya genelindeki toplam NTE rezervinin yaklaşık 90-120 Mt aralığında olduğu öngörülmektedir.

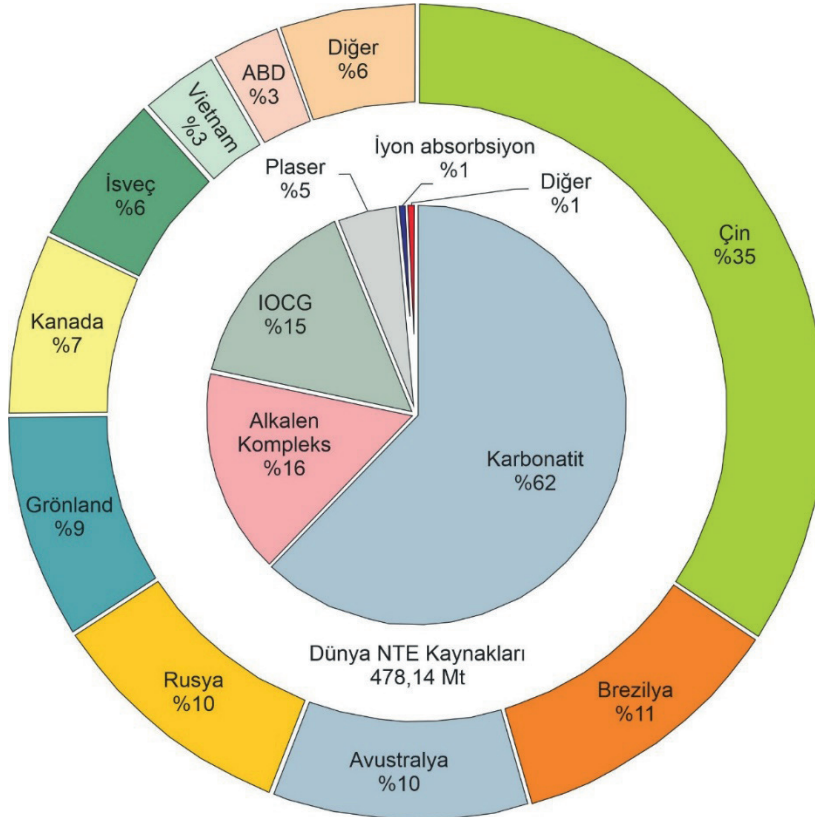


Şekil 5. Dünya geneli ülkeler bazında NTE rezervleri (mt=metrik ton, www.statista.com).

Figure 5. Global REE reserves by country (Mt = metric tons; source: www.statista.com).

Yukarıda sunulan küresel ölçekteki NTE rezerv verilerine ek olarak, ülkeler bazında NTE kaynak dağılımları da Şekil 6’da gösterilmektedir (Zhou vd., 2017). Mevcut değerlendirmelere göre, dünya genelindeki NTE rezervlerinin yaklaşık 90-120 Mt seviyesinde olduğu kabul edilirken, potansiyel NTE kaynaklarının ise yaklaşık 478 Mt düzeyine ulaştığı öngörülmektedir. Bu bağlamda, rezerv büyüklüklerinden bağımsız olarak, Kanada (%7) ve İsveç (%6) sahip oldukları NTE kaynak potansiyeli ile dikkat çeken ülkeler arasında yer almaktadır. Buna ilaveten, henüz uluslararası standartlarda bir rapor açıklanmamasına rağmen Türkiye’de Eskişehir-Kızılcasöğüt (Beylikova) sahasında yürütülen çalışmalar sonucunda yaklaşık 12 Mt NTE oksit içeren 694 Mt’luk bir

kaynağın tespit edildiği ifade edilmiştir (MİA, 2025). NTE kaynaklarının jeolojik cevherleşme türleri ile ilişkisi incelendiğinde, cevherleşmelerin yaklaşık %62’sinin karbonatitlerle ilişkili olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla alkale komplekslere bağlı NTE cevherleşmeleri (%16) ve DOBA tipi sistemler (%15) izlemektedir. Daha sınırlı oranlarda olmak üzere, plaser (%5), iyon absorpsiyon tipi (%1) ve diğer cevherleşme türleri (%1) de NTE kaynakları içerisinde yer almaktadır (Zhou vd., 2017). Bu dağılım açıkça göstermektedir ki, karbonatitler ve alkale kompleks sistemler hem rezerv büyüklükleri hem de kaynak potansiyelleri açısından NTE cevherleşmeleri için en umut vadeden jeolojik ortamlar konumundadır.



Şekil 6. Küresel NTE kaynaklarının ülkelere ve cevherleşme türüne göre dağılımı (Zhou vd. 2017’den değiştirilmiştir).

Figure 6. Distribution of global REE resources by country and deposit type (modified after Zhou et al., 2017).

NTE madenciliğinde, fiziksel ve kimyasal zenginleştirme işlemlerine geçilmeden önce cevher bünyesindeki NTE minerallerinin doğru ve ayrıntılı biçimde tanımlanması, en kritik aşamalardan biri olarak kabul edilmektedir (Goodenough vd., 2016). Uygulanacak fiziksel ve kimyasal zenginleştirme proseslerinin seçimi, doğrudan cevherleşme ortamında bulunan NTE minerallerinin türüne ve mineralojik özelliklerine bağlıdır. Başka bir ifadeyle, bünyesinde farklı NTE minerallerini barındıran bir cevherleşme sahasında, tek tip bir zenginleştirme yaklaşımı yerine, her mineral fazına özgü farklı fiziksel ve kimyasal işlem yöntemlerinin birlikte veya ardışık

olarak uygulanması gerekmektedir. Çizelge 2'de, ekonomik açıdan önem arz eden ve bünyelerinde yüksek düzeyde NTE içeren başlıca mineraller sunulmaktadır. Söz konusu NTE mineralleri, kimyasal bileşimleri ve kristal kimyaları dikkate alındığında, genel olarak silikat, oksit, karbonat ve fosfat grubu mineraller olmak üzere dört ana sınıf altında toplanmaktadır. Küresel ölçekte NTE madenciliği faaliyetleri ağırlıklı olarak bastnazit, monazit ve ksenotim mineralleri üzerinde yoğunlaşmakta olup, bu mineraller sırasıyla yaklaşık %76, %71 ve %61 oranlarında nadir toprak elementi içeriğine sahiptir (Çizelge 2; Goodenough vd., 2016).

**Çizelge 2.** NTE içeren önemli mineraller veya mineral grupları (Goodenough vd. 2016'dan değiştirilmiştir).

**Table 2.** Major minerals and mineral groups hosting REEs (modified after Goodenough et al., 2016).

NTE Mineralleri veya Mineral Grupları	Genelleştirilmiş Formülü	NTO İçerikleri (%wt)	Cevherleşme Türü
Aeskinit	$NTE(Ti,Nb)_2(O,OH)_6$	36	Hidrotermal
Allanit	$(NTE,Ca)_2(Al,Fe)_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$	30	Alkalen Kompleks
Ankilit	$HNTE(Sr, Ca)(CO_3)_2(OH).H_2O$	46	Karbonatit
Bastnazit	$NTE(CO_3)F$	76	Karbonatit, Hidrotermal
Britolit	$(NTE,Ca)_3(SiO_4)_3(OH,F)$	62	Hidrotermal
Brokit	$(Ca,Th,Ce)(PO_4).H_2O$	24	Hidrotermal
Burbankit	$(Na,Ca)_3(Sr,Ba,HNTE)_3(CO_3)_5$	11	Karbonatit
Serit	$(HNTE,Ca)_9(Mg,Ca,Fe^{3+})(SiO_4)_3(SiO_3OH)_4(OH)_3$	75	Hidrotermal
Dollasit	$CaHNTE(Mg,Al)[Si_2O_7][SiO_4]F(OH)$	32	Hidrotermal
Öksenit	$(NTE,Ca,Th,U)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$	40	Alkalen Kompleks
Fergusonit	$NTENbO_4$	47	Alkalen Kompleks
Floserit	$NTEF_3$	32	Hidrotermal
Gadolinit	$NTE_2Fe^{2+}Be_2O_2(SiO_4)_2$	52	Hidrotermal, Alkalen Kompleks
Monazit	$NTE(PO_4)$	71	Karbonatit, Hidrotermal, Alkalen Kompleks, Plaser
Parisit	$CaHNTE_2(CO_3)_3F_2$	63	Karbonatit
Perierit	$NTE_4(Mg, Fe, Ti)_4O_8(Si_2O_7)_2$	40	Plaser
Piroklor	$(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)$	3	Karbonatit
Stinstrupin	$Na_{14}HNTE_6Mn_2Fe^{3+}_2Zr(PO_4)_7Si_{12}O_{36}(OH)_2 \cdot 3H_2O$	30	Alkalen Kompleks
Sinçisit	$CaNTE(CO_3)_2F$	51	Karbonatit, Hidrotermal
Vastmandanlit	$Ce_3CaMg_2Al_2Si_5O_{19}(OH)_2F$	26	Hidrotermal
Ksenotim	$(Y,HREE)PO_4$	61	Hidrotermal, Alkalen Kompleks, Plaser

