

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**NADİR YER ELEMENTLERİ: TÜRKİYE'NİN NADİR YER  
ELEMENT KAYNAKLARI**

**ORHAN CEM YIRCALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Mustafa Selman AYDOĞAN(Tez Danışmanı)**  
                         **Prof. Dr. Zafer ASLAN**  
                         **Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ**

**BALIKESİR, ŞUBAT - 2023**



## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Nadir Yer Elementleri: Türkiye'nin Nadir Yer Element Kaynakları**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Orhan Cem YIRCALI**

## ÖZET

**NADİR YER ELEMENTLERİ: TÜRKİYE'NİN NADİR YER ELEMENT  
KAYNAKLARI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORHAN CEM YIRCALI  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. MUSTAFA SELMAN AYDOĞAN)  
BALIKESİR, ŞUBAT - 2023**

Nadir yer elementleri (NYE) periyodik tabloda atom numaraları 57'den (Lantanyum- La) 71'e (Lutesyum- Lu) kadar olan ve kimyasal olarak benzer özellikler gösteren 15 elementi içermektedir. Bu elementlere ayrıca lantanid grubu elementler de denilmektedir. Atom sayısı 39 olan itriyum (Y) ile atom numarası 21 olan skandiyum (Sc) elementleri de benzer iyon çapları ve küçük atomik çapları nedeniyle NYE grubuna dahil edilmektedir. Son yıllarda Nadir Yer Elementlerinin önemi çok daha fazla artmıştır, savunma sanayisinde ve dijitalleşen teknolojide özellikle ham madde olarak kullanılması buna sebep olmuştur. Nadir Yer Elementleri, parlak, demir, gri veya gümüş renginde olabilirler. Genel olarak yumuşak, kolayca şekil alma ve kolayca tepkimeye girebilme karakteristiğine sahiptirler. Ergime noktaları buldukları seri boyunca ileri gittikçe artar.

Nadir yer elementlerinin tedariki, artan talebe rağmen düşmektedir. Çin tek başına global tüketimin %60'ını sağlamaktadır. Çin küresel arzın %95'ini temsil etmeleri ve ihracatlarını kesme sürecinde olmaları nedeniyle, kısa vadede muhtemelen nadir toprak elementi tüketimine hakim olmaya devam edeceklerdir. Çin ihracat kotasını düşürmekte ve nadir toprak elementlerinin fiyatları yükselmektedir. Bu dünyadaki diğer ülkelerin bu işe girmesini düşünmeye itmektedir. Bu düşüş spekülasyonlara, potansiyel talep ve fiyatlandırmaya ne olacağına dair endişelere yol açmaktadır.

Türkiye'nin Nadir Yer Elementi yatağı ve cevherleşmelerini, kökenine göre dört grupta incelenebilir. İlk olarak karbonatit-alkali magmatitlerle ilişkili yataklardır. Kızılcaören (Eskişehir) ve Kuluncak (Malatya) sırasıyla %2.9 ve %0.7 toplam NYE tenörüne sahiptir ve en bilinen yataklardır. Düşük TNYE tenörüne sahip Keban (%0.05) ve Divriği (%0.13) cevherleşmeleri floritçe zengindir.

Sonuç olarak, ülkemizin nadir yer elementleri bakımından potansiyel olabilecek sahaları dikkatli bir şekilde incelenmelidir.

**ANAHTAR KELİMELEER:**Nadir Toprak Elementleri, kullanım alanları, Türkiye

## **ABSTRACT**

**RARE EARTH ELEMENTS: RARE EARTH ELEMENT RESOURCES OF  
TURKEY  
MSC THESIS  
ORHAN CEM YIRCALI  
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
GEOLOGICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. MUSTAFA SELMAN AYDOĞAN)  
BALIKESİR, FEBRUARY - 2023**

Rare earth elements (REEs) include 15 elements in the periodic table with atomic numbers from 57 (Lanthanum-La) to 71 (Lutesium-Lu) with chemically similar properties. These elements are also called lanthanide group elements. The elements yttrium (Y) with atomic number 39 and scandium (Sc) with atomic number 21 are also included in the REE group due to their similar ion diameters and small atomic diameters. In recent years, the importance of Rare Earth Elements has increased much more, especially the use of raw materials in the defense industry and digitalized technology has caused this. Rare Earth Elements can be shiny, iron, gray or silver in color. They are generally soft, easily shaped and easily reactive. Melting points increase further along the series in which they are located.

The supply of rare earth elements is declining despite increasing demand. China alone provides 60% of global consumption. As China represents 95% of the global supply and is in the process of cutting off its exports, they will likely continue to dominate rare earth element consumption in the short term. China is reducing its export quota and the prices of rare earths are rising. This makes so the countries in the world think about getting into this business. This decline has led to speculation, potential demand and concerns about what will happen to pricing.

In Türkiye, Rare Earth Element deposits and mineralizations can be examined in four groups according to their origin. First, they are deposits associated with carbonatite-alkaline magmatites. Kızılcaören (Eskişehir) and Kuluncak (Malatya) have a total REE grade of 2.9% and 0.7%, respectively, and are the most well-known deposits. Keban (0.05%) and Divriği (0.13%) mineralizations with low TNYE grade are rich in fluorite. Consequently, the potential areas of our country in terms of rare earth elements should be carefully examined.

**KEYWORDS:**Rare Earth Elements,usage areas, Türkiye

Science Code / Codes : 92009

Page Number : 82

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Nadir Yer Elementlerinin Genel Özellikleri .....	2
1.2 Nadir Yer Elementlerinin Tarihçesi, Yakından İncelenmesi ve Kullanım Alanları .....	3
1.2.1 Skandiyum .....	4
1.2.2 İtriyum.....	17
1.2.3 Lantanyum.....	24
1.2.4 Seryum .....	27
1.2.5 Praseodimyum.....	30
1.2.6 Neodmiyum.....	31
1.2.7 Prometyum .....	34
1.2.8 Samaryum .....	38
1.2.9 Öroppyum .....	41
1.2.10 Gadolinyum .....	43
1.2.11 Terbiyum.....	45
1.2.12 Disprosiyum.....	45
1.2.13 Holmiyum .....	46
1.2.14 Erbiyum .....	47
1.2.15 Tülyum.....	47
1.2.16 İterbiyum.....	48
1.2.17 Lütesyum .....	49
1.3 Nadir Yer Elementlerinin Genel Kimyasına Giriş.....	51
1.4 Nadir Yer Elementlerinin Yer Kabuğunda Bulunuş Yoğunluğu .....	51
1.5 Nadir Yer Elementlerinin Kayaçlarda Bulunuş Yoğunluğu .....	52
1.6 Nadir Yer Elementlerinin Hidrotermal Sıvılarda Bulunuşu .....	53
1.7 Nadir Yer Elementlerinin Minerallerde Bulunuşu.....	53
1.8 Nadir Yer Elementlerinin Madenciliği ve Yöntemleri .....	57
1.8.1 İtriyumu Gösterge Olarak Kullanıp Nadir Yer Elementlerinde Toplam Konsantrasyonun Tespit Edilmesi .....	57
1.9 NYE Metalojenisinin Jeolojik Zamandaki Ana Özellikleri.....	58
1.9.1 NYE'nin uzam-zamansal dağılımı .....	58
1.10 İtriyumun Zhijin nadir yer içeren fosforitlerdeki zenginleşme karakteristikleri.....	60
1.11 Cevherleşme Sürecinde Demir İzotop Kısıtlamaları.....	63
1.12 Nadir Yer Elementlerinin Pazarı .....	64
1.13 Global Arz ve Talep .....	65

<b>2. TÜRKİYE'DEKİ NADİR YER ELEMENTLERİ VE OLASI POTANSİYEL ...</b>	<b>66</b>
2.1 Karbonatit ve Alkali Magmatik Kayaçlarla İlişkili Nadir Yer Elementleri.....	67
2.2 Boksit Yataklarına Bağlı Nadir Yer Elementleri .....	67
2.3 Nadir Yer Elementi İçeren Plaser Depolanmaları .....	67
2.4 Sedimanter Fosforitler ve Nadir Yer Elementleri .....	67
2.5 Türkiye'nin Orta Asya'daki Olası İşbirliği Potansiyeli .....	69
<b>3. DÜNYA ÜZERİNDEKİ NADİR YER ELEMENTLERİ.....</b>	<b>71</b>
<b>4. SONUÇLAR.....</b>	<b>73</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>74</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>82</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1:Beysbol oynamakta kullanılan metal alaşım bir sopa.....	5
Şekil 1.2:Skandiyum çerçeve kullanılan bir dağ bisikleti.....	6
Şekil 1.3: Bir beysbol sahasını aydınlatmada kullanılan yüksek performanslı spot ışıkları.....	7
Şekil 1.4: Modern bir televizyon kamerası.....	7
Şekil 1.5: Gövdesinde hafifletme amacıyla alüminyum-skandiyum alaşım kullanılmış bir savaş uçağı.....	8
Şekil 1.6: Uzayda lazer kullanımına örnek skandiyum içeriğine sahip bir lazer ışını.....	8
Şekil 1.7: İtiryum granatı.....	17
Şekil 1.8: İtiryum minerali.....	18
Şekil 1.9: İtiryum Elementi.....	18
Şekil 1.10: Roket yanma çemberi, gümüşümsü çizikler itiryum alaşımı içermektedir.....	19
Şekil 1.11:Kübik zirkon mücevherlerden, bilgisayar ekranlarına, kamera lenslerinden, enerji tasarrufu lambalara kadar kullanım alanları.....	20
Şekil 1.12:Örnek bir stüdyo ışıklandırması.....	25
Şekil 1.13:Terbiyum, seryum iyileşmeli lantanyum emisyon spektrumu.....	26
Şekil 1.14:Bazı kamera lensleri.....	26
Şekil 1.15:Ferroseryum çakmaktaşıdan çıkan bir kıvılcım.....	27
Şekil 1.16:Seryumsülfid kristalen pudrası, derin kırmızı rengi.....	28
Şekil 1.17:Tipik bir bilgisayar entegre çip tasarımı.....	29
Şekil 1.18: Cam parlatmadakullanılseryumoksitmaddeşi.....	29
Şekil 1.19: Avro York'a monte edilmişbir Rolls-Royce Merlin motoru.....	30
Şekil 1.20:Malezya'da bir NYE üretimplantasyonu.....	31
Şekil 1.21:Neodmiyum karışımlı bir gölgeli cam örneğı.....	32
Şekil 1.22:Neodmiyum camdan yapılmış bir heykel.....	32
Şekil 1.23:Yüksek basınçlı ultraviyole bronzlaşma ünitesi lambası.....	33
Şekil 1.24:Bilgisayarlarda kullanılan bir depolayıcı.....	33
Şekil 1.25:Çelik silindirleri tutan, neodmiyummıknatısları.....	34
Şekil 1.26:Farklı renklerde ki luminesans boyalar.....	35
Şekil 1.27: 1950'lerde kullanılan, luminesans saat.....	35
Şekil 1.28: Apollo uzay aracının iç kısmından bir görüntü.....	36
Şekil 1.29:Taşınabilir X-ray cihazına bir örnek.....	37
Şekil 1.30:Mikro nükleer batery reaktörü.....	37
Şekil 1.31:Samaryum-Kobalt blok mıknatısları.....	38
Şekil 1.32:Yüksek performans motoru.....	39
Şekil 1.33:Oldukça küçük 3. nesil bir kulak içi kulaklık.....	40
Şekil 1.34:Vintage Noiseless bir gitar manyetiğı.....	40
Şekil 1.35:50 Euro'nun ultraviyole ışık ve karanlıkta incelenmesi.....	41
Şekil 1.36:Düşük tüketimli öropiyum ihtiva eden ampuller.....	42
Şekil 1.37:Nükleer reaktörün iç kısmı.....	42
Şekil 1.38:Gadolinyum-153 tek foton emisyonu ile elde edilmiş bir tomografi.....	43
Şekil 1.39:Nükleer bir reaktörün temsili resmi 1. Kontrol rot sürücüsü, 2. Reaktör kabı, 3.Reaktör basınç kabı 4. Giriş-Çıkış başlığı 5.	



Reaktörçekirdekkabini 6. İçreaktör 7. Yakıttrotları.....	44
<b>Şekil 1.40:</b> NYE kullanım alanları yüzdesi.....	50
<b>Şekil 1.41:</b> Nadir Yer Elementlerinin Global olarak en yaygın kullanım şekilleri.....	64
<b>Şekil 2.1:</b> Türkiye'de NYE potansiyeline sahip depolanma ve yatakların jeolojik konumları.....	66
<b>Şekil 2.2:</b> Tedarik riski ve ekonomik önem eşğine göre 2017 yılı için AB komisyonu tarafından kritik olarak tanımlanmış ham maddelerin konumu	69
<b>Şekil 2.3:</b> Orta Asya Ülkelerindeki Potansiyel NYE Cevherleşme Alanları.....	70
<b>Şekil 3.1:</b> Nadir Yer Elementlerinin ülkelere göre çıkarılması.....	71

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 1.1:</b> Nadir Yer Elementlerinin Sınıflandırılması.....	4
<b>Tablo 1.2:</b> Nadir Yer Elementlerinin Kullanım alanları.....	50
<b>Tablo 1.3:</b> Kondrit, ilksel manto ve kıtasal kabuktaki ppm cinsinden NYE bulunuş yoğunlukları.....	52
<b>Tablo 1.4:</b> Nadir Yer Elementlerinin ppm cinsinden bazı Magmatik Kayaçlarda bulunuşu.....	53
<b>Tablo 1.5:</b> NYE içeren mineraller.....	55
<b>Tablo 1.6:</b> Bastnazit, Monazit ve Ksenotim'in NYE içerikleri.....	56
<b>Tablo 1.7:</b> Kayaç oluşturan minerallerdeki Nadir Yer Elementlerinin ppm cinsinden bulunuş yoğunluğu.....	56
<b>Tablo 1.8:</b> Nadir Yer Elementi oksitlerinin gelecek yıllardaki tahmini fiyatları.....	65
<b>Tablo 2.1:</b> Türkiye'deki Nadir Yer Elementi Yatakları ve Potansiyel Kayaçların İçerikleri.....	68
<b>Tablo 3.1:</b> Dünyadaki bazı skandiyum depolanmaları ve ikincil kaynakları.....	72

## **ÖNSÖZ**

2001-2006 yılları arasında yürütülen bu tez, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Tezin danışmanlığını üstlenerek beni bu konuya yönlendiren, tezin seçim aşamasından tamamlanmasına kadar her aşamada yardımlarını gördüğüm, değerli tecrübe ve bilgileriyle yönlendiren danışmanım sayın Doç. Dr. Mustafa Selman AYDOĞAN'a,

Desteğini gördüğüm, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde destek ve değerli yorumlarıyla katkı sağlayan sayın Öğr. Gör. Dr. Cüneyt BİRCAN'a,

ve çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme, teşekkürü bir borç bilirim.