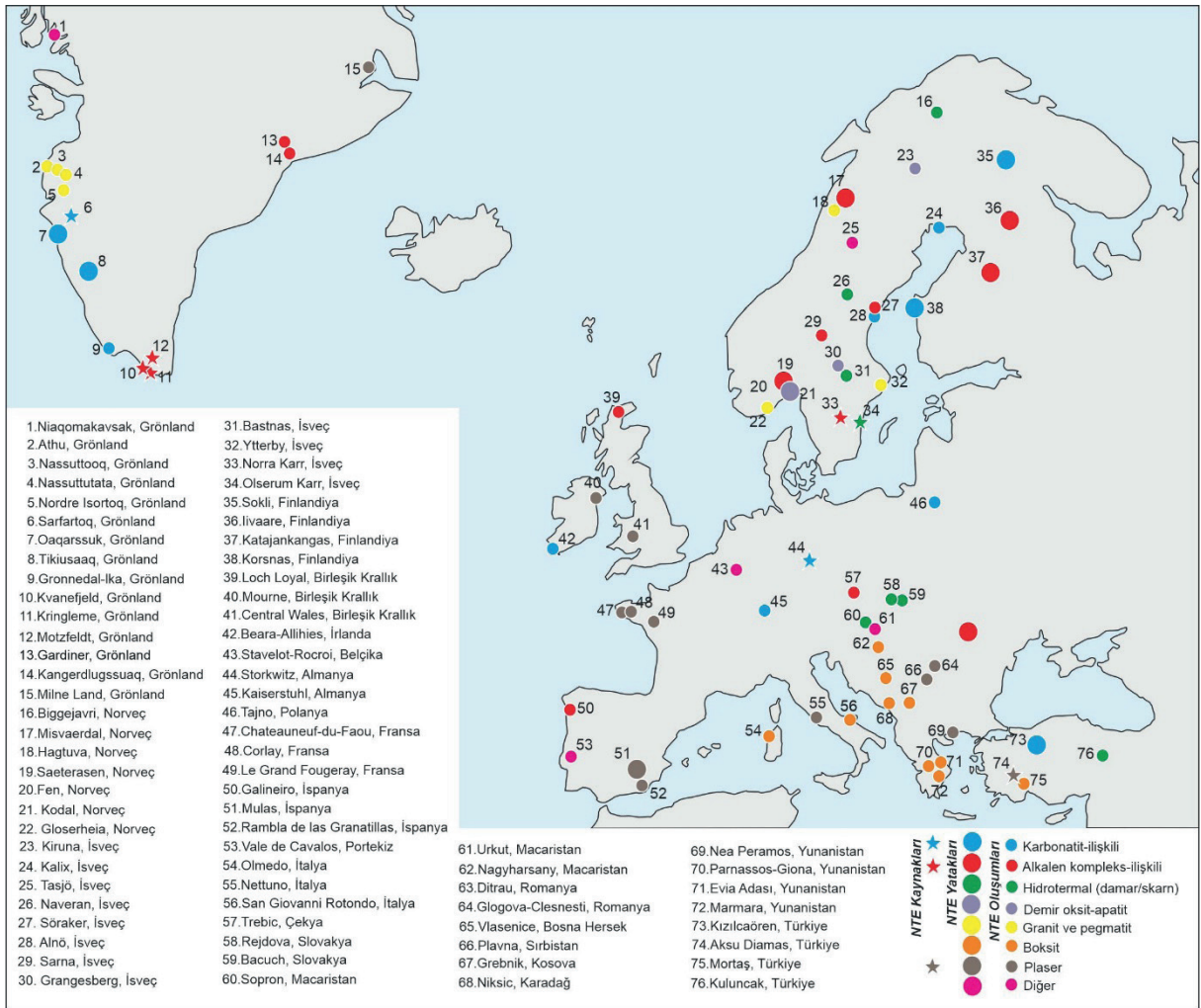
## AVRUPA GENELİ POTANSİYEL ALANLAR

NTE tedarik zincirinin büyük ölçüde Çin'in kontrolünde olması, küresel ölçekte zaman zaman beklenmedik arz kesintileri ve tedarik risklerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu risklere karşılık olarak, Avrupa Komisyonu, NTE arz güvenliğini artırmaya yönelik çeşitli stratejik önlemleri hayata geçirmeye başlamıştır. Bu kapsamda, Avrupa Birliği sınırları içerisinde ve yakın çevresinde yer alan NTE cevherleşme alanlarının potansiyelinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi amacıyla, 2014-2018 yılları arasında "EuRare" ve 2016-2020 yılları arasında "HiTech AlkCarb" başlıklı araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) projeleri desteklenmiştir. Söz konusu projeler, Avrupa'nın NTE kaynaklarını tanımlamayı, karakterize etmeyi ve sürdürülebilir şekilde değerlendirmeyi hedefleyen bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Söz konusu projeler kapsamında, birincil jeolojik kaynaklardan NTE'lerin teminine yönelik olarak öncelikli çalışma alanları tanımlanmış, cevherleşme mekanizmaları ayrıntılı biçimde incelenmiş ve potansiyel sahalar sistematik olarak sınıflandırılmıştır (EuRare, 2018). Bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, Şekil 7'de özetlenmekte olup, Türkiye'nin de dâhil edildiği bu değerlendirmeler çerçevesinde, NTE yataklarının büyük ölçüde İskandinavya ülkeleri ve Grönland coğrafyasında yoğunlaştığı ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, Türkiye'de yer alan Eskişehir-Kızılcıören (diğer ismi Beylikova) sahası da Avrupa ölçeğinde değerlendirilen önemli NTE alanları arasında ele alınmıştır. Ayrıca, çok sayıda NTE oluşumu ve potansiyel kaynak alanının da haritalama çalışmalarına dâhil edildiği görülmektedir (Şekil 7). Avrupa genelinde ekonomik düzeyde NTE içeren yatakların jeolojik özellikleri incelendiğinde, bu sahaların büyük oranda karbonatitler ve alkalin komplekslerle ilişkili olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, daha sınırlı sayıda olmak

üzere demir-oksit-apatit ve plaser tipi NTE cevherleşmelerinin de tanımlandığı bilinmektedir. Şekil 7'de sunulan NTE oluşumlarının, hemen hemen tüm cevherleşme türleriyle ilişkili olabildiği görülmekte olup, bu oluşumların gerçek potansiyellerinin ortaya konulabilmesi için ayrıntılı jeolojik, jeokimyasal ve mineralojik çalışmalara ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır.

Avrupa'daki NTE cevherleşme alanlarının, Prekambriyen'den Senozoyik dönemlerine kadar kapsayan geniş bir jeolojik zaman aralığında oluştuğu görülmektedir (Goodenough vd. 2016). Türkiye sınırları içerisinde ise günümüze kadar tanımlanmış NTE cevherleşmelerinin ağırlıklı olarak Mesozoyik-Senozoyik NTE kuşağı içerisinde yer aldığı anlaşılmaktadır (Şekil 8). Bu çalışmada Türkiye'ye ilişkin sunulan veriler, mevcut sınırlı literatür bilgilerine dayanmaktadır. Buna karşın, Avrupa Kıtası genelinde tanımlanmış daha yaşlı NTE kuşakları dikkate alındığında, Türkiye'de özellikle Prekambriyen ve Paleozoyik yaşlı jeolojik birimlerle ilişkili potansiyel NTE oluşumlarının ortaya konulabilmesi amacıyla arama ve araştırma faaliyetlerinin artırılması gerekmektedir. Çizelge 3'te, Avrupa genelinde yüksek potansiyele sahip nadir NTE sahaları sunulmaktadır. Bu dağılım incelendiğinde, sırasıyla Grönland, İsveç, Finlandiya, Almanya, Norveç ve Türkiye sınırları içerisinde yer alan alanların öne çıktığı görülmektedir. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, Burdur-Çanaklı yöresinde yer alan ve Aksu-Dimas olarak adlandırılan plaser tipi cevherleşme alanının, yaklaşık 700 ppm düzeyinde nispeten düşük NTE tenörüne sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın, söz konusu sahada rapor edilen yaklaşık 494 milyon tonluk kaynak potansiyeli, alanın stratejik önemini artıran temel unsur olarak dikkat çekmektedir. Bu saha hâlihazırda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından ruhsatlandırılmış olup, önümüzdeki dönemde daha ayrıntılı NTE prospeksiyon ve değerlendirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

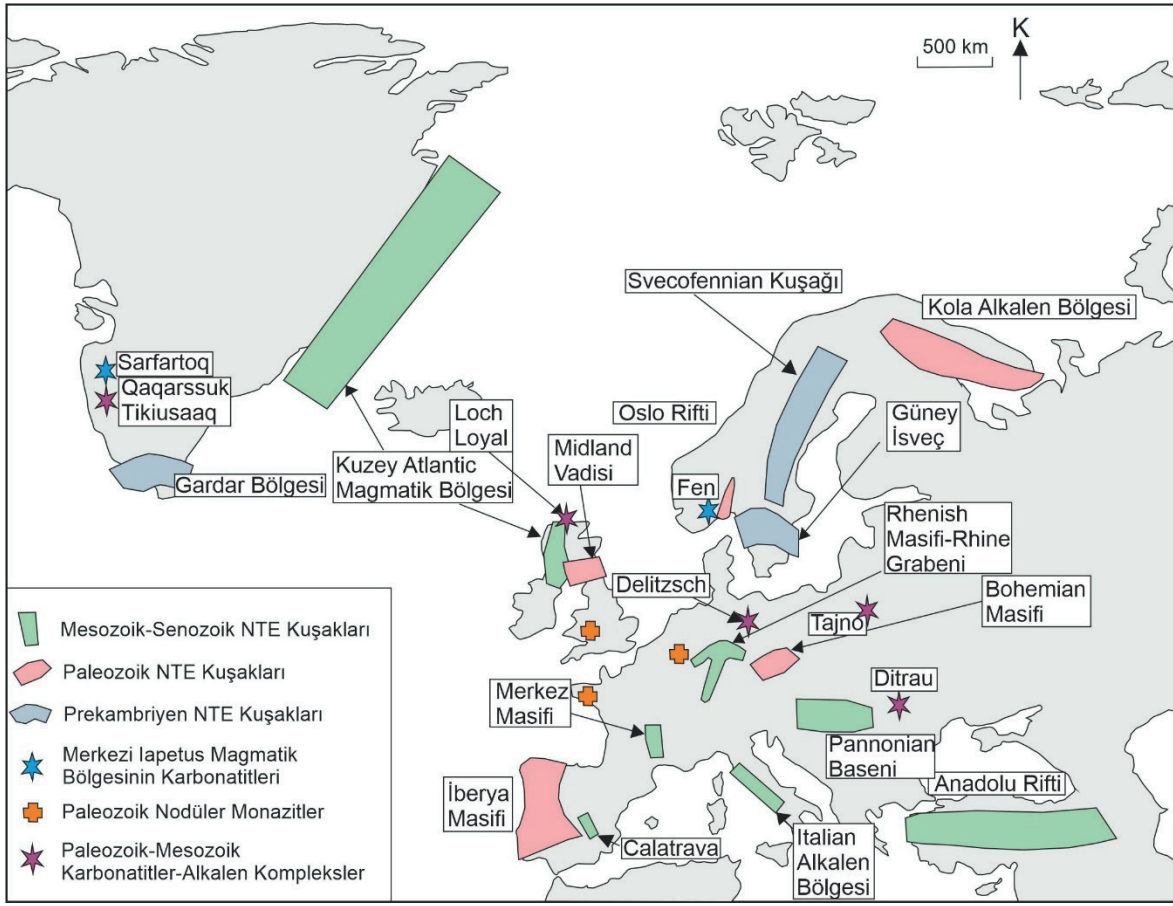


Şekil 7. Avrupa Kıtası üzerindeki NTE cevherleşme alanları (EuRare, 2018'den değiştirilmiştir).

Figure 7. REE mineralization in the European continent (modified after EuRare, 2018).

EuRare (2018) verilerine göre, Avrupa sınırları içinde rezerv ve tenör verileri açısından yüksek düzeyde doğrulanmış tek NTE sahası, Grönland'daki Kvanefjeld olarak görülmektedir. Bu saha, yaklaşık %1,21  $\Sigma$ NTO tenörüne ve 143 Mt kaynak büyüklüğüne sahiptir (Çizelge 3). Avrupa'daki diğer NTE sahalarında ise arama, tanımlama ve kaynak geliştirme çalışmaları hâlen sürmekte olup, bu alanların gerçek potansiyellerinin önümüzdeki dönemde daha net biçimde ortaya konulması beklenmektedir. Şekil 9'da, Avrupa'daki potansiyel NTE cevherleşme

alanları; dünya genelinde ekonomik olarak işletilen NTE yatakları ile tenör ve cevher miktarları temel alınarak karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu karşılaştırma kapsamında, Rusya'da bulunan ve alkalen komplekslerle ilişkili Lovozero sahası dışında, Avrupa'daki potansiyel NTE alanlarının büyük çoğunluğunun, küresel ölçekte işletilen yataklara kıyasla tenör bakımından daha düşük, cevher miktarı açısından ise değişken özellikler sergilediği anlaşılmaktadır (Goodenough vd., 2016).



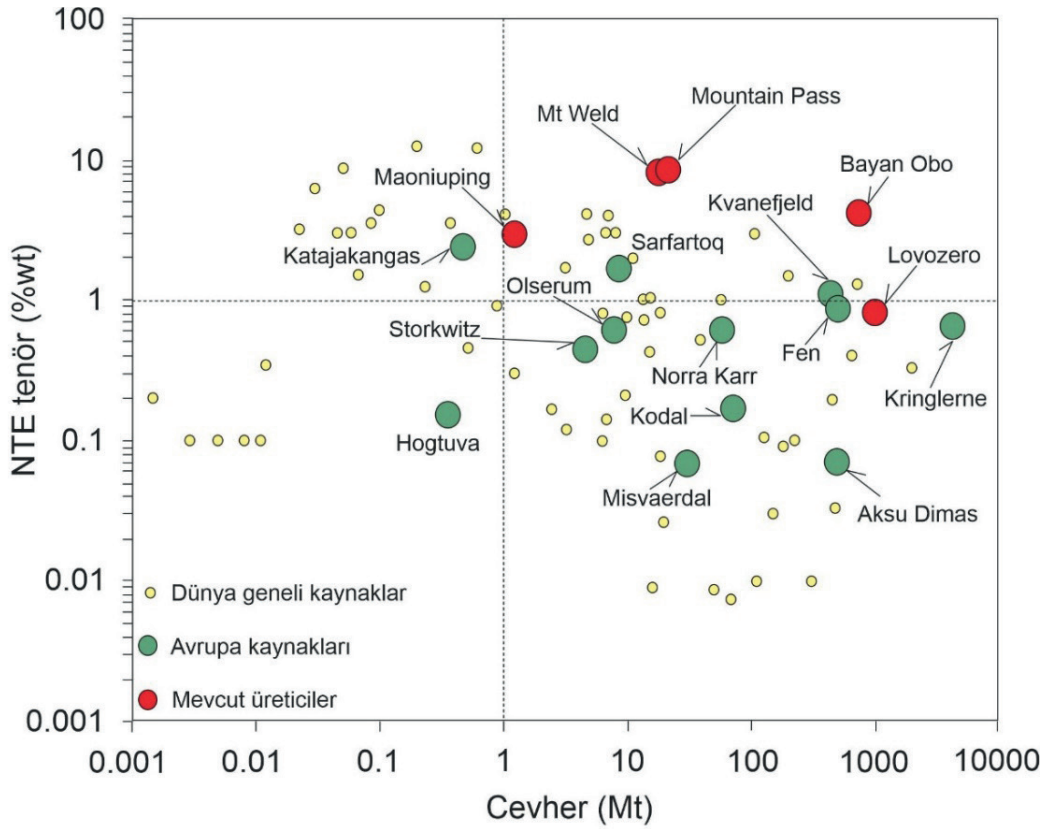
Şekil 8. Avrupa Kıtası üzerindeki NTE cevherleşme kuşakları (Goodenough vd., 2016'dan değiştirilmiştir).

Figure 8. REE mineralization belts in the European continent (modified after Goodenough et al., 2016).

Çizelge 3. Avrupa'daki yüksek potansiyele sahip NTE cevherleşme alanları (EuRare, 2018'den alınmıştır).

Table 3. High-potential REE mineralization areas in Europe (after EuRare, 2018).

Cevherleşme Alanı	Ülke	Ölçülen Kaynak (Yüksek Seviyede Güvenilir)	Belirtilen Kaynak (Makul Seviyede Güvenilir)	Anlaşılan Kaynak (Düşük Seviyede Güvenilirlik)
Katajakangas	Finlandiya	Bilinmiyor	Bilinmiyor	0,46 Mt / %2,4 $\Sigma$ NTO
Storkwitz	Almanya	Bilinmiyor	Bilinmiyor	4,4 Mt / %0,45 $\Sigma$ NTO
Kringlerne	Grönland	Bilinmiyor	Bilinmiyor	4700 Mt / %0,65 $\Sigma$ NTO
Kvanefjeld	Grönland	143 Mt / %1,21 $\Sigma$ NTO	308 Mt / %1,11 $\Sigma$ NTO	559 Mt / %1,07 $\Sigma$ NTO
Motzfjeldt (Aries)	Grönland	Bilinmiyor	Bilinmiyor	340 Mt / %0,26 $\Sigma$ NTO
Sarfartoq	Grönland	Bilinmiyor	5,88 Mt / %1,77 $\Sigma$ NTO	2,46 Mt / %1,59 $\Sigma$ NTO
Fen	Norveç	Bilinmiyor	Bilinmiyor	84 Mt / %1,08 $\Sigma$ NTO
Norra Kärr	İsveç	Bilinmiyor	31,1 Mt / %0,61 $\Sigma$ NTO	Bilinmiyor
Olserum	İsveç	Bilinmiyor	4,5Mt / %0,6 $\Sigma$ NTO	3,3Mt / %0,63 $\Sigma$ NTO
Aksu Dıamas	Türkiye	Bilinmiyor	494 Mt / %0,07 $\Sigma$ NTO	Bilinmiyor



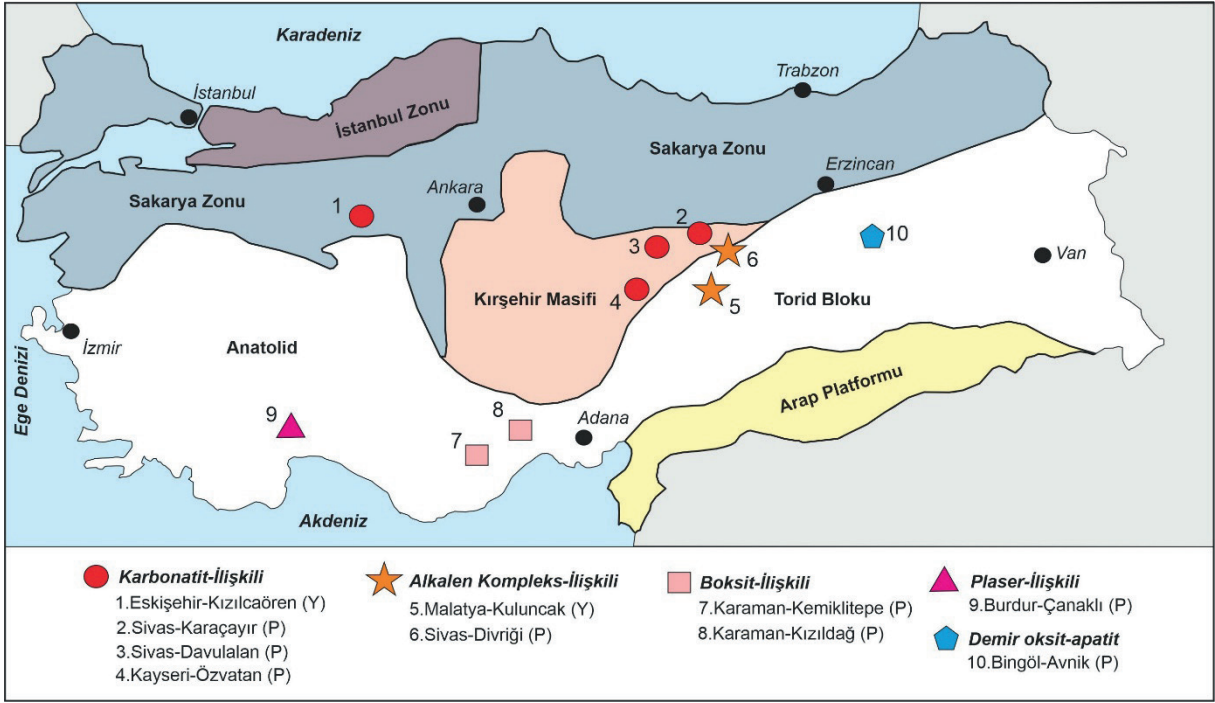
**Şekil 9.** NTE üretimi yapılan cevherleşme alanları ile Avrupa ve Dünya genelindeki diğer potansiyel cevherleşmelerin kıyaslanması (Goodenough vd. 2016'dan değiştirilmiştir).

**Figure 9.** Comparison of REE deposits currently in production with other potential REE mineralization areas in Europe and worldwide (modified after Goodenough et al., 2016).

Bununla birlikte, Avrupa Komisyonu tarafından son yıllarda hız kazanan NTE arama, kaynak geliştirme ve teknoloji odaklı çalışmalar dikkate alındığında, söz konusu sahaların ekonomik açıdan değerlendirilebilirlik düzeylerinin önümüzdeki süreçte daha sağlıklı biçimde ortaya konulacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak, Avrupa kıtası ve yakın çevresinde yer alan önemli NTE cevherleşme alanlarına yönelik güncel gelişmelerin Türkiye tarafından yakından izlenmesi, ayrıca uluslararası NTE tedarik zincirlerinin oluşturulmasına yönelik çalışmalarda ikili ve çok taraflı iş birliği olanaklarının değerlendirilmesi stratejik önem taşımaktadır.

## TÜRKİYE'DEKİ DURUM

Şekil 10'da ve Çizelge 4'te sunulduğu üzere, Türkiye sınırları içerisinde, ekonomik açıdan önemli düzeyde NTE içeren yataklar ile yüksek cevherleşme potansiyeline sahip alanlar bulunmaktadır. Bu sahalarla ilişkin mevcut jeolojik, jeokimyasal ve mineralojik bilgiler, aşağıda sistematik bir sıralama dâhilinde sunulmaktadır (Çimen, 2025).



**Şekil 10.** Türkiye’de NTE yatakları veya yüksek cevherleşme potansiyeline sahip alanlar (Y=Yatak, P=Potansiyel; Çimen, 2025). Tektonik zonlar Okay ve Tüysüz (1999)’dan değiştirilmiştir.

**Figure 10.** REE deposits and occurrences with high mineralization potential in Türkiye (Y = Deposit, P = Potential; Çimen, 2025). Tectonic zones modified from Okay and Tüysüz (1999).

**Çizelge 4.** Türkiye’de NTE yatakları ve potansiyel jeolojik hedef alanlar.

**Table 4.** REE deposits and prospective geological target areas in Türkiye.

Yatak/Potansiyel Alan Adı	Bölge	Kaynak Kayacı	Kaynak Türü	Tenör	Kaynak (Mt)
Kızılcaören	Eskişehir	Karbonatit	Birincil	%1,5-1.8	694
Karaçayır	Sivas	Karbonatit	Birincil	%0,15	6
Davulalan	Sivas	Karbonatit	Birincil	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Özvatan	Kayseri	Karbonatit	Birincil	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Kuluncak	Malatya	Alkalen-Kompleks	Birincil	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Divriği	Sivas	Alkalen-Kompleks	Birincil	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Kemiklitepe	Karaman	Boksit-ilişkili	İkincil	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Kızıldağ	Karaman	Boksit-ilişkili	İkincil	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Çanaklı	Burdur	Plaser-ilişkili	İkincil	%0,07	464
Avnik	Bingöl	Demir oksit-apatit	Birincil	Bilinmiyor	Bilinmiyor

### Kızılcaören/Beylikova (Eskişehir)

Eskişehir ili Beylikova ilçesinin güneydoğusunda yer alan Kızılcaören NTE sahası, Türkiye’de bugüne kadar tanımlanmış en büyük NTE

cevherleşme alanı olarak kabul edilmektedir. Saha, ilk kez 1959 yılında, toryum (Th) aramacılığı kapsamında gerçekleştirilen havadan gama-ışını spektrometresi çalışmaları sırasında belirlenmiştir

(Gültekin vd., 2003). Jeolojik konum itibarıyla Kızılcaören sahası, İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı'nın kuzeyinde ve Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi içerisinde yer almaktadır. Sahada, Karakaya Kompleksi'ne ait düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kumtaşı ve çamurtaşı gibi birimler, fonolit, trakit ve karbonatit türü alkalen kayaçlar tarafından kesilmektedir (Gültekin vd., 2003). NTE cevherleşmesi, bu alkalen magmatizma ile eşlenik olarak gelişmiş olup, karbonatitlerle ilişkili florit, barit ve bastnazit minerallerinin stokvörk tipi dağılımı ile temsil edilmektedir (Çimen vd., 2020). Söz konusu ana cevher minerallerine ek olarak, sahada rabdofan, parisit, piroklor, monazit, brokit, florensit gibi NTE taşıyan minerallerin yanı sıra psilomelan, piroluzit, götit, pirit, hematit, bronit ve rutil gibi çeşitli metalik ve oksit minerallerinin varlığı da rapor edilmiştir (Stumpfl ve Kırıkıoğlu, 1986; Gültekin vd., 2003; Nikiforov vd., 2014). Son dönemde, kuzey-batı Anadolu'da Çanakkale-Arıklı bölgesinde Ünlüer vd. (2024) tarafından karbonatit oluşumu rapor edilmiştir. Bu çalışmada kayda değer Th ve U içeriklerinin yanı sıra 194.7 ppm'e varan ANTE varlığı belirtilmiştir.