**Balıkesir, 2023**

**Orhan CemYırcalı**

# 1. GİRİŞ

Nadir yer elementleri (NYE) periyodik tabloda atom numaraları 57'den (Lantanyum- La) 71'e (Lutesyum- Lu) kadar olan ve kimyasal olarak benzer özellikler gösteren 15 elementi içermektedir. Bu elementlere ayrıca lantanid grubu elementler de denilmektedir. Atom sayısı 39 olan itriyum (Y) ile atom numarası 21 olan skandiyum (Sc) elementleri de benzer iyon çapları ve küçük atomik çapları nedeniyle NYE grubuna dahil edilmektedir. NYE'lerinin büyük bir bölümü +3 değerlidir. Bu durum benzer iyon potansiyelleri ve iyon yarı çapları ile ilgilidir (Öztürk vd., 2018).

NYE grubu elementler atomik ağırlıklarına göre; lantanyumdan (La) öropyum (Eu) elementine kadar olan ve atom numaraları 57 ile 63 arasında değişen elementler hafif nadir yer elementler, atom sayıları 64 ile 71 arasında değişen ve gadolinyum (Gd) ile lutesyum (Lu) arasındaki elementler ise ağır nadir yer elementleri olarak ayrılmaktadır. Bunların yanında keşfedilen ilk nadir yer elementi itriyumdur. 18. yüzyılın sonunda Finlandiyalı Mineralojist Johan Gadolin tarafından bulunmuştur. İsveç'in "Yttry" Yerleşkesinin yakınlarında bulunan kuvars-feldspat ocağında keşfedildiğinden dolayı 'Yttrium' adı bu yerleşkeden gelmektedir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/39/Yttrium>).

Nadir yer elementi ismi ise bir nevi yanlış anlaşılmalıdır. İnsanların cevherleşmeleri nadir olarak bulması bu elementlerin nadir olduğu anlamına gelmemektedir. Örnek olarak nadir yer elementi olan Lutesyum yer kabuğunda Altından 200 kat daha fazla bulunur (<https://www.webelements.com/lutetium/geology.html> 2021).

Son yıllarda Nadir Yer Elementlerinin önemi çok daha fazla artmıştır, savunma sanayisinde ve dijitalleşen teknolojide özellikle ham madde olarak kullanılması buna sebep olmuştur (Wang vd., 2020).

## 1.1 Nadir Yer Elementlerinin Genel Özellikleri

İtriyum, lantanitler ve skandiyum, nadir yer elementleri (NYE) grubuna dahildir. Bu gruptaki elementler benzer kimyasal özellikleri paylaşır (üç değerlikli oksidasyon durumu gibi özellikler), aynı mineral depolanmalarında benzer bulunuş şekilleri gibi benzerlikler sunar. Özellikle, ana NYE yatakları, karbonatit ve granit tropikal erozyonuyla (ayrışması) ile ilgilidir ve Sc zenginleşmesi lateritlerde yaygındır. Bununla birlikte, kritik bölge (CZ; jeolojik, hidrolojik ve atmosferik bölümler kayaların hava, su ve biyota ile etkileşime girdiği yer) çalışmaları NYE ve Sc davranışı arasındaki farklılıkları göstermektedir. Nadir yer elementleri erozyon ile regolitte hareketlenir ve yeniden dağıtılır. Bununla beraber bataklıklardan çeşitli ortamlar ile orta derecede yıpranmış magmatik kayalar ve yoğun şekilde yıpranmış malzemede, skandiyumun kararlı olarak davrandığı kabul edilir (yani nispeten hareketsiz). Skandiyumun bu kararlılığı Ti'ye, Zr'ye ve Nb'ye çok benzerdir. Skandiyum bu nedenle kararlı element olarak benimsenmiştir (Chasse vd., 2019).

Nadir yer elementleri veya toprak metalleri aynı zamanda da Nadir Yer Oksitleri olarak da bilinir. Son yıllarda skandiyum ve itriyumun'un Lantanitlere çok benzer fiziksel ve kimyasal özellikler göstermeleri, cevherleşmelerde bu gruba çoğu kez beraber bulunmaları sebebiyle NYE'e dahil edilmişlerdir. Nadir yer elementleri periyodik cetveldeki numaraları 57 ve 71 aralığında olmak üzere; Lantanyum, Seryum, Presediyum, Neodmiyum, Prometeyum, Samariyum, Europiyum, Gadolinyum, Terbiyum, Disporsiyum, Holmiyum, Erbiyum, Tuliyum, Ytterbiyum, Lutiyum elementlerinden oluşur. Nadir Yer Elementlerinin iyon yükleri genelde +3 değerliklidir. Bu elementler tipik olarak iki gruba ayrılmıştır ve bunlar: Hafif yer elementleri ve ağır yer elementleridir. Hafif Nadir Yer Elementleri Lantanyum (La), Seryum (Ce), Praseodymiyum (Pr), Neodimiyum (Nd), Prometeyum (Pm), Samariyum (Sm) ve Europiyum (Eu)'dur. Ağır Nadir Yer Elementleri ise Gadolinyum (Gd), Terbiyum (Tb), Disprosiyum (Dy), Holmiyum (Ho), Erbiyum (Er), Tuliyum (Tm), Ytterbiyum (Yb) ve Lutetiyum (Lu)'dur. Sınıflandırmaların bazılarında ise ilk 7 Lantanit Elementleri hafif, geriye kalanlara ise ağır denmiştir (Jaireth vd., 2014).

Yer kabuğunda artan atom numarasıyla birlikte nadir yer elementlerinin bolluğunun azalmasına yönelik bir eğilim vardır, bu "Oddo-Harkins" kuralı ile ilgilidir. Çift atom

numaralı elementler, tek atom numaralı elementlere göre daha fazladır. Bu ,seryumun (Ce) Dünya'nın kabuğunda lütesyumdan (Lu) çok daha fazla olduğu anlamına gelir.

Nadir Yer Elementleri, parlak, demir, gri veya gümüş renginde olabilirler. Genel olarak yumuşak, kolayca şekil alma ve kolayca tepkimeye girebilme karakteristiğine sahiptirler. Ergime noktaları buldukları seri boyunca ileri gittikçe artar. Örnek olarak seryum 798°C'de ergirken, lütesyumun ergime noktası 1663°C'dir. Metal üretimindeki redüksiyon sürecinde ergime noktasının direkt etkisi kullanılmaktadır.

Nadir Yer Elementlerinin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonları 150-220 ppm (parts per million) arasında değişirken, bakır ve çinkonun yer kabuğu ortalamaları sırasıyla 55 ppm ve 75ppm kapsamındadır. Nadir Yer Elementleri yer kabuğunda, bir çok baz metal elementine kıyasla daha bol bulunmalarına rağmen ekonomik anlamda bulunmuş yoğunlukları oldukça az elementlerdir ve işletilebilir cevher yatakları çok nadiren element zenginleşmesine rastlar (MTA, 2017).

## **1.2 Nadir Yer Elementlerinin Tarihçesi, Yakından İncelenmesi ve Kullanım Alanları**

Nadir yer elementleri bir çok kullanım alanına sahiptir (Şekil 1.39, 1.40) son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda yıllar içerisinde on beş lantanit elementleri alt gruplara hafif nadir yer elementleri (HNYE) olarak; Lantanyum (La), Seryum (Ce), praseodimiyum (Pr), neodimiyum (Nd), prometyum (Pm), samaryum (Sm) ve öropyum (Eu) olarak ayırmış bununla beraber ağır nadir yer elementlerini (ANYE) ise; gadolinyum (Gd), terbiyum (Tb), disprosiyum (Dy), holmiyum (Ho), erbiyum (Er), tilyum (Tm), iterbiyum (Tb) ve lutesyum (Lu) olarak ayrılmıştır (Long vd., 2010; Walters vd., 2010). Bunların yanı sıra bazı sınıflandırmalarda ise (Ni vd., 1995) ilk yedi lantanit elementleri (La'dan Gd'ye) hafif, geriye kalanlar ise (Tb-Eu arası) ağır olarak nitelendirilmiştir (Jaireth vd., 2014).

**Tablo 1.1:** Nadir yer elementlerinin sınıflandırılması (Yıldız, 2016).

Element	Sembolü	Atom Numarası	Yoğunluğu g/cm <sup>3</sup>	Ergime Noktası°C
Skandiyum	Sc	21	3.0	1541
Lantanyum	La	57	6.1	918
Seryum	Ce	58	6.8	789
Praseodimiyum	Pr	59	6.8	931
Neodimiyum	Nd	60	7.1	1021
Prometiyum	Pm	61	7.3	1042
Samariyum	Sm	62	7.5	1074
Europiyum	Eu	63	5.3	822
Gadolinyum	Gd	64	7.9	1313
Terbiyum	Tb	65	8.2	1356
Disprosiyum	Dy	66	8.5	1412
Holmiyum	Ho	67	8.8	1474
Erbiyum	Er	68	9.1	1529
Tulyum	Tm	69	9.3	1545
Ytterbiyum	Yb	70	6.9	819
Lutetiyum	Lu	71	9.8	1663
Yitriyum	Y	39	6.9	1522

NYE'ler doğada saf halde bulunmayıp prometyum dışındakiler bileşik halinde gözlenmektedirler bu halde prometyuma doğada çok az rastlanmakta ve endüstriyel açıdan önem arz etmektedir. NYE'leri bulunuş şekillerini göre birincil yataklar; Volkanik kayaçlarda, granitik kayaçlarda, pegmatitlerde, alkalın magmatizmayla bağlantılı karbonatit yataklar bunların yanı sıra ikincil yataklar; akarsu ve derelerde bulunuş, sahillerde ki plaser yatakları şeklinde sınıflandırılabilir (Yıldız, 2016)

### 1.2.1 Skandiyum

1869 yılında Mendeleev atomik ağırlıkta bir boşluk fark etti. Bu boşluk Kalsiyum (40) ve Titanyum (48) arasında olup çok da atomik ağırlığı olmayan bir element olması gerektiğini düşündü ve oksitinin X<sub>2</sub>O<sub>3</sub> şeklinde olabileceği ihtimali üzerinde durdu. Bu element daha sonra Skandiyum olarak 1879 yılında Lars Frederik Nilson tarafından İsveç'te keşfedilmiştir. Öksent'ten Skandiyumu çıkarmıştır. İterbiyum oksit ve erbiyum oksit'i zaten elde eden Nilson bilinmeyen bir metal daha elde etti. Atomik spektrumda bu Mendeleev'in daha önce tahmin ettiği gibi Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'idi.

Skandiyum ise metal olarak tek başına 1937 yılında eriyik skandiyum klorit'in elektrolizi ile elde edilebilindi. Atom grubu 3 olup periyodu 4'tür. Atomik numarası 21 olan

Skandiyum doğada katı halde bulunur. Erime noktası 1814 K iken kaynama noktası 3109 K'dir. Yoğunluğu ise 2.99'dur. Görece atomik kütlesi ise 44.956'dır. Elementin ismi ise İskandinavya'nın Latince ismi olan Scandia'dan gelmektedir.

Skandiyum keşfedildikten sonraki erken dönemde araştırma amaçlı kullanılmıştır, fakat günümüzde çok büyük bir potansiyele sahiptir. Alüminyum kadar hafif oluşu, alüminyumdan daha fazla erime noktasına sahip oluşu bunu savunma sanayisinde vazgeçilmez bir unsur haline getirmeye başlamış bazı uçak gövdelerinde kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 1.5). Aynı zamanda spor alanında (beysbol sopaları, yüksek kalite bisikletler) da kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 1.1, Şekil 1.2).



**Şekil 1.1:** Beysbol oynamakta kullanılan metal alaşım bir sopa (<https://www.gsa-env.co.uk/news/scandium-aluminium-and-the-brave-new-world/>)





**Şekil 1.2:** Skandiyum çerçeve kullanılan bir dağ bisikleti  
(<https://off.road.cc/content/feature/the-ultimate-guide-to-frame-materials-whats-best-for-bikes-664>)

Her yıl yaklaşık 20 kg skandiyum ( $\text{Sc}_2\text{O}_3$  olarak) Amerika'da yüksek performanslı ışık vericileri yapımında kullanılmaktadır (<https://periodic.lanl.gov/21.shtml>, 2021). Bunlarla beraber aydınlatmada gece için gündüz ışığı etkisi yapan yüksek performanslı lamba yapımında, televizyon kameralarında ve bunların gece çekimlerinin ve ya iç çekimlerin renklendirilmesinde kullanılmaya başlanmıştır ([www.rsc.org/periodic-table/element/21/scandium](http://www.rsc.org/periodic-table/element/21/scandium), 2021). Bunlara ek olarak, lazerler (Şekil 1.6), cıva-buhar lambalarına skandiyum iyodit eklenerek gün ışığını temsil eden bir ışık çeşidi oluşturulmuş (Şekil 1.3) ve bu televizyonlarda kullanılmıştır (Şekil 1.4) (<https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Scandium>, 2021).



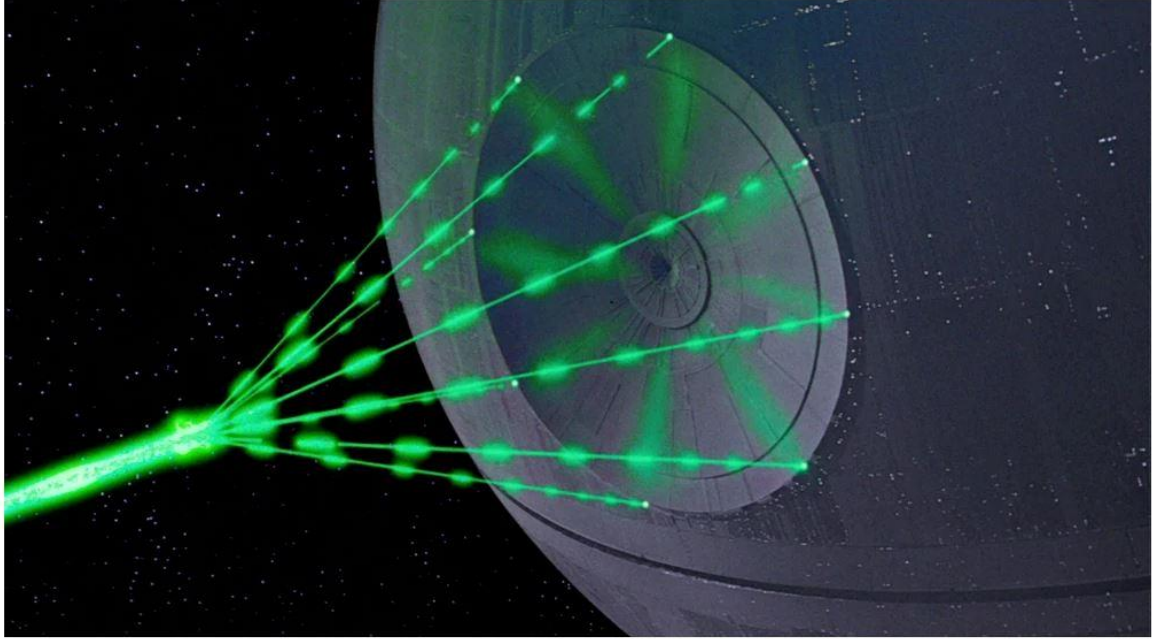
**Şekil 1.3:** Bir beysbol sahasını aydınlatmada kullanılan yüksek performanslı spot ışıkları ([https://www.wikiwand.com/en/Metal-halide\\_lamp](https://www.wikiwand.com/en/Metal-halide_lamp)).