Fonolitler içerisindeki sanidin mineralleri ile karbonatitler bünyesindeki flogopit kristalleri üzerinde gerçekleştirilen radyometrik yaşlandırma çalışmalarına göre, alkalen magmatizmanın ve buna bağlı NTE cevherleşmesinin Miyosen (yaklaşık 24-25 My) döneminde meydana geldiği kabul edilmektedir (Sarıfakıoğlu vd., 2009; Nikiforov vd., 2014). Çimen vd. (2020) tarafından yürütülen jeokimya ve radyojenik/duraylı izotop çalışmalarına göre hidrotermal olarak metasomatize olmuş manto kaynaklı karbonatit varlığı doğrulanmıştır. Son olarak, Ersoy vd. (2025a) tarafından ise mineralizasyon bölgesi doğrultu atımlı bir fay sistemi içerisine yerleşmiş alkalen-silikat karbonatit kompleksi olarak isimlendirilmiş ve bölgedeki bu tarz sistemlerin önemli arama hedefleri olabileceği belirtilmiştir. Kızılcaören sahası başta karbonatit

magmatizması olmak üzere alkalen kayaçlar ile yaygın bir hidrotermal metasomatizma evresini bünyesinde ihtiva etmesi ile birlikte ABD'de bulunan Mountain Pass sahası ile benzerlik sunmaktadır. Literatürde yer alan ilk çalışmalarda, Kızılcaören sahasının tenör ve rezerv değerleri %2,78 ve 4,67 Mt (Ce + La + Nd + Y) olarak rapor edilmiştir (Kaplan, 1977; Öztürk vd., 2019). MTA tarafından gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında, söz konusu sahanın %3,14  $\Sigma$ NTO içeriğine sahip olduğu ve yaklaşık 30 Mt büyüklüğünde bir rezerve sahip olduğu belirtilmiştir (MTA, 1986). Bununla birlikte, Eti Maden İşletmeleri tarafından son yıllarda gerçekleştirilen detaylı sondaj çalışmaları sonucunda, söz konusu değerlerin %1,5-1,8 ortalama tenör ve yaklaşık 694 Mt kaynak (barit–florit–bastnazit) seviyesine ulaştığı ifade edilmektedir. Dahası, sahada cevher zenginleştirme ve saflaştırma çalışmalarının yürütüldüğü bilinmektedir (Kurşunoğlu vd., 2021; Yeşilören-Görmüş vd., 2021; Güneş vd., 2023). Sahada hâlihazırda aktif bir üretim faaliyeti bulunmamakla birlikte, Eti Maden İşletmeleri tarafından pilot tesis kurulmasına yönelik çalışmaların sürdürüldüğü bilinmektedir.

### **Karaçayır (Sivas)**

Karaçayır Plütunu, Sivas ili sınırları içerisinde, Karaçayır Köyü'nün (il merkezine yaklaşık 25 km) kuzeydoğusunda yer almakta olup, Akdağ Metamorfitleri içerisine sokulum yapmış yaklaşık 4 × 3,5 km boyutlarında bir magmatik kütle ile temsil edilmektedir (Boztuğ vd., 2009). Arazi ilişkileri, plütunun Paleosen–Eosen yaşlı Tokuş Formasyonu (konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve silttaşı) tarafından uyumsuzlukla üzerlendiğini göstermektedir (İnan ve İnan, 1999). Litolojik açıdan Karaçayır Plütunu, ağırlıklı olarak siyenitik, ikincil olarak ise monzonitik kayaçlardan oluşmaktadır (Boztuğ vd., 2009; Cooper vd., 2011). Plütun bünyesinde karbonatitik kayaçların varlığı, ilk kez Schuiling (1961)

tarafından ileri sürülmüştür. Karaçayır Plütonu'na ilişkin radyometrik yaşlandırma çalışmalarında, siyenitik kayaçlar için Geç Kretase kristalizasyon yaşı (zirkon U–Pb: ~68 My; Cooper vd., 2011) ve en geç Kretase–Paleosen soğuma yaşları (biyotit Ar–Ar: 65–66 My; Boztuğ vd., 2009) elde edilmiştir. Schuiling (1961), siyenitin dokanak halinde bulunduğu Akdağ Metamorfizmaları'ne ait bazı mermerleri sokulumu sırasında bünyesine alarak, bu birimlerin kalsit, biyotit, apatit ve nadiren toriyanit içeren karbonatitik oluşumlara dönüştüğünü öne sürmüştür. Bu yoruma göre, siyenitler içerisindeki karbonatlı kayaçlar değişime uğramış mermer anklavları olarak değerlendirilmiştir.

Buna karşılık, Cooper vd. (2011) tarafından siyenitler, karbonatitik oluşumlar ve mermerler üzerinde gerçekleştirilen kimyasal ve duraylı/radyojenik izotop çalışmalarında, karbonatitlerin siyenitik magmanın fraksiyonel kristallenmesi sonucu oluştuğu ileri sürülmüştür. Ancak söz konusu çalışmada karbonatitlerin arazide sınırlı mostra vermesi nedeniyle, değerlendirmeler tek bir lokasyondan alınan beş karbonatit örneği ile sınırlı kalmıştır. Son olarak, Çimen vd. (2022) tarafından karbonatitler üzerinde gerçekleştirilen ayrıntılı jeokimyasal, izotopik ve radyometrik yaşlandırma çalışmaları, karbonatit magmatizmasının siyenitik magmatizma ile zamansal olarak uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda, karbonatitlerin kristallenme yaşı  $69,3 \pm 1,7$  My olarak belirlenmiş; söz konusu karbonatit magmatizmasının, çarpışma sonrası tektonik bir ortamda, heterojen bir manto kaynağından türeyen düşük dereceli kısmi ergime süreçleri sonucunda geliştiği sonucuna varılmıştır.

Son yıllarda MTA tarafından plüton genelinde yürütülen çok sayıda sondaj çalışması sayesinde elde edilen karotlar, karbonatitik oluşumların plüton içerisinde daha geniş bir alanda yayılım gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar ayrıca, siyenit ve monzonit dışında farklı magmatik kayaç türlerinin varlığını da ortaya çıkarmıştır. Bunlara ek olarak gerek

yüzeyde açılan yarımlar gerekse sondaj verileri ile siyenitleri kesen lamprofir daykaları ile birlikte, alkali feldispat siyenit, nefelin siyenit, nefelin monzosiyenit ve pegmatitik siyenit gibi siyenitin farklı fazları da tanımlanmıştır. MTA tarafından yürütülen çalışmalar kapsamında, Karaçayır Plütonu'nun yer yer 10.000 ppm'e varan NTE zenginleşmeleri içerdiği belirtilmiş ve saha NTE arama programı kapsamına alınmıştır. Arazi gözlemleri ile elde edilen ön analitik veriler birlikte değerlendirildiğinde, Karaçayır Plütonu'nun özgün ve çok bileşenli magmatik kayaç toplulukları içerdiği ve tipik bir alkalin kompleks karakteri sunduğu söylenebilir. Sahada hâlen aktif bir üretim faaliyeti bulunmamakla birlikte, MTA tarafından ~1420 ppm  $\Sigma$ NTO içerikli ~6 milyon ton rezerv belirlenmiştir (Ağrı vd., 2023). Karaçayır sahası, Türkiye'de en tipik biçimde tanımlanabilen karbonatit oluşumlarını içermesi açısından önemli bir konuma sahiptir. Ancak sahada gözlenen NTE mineralizasyonu düşük tenörlü olup ekonomik açıdan sınırlı bir potansiyel sunmaktadır.

### **Davulalan (Sivas)**

Sivas ili Yıldızeli bölgesinde yer alan plütonik kayaçlar, kalk-alkalen ve alkalin karakterler sergilemektedir (Şaşmaz ve Yavuz, 2007). Bölgesel dağılım incelendiğinde, Kiremitli Köyü'nün kuzeydoğusunda bulunan kütlelerin granitik bileşimli ve kalk-alkalen özellikte olduğu, buna karşılık Davulalan Köyü'nün doğusunda yer alan plütonun siyenitik bileşimli ve alkalin karakterli olduğu belirlenmiştir (Alpaslan ve Boztuğ, 1997; Şaşmaz ve Yavuz, 2007).

Alkalin özellik gösteren Davulalan Plütonu, büyük oranda siyenitik kayaçlardan oluşmakta olup, daha sınırlı ölçüde porfiritik monzonit damarları içermektedir. Bu kayaçlardan, siyenitik kayaçlar genellikle gri ve pembe tonlarda, porfiritik dokulu olup mineralojik olarak başlıca alkali feldispat, kuvars ve plajiyoklaz içermektedir. Bunlara ek olarak, daha az oranlarda nefelin, biyotit ve amfibol

mineralleri de gözlenmektedir (Şaşmaz ve Yavuz, 2007). Ayrıca Boztuğ (1998), siyenitler içerisinde nefelin gibi foid mineraller ile ejirin–ojit türü piroksenlerin varlığını tespit etmiştir. Davulalan Plütönu ile dokanak hâlinde bulunan mermerler arasında, granat, piroksen, skapolit, epidot ve florit minerallerinden oluşan skarn zonlarının geliştiği bilinmektedir (Şaşmaz ve Yavuz, 2007). Alpaslan ve Boztuğ (1997) tarafından gerçekleştirilen majör ve iz element jeokimyası çalışmalarına dayanarak, granitik kayaların Anatolid–Pontid çarpışması sırasında kalınlaşan kıtasal kabuğun anateksisi sonucu oluştuğu; buna karşılık siyenitik kayaların ise kabuk kalınlaşmasını izleyen genişlemeli bir tektonik evrede, üst manto kökenli magmaların kısmi ergimesi ile meydana geldiği öne sürülmüştür.

Plütön için Boztuğ vd. (2009) tarafından Ar–Ar yöntemi ile gerçekleştirilen yaşlandırma çalışmaları, yaklaşık 65 My değerinde bir yaş ortaya koymuştur. Ancak bu yaştan soğuma yaşını temsil ettiği ve kristalizasyon yaşının henüz kesin olarak belirlenemediği vurgulanmaktadır. Canbaz ve Gökçe (2022) tarafından gerçekleştirilen jeokimyasal çalışmaları neticesinde siyenitoidlerin kimyasal olarak okyanus adası bazaltlara benzediği, ileri derecede fraksiyonelleşmeye maruz kaldığı, yüksek oksijen fugasitesine sahip olduğu ve Cu, Mo, Pb, Zn, ve NTE mineralizasyonu açısından üretken olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak, Tavlı vd. (2024) tarafından gerçekleştirilen ayrıntılı jeokimyasal, izotop ve jeokronoloji çalışmaları neticesinde karbonatit oluşumu tespit edilememiş ve Davulalan Plütönu'nun Geç Kretase-Erken Paleosen (65-66 My) döneminde çarpışma sonrası tektonik ortamda oluştuğu belirtilmiştir. Karacayır Plütönu'na benzer şekilde, Davulalan Plütönu da farklı seviyelerde NTE zenginleşmeleri içermekte olup, havadan jeofizik çalışmalar sonrasında MTA tarafından ruhsatlandırılarak NTE arama programı kapsamına alınmıştır. Sahada sondaj faaliyetleri devam etmekle birlikte, potansiyel hedef alanlardan biri olarak değerlendirilmektedir.

## Özvatan (Kayseri)

Kayseri ili Özvatan ilçesinin güneyinde yer alan Hayriye Plütönu, MTA tarafından gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sonucunda, başlıca nefelin siyenit, siyenit ve mikrogranit bileşimli magmatik kayalardan oluşan bir plütönik kütle olarak tanımlanmıştır (Yılmaz vd., 2024). Bu plütönik kütle, bölgedeki diğer alkalen magmatik kütlere benzer şekilde Akdağ Metamorfikleri'ni kesmekte ve Eosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı birimler tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Bölgede nefelin içeren plütönların varlığı ilk kez Kraeff ve Pasquare (1966) tarafından ortaya konulmuş olmakla birlikte, söz konusu çalışma yalnızca petrografik gözlemlere dayanmakla birlikte, kayaların kökenine ve tektono-magmatik evrimine ilişkin herhangi bir izotopik ya da jeokronolojik veri sunulmamıştır. Benzer şekilde, Özaksoy ve Gökten (1996) tarafından Özvatan-Felahiye yöresinin stratigrafi ve tektoniği kapsamında yürütülen çalışmada, bölgedeki alkalen magmatik kayaların foid siyenit bileşiminde olduğu ve Akdağ Metamorfikleri'ni sokulum yoluyla kestiği ifade edilmiştir.

Solmaz (1983) tarafından hazırlanan doktora tezi kapsamında ise, dönemin analitik olanakları doğrultusunda sınırlı sayıda örnek üzerinde XRF analizleri gerçekleştirilmiş; ancak çalışma ayrıntılı tüm kayaç jeokimyası (özellikle iz element ve NTE), duraylı ve radyojenik izotop sistematiği, mineral kimyası ve radyometrik yaşlandırma verilerini içermemektedir. Bu çalışmada elde edilen sınırlı veriler ışığında, siyenitik kayaları oluşturan magmanın kireçtaşı ile asimilasyon sürecine uğradığı ileri sürülmüştür. Daha kapsamlı bir yaklaşım sunan Kadioğlu vd. (2006), Orta Anadolu Kristalen Kompleksi genelinde yayılım gösteren granit, monzonit ve siyenit bileşimli kayaların kökeni ve magmatik evrimini incelemiştir. Söz konusu çalışmada Hayriye Plütönu'na ait üç örnek için jeokimyasal veri sunulmuş olmakla birlikte Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'ndeki granit ve monzonitlerin yitimle ilişkili metasomatize

bir manto kaynağından türediği, siyenitlerin ise belirgin derecede kabuksal kirlenme eşliğinde zenginleşmiş bir manto kaynağından köken aldığı sonucuna varılmıştır.

Uras vd. (2020) tarafından yürütülen çalışmada, Hayriye Plütunu içerisindeki floritlerin kökeni incelenmiş ve plütona ait  $\Sigma$ NTE içeriklerinin oldukça düşük olduğu (26–44 ppm aralığında) ortaya konulmuştur. Deniz (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, Özvatan Plütunu (diğer adıyla Hayriye Plütunu) bünyesindeki foïd siyenitler ile metamorfik temel içerisindeki iri boyutlu mika taneleri üzerinde Raman spektroskopisi, XRD, XRF ve EPMA analizleri yapılmış; söz konusu mikaların alkalen bir magmatizmadan türediği, bileşimlerinin ise kabuksal ve mantosal kökenli magmalar arasındaki karışım (magma mixing) süreçleri ile modifiye edildiği ve kirlendiği sonucuna varılmıştır. Ünlüer vd. (2023) tarafından ise siyenitler içerisinde bulunan karbonatit oluşumları üzerinde jeokimya ve duraylı izotop (O ve C) çalışmaları yürütülmüştür. Bu çalışma sonucunda, Özvatan nefelin siyenit–karbonatit kompleksinde HNTE bakımından zengin karbonatitlerin metasomatize zenginleşmiş bir manto kaynağından türediğini, çevresinde gelişen ilerleyici fenitleşme (özellikle K-fenitler) ve yüksek tuzluluklu karbonatitik akışkanların zamanla ikincil süreçlerle evrimleştiğini öne sürülmüştür. Son olarak Yılmaz vd. (2024) tarafından yapılan detaylı jeokimya, izotop ve yaşlandırma çalışmaları neticesinde Hayriye Plütunu'nun, Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'nin güneydoğu kenarında, Geç Kretase–Erken Paleosen'de (64-66 My) post-çarpışma tektonik ortamında gelişmiş, alkalen karakterli siyenit–nefelin siyenit ve manto kökenli, NTE ve Sr bakımından zengin karbonat damarları içeren, önemli bir NTE cevherleşmesini temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

Hayriye Plütunu, daha önce tanımlanan Karaçayır ve Davulalan plütonları ile benzer biçimde, farklı seviyelerde NTE zenginleşmeleri

içermektedir ( $\Sigma$ 8503 ppm). Bu özellikleri nedeniyle sahada halihazırda MTA tarafından NTE arama programı yürütülmektedir. Sahada yapılan arazi gözlemleri ve sondaj verileri, lamprofir daykları ile birlikte karbonatit (?) olarak yorumlanan, özgün alkalen kayaç türlerinin varlığına işaret etmektedir. MTA tarafından gerçekleştirilen analitik çalışmalarda, siyenit bünyesindeki karbonatlı oluşumların yaklaşık 1662 ppm  $\Sigma$ NTE içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

### **Kuluncak (Malatya)**

Türkiye'nin ikinci büyük NTE mineralizasyonu olarak değerlendirilen bu cevherleşme alanı, Malatya ili Kuluncak ilçesi Başören Köyü civarında yer almaktadır. Uzun yıllar boyunca cevherleşmenin karbonatitlerle ilişkili olduğu varsayılmış olmasına karşın (Özgenç ve İlbeyli, 2009), günümüze kadar yüzeyde mostra veren herhangi bir karbonatit oluşumu tanımlanamamıştır. Buna karşılık, son dönemde gerçekleştirilen jeokimyasal ve izotopik çalışmalar, NTE cevherleşmesinin Geç Kretase–Erken Paleosen yaşlı, çarpışma sonrası tektonik bir ortamda gelişen alkalen kompleks–hidrotermal bir sistemle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Çimen vd., 2020). Cevherleşme alanında, Geç Kretase–Erken Paleosen yaşlı Karapınar Kireçtaşı ile Kızılkaya ofiyolitik kayaçları temel birimleri temsil etmekte olup, bu birimler alkalen karakterli Başören plütomatik kayaçları (siyenit, kuvars siyenit ve monzonit) tarafından kesilmektedir. F-NTE-Th içerikli cevherleşmeler, büyük ölçüde bu plütomatik kayaçlar ile kireçtaşları arasındaki skarn zonlarında yoğunlaşmıştır.

Başören siyenitlerinden elde edilen radyometrik yaşlandırma sonuçları, alkalen magmatizmanın Erken Paleosen (~65 My) döneminde gerçekleştiğine işaret etmektedir (Leo vd., 1974). Dahası, son zamanda Başören siyeniti üzerinde Ersoy vd. (2025b) tarafından yürütülen detaylı petrolojik çalışmalar neticesinde

bahsi geçen siyenitlerin yay ardı havza ortamında oluşmuş silisçe doygun olmayan K-alkalen bazaltik magmaların aşırı fraksiyonlaşmasıyla geliştiği ve Türkiye'de ilk kez tanımlanan agpaitik karakterli, rinkit-(Ce) ve yer yer lujavrit benzeri piroklor içeren kayaları temsil ettiği öne sürülmüştür. Mineralojik incelemeler ile, sahadaki başlıca NTE taşıyıcı minerallerin britolit ve bastnazit olduğunu ortaya koyulmuştur (Özgenç ve İlbeyli, 2009; Öztürk vd., 2019). Pulat vd. (2022) tarafından yürütülen jeokimyasal çalışmalar ile Malatya–Kuluncak yöresinde Üst Kretase–Alt Paleosen yaşlı alkalen siyenitoyid sokulumlarıyla ilişkili Büyük Kuluncak NTE-Nb-U yatağında, NTE'lerin esas olarak hidrotermal akışkanlara bağlı alterasyon (özellikle argillizasyon) ve kontakt metasomatizma süreçleriyle ana kayalara göre iki-üç kat zenginleştiğini ve yatağın Türkiye'nin ilk ekonomik alkalen kökenli nadir metal (Nb–Zr–Rb) cevherleşmesini temsil ettiği ifade edilmiştir. Pulat vd. (2025) tarafından Kuluncak (Malatya) Nb-U-NTE–Zr–Li mineralizasyonunun karbonatit ilişkili metasomatizma ve özellikle fenitleşme süreçleriyle kontrol edildiğini, HNTE zenginleşmesinin hem jeokimyasal hem jeofizik verilerle desteklendiğini ve sistemin Bayan Obo (Çin) ile Ilımaussağ (Grönland) benzeri dünya ölçeğinde karbonatit-dominant bir potansiyel taşıdığını öne sürmüştür. Buna karşın, Çimen vd. (2020) çalışmasında mineralizasyonun doğrudan karbonatit magmatizmasıyla değil, daha çok alkalen kompleksle ilişkili hidrotermal bir sistemle bağlantılı olabileceğini ileri sürülmüştür. Cevherleşme alanında karbonatit magmatizmasının varlığı henüz ayrıntılı petrolojik ve jeokimyasal verilerle kesin biçimde ortaya konulmamış olup, bu ilişkinin netleştirilebilmesi için kapsamlı mineralojik, petrolojik ve izotopik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Sahada hâlihazırda aktif bir üretim faaliyeti bulunmamakla birlikte, tenör ve rezerv belirlemeye yönelik çalışmalar MTA tarafından yürütülmüştür. 2019 yılı MTA Faaliyet Raporu'nda, NTE'lere

ek olarak çinko (Zn), nikel (Ni), arsenik (As), rubidyum (Rb), tantal (Ta), berilyum (Be), lityum (Li) ve galyum (Ga) gibi elementlerin de sahada varlık gösterdiği ifade edilmiştir.

### **Divriği (Sivas)**

Sivas ili Divriği ilçesinde yer alan söz konusu cevherleşme, Efendi Deresi içerisinde, yaklaşık 1600 m kotlarında, Paleosen–Eosen yaşlı alkali granitler bünyesinde gelişmiştir (Boztuğ vd., 2007; Öztürk vd., 2019). Cevherleşme zonunun yüzeyde yaklaşık 300 m süreklilik gösterdiği ve 0,6–1,0 m arasında değişen kalınlıklara sahip olduğu belirtilmiştir (Öztürk vd., 2019). Sahada MTA tarafından 1958 yılında, uranyum aramaları kapsamında gerçekleştirilen sondaj ve galeri çalışmaları sonucunda yaklaşık 36 bin ton Cu–F cevheri tanımlanmıştır (Öztürk vd., 2019). Cevher damarının merkez kesimleri yeşil renkli florit ile karakterize edilirken, kenar zonlarda kalkopirit, galenit ve sfalerit minerallerinin baskın olduğu gözlenmektedir. Bunlara ek olarak, cevherleşme alanında arsenopirit, pirit, bizmutinit, kovellin, kalkosin, ayrıca kalsit, kuvars, kil mineralleri (muhtemelen kaolinit) ve piritin alterasyonu sonucu gelişmiş limonit mineralleri de tanımlanmıştır (Öztürk vd., 2019). Cevherleşmeye ait 6 örneğin analitik sonuçları, ortalama  $\Sigma$ NTE içeriğinin 1363 ppm olduğunu ortaya koymakta olup, HNTE'lerin baskın olduğu tipik bir NTE dağılım deseni sergilenmektedir. Ayrıca, cevherin ortalama 698,5 ppm Y içeriğine sahip olması dikkat çekici bir özellik olarak öne çıkmaktadır (Öztürk vd., 2019). Sahada günümüzde aktif bir üretim faaliyeti bulunmamakla birlikte, daha ayrıntılı ve sistematik NTE arama ve değerlendirme çalışmalarına ilişkin güncel bilgilere henüz ulaşılammıştır. Yine Keban ve Kırşehir dolaylarında da siyenitik kayalarla ilişkili florit cevherleşmeleri ile birlikte bazı NTE değerleri elde edilmiş olup yukarıda sayılan diğer cevherleşmelerle ilişkili benzer oluşumlar olabilecekleri değerlendirilmektedir (Yıldırım vd., 2021; Özmen ve Koç, 2006).

### **Kemiklitepe (Karaman)**

Karaman ili Bolkardağı Bölgesi'nde yer alan laterit-tip Kemiklitepe Boksit yatağı, ikincil NTE cevherleşmesi açısından potansiyel arz eden ve ayrıntılı inceleme gerektiren önemli bir sahayı temsil etmektedir. Boksit cevherleşmesi yaklaşık 5–10 m kalınlığa sahip olup, kuzeye doğru yaklaşık 100 m, güneye doğru ise yaklaşık 200 m süreklilik göstermektedir. Sahanın kuzey kesiminde, taban kayaları Üst Triyas yaşlı fillitler ve metaşeyller tarafından temsil edilmekte olup; bu birimler yukarı doğru dereceli olarak saprolitlere ve ardından boksit seviyelerine geçmektedir. Güney kesiminde ise taban kayaları Üst Triyas yaşlı rekristalize kireçtaşları, tavan kayaları ise Orta Jura yaşlı rekristalize kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Hanilçi, 2013). Boksit cevherinin mineral parajenezi başlıca diaspor ve hematit minerallerinden oluşmaktadır ve daha az oranlarda ise anataz, klorit, götit ve mika mineralleri eşlik etmektedir. Analitik veriler, boksit cevherinin  $\Sigma$ NTE içeriğinin yaklaşık 1693 ppm düzeyinde olduğunu göstermekte olup, bu değer ikincil lateritik sistemler açısından dikkate değer bir zenginleşmeye işaret etmektedir (Hanilçi, 2013). Bu bağlamda, Kemiklitepe Boksit yatağında NTE'lerin hangi mineral fazları içerisinde bulunduğu ortaya konulması amacıyla ayrıntılı mineralojik ve jeokimyasal çalışmaların gerçekleştirilmesi; ayrıca saha genelinde detaylı NTE prospeksiyonunun yürütülmesi gerekmektedir.