**Şekil 1.4:** Modern bir televizyon kamerası ([https://en.wikipedia.org/wiki/Professional\\_video\\_camera#/media/File:Sony\\_television\\_camera\\_with\\_DIGI\\_SUPER\\_86II\\_xs\\_20120211a.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Professional_video_camera#/media/File:Sony_television_camera_with_DIGI_SUPER_86II_xs_20120211a.jpg), 2021)



**Şekil 1.5:** Gövdesinde hafifletme amacıyla alüminyum-skandiyum alaşım kullanılmış bir savaş uçağı (<https://www.gsa-env.co.uk/news/scandium-aluminium-and-the-brave-new-world/>)



**Şekil 1.6:** Uzayda lazer kullanımına örnek skandiyum içeriğine sahip bir lazer ışını. (<https://www.gsa-env.co.uk/news/scandium-aluminium-and-the-brave-new-world/>)

Skandiyumun radyoaktif izotopu Skandiyum-46 ise petrol rafinesinde iz olarak kullanılmakta, çeşitli fraksiyonların monitörlenmesinde kullanılır. Ayrıca petrol rafinelerinde yer altı borularındaki sızıntılarının tespit edilmesinde kullanılır. Skandiyum yer kabuğunda çok geniş bir şekilde yayılmıştır. 800 mineral çeşidinde bulunur buna zıt olarak yalnızca çok nadir olarak Thorlveilite mineralinin ana içeriğidir ve bu element İskandinavya’da keşfedilmiştir (www.rsc.org/periodic-table/element/21/scandium). Skandiyum yeryüzünde güneş ve aya göre daha az bulunmakta olup yüzeye ince bir şekilde yayılmıştır (Los Alamos National Laboratory, <https://periodic.lanl.gov/21.shtml>).

Skandiyum yüksek teknoloji metali olarak bilinir (Sun vd., 2021). Sc-Al alaşım serilerinde, Sc-Na lambalarında, katı oksit yakıt hücrelerinde, özel çeliklerde, demir içermeyen alaşımlarda, yüksek performans seramiklerinde skandiyum esas olarak kullanılır. Stratejik endüstrilerde yüksek talep doğrultusunda Çin ve Avrupa tarafından kritik metal olarak ilan edilmiştir. Zenginleşme süreçlerinden, birincil Skandiyum yatakları magmatik cevher, hidrotermal cevher, süperjen cevher yatakları olarak ayrılır (Sun vd., 2021). Bu depolanmalarda Sc derecesi %0.005-0.04 ağırlığındadır (wt.). Sadece 12 tane mineral skandiyumu temel bileşen olarak içerir. Bir skandiyum silikat olan Tortveitit bu minerallerin içerisinde en önemlisidir. Skandiyumun önemli bir bölümü ferromagnezyen silikat mineralleri (klinopiroksen ve granat) ve kalıcılığı yüksek (High-field-strength-elements) minerallerde örnek olarak wolfram, baddeleyit, rutil gibi minerallerde bulunabilir (Sun vd., 2021). 20. yy başından itibaren skandiyum tortveit içeren pegmatitlerde Norveç, Evje-Iveland'den çıkarılmıştır. Daha sonra skandiyum başlıca yan ürün olarak atıklardan, atıklardan, NYE üretiminden kalan atık likörlerden, tungsten ve titanyumdan üretilmeye başlanmıştır. Bayan Obo Maden Kompleksinden dünyanın skandiyum üretiminin %90'ı karşılanır ve aynı zamanda da dünyadaki en büyük NYE cevherleşmesidir (Sun, 2021). Son zamanlarda skandiyum zengini lateritler Küba ve Dominik Cumhuriyeti’nde keşfedilmiştir bunlar gelecekte skandiyum kaynağı olarak kullanılabilir. Laterist tipi Skandiyum cevherleşmeleri çok fazla dikkati üzerine toplar. Böyle bir potansiyel çok önemlidir ve skandiyumbağımsızcevherolarak çıkarılabilir, dahası skandiyumu lateritten çıkarmak makul ve ekonomiktir. (Sun, 2021) Dünya standartlarında olan lateritik skandiyum cevherleşmesi olan Avustralya'da demir ve skandiyumun simbiyotik ilişkisi olduğu, Chassé ve diğerleri tarafından 2017 yılında ortaya konulmuştur, skandiyum götit üzerinde absorbe edilmiş ve birazı da lateritlerdeki hematitle yer değiştirmiştir. Skandiyum götit üzerinde adsorbe haricinde, yapısal olarak dahil olabileceği

X-ray floresans ve X-ray absorpsiyon ince yapısal teknikleri ile gösterilmiştir (Qin vd., 2021). Lateritik yatakları meydana getiren önemli bileşenler demiroksitlerdir bunlar da götit, hematit, magnetitdir. Önceki çalışmalar demir izotopu değişiminin yer oluşum sürecindeki demirin jeokimyasal davranışını ve toprağın redoks oluşumundaki çevresel evrime ipucu olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı lateritteki demir izotopu ve demir içeriği çalışmalarından, demirin oluşum içerisindeki jeokimyasal davranışını ve lateritin evrimini anlayabilir, daha sonrasındaysa skandiyumun zenginleşme ve mineralizasyon sürecini anlayabiliriz. Son zamanlarda keşfedilen Çin'in güney batı bölümünde bulunan Qinlong Shazilaterit tipi cevherleşmesi, Emeishan bazaltıyla ilişkili olma potansiyeli vardır. Bu yüksek skalalı skandiyum depolanmasıdır. Önceki çalışmalar genellikle jeolojik geçmişe yönelik olup, cevher karakteristikleri, cevherin kaynakları olan cevher oluşturan materyaller incelenmiş fakat skandiyum zenginleşme süreçleri pek ele alınmamıştır (Sun vd., 2021).

Sun ve çalışma arkadaşları (2021) tarafından detaylı bir şekilde çalışılan Qinglong Shazi Cevherleşmesi Emeishan bazalt geçiş zonunun dışında Guizhou içerisinde bulunur. Maden bölgesindeki açığa çıkmış mostra orta permien Maoko Formasyonu, üst permien Emeishan bazalt formasyonu, Longtan Formasyonu ve kuverterner sedimanlardır. Kuverterner alüvyal birikimler genel olarak karstik vadilerde ve alçak sel oluklarında depolanmışlardır. Litoloji sarı, alacalı çakıl ve kumdur. Gevşek yapılı ve alt strata ile açıl uyumsuzluk görülür. Kuverterner artık deluvial depolanmalar tepelerde ya da madencilik alanındaki nispeten yumuşak karstik aşınma yüzeylerindeki mikro çöküntülerdedir. Litolojik açıdan genel olarak kırmızı kil, alt kil ve genellikle breş içerir. Breş genel olarak bazalt, silisli kireçtaşı, silikalı kayalar, tuf ve değişik boylarda çakıl taşı içerir. Alüvyonlu depolanmalar mikrokarstik formlarda yerleşmiştir. Alttaki Maokou Formasyonu ile açıl uyumsuzluk vardır. Yukarı permien Longtan Formasyonu çalışılan alanın batı ve kuzeybatı kısmında sadece lokal olarak dağılmıştır. Litolojik olarak grimsi yeşil, gri, kahverengimsi sarı, inceden ortaya veya kalın kumtaşı çamurtaşından oluşur. Aşağı kısmı ise gri, orta kalınlıkta alüminyumlu çamur taşı ve silikalı kayadan oluşur. Kömür ve kumlu çamurtaşlı alt kısımlar psödo konformite ile Yukarı Permien Emeishan bazalt formasyonu ile açıl uyumsuzluk gösterir. Bazaltik lav, bazaltikbreşli lav, piroklastik kayalar, toleyitik bazalt ve tüften oluşmuştur. Emeishan bazalt bu alana genişçe yayılmıştır. Formasyon ve altlayan strata uyumsuzluk kontağıdır (Sun vd., 2021).

Geçen yüzyılın ortalarında, Shazi depolanması  $TiO_2$  için işletilmiş ve depolanma madencilik ile geçen yüzyılın sonlarında tüketilmiştir. 2007 yılında lateritlerdeki skandiyum oranının çok yüksek olduğu yapılan çalışmada ortaya konulmuş ve limit derecesine yaklaşmış bu yüzden laterit tipi skandiyum cevherleşmesi olarak adlandırılmıştır fakat şu an herhangi bir madencilik faaliyeti yürütülmemektedir. Skandiyum cevherleşmeleri Kuvarterner alüvyonel birikimlerin orta permiyende Maokou kireçtaşıyla uyumsuzluk şeklinde oluşmuştur. Geniş bir şekilde, skandiyum cevher kütleleri, kuzeydoğu, güneydoğu yönünde pozisyonlanmıştır. Bu çalışmada alınan sekiz örnekten ilki cevher kütesinden ikisi taze yastık bazalttan, ikisi erozyona uğramış bazalttan ve dört tanesi ise lateritten alınmıştır. Demir izotopu analizi, manyetik tanelerin asit ile sindirilmesi, demir çıkarımı ve saflaştırılması kullanılmıştır. Taze bazalt klinopiroksen ve plajiyoklastan oluşmuş, demir oksitler olan magnetit ve ilmenit de bulunmuş, montmollonit ise erozyona uğramış bazaltta bunlara ek olarak gözlenmiştir. Laterit ise genel olarak kil mineralleri, demir oksitlerden oluşmuştur. Magnetit ise ağır kum minerallerinde gözlenmiş ve bütün üç litolojideki gözlenen tek ortak mineraldir. (Sun vd., 2021)

Son yıllarda, skandiyum zenginleşmeleri erozyona uğramış lateritlerde bulunmuştur. Sc ile Fe arasında çok özel bir ilişki olduğunu Aiglsperder ve çalışma arkadaşları (2016) ortaya çıkarmış, Sc'nin genel olarak demir oksitin adsorbe formunun yüzeylerinde olduğunu söylemişlerdir. Chasse ve çalışma arkadaşları (2017) ve Qin ve çalışma arkadaşları (2020;2021) ise Sc genel olarak adsorbe olmuş demir oksitlerde özellikle de götit yüzlerinde gözlendiğini söylemişlerdir. Chasse ve diğ. (2019) Sc'nin Fe ve Mg kristal kimyasına benzer olduğunu belirtmiştir. İzomorfik olarak piroksen minerallerine girdiğini de belirtmiştir. Piroksen hidrolize uğrayıp kil mineralleri ve demir oksitleri oluşturmak üzere, skandiyum demir oksitlerin yüzeylerinde çoğunlukla adsorbe olur, bu yüzden Chasse ve diğ. (2017) lateritler içerisindeki yüksek skandiyum konsantrasyonlarının ana kayadaki skandiyum içeriği, uzun zamanlı erozyon, demir oksitlerin adsorbe ettiği ana minerallerden gelen Sc, çökeltiler içindeki yer değiştirme durumu sabit (yer değiştirme olmadan) şeklinde bu faktörlere ayırmayı teklif etmiştir.

Magnetitin demir izotop kompozisyonu ve demir içerik varyasyonu bu çalışmada önceki çalışmalarla harmanlanmıştır. Hidroliz durumuna göre ise Qinglong kumlu lateritinin ana kayacı, Emeishan bazaltı olup manto yükselmesi kalıtımıdır. Maokou formasyonundaki

Kireç taşları ise orta permিয়ende manto yükselmesinin aktif kıtasal yükselmesidir. Kireçtaşının üst kısımları erozyona ve aşındırmaya maruz kalmış, karstikleşme ve karstik çöküntüler bunun sonucunda ortaya çıkmıştır. Emeishan bazaltının patlaması sonucu karstik çöküntüler bazalt ile dolmuştur. Qinglong bölgesi hızlı bir gömülme ve daha sonra yavaş aşınma geçirmiştir. Bu süreçler geç permiyenden paleojene kadar gözlenir (Sun vd., 2021).

Yüzey erozyon süreçlerinde Shazi bölgesi hızlı bir yükselme geçirmiş ve aşınmaya uğramıştır. Bazalt hidrolizatları karstik çöküntülerde erozyona uğramış, liçleşmiş ve pedojenez yüzey şartlarında katılmıştır. Çözünabilen maddeler taşınmış ve çözünemeyen maddelerden olan demir ve skandiyum görece zenginleşmiştir. Sonuç olarak demir izotop kompozisyonu varyasyonu ve taze bazalttaki magnetitin bütün kayaç içeriği Qinglong kum-laterit tip Sc cevheri, Emeishan bazaltının hidrolize ve erozyona uğraması sonucudur. Mineralizasyon süreci ise derin hidroliz ve yüzeysel erozyon prosesidir. Özellikle, yüzey erozyonu bu mekanizmada skandiyum zenginleşmesine yol açmıştır (Sun vd., 2021).