### **Kızıldağ (Karaman)**

Karaman ili Bolkardağı Bölgesi'nde yer alan Kızıldağ Boksit cevherleşmesi, protolit kayaç olarak tanımlanan sleyt seviyesinin, Kemiklitepe boksit yatağında olduğu gibi, yüksek NTE potansiyeline sahip olduğunu göstermesi açısından dikkat çekicidir. Boksit cevher zonunun yaklaşık 400 m uzunluğa ve 30 m kalınlığa sahip olduğu rapor edilmiştir (Hanilçi, 2013). Cevherleşmenin

taban kayacı, Permiyen yaşlı rekristalize kireçtaşları ile temsil edilirken, tavan kayacı ise Alt Triyas yaşlı rekristalize kireçtaşlarıdır (Hanilçi, 2013). Kırmızımsı-kahverengi renkli boksit cevheri mineralojik olarak büyük oranda diasporit ve hematit, daha düşük oranlarda ise böhmit ve kaolinit minerallerinden oluşmaktadır (Hanilçi, 2013). Analitik sonuçlar, boksit cevherleşmesinin nispeten daha düşük  $\Sigma$ NTE içeriğine (~668 ppm) sahip olduğunu, buna karşılık protoliti temsil eden sleyt seviyesinin belirgin biçimde yüksek  $\Sigma$ NTE içeriği (~1.548 ppm) sergilediğini ortaya koymaktadır (Hanilçi, 2013). Bu durum, NTE'lerin lateritleşme süreci sırasında kısmen yeniden dağıldığını ve önemli bir bölümünün protolit seviyelerde tutulmuş olabileceğini düşündürmektedir. Bu çerçevede, Bolkardağı Bölgesi'nde gerek boksit cevherleşmeleri gerekse protoliti oluşturan birimler üzerinde, NTE'lerin mineralojik bağlanma biçimlerini ve mekânsal dağılımını ortaya koymaya yönelik daha ayrıntılı jeokimyasal ve mineralojik prospeksiyon çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir.

### **Çanaklı (Burdur)**

Burdur ili Çanaklı Bölgesi'nde yer alan plaser tipi NTE sahasının kaynak alanının, Isparta-Gölcük Bölgesi'nde gelişen Kuvaterner yaşlı alkaleen magmatizma ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Cox vd., 2013). Deady vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen mineralojik incelemelerde, sahada başlıca manyetit ile birlikte çevkinit, perierit, apatit, allanit ve britolit gibi NTE taşıyan minerallerin yaygın olarak bulunduğu rapor edilmiştir. Söz konusu cevherleşme alanının,  $\sim\Sigma$ NTE %0,07 gibi nispeten düşük bir tenöre, buna karşılık yaklaşık 464 Mt düzeyinde yüksek bir rezerv/kaynak potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir (Cox vd., 2013). Küresel ölçekte benzer plaser tipi NTE oluşumlarıyla karşılaştırıldığında, tenör değerlerinin düşük olduğu görülmekle birlikte, manyetit varlığı ve buna bağlı olarak eş-ürün

potansiyeli dikkate alındığında, sahanın daha ayrıntılı ve hedefli prospeksiyon çalışmaları ile yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu potansiyel cevherleşme alanı, MTA tarafından ruhsatlandırılmış olup, ileri aşama arama ve değerlendirme çalışmaları için uygun hedef sahalar arasında yer almaktadır.

### **Avnik (Bingöl)**

Bingöl ili Genç ilçesi sınırları içerisinde yer alan Avnik apatitli–manyetit sahası, Güneydoğu Anadolu'da Bitlis Masifi bünyesinde konumlanmaktadır. Yatak, ortaçtan felsiğe değişen bileşimlere sahip, kalk-alkalen karakterli metavolkanik kayaçlarla ilişkili olup; manyetit, apatit ve aktinolit minerallerinden oluşan masif, bantlı ve saçılmış–ağsı tipte cevherleşmeler ile temsil edilmektedir (Helvacı, 1984). Bölgede tanımlanan cevher rezervlerinin, %14–18 Fe içerik aralığında ve yaklaşık 104 Mt düzeyinde olduğu rapor edilmiştir. Cevher mineralojisi büyük ölçüde manyetit, apatit ve aktinolit tarafından kontrol edilmekle birlikte, aksesuar seviyede önemli bir NTE taşıyıcısı olan allanit minerali tanımlanmıştır (Helvacı, 1984). Sahaya ilişkin mevcut çalışmaların büyük ölçüde eski tarihli olması nedeniyle, Avnik sahasının NTE potansiyelinin güvenilir biçimde ortaya konulabilmesi için güncel, ayrıntılı jeokimyasal, mineralojik ve prospeksiyon çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir.

### **SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

Nadir toprak elementleri, sahip oldukları özgün fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle başta NdFeB ve SmCo tipi kalıcı mıknatısların üretimi olmak üzere seramik, katalizör, fosforlar, lazer, optik ve sensör sistemleri gibi ileri teknoloji uygulamalarında kullanılan en kritik hammaddeler arasında yer almaktadır. Madencilik ve zenginleştirme süreçlerinin teknik açıdan zor

ve maliyetli olması; buna karşın Çin'de ucuz iş gücü, düşük girdi maliyetleri ve görece zayıf çevresel regülasyonların bulunması nedeniyle, özellikle 2000'li yılların başından itibaren küresel NTE üretimi büyük ölçüde Çin'in kontrolü altına girmiştir. Günümüzde Çin dışında önemli üretici ülkeler arasında Avustralya ve ABD öne çıkmaktadır. Tüm bu hususlar beraberinde ciddi bir tedarik riski problemini ortaya çıkarmaktadır.

NTE mineralizasyonları genel olarak birincil jeolojik kaynaklar (karbonatitler, alkalin magmatik sistemler, DOBA tipi oluşumlar) ve ikincil jeolojik kaynaklar (iyon-adsorpsiyon killeri, plaserler ve lateritik oluşumlar) olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmektedir. Birincil jeolojik kaynaklar, karmaşık mineralojiye ve zorlu proses gereksinimlerine sahip olmaları nedeniyle ikincil kaynaklara kıyasla daha yüksek üretim maliyetleri sunmaktadır. Hafif NTE'ler büyük ölçüde birincil kaynaklardan (örneğin Bayan Obo -Çin, Mountain Pass - ABD) elde edilirken, ağır NTE'ler ise ağırlıklı olarak iyon-adsorpsiyon kil yatakları gibi ikincil kaynaklardan (özellikle Jiangxi -Çin) temin edilmektedir. Ağır NTE'lerin lazer ve sensör sistemleri başta olmak üzere savunma sanayi uygulamalarında kritik rol oynaması ve dünya genelinde sınırlı dağılıma sahip olmaları, bu elementleri stratejik açıdan son derece önemli kılmaktadır. Bu durum, özellikle ağır NTE'ler açısından jeolojik çeşitliliğin ve yeni keşiflerin küresel arz güvenliği için kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Mevcut literatür verilerine göre küresel ölçekte bilinen NTE rezervlerinin yaklaşık 90-120 Mt, potansiyel NTE kaynaklarının ise yaklaşık 478 Mt düzeyinde olduğu kabul edilmektedir. Bu durum, bilinen rezervlerin yaklaşık dört katı büyüklüğünde bir kaynak potansiyelinin mevcut olduğunu göstermektedir. Hem rezerv hem de kaynak bazında Çin lider ülke konumunda olup, bu kaynakların büyük bölümü birincil jeolojik kaynaklar ve hafif NTE ağırlıklı sistemler ile temsil edilmektedir. Buna karşın, ağır NTE odaklı

projelerin geliştirilme oranı küresel ölçekte oldukça sınırlıdır. Avrupa genelinde yüksek potansiyele sahip NTE alanları değerlendirildiğinde, Grönland, İsveç, Finlandiya, Almanya, Norveç ve Türkiye öne çıkan bölgeler arasında yer almaktadır. Son yıllarda bu ülkelerde, NTE yataklarının jeolojik ve mineralojik karakterizasyonu, cevherden konsantre üretimi ve uç ürünlerin geliştirilmesine yönelik çok sayıda Ar-Ge ve pilot ölçekli projeler yürütülmektedir. Avrupa ve Türkiye’de yürütülen yeni arama ve geliştirme çalışmaları, küresel NTE arzının çeşitlendirilmesi açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye’de günümüze kadar yatak ölçeğinde değerlendirilebilecek iki ana NTE sahası tanımlanmıştır. Bunlardan Eskişehir-Kızılcaören (Beylikova) sahası, en yüksek tenör ve kaynak potansiyeline sahip alanı temsil ederken, Malatya-Kuluncak sahası diğer önemli NTE yataklanmasını oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak Türkiye genelinde karbonatitler, alkalin kompleksler, boksitler, plaser oluşumlar ve demir oksit-apatit tipi mineralizasyonlar da bilinmektedir. Tanımlanan bu cevherleşme alanlarının büyük bölümü hafif NTE’lerce zengin karakter sergilemekte olup, özellikle NdFeB mıknatıs üretiminde kritik öneme sahip Nd ve Pr elementlerinin kazanımı açısından stratejik bir potansiyel sunmaktadır. Özellikle Eskişehir-Kızılcaören sahasında Etimaden tarafından son yıllarda yürütülen çalışmalarla 694 Mt kaynak ve %1,5-1,8 tenör değerlerine ulaşıldığı açıklanmıştır. Etimaden tarafından kurulan pilot tesis ile cevher zenginleştirme-saflaştırma protokollerinin de sistematik kazanması ile birlikte Türkiye’nin gelecekte bu alandaki önemli oyuncularından biri olması kaçınılmazdır. Bu durum, Türkiye’nin NTE alanında yalnızca kaynak ülkesi değil, aynı zamanda teknolojik üretim zincirinde yer alabilecek bir aktör olma potansiyeline işaret etmektedir.

Jeolojik açıdan Eskişehir-Kızılcaören sahası, Batı Anadolu’da Oligo-Miyosen sonrası

gelişen açılmalı tektonik rejim ile ilişkili alkalin magmatizma sonucu oluşmuştur. Buna karşılık Malatya-Kuluncak sahası, Orta Anadolu Kristalen Kompleksi içerisinde gelişen Geç Kretase-Erken Paleosen yaşlı post-çarpışma tektonik rejim ile ilişkili alkalin magmatizma ile karakterizedir. Türkiye genelinde gerek Batı Anadolu’da gerekse Orta Anadolu Kristalen Kompleksi bünyesinde benzer alkalin karakterli magmatik sistemlerin yaygınlığı bilinmekte olup, bu alanlar NTE aramacılığı açısından öncelikli hedef bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Alkalin magmatizmaya ek olarak, boksit ve plaser oluşumları da özellikle ikincil jeolojik kaynakların belirlenmesi ve değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu jeolojik çerçeve, Türkiye’de NTE aramacılığının jeodinamik temelli bir yaklaşımla yürütülmesi hem birincil hem de ikincil kaynakların etkin biçimde ortaya konulması açısından kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma, NTE’leri jeolojik oluşum ortamları, rezerv-kaynak verileri ve dünya ile Türkiye’den somut örnekler çerçevesinde bütüncül bir yaklaşımla ele almıştır. Bu kapsamda, literatürde dağınık halde bulunan bilgileri bir araya getirerek jeolojik süreçler ile kaynak potansiyeli arasındaki ilişkiyi ortaya koymuş ve Türkiye’deki potansiyel alanları küresel bağlam içinde değerlendirmiştir.