Klimpfel ve diğ. 2021'de yaptıkları çalışmalarda Granatlı kumdan skandiyum ve diğer Nadir Yer Elementlerinin Elde Edilmesi ele alınmıştır. Bu çalışmalara göre;Skandiyum, hafif materyaller, yakıt hücreleri gibi teknolojilerde kullanıldığından, Avrupa ekonomisi için çok değerlidir. Skandiyum sağlamak son derece zor olduğu için dünyada Skandiyum üretimi için diğer yollar denenmeye başlanmıştır. Avrupa'da skandiyum eldesi için Kırmızı-Çamur, Granatlı Kum ve atık ürünleri gibi ikincil kaynaklardan yararlanılması için araştırılma başlatılmıştır. Granatın kafes sisteminde hali hazırda skandiyum, magnezyum ve demirle değiştiği için, Granat mineralleri olan Almandin ve Pirop bolca skandiyum ihtiva edebilirler (Klimpfel vd., 2021). Granatlı kum, aşındırıcı olarak ve kumlama için kullanılmasının ardından atık ürün seviyesine gelmeden önce sıkça tekrar kullanılır. Granatlı kumdan Skandiyum eldesi bertaraf maliyetini düşürebilir. Çalışılan granatlı kum madenlerinden, Avustralya, Hindistan, ABD ve Almanya'daki endüstriyel ticari Granatlı Kum tedarikçilerinden sağlanan verilerde Skandiyum konsantrasyonları 93.7mg/kg ve 90.7 mg/kg, büyük ölçüde Kırmızı Çamura benzer. Elde edilen bilgilerde geri dönüşümü taze olan granatlı kumlar bunlarla aynı oranda Skandiyum konsantrasyonu gösterir. Minimum atık ürün felsefesi doğrultusunda endüstriyel atık olan " Granatlı Kumun" alışıla gelmemiş bir Skandiyum kaynağı olarak kullanıldığında, bertaraf maliyetini düşürür. (Klimpfel vd., 2021). 2017 yılında Avrupa Birliği tarafından kritik hammadde listesine

Skandiyum dahil edilmiştir. 4. revize edilmiş liste ise 2020 yılında yayınlanmıştır. 2020 yılında yayınlanan listede ise, Kobalt, Lityum gibi Avrupa Ekonomisi için vazgeçilmez olan Nadir Yer Elementleri de yer almıştır. Skandiyumun ticari olarak tek kullanıldığı yer ise Solid-oksit yakıt hücreleridir. Skandiyum bu yakıt hücrelerinin ömrünü uzatarak, materyel maliyetini düşürür. Alüminyum Skandiyum alaşımları halihazırda aerospace sanayisinde, yüksek kalite spor ekipmanlarında ( beysbol sopaları, bisikletler, golf sopaları, balık oltaları) kullanılmaktadır. Alüminyum-Skandiyum alaşımları ayrıca otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliği ve uzun ömürlülüğü sayesinde çok büyük bir potansiyel teşkil eder. Bu alaşım avantajlarına rağmen endüstriyel olarak azca kullanılmaktadır. Dünya pazarında uzun dönemde Skandiyum kaynaklarının belirsizliği, yüksek fiyat ve güvenilir olmayan tedarik silsilesine yol açar. Anlık olarak dünya çapında Skandiyum üretimi yıllık 15-20 t bazında olduğu düşünülmektedir ve Skandiyum metal cevherleşmelerinde nadiren görülmesine rağmen yan ürün olarak en çok metal elde edilmektedir. International Union of Pure and Applied Chemistry 'e göre Skandiyum bir nadir yer elementidir. Nadir Yer Elementleri depolanmalarında Skandiyum jeokimyasal davranışı farklı olduğundan önemsizdir. Nadir Yer Elementleri, çeşitli NYE minerallerinde konsantre olur. Doğada sadece on iki Skandiyum minerali vardır ve oldukça nadirdir (Klimpfel vd., 2021).

Magmatik sistemlerde mafik minerallerde uyumlu olarak görülür bununla beraber İyonik yarıçapı  $Mg^{2+}$  (72pm) ve  $Fe^{2+}$  (78pm)'ye benzerdir. Bu nedenle kolayca kayaç oluşturan mineraller ve klinopiroksenler içerisine girer. Magmatik fraksiyonlaşma ve başkalaşma safhasında artık eriyikte Skandiyum konsantrasyonu azalır. NYE ise uyumlu elementler değildir ve magmatik başkalaşımında konsantrasyonları yükselir. Klinopiroksen ise Skandiyumun ev sahipliğini yapan en önemli mineraldir. Klinopiroksen depolanmalarında çoğu zaman Skandiyum yan ürün olarak çıkar. Skandiyumun elde edildiği en önemli yer Bayan Obo, Çin'dir. Ortalama Skandiyum konsantrasyonu 200 ppm kadardır. NYE'nin aksine daha çok Bastnasit, Monazit, Ksenotim, Skandiyum içeren Aegrine(Klinopiroksen grubu) minerallerine ev sahipliği yapar. Bir başka klinopiroksenlerin yoğun olduğu Skandiyum depolanması ise, Zhovti Vody madeni, Ukrayna'dır. Skandiyuma olan ekonomik ilginin artmasından ötürü, güvenilir Skandiyum tedarikçilerini ortaya çıkarmak için dünya çapında bir çok proje yürütülmektedir. Kobalt-Nikel zengini lateritler Avusturalya'nın mafik-ultramafik ana kayacının üzerinde birincil kaynaklılar. New South Wales'te bulunan Nyngan depolanmasına maden çalışma faaliyeti izni verildi ve faaliyete



geçiş çalışmalarına başlandı. Nyngan birikimleri ortalama 235 ppm Skandiyum konsantrasyonu ihtiva etmektedir. Nyngan'da Skandiyum lateritlerde ki demir oksitlere bağlıdır. Skandiyumca zengin bir diğer cevherleşmeler ise Endonezya, Küba ve Dominik Cumhuriyetinde bulunur (Klimpfel vd., 2021).

Avrupa Birliği üye ülkelerinde Skandiyum ile alakalı bilimsel araştırmalar, birincil kaynaklar yerine atık ürün olan Kırmızı Çamur gibi ikincil kaynaklar üzerine yoğunlaşmıştır. Boksit madenciliğinin yan ürünü olan Kırmızı Çamur, Avustralya'da 54mg/kg, Çin'de ise 158 mg/kg, Yunanistan'da 121 mg/kg gibi çeşitli konsantrasyonlar arasında değişir. Genel olarak sıfır atık ürün felsefesi, döngüsel ekonomi için ayrılmaz bir bütünlük sağlar. Döngüsel ekonomi konsepti metal üretimine yoğunlaşmış iken sürdürülebilir kaynakların kullanılmasına yönelmiştir. Döngüsel ekonomi çok daha dikkat çekmeye başlamıştır. Avrupa Yeşil Mutakabati 2020 sürdürülebilir kaynakların önemini vurgularken aynı zamanda yeni döngüsel ekonomi hareket planında yer alan anahtar bileşendir bu 2015 yılında ki döngüsel ekonomik hareketin doğrultusunda başlanmıştır. Skandiyuma potansiyel ikincil kaynak olarak Endüstriyel Granat Kumu olabilmesine rağmen daha değerlendirilmemiştir. Teoride, Fe ve Mg zengini granat mineralleri olan Almandin ve Pirop, yükseltilmiş Skandiyum konsantrasyonu hali hazırda Skandiyum bu minerallerin kristal kafes sistemine rahatça girebildiği için ihtiva edebilir. Skandiyum karakteristik olarak Şist-Gnays'dan elde edilen Magnezyum Demir zengini granatlarda iz değerinde gözlenir. Daha az oranda da pegmatitlerden elde edilmiş granatlarda gözlenir. Norveç'te bulunan Tordal'daki Skandiyum zengini Granitik Pegmatitler, Pegmatitlerde gözlenen tipik bir Skandiyum yığındır. Ticari olarak granat, daha çok kumlamada granat kumu olarak kullanılmasının yanında, su kesisi ve su filtrasyonu için de kullanılır. Bu Granatlı Kumun avantajlı özellikleri sayesinde açığa çıkmıştır. Bu özellikler yüksek sertlik, yüksek fiziksel ve kimyasal direnç, düşük kuvars ihtivası, yüksek geri dönüşümdür. Yapılan pilot araştırmaya göre dünyanın çeşitli yerlerinden alınan granatlı kum örnekleri hidrotermal orijinlerine göre ve formasyon süreçlerinin durumuna göre Skandiyum konsantrasyonları incelenmiştir (Klimpfel vd., 2021).

Majör ve minör elementler. Majör ve minör elementlerin detaylı element analizleri tablo 1'de görülebilir. Ortalama konsantrasyonlar ise Tablo 1'de görülebilir. Farklı madenlerden elde edilen Granatlı Kum örneklerinden elde edilen verilere göre: Al konsantrasyonları 7.50 ile 11.64 wt.%, Demir konsantrasyonları 21.01 ile 27.44 wt.% arası (Folkston (9.10

wt.%) Cevherleşmesi hariç) , Mg 0.61 ile 5.02 wt.% arası, Kalsiyum konsantrasyonları ise 0.78 ile 3.38 wt.% arası ve Mn ise 0.41 ile 9.53 wt.% arasındadır.

Farklı yerlerden alınan Endüstriyel Granatlı Kum örnekleri de çeşitli cevherleşmelerden alınmış Granatlı Kum örneklerinin Fe ve Al konsantrasyonları örnek verici F haricinde örtüşmektedir. Örnek verici F harici Endüstriyel Granatlı Kum numunelerinin Alüminyum konsantrasyonları 7.12 ile 10.86 wt.%, Demir konsantrasyonları 24.34 ile 29.8 wt.%, Mg 2.53 ile 1.14 wt.% arasında olup, F örnek vericisinin sağladığı numune ile diğer Endüstriyel Granatlı Kum sağlayıcılarının sağladığı numuneler arasında majör ve minör element konsantrasyonları büyük ölçüde farklılık gösterir ve Al konsantrasyonu sadece 3.11 wt.% iken Fe, Mg ve Ca konsantrasyonları 0.5 wt.%'in altındadır (Klimpfel vd.,2021). Hidrotermal Örneklemde BF-1-I ve BF-1-II benzer majör element konsantrasyonları ihtiva etmekte olup, Kalsiyum ve Demir oranları 19.39-19.26 wt.% ve 19.72-19.44 wt.% arasındadır. Hidrotermal numunelendirmede ortalama Al konsantrasyonu ise 0.32 wt.%'dir (Klimpfel vd., 2021).

Tüm Sc ve REY konsantrasyonları, ortalama konsantrasyonlar Klimpfel ve diğerlerinin yaptığı bu çalışmada gösterilmiştir. Granatlı Kumun Skandiyum konsantrasyonu ve Endüstriyel Granatlı Kumun Skandiyum konsantrasyonu çok benzer olup ortalama olarak 93.7 mg/kg ve 90.7 mg/kg arasındadır. Granatlı Kum örneklerinde Skandiyum konsantrasyonları 73.6 ve 120 mg/kg arasında değişmekte olup yalnızca NyCor Cevherleşmesinde Sc konsantrasyonu 45.4 mg/kg'dır. Tüm Endüstriyel Granatlı Kum numuneleri biri hariç 88.1-114 mg/kg arasındadır. Örnek verici F'nin ise Sc konsantrasyonu sadece 29,3 mg/kg'dir. İki tane en az olan örnek vericiyi çıkardığımızda ise hem Granatlı Kum hem Endüstriyel Granatlı Kum ortalaması 103 mg/kg'dir. Bunun tam aksine çalışılmış Hidrotermal Granat örnekleri az derece yoğun Skandiyum konsantrasyonu gösterir ve sadece 0.25 mg/kg'dir (Klimpfel vd., 2021).

Birçok Granatlı Kum örneğinde ise toplam REY konsantrasyonu ise 148 ile 1600 mg/kg arasındadır. Folkston Cevherleşmesinde ise yüksekçe REY konsantrasyonu 4,800 mg/kg olarak görülmektedir. REY desenleri (Şekil 1a) HNYE'de ANYE'ye göre tükenmiştir. Green Cove Springs Depolanması ise istisna olup çok az HNYE içermektedir aynı zamanda Folkston Ore örnekleme ise HNYE bakımından zenginleşmiştir ve bir istisnadır. Tamil Nadu örnekleme HNYE bakımından ONYE elementlerine göre tükenmiştir ve tüm numunelerde HNYE elementleri ONYE elementlerine göre zenginleşmiştir. Bütün

örneklerde Folkston Ore hariç, ANYE elementlerine göre ONYE tükenmiştir (Klimpfel vd., 2021).

Endüstriyel Granatlı Kumun toplam REY konsantrasyonu 407 ile 842 mg/kg'dir. Konsantrasyonlar ve REY desenleri AREY'e göre benzerdir (Sağlayıcı F harici). Numuneler HNYE konsantrasyonu bakımından oldukça birbirlerinden farklılıklar göstermektedir. Bütün numuneler La'dan Nd'ye genel HNYE üzerinde bir düşüş göstermektedir. Birçok örnek AREY için düz bir desen göstermektedir ve büyük negatif Eu anomalisi göstermektedir lakin F sağlayıcısı biraz daha negatif olup diğerlerinden ayırdır. Endüstriyel Granatlı Kum ONYE'ce sağlayıcı A ve E'de HNYE bakımından tükenmiştir (Klimpfel vd., 2021).

Neredeyse tüm örnekler s güçlü negatif Eu-CN anomalisi karakterize etmişler, HG örneklerinde ise REY konsantrasyonları 47,4 ve 52,4 mg/kg arasında olup, diğer örneklerden azdır (Klimpfel vd., 2021). Granatlı kumların ve Endüstriyel Granatlı Kumun skandiyum içerikleri yukarıdaki çalışmada 103 mg/kg bulunmuştur. Bu Skandiyum konsantrasyonları kıtasal kabuktaki skandiyum konsantrasyonlardan fazlaca yüksektir. (21,9 mg/kg) Bunun tam tersi olarak Ağır Granat örnekleri skandiyumca yer kabuğuna göre tükenmiştir. NyCor depolanmasından olan Granatlı Kum (sağlayıcı " F ") diğerlerine göre (Granatlı Kum ve Endüstriyel Granatlı Kum) çokça az skandiyum içeriği göstermektedir (Klimpfel vd., 2021).

Birçok Granatlı Kum ve Endüstriyel Granatlı Kumda ki kondritik Y/Ho (Holmiyum) oranları göstermektedir ki bunlar metamorfizma ve düşük silika felsik magmatik ve ya klastik sedimanter öncü kayasından oluşmuşlardır. Bununla beraber Y/Ho oranları yüksek oranda magmatik veya akifer sistemlerden gelişmiştir. ( $\text{SiO}_2 \gg 70\%$ ) Bunun tam tersine Nycor ve Folkston cevherleşmeleri süper-kondritik Y/Ho oranlı Granatlı Kum örnekleri göstermektedir. Magmatik öncül kayaçlardan veya çokça akifer sıvılardan gelişmişlerdir (Klimpfel vd., 2021).

Endüstriyel Granatlı Kumdaki Skandiyum kompozisyonları etkileyen bir başka parametre ise majör katyon bileşimidir. Metamorfik Granatlı Kumlarda ise pirop-tip ( $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ) ve almandin tip ( $\text{Fe}_{2+3}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ) 'tir. Kristal kafes sisteminde Mg ve Fe'yi değiştiren Skandiyum, bu iki granat mineralinde zenginleşmiştir. Granatlı Kum ve

Endüstriyel Granatlı Kum örneklerindeki yüksek Fe ve Al konsantrasyonları almandin-tip granatları göstermektedir. (Klimpfel vd. 2021).

Elde edilen toplam verilerde Skandiyum içerikleri oldukça benzer olup sadece sağlayıcı F'den alınan örneklerde düşük Fe ve Mg konsantrasyonları düşük olup Endüstriyel Granatlı Kum örnekleri de düşük Skandiyum konsantrasyonu içermektedir (Klimpfel vd., 2021).

### 1.2.2 İtriyum

1787 yılında Karl Arrhenius Ytterby kasabasında değişik siyah bir kayaca rastladı (Şekil 1.7) ve yeni bir tungsten minerali bulunduğunu düşündü. Bu minerali Finlandiya'da bulunan Johan Gadoline 1794 yılında yolladı. Gadolin bu mineralin (Şekil 1.8) %38'nin yeni topraktan oluştuğunu duyurdu. Buna toprak denmesinin sebebi ise itriyum oksitin daha fazla kömür ile ısıtılıp redaksiyona uğrayamaması sebebiyleydi. Metalin kendisi ilk kez 1828 yılında Friedrich Wohler tarafından itriyum klorit ile potasyum tepkimeye sokularak tekilleştirildi. Buna rağmen itriyum bazı elementler içeriyordu. 1843 Carl Mosander itriyumu inceledi ve 3 tane oksit içerdiğini keşfetti bunlar itriyum oksit (beyaz), terbiyum oksit (sarı), erbiyum oksit (gül rengi)'idi (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/39/yttrium>).



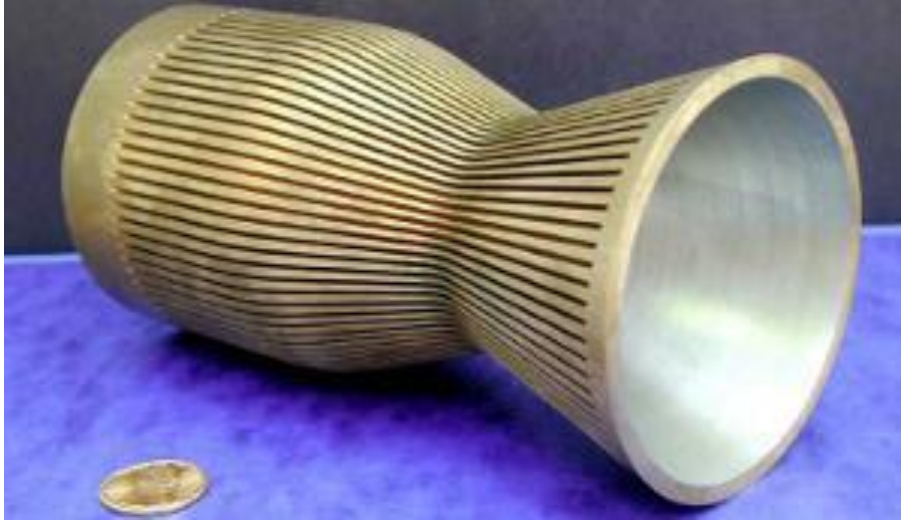
**Şekil 1.7:** İtriyum granatı (<https://www.industrialheating.com/blogs/14-industrial-heating-experts-speak-blog/post/94056-facts-about-the-elements-yttrium>)



**Şekil 1.8:** İtiryum minerali (<https://www.chemistrylearner.com/yttrium.html>)



**Şekil 1.9:** İtiryum Elementi (<https://www.chemistrylearner.com/yttrium.html>)



**Şekil 1.10:** Roket yanma çemberi, gümüşümsü çizikler itriyum alaşımı içermektedir.  
(<https://www.chemicool.com/elements/yttrium.html>)

İtriyum'un (Şekil 1.9) birçok değişik kullanım alanı (Şekil 1.11) vardır. Yüksek saflıktaki itriyum oksitler ( $Y_2O_3$ ) kırmızı, mavi, yeşil dalga boyları yayan fosfor kompozisyonları içerisinde kullanılmıştır. Süper kondüktörlerin üretiminde, süper alaşımların ve katı oksit yakıt hücrelerinde de kullanılmıştır. Yüksek kaynama noktası üzerine seramiklerin üzerinde kullanılır. Elektrik seramiklerde oksijen sensörü olarak, itriyum elemanları ise katalizör olarak kullanılmıştır. Toryumun yerine akkor gaz aydınlatmalarında termoluminesans özelliğinden ötürü kullanılmaya başlanmıştır (Vasconcellos vd., 2005).

İtriyum erken televizyonlar döneminde kırmızı renk için kullanılmış olup, radarlarda reflektör olarak kullanılmıştır, roketlerde yanma çemberinde de alaşım olarak yer almıştır (Şekil 1.10). Yumuşak ve gümüşümsü bir metaldir. Genellikle alaşımlarda katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Alüminyum ve magnezyum alaşımların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Radarlarda mikrodalga filtresi olarak da kullanılır. İtriyum alüminyum granat ise lazerlerde kullanılır ve bu lazerler metalin içinden geçebilir, bununla beraber LED ışıklarda da kullanılır. İtriyum kamera lenslerine şok ve ısı dayanıklılığı için eklenir. Karaciğer kanserlerinin tedavisinde itriyumun radyoaktif izotopu olan itriyum-90 kullanılır. İtriyumun biyolojik olarak zehirli olduğu düşünülmektedir. Ksenotim 50%'ye kadar itriyum fosfat içerebilir, Çin'de ve Malezya'da çıkarılır bununla beraber itriyum diğer nadir toprak minerallerinde bulunur bunlar ise Monazit ve Bastnasit'tir.  
(<https://www.rsc.org/periodic-table/element/39/yttrium>)



**Şekil 1.11:** Kübik zirkon mücevherlerden, bilgisayar ekranlarına, kamera lenslerinden, enerji tasarrufu lambalara kadar kullanım alanları (<https://www.chemicool.com/elements/yttrium.html>)

Grubu 3 iken periyodu 5'tir, atomik numarası 39 olan itriyum 20 santigrat derece sıcaklıkta katı olarak bulunur, erime noktası 1795 K iken kaynama noktası 3618 K'dir. Yoğunluğu 4,47 (g/cm<sup>-3</sup>) iken görece atomik kütlesi 88.906'dır, en bilinen izotopu ise itriyum 89'dur (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/39/yttrium>). Atom numarası 39 olan itriyumun görece atom ağırlığı 89 olup dış elektron yapısının 4d15s2'dir ve olağan değerliği 3'tür. Y'nin kimyasal özellikleri diğer nadir yer elementlerine benzediği için NYE klasmanında değerlendirilir. İtiryum geniş kullanım alanına sahip olup cam, alaşım, televizyon, demir-çelik endüstrisinde kullanılmaktadır, bu element modern bilimsel, teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda kendisine yer bulur (Gong vd., 2021).

Gong ve diğerlerinin (2021) yaptığı çalışmada, deniz fosforitlerinin NTY (Nadir toprak itriyum) zenginleşmesi gösterdiğinden bahsedilmiştir. Ana mineral fosforitleri frankolit olup kimyasal kompozisyonu (Ca, Na, Mg, Sr)10(PO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>)6F<sub>2</sub> 'dır. Çin'de Zhijin'deki fosforitler birçok insanın dikkatini çekmiştir. Birçok araştırmacı bu bölgede NYE ve P, Y ve P arasında ki ilişkiyi incelemek için bulunmuştur. Bu çalışmalar başlıca bulunuş, oluş, jeokimyasal karakteristikler, zenginleşme karakteristikleri ve çevre

paleocoğrafyasını NTY içeren fosforitler bakımından incelemektir. Bu bölgede ki daha önce yapılan çalışmalarda genel görüşler şu şekildedir; Oluş şekline göre, NTY zenginleşmesi kumlu klastik fosforitler ve koyu renkli parçalarında katmanlı yapısal fosforitler Gezhongwo Formasyonun alt kesimlerinde gözlenmiştir. Bu NTY'ler bağımsız mineraller şeklinde gözlenmemekle beraber apatitle yakından ilişkilidir. Nadir toprak dağılım desenleri ele alındığında, NTY negatif Ce anomalisi göstermekte, Gd ise pozitif anomali göstermektedir ve ayrıca Y zenginleşmesi ve diğer ağır nadir yer elementleri tükenimi gösterir.

NTY zenginleşmesi, coğrafi mikrofasiyeslere bağlıdır. Xia ve diğ. 2019, Xu ve diğ. 2019 Zhijin bölgesinde paleocoğrafi çevreyi erken kambriyen fosfor oluşum periyodu olarak tanımlamıştır. Kayaç içeriği, kayaç yapısı ve mineral büyüklüğü, yuvarlaklık ve daha diğer durumlara göre, Zhijin bölgesini hafif eğimli havza, hafif eğimli sahil ve hafif eğimli kenarlar şeklinde tanımlamıştır. Bu sonuçlar ise farklı coğrafi özellikler farklı derecede NTY zenginleşmesi göstermiştir (Gong vd., 2021).

Önceki çalışmalar fosforitlerde NTY zenginleşmelerinin karakteristiklerin anlamakta Gong ve diğ. 2021 yaptığı bu çalışmada önemli bir yer tutmaktadır. Ancak zenginleşme karakteristikleri ve itriyum kaynakları belirsizdir. Zhijin bölgesinde zenginleşme karakteristiklerini ve itriyum kaynaklarını açığa çıkarmak için bu bölgedeki fosforit örnekleri ölçülmüştür. Gong ve diğerleri bu çalışmada global itriyum krizine az da bir çözüm arayışı bulmak istemişlerdir.

Çalışılan bölgenin jeolojik arka planında bulunan Yagze platformu muhtelemen dünyadaki en büyük fosfat fasiyesidir (Ilyin, 1998). NTY içerleyen fosforit depolanması orta Guizhou yükseltisinin pasif büküm kuşağının, güney Upper Yangtze eski kıtasının, güney batı bitişindedir. Eskiden yeniye mostra stratası; Yukarı Sinian Dengying Formasyonu, Aşağı Kambriyen Gezhongwu Formasyonu, Niutitang Formasyonu ve Mingxinsi Formasyonu, Aşağı Karbonifer Jiujiayu Formasyonu ve Dapu Formasyonu, Orta Permian Liangshan Formasyonu, Qixia Formasyonu ve Maokou Formasyonu, Changxing Formasyonu ve Dalong Formasyonu, Aşağı Triyas Yelang Formasyonu, Jialingjiang Formasyonu, Orta Triyas Guanling formasyonudur. Eksik strata Paleozoic Yukarı Kambriyen, Ordovisyan, Siluriyen, Devoniyen, Mesozoyik, Jurasik ve Kratese olup, magmatik kayaçlar daha oluşmamıştır (Gong vd., 2021). Mineral depolanmalarının



karakteristikleri ise çalışmada şu şekilde belirtilmiştir; Gezhongwu Formasyonunda NTY içeren fosforitler serisi vardır, fosfor içeren Niutitang Formasyonu tarafından altlanır ve Dengying Formasyon karbonat dolostonu tarafından üzerlenir. Dengying Formasyonu Gezhongwu formasyonunun temelidir ve cevher taşıyan kayada dizisindedir. Orta kalınlıkta, iyi taneli dolomit katmanı açık gri, beyazımsı gri, gri renklerde olarak gözlenir.

Niutitang Formasyonu ise ince taneli feldspat-kuvars kum taşları, siltli kum karbonatlı çamurtaşı ve yumru, merceksi silika fosforit NTY cevher katmanı gösterir. Bariz bir şekilde fosforit ve NTY değişimi gözlenir. Cevher içeren kayaç dizileri Gezhongwu Formasyonundadır, ana fosfor içeren cevher katmanı olup kalınlığı 0-33.73 m'dir. Yapılan çalışmada cevher karakterlerinde ise; NTY ise çoğunlukla fosforitlerde olduğu gözlenmiştir. Dokuz tane cevher kısmı vardır, Xinhua, DaMaChang, GaoShan, DaJi, Guohua bunlardan bazılarıdır. NTY içeren fosforit mineralleri başlıca açık gri, gri, grimsi siyah, siyah, kahverengi-sarı'dır. Fosforitler genellikle kumlu-klastik özellikler gösterirler ki yerel olarak karbonatlıdır. Kalsit, dolomit, silikalı çimentolanma oluşumları olağandır.

Mineralojik karakteristik özellikleri ise; Ana mineral olarak NTY içeren fosforitler, apatit olup gang mineraller dolomit, kuvars, kil mineralleridir. Apatit konsantrasyonları yüksekken, dolomit, kuvars, kil mineralleri konsantrasyonları düşüktür. Tam tersi olarak dolomit, kuvars, kil mineralleri konsantrasyonları yüksekken apatit konsantrasyonu düşüktür. Aralarında büyüme-düşüş ilişkisi vardır. Gang mineraller ve ana cevher mineralleri haricinde pirit, hematit gibi ikincil minerallere fosforitler içerisinde sıkça rastlanır. İtiryumun çalışmadaki bölgede olan zenginleşme karakteristikleri ise; itiryumun NTY içerisinde ki yüzdesi Y/NTY oranı, Y anomalisi, Y/Ho oranı ve NTY dağılım desenidir. İtiryumun bulunan yüzdesi diğer NTY'lere oldukça benzerdir fakat bu yüzde sürekli değildir. Y/NTY azdan çoğa ilerledikçe, Y/NTY içerisindeki itiryum gitgide azalmaktadır. Y/NTY değeri 286'dan az, 286-535 ppm, 535-771 ppm, 771 ppm değerinden büyük olduğunda itiryum yüzdesi sırasıyla 30.96%'dan 29.55%'e, 27.13%, ve 26.14%'tür. En düşük değerden, en yüksek değere gidildikçe Y/NTY içerisindeki itiryumun yüzdesi %16 olarak düşer. Bu bulgu İtiryum zenginleşmesi derecesi Y/NTY değerleri yükseldikçe azaldığını bize gösterir. Bütün olarak, Zhijin fosforiti pozitif itiryum anomalisi gösterir fakat bu anomali değişkenlik gösterir ve Y/NTY azdan çoğa arttıkça, itiryum anomalisi %37 olarak azalmıştır. Bu da gösterir ki Y/NTY arttığında, itiryumdaki

anormal değişikler Dy, Ho azalımına bağlı olup, itriyumun davranışları Dy ve Ho ile tutarlılık gösterir. Y/NTY 286 ppm'den az, 286-535 ppm, 535-771 ppm ve 771 ppm'den fazla, buradan yükseldiğinde, itriyum anomalisi 1.87'den 1.64'e, 1.39'dan 1.18'e sırasıyla düşer. En büyük ve en küçük Y/NTY aralığındaki itriyum anomalisi %37 şeklinde bir düşüş gösterir. Bu da bize Y/NTY yükselişinde, itriyumdaki anormal değişimlerin Dy ve Ho azalımıyla ilişkisi olduğunu göstermekte ve itriyum davranışının Dy ve Ho ile tutarlı olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak itriyum yüzdeleri veya itriyum anomalisi veya Y/Ho oranları ya da NTY dağılım desenleri, Zhijin fosforit içeren NTY'ler itriyum zenginleşme karakteristiklerini gösterir fakat itriyumun zenginleşme derecesi Y/NTY değeri azdan çoğa artıyor olduğunda düşer (Gond vd., 2021). Dünyadaki en büyük İtriyum üreticileri Çin, Rusya, Malezya'dır, kıtasal kabukta bulunuş yoğunluğu 33 ppm'dir. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/39/yttrium>)

Vasconcellos ve çalışma arkadaşlarına (2005) göre, itriyumun nadir yer konsantresinden amonyum karbonat liçi ve peroksit çökmesi ile zenginleştirilmesi ele alınmıştır. Hammaddelerin hazırlanmasında: Düşük seryum karbonatı kullanılmıştır, amonyum karbonat, amonyum hidroksit ve diğer reaktifler analitik derecede kimyasal bileşenler vardır. Hidroklorik asitte ilgili oksitlerin çözülmesiyle nadir yer ana çözeltileri hazırlanmıştır. Kullanılan aparatlarda 1996 model RIX 3000, Rigaku modeli X-ray floresans analizlerinde kullanılmıştır. Amonyum karbonatta itriyum karbonatın çözünürlüğü ise 200 L-1 amonyum karbonat, itriyum klorite eklenmiş, ilgili karbonat çökmesi hemen gerçekleşmiştir. Daha sonra artan amonyum karbonat solüsyonu çökeleğe eklenmiş ve solubilizasyon bitirilmiştir. Aynı prosedür diğer nadir yer elementlerine de yapılmıştır.