### **EXTENDED SUMMARY**

*Rare earth elements (REEs) are critical raw materials for a wide range of strategic applications, including permanent magnets (NdFeB and SmCo), defense technologies, renewable energy systems, electronics, lasers, optical devices, and sensor technologies. Despite rapidly increasing global demand, the REE supply chain has been largely dominated by China since the early 2000s. This dominance is primarily attributed to the technical complexity and high costs of REE mining and processing, combined with low labor and input*

*costs and comparatively weak environmental regulations in China. Outside China, Australia and the United States currently represent the only significant alternative primary producers.*

*Geologically, REE mineralization occurs in both primary geological sources, such as carbonatites, alkaline magmatic systems, and IOCG-type deposits, and secondary geological sources, including ion-adsorption clays, placers, and lateritic formations. Primary geological sources are generally enriched in light REEs and are characterized by complex mineralogy and high processing costs, whereas heavy REEs are predominantly mined from secondary geological resources. Here, the strategic importance of heavy REEs is further amplified by their critical role in advanced defense, laser, and sensor technologies, combined with their limited global distribution.*

*Globally, known REE reserves are estimated to be approximately 90-120 Mt, while potential REE resources may reach nearly 480 Mt, indicating that existing reserves represent only about one quarter of the total known resource potential. China maintains a leading position for both reserves and resources, with most of its REE endowment hosted by primary geological systems. In contrast, the development of heavy REE-focused projects remains relatively low on a global scale. In Europe, Greenland, Sweden, Finland, Norway, Germany, and Türkiye stand out as regions with significant REE potential. In recent years, extensive research and development efforts have been undertaken in these regions, focusing on geological and mineralogical characterization, beneficiation strategies, and the production of high-value downstream products.*

*In Türkiye, two major REE deposits have been defined at the deposit scale to date: the Eskişehir-Kızılcaören (Beylikova) and Malatya-Kuluncak districts. The Eskişehir-Kızılcaören deposit represents the largest REE resource in terms of grade and tonnage in Türkiye, whereas*

*the Malatya-Kuluncak deposit is notable for its association with Nb-REE-U-Zr-Li mineralization. In addition to these deposits, various carbonatite bodies, alkaline complexes, bauxite horizons, placer deposits, and iron oxide-apatite-type mineralizations have been identified across Türkiye. Most of these systems are enriched in LREEs, particularly Nd and Pr (apart from La and Ce), which are essential components for NdFeB permanent magnet production. Of note, recent exploration and evaluation studies conducted by Eti Maden in the Eskişehir-Kızılcaören area reported a resource of approximately 694 Mt with total REE grades ranging between 1.5 and 1.8%.*


*Geodynamically, the Eskişehir-Kızılcaören deposit is genetically related to alkaline magmatism associated with post-Oligo-Miocene extensional tectonics in western Anatolia. In contrast, the Malatya-Kuluncak deposit formed within the Central Anatolian Crystalline Complex during the Late Cretaceous-Early Paleocene post-collisional tectonic regime. The widespread occurrence of similar alkaline magmatic systems throughout both Western and Central Anatolia highlights Türkiye as a highly prospective region for future REE exploration. In addition to alkaline magmatism, bauxite and placer formations represent important targets for identifying and evaluating secondary REE resources.*

*In conclusion, Türkiye's geological diversity and widespread distribution of alkaline magmatic systems provide a strong foundation for the country to play a strategic role in the European and global REE supply chains. Comprehensive geological, mineralogical, and geochemical investigations of both existing and potential REE deposits are essential to reduce external dependency on critical raw materials and to support the development of high-value downstream REE-based technologies.*

**KATKI BELİRTME**

Yazarlar, çalışmaya yapıcı ve değerli katkılar sunan Dr. M. Selman Aydoğan'a ve anonim hakeme içten teşekkürlerini sunar. Ayrıca makalenin değerlendirme ve editoryal süreçlerinin titizlikle yürütülmesindeki katkıları dolayısıyla Baş Editör Dr. Erdinç Yiğitbaş'a ve Editör Dr. İsmail Onur Tunç'a teşekkür ederler.

**ORCID**

Okay Çimen  <https://orcid.org/0000-0002-1727-9939>

Cahit Dönmez  <https://orcid.org/0000-0003-4705-9301>

**KAYNAKLAR / REFERENCES**

- Ağrınlı, H., Çubuk, Y., Kırbaş, H. & Yılmaz, M. (2023). *Sivas-Karaçayır Ar:201400220 (Er:3315254) Numaralı Iv. Grup Ruhsat Sahasına Ait Maden Jeolojisi ve Kaynak Tahmin Raporu* (Rapor No: 14641), Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü. (In Turkish)
- Alpaslan, M. & Boztuğ, D. (1997). The co-existence of the syncolg and post-colg plutons in the Yıldızeli Area (W-Sivas). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 1-12.
- Barakos, G., Mischo, H. & Gutzmer, J. (2015). Status Quo and Future Evaluations of Global Rare Earth Mining (with Respect to Special Rare Earth Element-industry Criteria). *Third International Future Mining Conference / Sydney, NSW*, pp. 4-6.
- Boztuğ, D., Türksever, E., Heizler, M., Jonckheere, R. C. & Tichomirowa, M. (2009). <sup>207</sup>Pb-<sup>206</sup>Pb, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar and apatite fission-track geothermochronology revealing the emplacement, cooling and exhumation history of the Karacayır Syenite (N Sivas), East Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18, 109-125. <https://doi.org/10.3906/yer-0806-4>
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Arehart, G.B., Satır, M. & Avcı, N. (2007). K-Ar age, whole-rock and isotope geochemistry of A-type granitoids in the Divriği-Sivas region, easterncentral Anatolia, Turkey. *Lithos*, 97(1-2), 193-218. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.12.014>
- Boztuğ, D. (1998). Post-collisional central Anatolian alkaline plutonism, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7(3), 145-165.
- Canbaz, O. & Gökce, A. (2022). Davulalan A-type granitoid-associated Cu, Mo, Pb, Zn, and REEs mineralization, Central Anatolia, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 196, Article 104665. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104665>
- Castor, S.B. (2008). The Mountain Pass Rare-Earth Carbonatite And Associated Ultrapotassic Rocks, California. *The Canadian Mineralogist*, 46(4), 779-806. <https://doi.org/10.3749/canmin.46.4.779>
- Chandler, R., Bhat, G., Mavrogenes, J., Knell, B., David, R. & Leggo, T. (2024). The primary geology of the Paleoproterozoic Mt Weld Carbonatite Complex, Western Australia. *Journal of Petrology*, 65(2), Article egae007. <https://doi.org/10.1093/petrology/egae007>
- Chen, C., Wang, C. H., Wang, D. H., Qin, J. H., Lu, L., Dang, X. L., Fan, X. Y., Chen, X. R. & Zhang, W. (2020). U-Pb dating and Hf isotope characteristics of zircons from ore-forming parent rocks in the Qingyuan ion-adsorbed REE deposit, Zhejiang Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 40, 58-72.
- Cocker, M. D. (2012). *Lateritic, supergene rare earth element (REE) deposits*. In book: *48th Forum on the Geology of Industrial Minerals* (pp.1-18) Chapter: 4. Arizona Geological Survey Special Paper 9.
- Cook, N. J., Ciobanu, C. L., Wade, B. P., Gilbert, S. E. & Alford, R. (2023). Mineralogy and Distribution of REE in Oxidised Ores of the Mount Weld Laterite Deposit, Western Australia. *Minerals*, 13(5), Article 656. <https://doi.org/10.3390/min13050656>
- Cooper, A. F., Boztuğ, D., Palin, J. M., Martin, C. E. & Numata, M. (2011). Petrology and petrogenesis of carbonatitic rocks in syenites from central Anatolia, Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 161, 811-828. <https://doi.org/10.1007/s00410-010-0566-3>
- Cox, J. J. & Fayram, T. (2013). *NI 43-101 Technical Report on the Aksu Diamas Rare Earth Element Project, Isparta district, Turkey*. AMK Mineral Inc. Toronto, Canada, 29 p.

- Çimen, O. (2025). Nadir Toprak Elementleri ekosistemi ve doğru sanılan yanlışlar. *Bilim ve Gelecek Dergisi*, 258. <https://bilimvegelecek.com.tr/index.php/2025/10/01/nadir-toprak-elementleri-ekosistemi-ve-dogru-sanilan-yanlislar>
- Çimen, O., Ağrılı, H., Kuebler, C., Simonetti, A., Corcoran, L., Simonetti, S., Çolak, T., İnal, S. & Dönmez, C. (2022). Geochemical, isotopic and U-Pb geochronological investigation of the Late Cretaceous Karaçayır carbonatite (Sivas, Turkey): Insights into mantle sources within a post-collisional tectonic setting. *Ore Geology Reviews*, 141, Article 104650. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104650>
- Çimen, O., Corcoran, L., Kuebler, C., Simonetti, S. S. & Simonetti, A. (2020). Geochemical, stable (O, C, and B) and radiogenic (Sr, Nd, Pb) isotopic data from the Eskişehir-Kızılcaören (NW Anatolia) and the Malatya-Kuluncak (E-central Anatolia) F-REE-Th deposits, Turkey: implications for nature of carbonate-hosted mineralization. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29(5), 798-814. <https://doi.org/10.3906/yer-2001-7>
- Deady, E., Lacinska, A., Goodenough, K. L., Shaw, R. & Roberts, N. M. W. (2019). Volcanic Derived Placers as a Potential Resource of Rare Earth Elements: The Aksu Diamas Case Study, Turkey. *Minerals*, 9(4), Article 208. <https://doi.org/10.3390/min9040208>
- Deniz, K. (2022). Mica Types as Indication of Magma Nature, Central Anatolia, Turkey. *Acta Geologica Sinica*, 96(3), 844-857. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.14670>
- Ersoy, E. Y., Yavuz, H., Uysal, İ., Palmer, M. R. & Müller, D. (2025a). The Petrology of Tuffisite in a Trachytic Diatreme from the Kızılcaören Alkaline Silicate-Carbonatite Complex, NW Anatolia. *Minerals*, 15(8), Article 867. <https://doi.org/10.3390/min15080867>
- Ersoy, E. Y., Chakrabarty, A., Müller, D., Uysal, İ., Candan, O., Köksal, S. & Yıldırım, A. (2025b). Mineralogy and petrology of the late cretaceous rinkite-bearing Başören nepheline-sodalite-syenite, Central Türkiye. *Lithos*, 508-509, Article 108103. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2025.108103>
- EuRare Brochure. (2018). [https://www.eurare.org/docs/EURAREbrochure\\_vfinal.pdf](https://www.eurare.org/docs/EURAREbrochure_vfinal.pdf)
- European Commission, (2020). *Study on the EU's list of Critical Raw Materials*. [https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRM\\_2020\\_Report\\_Final.pdf](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRM_2020_Report_Final.pdf)
- Fan, H. R., Yang, K. F., Hu, F. F., Liu, S. & Wang, K. Y. (2016). The giant Bayan Obo REE-Nb-Fe deposit, China: Controversy and ore genesis. *Geoscience Frontiers*, 7(3), 335-344. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.11.005>
- Goodenough, K. M., Schilling, J., Jonsson, E., Kalvig, P., Charles, N., Tuduri, J., Deady, É. A., Sadeghi, M., Schiellerup, H., Müller, A., Bertrand, G., Arvanitidis, N., Eliopoulos, D. G., Shaw, R. A., Thrane, K. & Keulen, N. (2016). Europe's rare earth resource potential: an overview of metallogenic provinces and their geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, 72(Part 1), 838–856. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.09.019>
- Goodenough, K., Wall, F. & Merriman, D. (2018). The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Natural Resources Research*, 27, 201-216. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>
- Guo, W., Zhao, Z., Wang, C., Chen, X., Dang, X., Zhang, W. & Zhao, C. (2024). Micro-Topographic Controls on Rare Earth Element Accumulation and Fractionation in Weathering Profiles: Case Study of Ion-Adsorption Rare Earth Element Deposit in Hedi, Zhejiang Province, China. *Minerals*, 14(11), Article 1178. <https://doi.org/10.3390/min14111178>
- Guyonnet, D., Planchon, M., Rollat, A., Escalon, V., Tuduri, J., Charles, N., Vaxelaire, S., Dubois, D. & Fargier, H. (2015). Material Flow Analysis Applied to Rare Earth Elements in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 107, 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.123>
- Gültekin, A.H., Örgün, Y. & Suner, F. (2003). Geology, mineralogy and fluid inclusion data of the Kizilcaoren fluorite- barite- REE deposit, Eskişehir, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(4), 365-376. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00019-6)
- Güneş, H., Obuz, H. E., Akçay, H., Kara, Ç. & Erdem, A. (2023). Production of rare-earth oxides from Eskişehir-Beylikova complex ores. *Bulletin of the*