Nadir yer karbonat çözeltilisinin içindeki amonyum karbonatın konsantrasyon etkisi incelenmiş, Vasconcellos ve diğerlerinin yaptığı bu araştırmada 20-25 santigrat derecede ki amonyum karbonat artıklarının nadir yer fonksiyonu üzerine çalışılmıştır. Deneysel proste 10 g L-1 nadir yer solüsyonu, 25 ml karbonat solüsyonu üzerine sırasıyla karbonat solüsyonu olan 50, 100, 200, 300 ve 400 g L-1 şeklinde eklenmiştir. Bu karışım sürekli olarak kalıcı çökelim oluncaya kadar karıştırılmış ve bu gerçekleştiği an ek nadir yer solüsyonu eklentisi durdurulmuştur.

Sıvı renk konsantrasyonu amonyum karbonat ile liçleme çalışmada şu şekilde yapılmıştır; katı SRK 200 g L-1 amonyum karbonat solüsyonuyla oda sıcaklığında işlenmiştir. Nadir yer konsantrasyonu amonyum karbonat solüsyonuyla 10-30 dakika kadar kaplanmış ve bekletilmiştir, daha sonra bu süzölmüştür. İtiryum süzöğüden hidroklorik asit ile asitlendirildikten sonra geri kazanılmış olup, oksalit asit ile de çökeltilmiştir. Kimyasal bileşenleri ise x-ray floresans analiziyle belirlenmiştir. Çalışmada hafif nadir yer elementlerinin hidrojen peroksit ile çökeltisi; liçli filtrelenmiş itiryum karbonat artık hidrojen peroksit ile işlenmiştir, süspansiyon mekanik çalkalamaya 90 dakika boyunca maruz bırakılmış ve daha sonra santrifüj edilmiştir. Açık sarı çökelim kurutulmuş ve oksitte ateşlenmiştir. İtiryum, hidroklorik asitle asitlendirildikten sonra süzölmüş ve sonra oksalik asitle çökeltmiştir. Kurumuş oksalat ise oksitte ateşlenmiştir.

Vasconcellos ve diğçerlerinin yaptığı bu çalışmanın sonuçları ise; basitçe verimlilik ve ekonomiktir. Katı, düşük seryum karbonat oda sıcaklığında 10-30 dakika arasında liçlenmiştir. Süzölmüş solüsyon direkt olarak oksalik asitle işlenebilir ve itiryum oksit elde edilebilir haldedir bununla beraber hidrojen peroksit ile direkt işlenebilir ve hafif nadir elementleri peroksikarbonat direkt olarak oksitle ateşlenebilir (Vasconcellos vd., 2006).

### 1.2.3 Lantanyum

Lantanyum 1839 yılında Carl Gustav Mosander tarafından Karolinske Enstitüsünde keşfedildi. Lantanyumu 1803'te keşfedilen Seryumdan elde etti. Seryumun bazısının çözünp bazısının çözümediğini görünce bunun yeni bir elementin oksiti olabileceğini varsaydı. Grekçe gizli saklı anlamına gelen "lanthanein" elemente ismini vermiştir.

Lantanitler grubunda yer alan Lantanyumun atom numarası 57, 20 derecede katı, özkütlesi 6.15 (g/cm<sup>3</sup>), görece atomik ağırlığı 138.905'tir, erime noktası 1193 Kelvin, kaynama noktası 3737 K'dir. Yumuşak, gümüşümsü-beyaz metal olup, atmosferle temasında kararır ve kolayca alev alır. Lantanyum-Nikel alaşımlar hidrojen gazını muhafaza etmek için, hidrojen yakıtlı araçlarda kullanılırlar. Hibrit araçlarda anot olarak nikel metal hidrit pillerinde kullanılır. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/57/lanthanum>).

Son yıllarda da elektrikli araçlara pil kutusu olarak skandiyum modifiyeli alüminyum alaşım malzeme prototipleri üretilmeye başlandı. Bu sayede skandiyumun bir tane daha yüksek odaklı kullanım alanı oluşmuş oldu

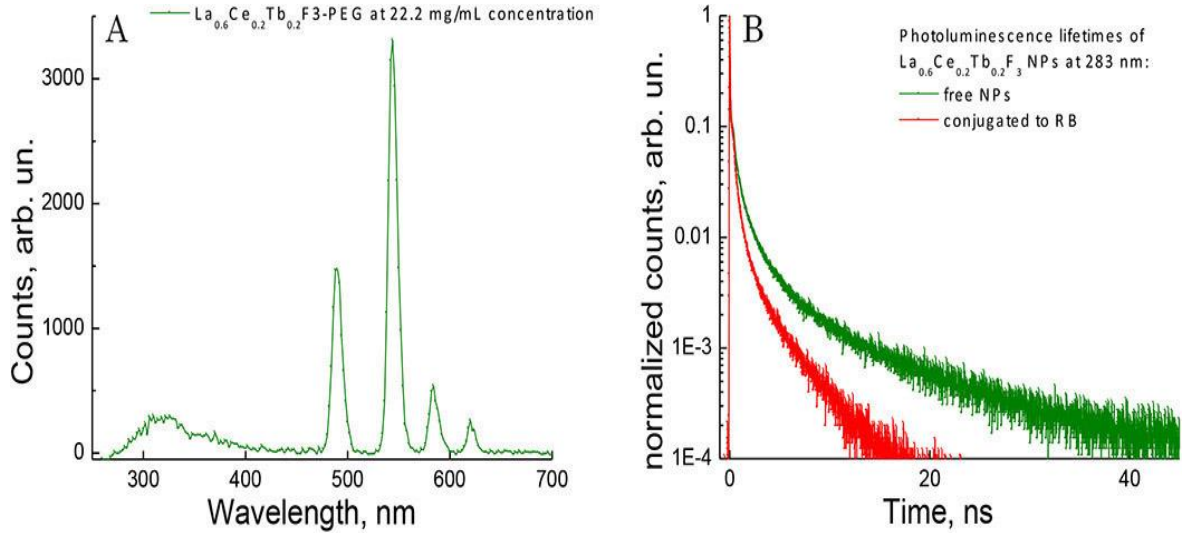
(<https://www.argusmedia.com/en/news/2259648-eck-imperial-develop-scandiummodified-ev-alloy>, 2021).

Çakmıklarda kıvılcım çıkarmaya yarar şekilde " flint " olarak, stüdyo ışıklandırmasında ve sinema projeksiyonlarında gün ışığına yakın bir spektrum sağladığı için kullanılır (Şekil 1.12).



**Şekil 1.12:** Örnek bir stüdyo ışıklandırması (<https://www.nyip.edu/photo-articles/cameras-and-gear/what-studio-lighting-is-actually-worth-buying>)

Bazı optik camlarda alkali direnci arttırdığı için (sıcağa, soğuğa, darbeye karşı dayanıklılık) lantanyum tercih edilir. Aynı zamanda petrol rafinelerinde katalizör olarak yer alır. Radyoaktif lantanyum ise kanser tedavilerinde kullanılması bakımından test edilmeye başlanmıştır. Yapılan araştırmalara göre lantanyum florid seryum ve terbiyumla iyileştirildiğinde (Şekil 1.13) kültive olmuş kanserli hücelere karşı altın nanopartüküllü tedaviden daha etkin olduğu gözlenmiştir (<https://spie.org/news/6430-lanthanum-fluoride-particles-to-enhance-radiation-therapy?SSO=1>).



**Şekil 1.13:** Terbiyum, seryum iyileşmeli lantanyum emisyon spektrumu. (Nadeu vd., 2016)

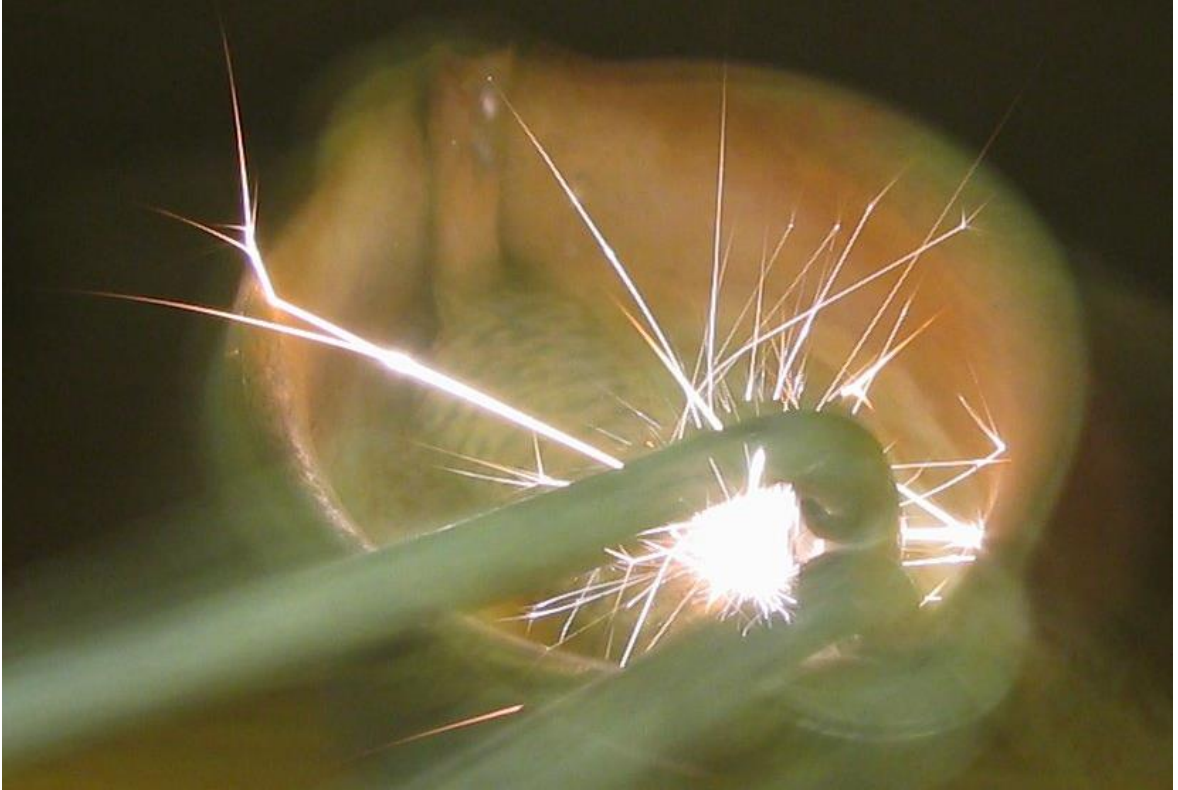
Lantanyum içeren hidrojen emici sünger alaşımları kendi hacimlerinin 400 katı kadar hidrojen tutmakta, bu özellikleri ile de enerji depolama sistemlerinde kullanılmaktadır. Yüzme havuzlarında ise pH dengesi için lantanyum klorür katkı olarak atılır (Yıldız, 2016). Ayrıca kamera lenslerinde (Şekil 1.14) netliği arttırmak için delantanyum eklenir. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/57/lanthanum>)



**Şekil 1.14:**Bazı kamera lensleri. (<https://www.dpreview.com/articles/9162056837/buying-guide-what-you-need-to-know-before-buying-your-first-lens>)

### 1.2.4 Seryum

Seryum ilk kez Jöns Berzelliuss ve Wilhelm Hisinger tarafından 1803 yılında bulundu, Martin Klaproth ise bunlardan bağımsız olarak aynı dönemde bulmuştur. Seryum 14 lantanit elementlerinden biri olmasına rağmen bunlardan bağımsız bir şekilde bulunmuştur. Bazı mineraller seryuma özel şekildedir. Seryum tuzlarından biri olan sente, seryum silikattır. Bu mineralin bir parçası 1751 yılında Axel Cronstedt tarafından İsveç'te bulunmuştur. Seryumun ismi bir asteroit olan " Ceres " ten gelmektedir, bu asteroit ise adını Roma Tarım Tanrıçasından almıştır. Lantanitler grubunda olan seryumun periyodu 6 atom numarası 58'dir bununla beraber 20 derecede katıdır. Erime noktası 1072 K iken kaynama noktası 3716 K'dir. Görece atomik kütlesi 140.116 olmakla beraber en özel izotopu <sup>140</sup>Ce'dir. Seryum gri bir metaldir, su ile tepkimeye girer ve kararmaya çok müsaittir. Mischmetal (mixed-metal, karışık metal) alaşımının yüzde ellisini oluşturmaktadır. Seryumun en yaygın kullanım alanı çakmaktaki flint (Şekil 1.15) kısmının yapımında kullanılmaktadır.