- Mineral Research and Exploration, 170, 87-97.  
<https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.1180222>
- Haniççi, N. (2013). Geological and geochemical evolution of the Bolkardağı bauxite deposits, Karaman, Turkey: Transformation from shale to bauxite. *Journal of Geochemical Exploration*, 133, 118-137.  
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.04.004>
- Helvacı, C. (1984). Apatite-Rich Iron Deposits of the Avnik (Bingöl) Region, Southeastern Turkey. *Economic Geology*, 79(2), 354-371.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.79.2.354>
- İnan, N. & İnan, S. (1999). New findings on the age and depositional conditions from the Tokus Formation (Sivas, Türkiye). *Geological Bulletin of Turkey*, 42(1), 119-130. [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/4ea0d5b0cf49525\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/4ea0d5b0cf49525_ek.pdf)
- Jordens, A., Cheng, Y. P. & Waters, K. E. (2013). A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Minerals Engineering*, 41, 97-114.  
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.10.017>
- Kadioglu, Y. K., Dilek, Y. & Foland, K. A. (2006). Slab break-off and syncollisional origin of the Late Cretaceous magmatism in the Central Anatolian crystalline complex. *Geological Society of America*, 409, 381-415.  
[https://doi.org/10.1130/2006.2409\(19\)](https://doi.org/10.1130/2006.2409(19))
- Kaplan, H. (1977). Rare earth elements and thorium complex deposit of Kızılcaören village, Sivrihisar-Eskişehir, Turkey. *Bulletin of Geological Engineering*, 2, 69-76.
- Kraeff, A. & Pasquare, G. (1966). Igneous Nepheline-Bearing Rocks of Çukurköy (Northern Part of Province of Kayseri, Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 66, 121-125.
- Kursunoglu, S., Hussaini, S., Top, S., Ichlas, Z. T., Gokcen, H. S., Ozsarac, S. & Kaya, M. (2021). Production of mixed rare earth oxide powder from a thorium containing complex Bastnaesite ore. *Powder Technology*, 379, 641-654.  
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.10.086>
- Leo, G. W., Marvin, R. F. & Mehnert, H. H. (1974). Geological framework of Kuluncak-Sofular area, east-central Turkey, and K-Ar ages of igneous rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 85(11), 1785-1788. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1974\)85%3C1785:GFOTKA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85%3C1785:GFOTKA%3E2.0.CO;2)
- Li, Y., Wu, L.G., Yu, Y., Yang, L., Selby, D., & Li, X.H. (2025). Paleozoic carbonatites controlled rare-earth-elements mineralization at Bayan Obo. *Science Advances*, 11(17) Article eads9481. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ads9481>.
- Liu, S. L., Fan, H. R., Liu, X., Meng, J., Butcher, A.R., Yann, L., Yang, K. F. & Li, X. C. (2023). Global Rare Earth Elements Projects: New Developments and Supply Chains. *Ore Geology Reviews*, 157, 1-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105428>
- Lottermoser, B. G. (1990). Rare-earth element mineralisation within the Mt. Weld carbonatite laterite, Western Australia. *Lithos*, 24(2), 151-167.  
[https://doi.org/10.1016/0024-4937\(90\)90022-S](https://doi.org/10.1016/0024-4937(90)90022-S)
- MİA, (2025). *Nadir Toprak Elementleri ve Türkiye: Jeopolitik Satrançta Yeni Dinamikler ve Aktörler*. Milli İstihbarat Akademisi. Türkiye. ss.: 25.
- MTA, (1986). *Kızılcaören Köyü (Sivrihisar, Eskişehir) Civarındaki Kompleks Cevher Yatağına Ait (Fluorit+Barit+Nadir Toprak Elementleri) Maden Jeolojisi Sonuç Raporu*. MTA Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Daire Başkanlığı (in Turkish).
- Nikiforov, A. V., Öztürk, H., Altuncu, S. & Lebedev, V. A. (2014). Kızılcaören Ore-bearing Complex with Carbonatites (Northwestern Anatolia, Turkey): Formation Time and Mineralogy of Rocks. *Geology of Ore Deposits*, 56, 35-60.  
<https://doi.org/10.1134/S107570151401005X>
- Okay, A. I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F. & Séranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen*, Geological Society, London, *Special Publication*, 156, 475-515.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>
- Özaksoy, V. ve Gökten, E. (1996). The stratigraphy and tectonics of Özvatan-Felahiye (Kayseri). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39(1), 31-42.  
[https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/31af583573227f0\\_ek.pdf](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/31af583573227f0_ek.pdf)
- Özgenç, İ. & İlbeyli, N. (2009). Geochemical constraints on petrogenesis of Late Cretaceous alkaline magmatism in east-central Anatolia (Hasancelebi-Basören, Malatya), Turkey. *Mineralogy and Petrology*, 95, 71-85.  
<https://doi.org/10.1007/s00710-008-0027-0>

- Özmen, Ö. & Koç, Ş. (2006). Farklı Renkteki Fluoritlerin Nadir Toprak Elementleri (NTE) Konsantrasyonu Kaman, Kırşehir, Türkiye. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2), 229-237.
- Öztürk, H., Hanilçi, N., Altuncu, S. & Kasapçı, C. (2019). Rare earth element (REE) resources of Turkey: An overview of their characteristics and origin. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 159, 129-143. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.471205>
- Pulat, O., Kırtıl, M., Ünlüer, A. T., Karakaş, M., Küçük, M., Ulutaş, A. M., Akgöz, M., Ateş, H., Omaç, M. B. & Türkan, Ö. (2025). Geochemical and geophysical relationship of the potassium-rich fenite zone in surface and subsurface investigations of the giant Kuluncak (Malatya) Nb-U-REE-Zr-Li mineralization. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 178, 149-181. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.1812181>
- Pulat, O., Karakaş, M. & Yastı, M. A. (2022). Relationship of ore properties and alteration of the Büyük Kuluncak (Malatya) Nb - U -NTE - Zr - Li deposit. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 167, 127-148. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.973626>
- Qasim, M., Khan, S. D., Sisson, V., Greer, P., Xia, L., Okyay, U. & Franco, N. (2024). Identifying Rare Earth Elements Using a Tripod and Drone-Mounted Hyperspectral Camera: A Case Study of the Mountain Pass Birthday Stock and Sulphide Queen Mine Pit, California. *Remote Sensing*, 16(17), Article 3353. <https://doi.org/10.3390/rs16173353>
- Sarıfakıoğlu, E., Özen, H. & Hall, C. (2009). Petrogenesis of extension-related alkaline volcanism in Karaburhan (Sivrihisar-Eskisehir), NW Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 35(6), 502-515. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.03.002>
- She, H. D., Fan, H. R., Chen, B., Yang, K. F., Li, X. C. & Wang, Q. W. (2025). The occurrence and distribution of thorium in the giant Bayan Obo REE-Nb-Fe polymetallic deposit, China. *Ore Geology Reviews*, 186, Article 106883. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2025.106883>
- Schuilng, R. D. (1961). Formation of pegmatitic carbonatite in a syenite-marble contact, *Nature*, 192, 1280. <https://doi.org/10.1038/1921280a0>
- Solmaz, O.M. (1983). *Çukur (Kayseri) bölgesi siyenitik kompleksinin petrolojik etüdü* [Unpublished Ph.D. thesis]. Istanbul Technical University (Istanbul), 82 p.
- Stumpfl, E. F. & Kırkoğlu, M. S. (1986). Fluorite-barite-rare earth deposit at Kızılcaören, Turkey. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft*, 78, 193-200.
- Şaşmaz, A. & Yavuz, F. (2007). REE geochemistry and fluid-inclusion studies of fluorite deposits from the Yaylagözü area (Yıldızeli-Sivas) in Central Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 183(2), 215-226. <https://doi.org/10.1127/0077-7757/2007/0077>
- Tavlı, F., Gücer M.A., Çimen, O., Akal, C., Ersoy, E.M., Uysal, İ., Ağrılı, H., Dönmez, C. & Çolak, T. (2024). Geochemical and Geochronological Characteristics of the Davulalan Pluton (Sivas, Türkiye) from the Central Anatolian Crystalline Complex. Çan, T., Tekin, S., Pınarcı, E., Kadakçı Koca, T., Koçkar, M. K., Olgun, Ş., Güler, C., Sarı, E. & Tiringa, D. (Eds.), *76th Geological Congress of Turkey with international participation, Abstracts book* (p.: 183). April 15-19, 2024, Ankara, Turkey.
- Uras, Y., Yalçın, C., İlbeyli, N. & Tapınç, B. G. (2020). Hayriye (Felahiye-Kayseri) Floritlerinin Nadir Toprak Element (NTE) Jeokimyası. *Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 9(1), 461-471 (in Turkish with English abstract). <https://doi.org/10.28948/ngumuh.604350>
- Ünlüer, A. T., Budakoğlu, M., Doner, Z. & Abdelnasser, A. (2023). The evolution of the REE-bearing Özvatan nepheline syenite-carbonatite complex, Central Turkey: Mineralogical, geochemical, and stable isotopic approaches. *Minerals*, 13(6), Article 667. <https://doi.org/10.3390/min13050667>
- Ünlüer, A.T., Doner, Z., Ünal, A., Kamacı, Ö., Kaya, M., Öztürk, S. & Kumral, M. (2024). The first finding of a highly evolved Mg-rich carbonatite intrusion in NW Anatolia (Arıklı-Çanakale). *Geochemistry*, 84(4), Article 126124. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126124>

- Walters, A, Lusty, P & Hill, A. (2011). *Rare earth elements: mineral profile series [online]*, British Geological Survey, commodity profiles. [https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/12583/1/Rare\\_Earth\\_Elements\\_profile.pdf](https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/12583/1/Rare_Earth_Elements_profile.pdf)
- Wu, C., Yuan, Z. & Bai, G. 1996. Rare-earth Deposits in China. In Jones, A. P., Wall, F., Williams, C.T. (Eds.), *Rare Earth Minerals: Chemistry, Origin and Ore Deposits* (pp. 281-310). Chapman and Hall, London.
- Yeşilören Görmüş, N., Gürtekin, G., Erdem, A. & Gülmez, A. (2021). Kızılcaören (Sivrihisar) bölgesi nadir toprak element (NTE) içeren minerallerin mineral serbestleşme analiz (MLA) yöntemi kullanılarak tayini. *International Journal of Pure and Applied Sciences* 7(2), 251-264. <https://doi.org/10.29132/ijpas.907212>
- Yıldırım, E., Yıldırım, N., Dönmez, C. & Günay, K. (2021). Geology of the Yeşilyurt gold deposit: an example of low-angle normal fault related mineralization, Eastern Anatolia-Turkey. *MTA Dergisi*, 164, 267-285 (in Turkish with English abstract). <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.797729>
- Yılmaz, M. Ç., Gücer M. A., Çimen, O., Akal, C., Ersoy, E.M., Uysal, İ., Ağrılı, H., Dönmez, C. & Çolak, T. (2024). Whole Rock Geochemical and Zircon U-Pb Age Characteristics of Rare Earth Elements-Enriched Hayriye Pluton (Kayseri, Türkiye). Çan, T., Tekin, S., Pınarcı, E., Kadakçı Koca, T., Koçkar, M. K., Olgun, Ş., Güler, C., Sarı, E. & Tiringa, D. (Eds.), *76th Geological Congress of Turkey with international Participation, Abstracts Book* (p.: 184), April 15-19, 2024, Ankara, Turkey.
- Zhou, B., Li, Z. & Chen, C. (2017). Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies. *Minerals*, 7, Article 203. <https://doi.org/10.3390/min7110203>
- Zhu, X., Zhang, B., Ma, G., Pan, Z., Hu, Z. & Zhang, B. (2022). Mineralization of ion-adsorption type rare earth deposits in Western Yunnan, China. *Ore Geology Reviews*, 148, Article 104984. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104984>
- Zhukova, I.A., Stepanov, A.S., Jiang, S.Y., Murphy, D., Mavrogenes, J., Allen, C., Chen, W. & Bottrill, R. (2021). Complex REE systematics of carbonatites and weathering products from uniquely rich Mount Weld REE deposit, Western Australia. *Ore Geology Reviews*, 139(B), Article 104539. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104539>