**Şekil 1.15:**Ferroseryum çakmak taşından çıkan bir kıvılcım.  
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrocium>)

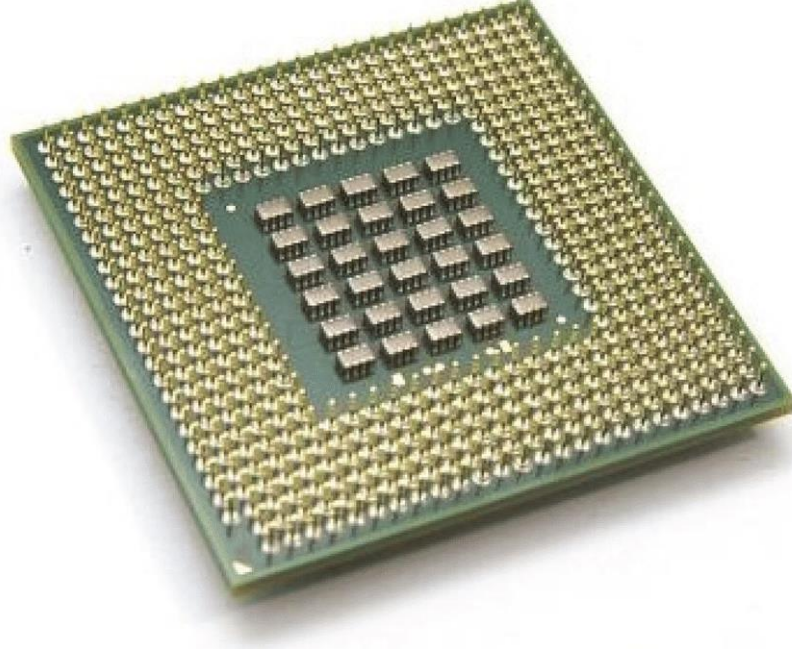
Seryum çakıldığında kıvılcımlar çıkarttığı için buna uygundur. Ferroseryum sentetik piroforik bir metal karışımıdır çakmak taşı olarak kullanılan materyal budur

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrocium>). Bunu yapan bir diğer element ise demirden başkası değildir. Seryum oksit ise katalizör olarak kullanılır. Kendi kendini temizleyen ocakların duvarlarına karıştırılır bu da yemek artıklarının orada kalmasını engeller, Katalitik dönüştürücülerde seryum oksit nano partikülleri dizel yakıtların daha fazla yanmasını sağlayarak egzoz emisyonlarını düşürdüğüne dair çalışmalar yapılmıştır. Seryüm sülfid ise derin kırmızı rengi ile renklendirici pigment olarak kullanılır (Şekil 1.16).



**Şekil 1.16:** Seryum sülfid kristalen pudrası, derin kırmızı rengi. (<https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/pigments/42300-cerium-red.html>)

Seryum ayrıca düz ekran televizyonlarda, düşük enerjili aydınlatmada ve projektörlerde kullanılır (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/58/ceium>). Seryumoksit, cam, metal ve değerli taşlar, bilgisayar çipleri, transistör ve diğer elektronik parçaları parlatmak için kullanılmaktadır (Şekil 1.17, 1.18) (Yıldız, 2016).



**Şekil 1.17:** Tipik bir bilgisayar entegre çip tasarımı (Yuen vd., 2012)



**Şekil 1.18:** Cam parlatmada kullanılan seryumoksit maddesi.  
(<https://www.walmart.com/ip/Cerium-Oxide-Glass-Polishing-Compound-1-Lb-Cerium-Oxide-Polishing-Compound-By-TechnologyLK/850289621>)



### 1.2.5 Praseodimyum

Avusturyalı kimyager Carl Auervon Welsbach Didimyumun tek başına bir element olmadığı kanaatiyle, didimyumu iki farklı bileşene ayırdı. Bunlara ise neodimyum ve praseodimyum dendi, elde edilenler bunların oksitleriydi. Praseodimyum ise saf olarak ilk kez 1931 yılında elde edildi. Yunanca prasinós, didymos yani yeşil ve ikiz anlamlarına gelen ismi verildi. Yumuşak ve gümüşümsü bir metaldir. Çeşitli alaşımların içerisinde kullanılır. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/59/praseodymium>)

Bu alaşımlarından birincil kullanımı ise hava aracı motorlarında (Şekil 1.19) magnezyum ile beraber alaşımlarda bulunarak yüksek dayanıklı metal olarak kullanılır (<https://education.jlab.org/itselemental/ele059.html> , 2021). Diğer lantanit elementlerinin yanında stüdyo aydınlatmalarında kullanılır. Praseodimyum tuzları ise camları renklendirmede kullanılır



**Şekil 1.19:** Avro York'a monte edilmiş bir Rolls-RoyceMerlin motoru.  
([https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_engine))

Pr-oksit didimyum camının bir parçasıdır. Bu camlar kaynakçılar ve saatçiler tarafından kullanılır. Doğada diğer lantanitler ile beraber çeşitli minerallerin içerisinde bulunur.

Monzanit ve bastnasit başlıca iki kaynağıdır. Bu minerallerden iyon değişimi ile elde edilir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/59/praseodymium>). Ayrıca praseodimyum neodimyum ile yüksek güçlü mıknatıs üretiminde, sarıparlama ve ultraviyole ışınları için bunlara karşı koruyucu cam ve cam üfleme gözlüğü yapımında kullanılmaktadır (Yıldız, 2016).

### 1.2.6 Neodmiyum

Neodmiyum Carl AuervonWelsbach tarafından keşfedildi. Didimyumdan Seryumu çıkardı. Anlaşıldığı üzere bu lantaniod elementlerinin bir karışımıydı. Daha sonra Samariyum'u da Didimyumdan çıkardı ve takip eden yılda da Gadolinyum'u keşfetti. Neodmiyum ve Praseodimyum, Didimyumdan çıkardı, atomik spektrum sayesinde bu iki elementin Didimyumun içerisinde olduğunu anlayabildi. Neodmiyum 6. periyotta olup atom numarası 60'dır. 20 derece sıcaklıkta katıdır. Erime noktası 1289 K olup kaynama noktası 3347 Kelvin'dir. Görece atomik kütlesi 144,242'dir. Dünya üzerinde Çin, Rusya, Malezya (Şekil 1.20) ilk üç üreticisi olup, mıknatıslarda boron ve demir ile beraber alaşım olarak kullanılır.



**Şekil 1.20:** Malezya'da bir NYE üretim plantasyonu (<https://lynasrareearths.com/about-us/vtour/>, 2021)

1983'te bu alaşımın bulunmasının ardından bir çok elektronik cihaz küçülmüştür. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/60/neodymium>) Cam üzerinde, çeşitli renklerde gölgelendirme (Şekil 1.21, 1.22) yapma işleminde kullanılan neodmiyum



**Şekil 1.21:** Neodmiyum karışımı bir gölgeli cam örneği  
(<https://www.glassfacts.info/image7e46.html?id=128>)

bu camlarda keskin emilim bantları göstermektedir bu da Astronomi çalışmalarında rol oynar (Yıldız, 2016) ve ayrıca neodmiyum camı lazerlerde kullanılır. Lazer noktalaması ile, göz cerrahisinde, kozmetik cerrahisinde ve de cilt kanseri tedavisinde kullanılır.



**Şekil 1.22:** Neodmiyum camdan yapılmış bir heykel  
([https://www.etsy.com/listing/965632439/murano-horse-neodymium-glass-vintage-art?ga\\_order=most\\_relevant&ga\\_search\\_type=all&ga\\_view\\_type=gallery&ga\\_search\\_query=neodymium+glass&ref=sr\\_gallery-1-11](https://www.etsy.com/listing/965632439/murano-horse-neodymium-glass-vintage-art?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=neodymium+glass&ref=sr_gallery-1-11), 2021)

Neodmiyum aynı zaman bronzlaşma ünitelerinin camlarına katılır.  
(<https://www.rsc.org/periodic-table/element/60/neodymium>) (Şekil 1.23).



**Şekil 1.23:** Yüksek basınçlı ultraviyole bronzlaşma ünitesi lambası  
([https://en.wikipedia.org/wiki/Tanning\\_lamp#/media/File:Ultraviolet\\_tanning\\_bed\\_lamp\\_running.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Tanning_lamp#/media/File:Ultraviolet_tanning_bed_lamp_running.JPG))

Neodmiyumun bronzlaşma ünitelerinde (Şekil 1.23) kullanılması durumu ultraviyole ışıkları geçirip, ısıyı geçirmemesi ile alakalıdır. Neodmiyum oksitler ve nitratlar polimerazsyon tepkimelerinde katalizör olarak kullanılır. Neodmiyum gümüşümsü beyaz renkli bir metaldir. Atmosfere maruz kalınca hızlıca kararır (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/60/neodymium>). Neodmiyum ayrıca güçlü mıknatısların (Şekil 1.25) yapımında, bilgisayar depolayıcılarında (Şekil 1.24), elektrik motorlarında, cep telefonlarının hoparlörlerinde, stüdyo monitörlerinde, kapı kilitlerinde gibi güncel alanlarda kullanılır ([https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium\\_magnet](https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet)).



**Şekil 1.24:** Bilgisayarlarda kullanılan bir depolayıcı  
([https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium\\_magnet#/media/File:Hdd\\_od\\_srodka.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet#/media/File:Hdd_od_srodka.jpg))



**Şekil 1.25:** Çelik silindirleri tutan, neodmiyum mıknatısları

([https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium\\_magnet#/media/File:Neodymium\\_magnet\\_lifting\\_spheres.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet#/media/File:Neodymium_magnet_lifting_spheres.jpg))

Çin dünyada nadir yer elementi mıknatısının %76'sını karşılar ve neodmiyumun birinci üreticisidir (<https://www.cnbc.com/2018/10/18/neodymium-china-controls-rare-earth-used-in-phones-electric-cars.html>, 2021). Neodmiyum-itriyumalüminyum garnet lazerler mesafe ölçme ve rehberlik sistem cihazlarında da kullanılmaktadır ayrıca neodmiyum tuzları emaye renklendirmede yer almaktadır (Yıldız, 2016).

### **1.2.7 Prometyum**

1902 yılında Bohuslav Branner, Neodmiyum ve Samaryumun arasında bir element olması gerektiğini düşündü. Bütün denemeler boşuna olmuştur çünkü bütün izotopları radyoaktif olup zaman içinde yok olmuştur. Ancak Uranyumun cevherlerinde nükleer fizyon sonucu çok az bir sürede açığa çıkar fakat milyon tonda mikro gram şeklindedir. Sonunda 1945 yılında nükleer reaktörden alınan Uranyum yakıtından, iyon değişimi kromatografisi ile fizyon ürünlerinden Jacob A. Marinsky, Lawrence E. Glendenin ve Charles D. Coryell tarafından ayrılmıştır. Prometyum çoğunlukla araştırma amacıyla kullanılmıştır (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/61/promethium>).

Fosfor özelliğe sahip bir malzeme tarafından soğurulduğunda ışıdamaya yol açtığı için kendinden ışık veren boya (Şekil 1.26, 1.27) yeşil az ışıkta yeşil olarak parlayan plastik üretimi, saatlerin kadrantlarının luminesans özelliği göstermesi, ışığı enerjiye çevirip bu sayede pil olarak kullanılmaya imkan veren enerji pili üretiminde kullanılır.

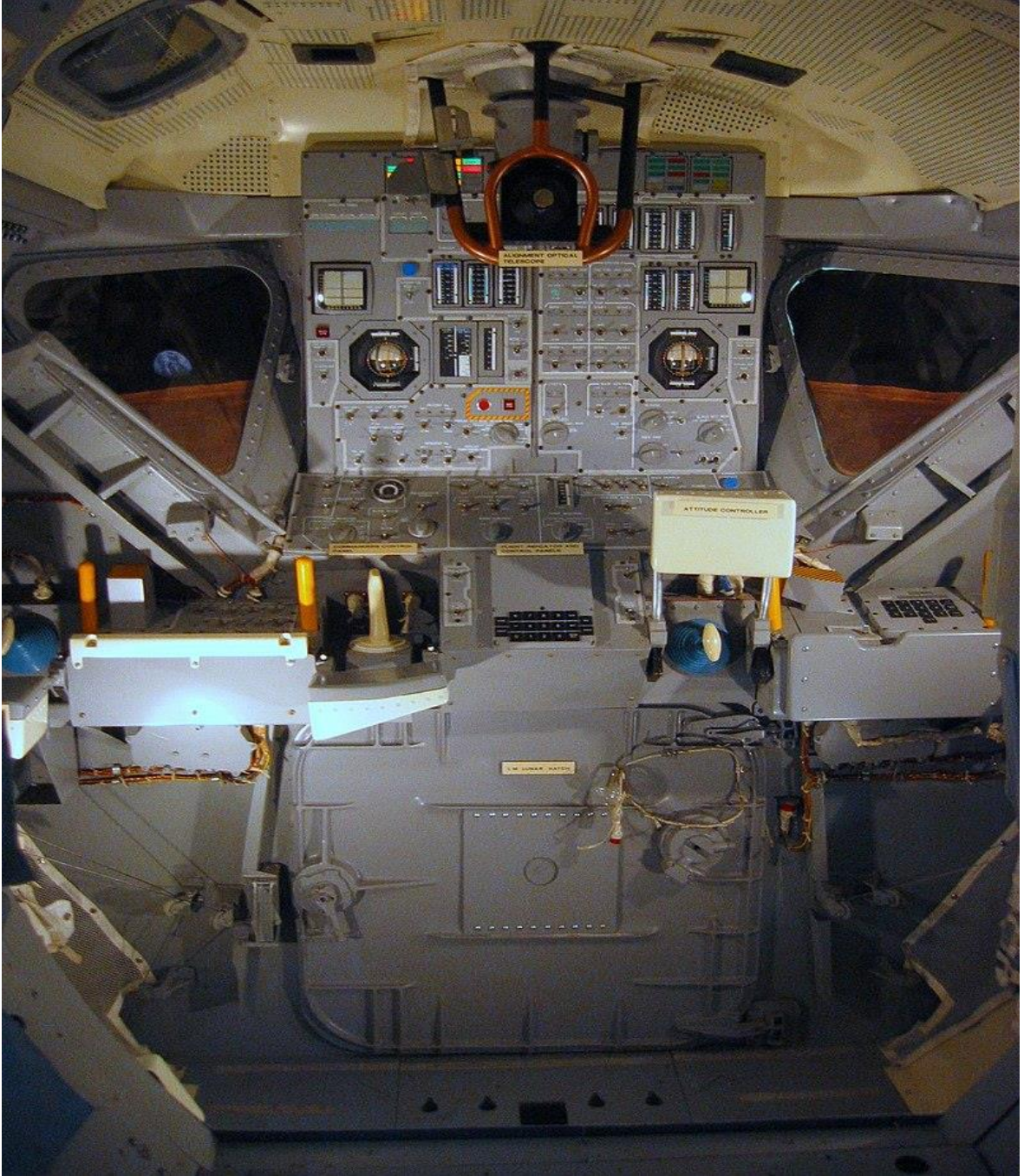


Şekil 1.26: Farklı renklerde kiluminesans boyalar (<https://glowtec.co.uk/starglow-paint/>, 2021)



Şekil 1.27: 1950'lerde kullanılan, luminesans saat ([https://www.wikiwand.com/en/Luminous\\_paint](https://www.wikiwand.com/en/Luminous_paint), 2021)

1972 yılında Apollo uzay aracında elektrik düğmelerinde ve Lunar roving aracının kontrol panellerinde prometyum içerikli boya kullanılmıştır ([https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_paint](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_paint)) (Şekil 1.28).



**Şekil 1.28:** Apollo uzay aracının iç kısmından bir görüntü  
([https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo\\_Lunar\\_Module#/media/File:Apollo16LM.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo_Lunar_Module#/media/File:Apollo16LM.jpg))

Ayrıca, ölçüm aletlerinde, taşınabilir X-ışını kaynaklarında, elektrikli battaniyelerde, özellikle uzay aracı (Şekil 1.28) ve deniz altı gibi vahşi ortamlarda enerji ihtiyacını mükemmel derecede sorunsuz bir şekilde karşılayan nükleer bataryalarda (Yakubova, 2010), omuz üstü roketatarların hedeflerini işaretlemesinde, uydularda ise indirekt ısı kaynağı olarak ek güç olarak kullanılır (Yıldız, 2016) (Şekil 1.29, 1.30).



**Şekil 1.29:** Taşınabilir X-ray cihazına bir örnek  
(<https://www.directindustry.com/prod/moxtek/product-23672-1607035.html>)



**Şekil 1.30:** Mikro nükleer batıri reaktörü  
(<https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2021/01/25/what-would-nuclear-batteries-do-for-us/?sh=338ac362e9dd>)

Atom pillerinde az da olsa Prometyum kullanılmıştır. Solar panellerde fosfor ışık vermesi olarak yarılanma ömründen yararlanılır, bu ışık elektriğe döndürölür. Ölçüm cihazlarında, x-ray ve radyoaktif olarak kaynak olarak kullanılır. Periyodu 6 atom numarası 61'dir, erime noktası 1315 K ve kaynama noktası 3273 K'dir. Görece atomik kütlesi 145'tir. Prometyum'un en uzun yaşayan izotopu sadece 18 yıldır. Bu yüzden dünya üzerinde doğal olarak bulunmaz. Andromeda galaksisinde bir yıldızın Prometyum oluşturduğu



bilinmektedir fakat nasıl olduğu hala bilinmemektedir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/61/promethium>).

### 1.2.8 Samaryum

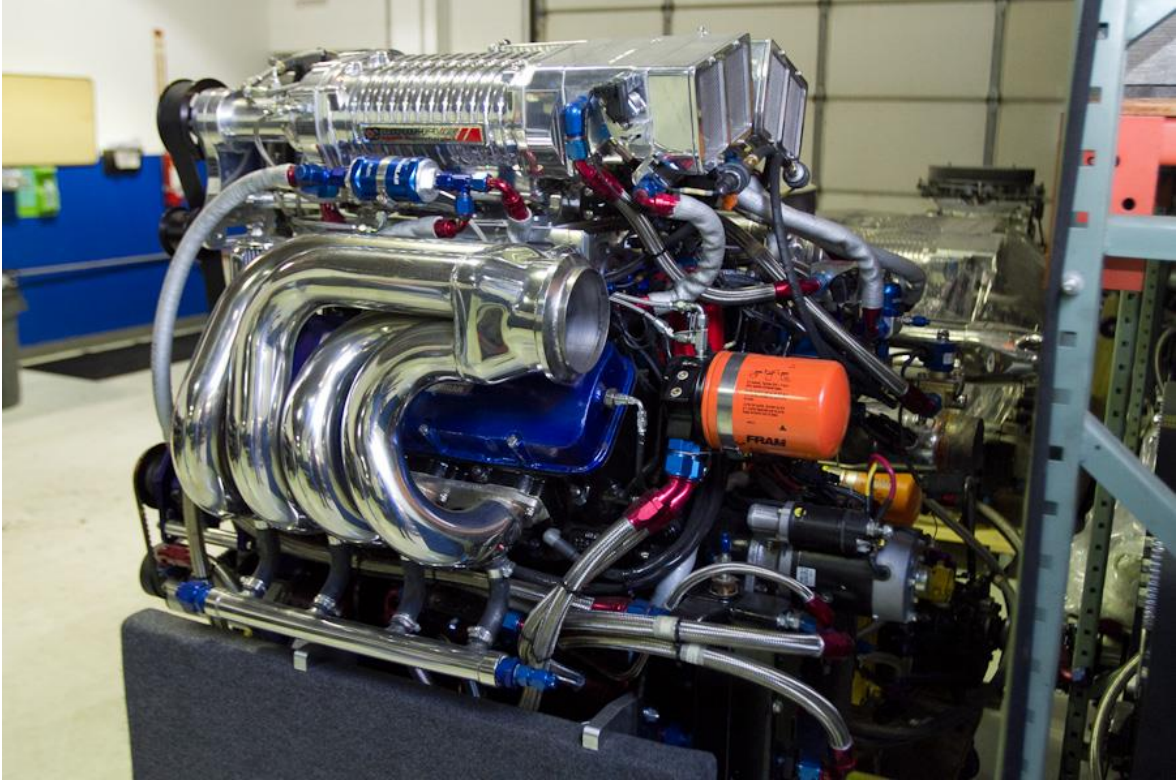
Seryumun 1803'te keşfedilmesiyle; Carl Mosander 1839'da Seryumun içerisinde diğer metallere olduğunu düşündü, Lantanyum ve Didyumu, Seryumdan elde ettiğini iddia etti. Lantanyum tarafından haklıyken, Didmiyuma gelince yanlıştı. 1879 yılında Paul-Emile Lecoq de Boisbaudfransamarskit mineralinden didmiyumu çıkardı daha sonra didmiyum nitrat solusyonu yaptı ve amonyum hidroksit ekledi. İki çökelti oluşmaktaydı, ilk çökeltiye odaklandı ve spektrumunu ölçtü. Böylece yeni element olan Samaryum bulunmuş oldu. Samaryum-Kobalt mıknatıslar demir mıknatıslardan çok daha güçlüdür.



**Şekil 1.31:** Samaryum-Kobalt blok mıknatısları <https://www.magnetshop.com/samarium-cobalt-block-magnets.html#1>

Yüksek sıcaklıklarda manyetikliklerini korurlar, bu da onların mikrodalga uygulamalarında kullanılmasına zemin hazırlar. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/62/samarium>) Aynı zamanda savaş uçaklarının yüzeyleri samaryum-kobalt mıknatıs ile kaplanarak radarlara yakalanmasını engeller ve ayrıca yüksek performans motorlarında (Şekil 1.32) da yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu için kullanılır (<https://www.stanfordmagnets.com/common-applications-of-samarium-cobalt-magnets.html>).

Kızılötesi ışığın soğurulmasını sağladığı için optik camlarda bu göreve uygun olarak kullanılmaktadırlar, samaryum x-ray radyoloji uygulamalarında da kullanılmaktadır (Yıldız, 2016).



**Şekil 1.32:** Yüksek performans motoru (<https://www.sterlingperformance.org/high-performance-engines/>)

Kulaklıkların eskiye oranlara gittikçe küçülmesinde büyük payları vardır. Buna rağmen neodmiyum mıknatıslar günümüzde daha revaçtadır (Şekil 1.33).



**Şekil 1.33:** Oldukça küçük 3. nesil bir kulak içi kulaklık (<https://www.apple.com/tr/airpods-3rd-generation/>, 2021)

Nükleer reaktörlerde nötron hapsedicisi olarak kullanılırlar. Samaryum oksit ise cam ve seramiklerde kullanılır. Stüdyo ışıklandırmasında ve projeksiyonlarda diğer lantanitlerle beraber Samaryum da kullanılır. Ayrıca elektrik ve bas gitarlarda sessiz manyetik yapımında da kullanılır. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Fender\\_Noiseless\\_Pickups](https://en.wikipedia.org/wiki/Fender_Noiseless_Pickups)) (Şekil 1.34).



**Şekil 1.34:** Vintage Noiseless bir gitar manyetiği (<https://www.fender.com/en-US/parts/stratocaster-parts/vintage-noiseless-strat-pickups/0992115000.html>)

Samaryum gümüşü-beyaz bir metaldir. Monzanit ve Bastnasit olmak üzere çeşitli minerallerde bulunurlar. İyon değişimi ve çözücü ekstraksiyonu ile bu minerallerden elde edilir. Atom numarası 62 olup periyodu 6'dır. 20 derece santigrat sıcaklıkta katı olup, erime noktası 1345 K'dir, kaynama noktası ise 2067 K'dir. Görece atomik kütlesi 150.36'dır. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/62/samarium>)

### 1.2.9 Öropyum

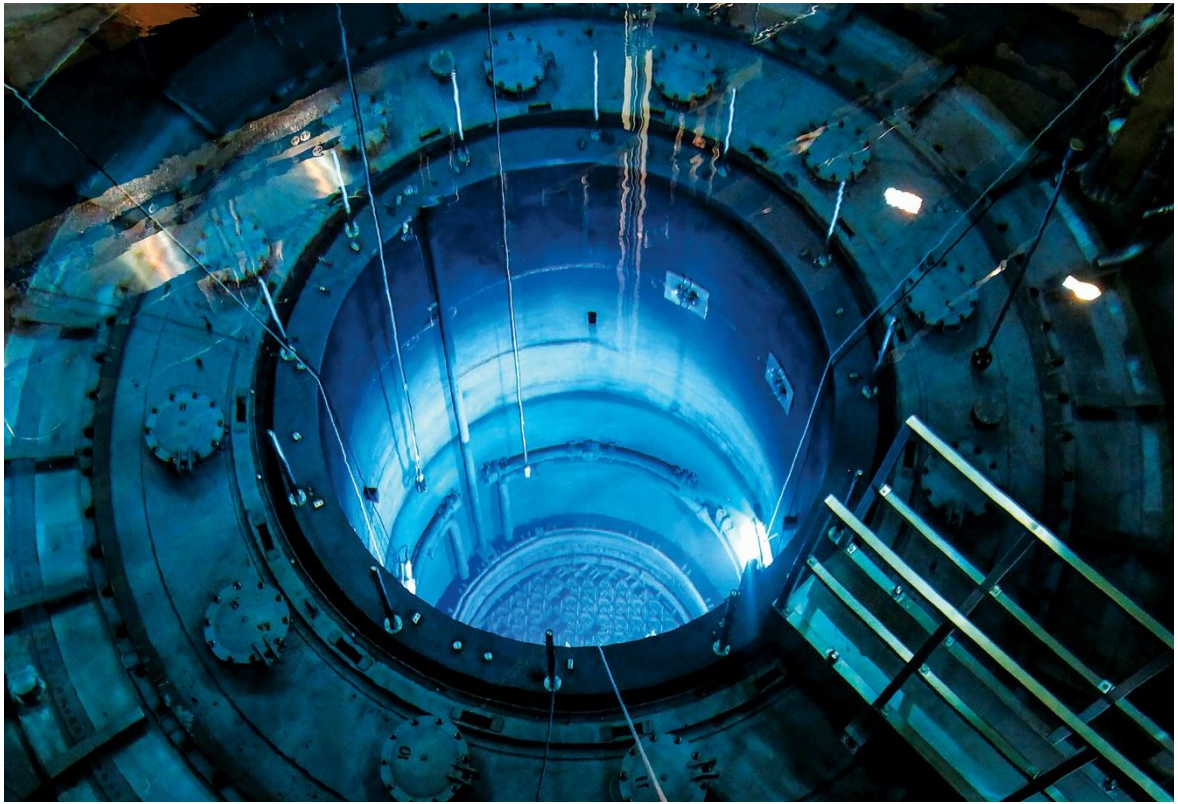
Samaryum magnezyum nitratlarından zorlu bir süreçle Eugène-Anatole Demarçay tarafından yeni bir element olan Öropyum 1901 yılında ayrıştırılmıştır. Daha öncesinde Samaryumdan önceki nadir yer elementleri ayrıştırılmış, Öropyum ise ancak 1901 yılında elde edilebilmiştir. Yumuşak gümüşümsü metal olan Öropyum, açık havada kolayca kararır. Öropyum Avro banknotlarını (Şekil 1.35) basmakta kullanılır. UV ışığı altında kırmızı olarak parlar. Sahte paralar bu parlamasının eksikliği sayesinde anlaşılır. Düşük tüketimli ampuller (Şekil 1.36) çok az Öropyum ihtiva ederler bu biraz daha doğal ışık sağlar. Nötron emmede çok başarılıdır ve bu onu nükleer reaktörler (Şekil 1.37) için çok değerli kılar. Diğer lantanlarda olduğu gibi öropyum monazit ve bastnasit minerallerinde bulunur.



**Şekil 1.35:** 50 Euro'nun ultraviyole ışık ve karanlıkta incelenmesi  
(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/050euro-uv.jpg>)



**Şekil 1.36:** Düşük tüketimli öropiyum ihtiva eden ampuller (<https://www.downtoearth.org.in/news/unpacking-europium-the-mainstay-of-the-lighting-industry-47080>)

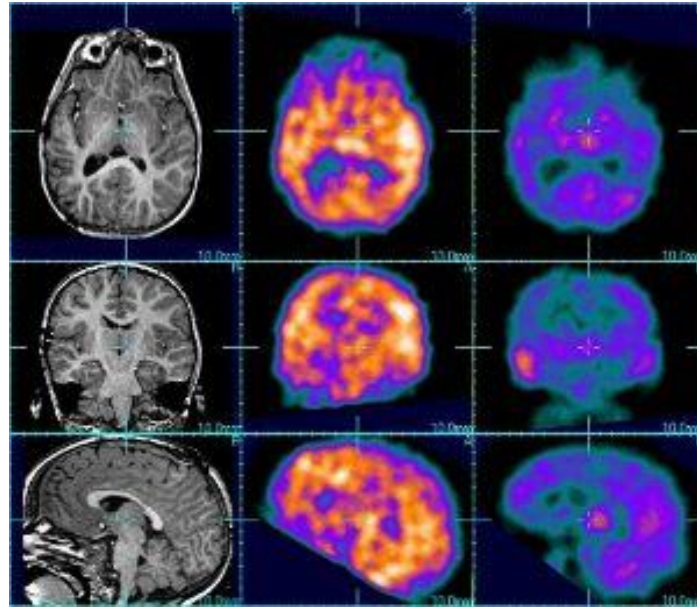


**Şekil 1.37:** Nükleer reaktörün iç kısmı (<https://cen.acs.org/energy/nuclear-power/Combating-corrosion-worlds-aging-nuclear/98/i36>)

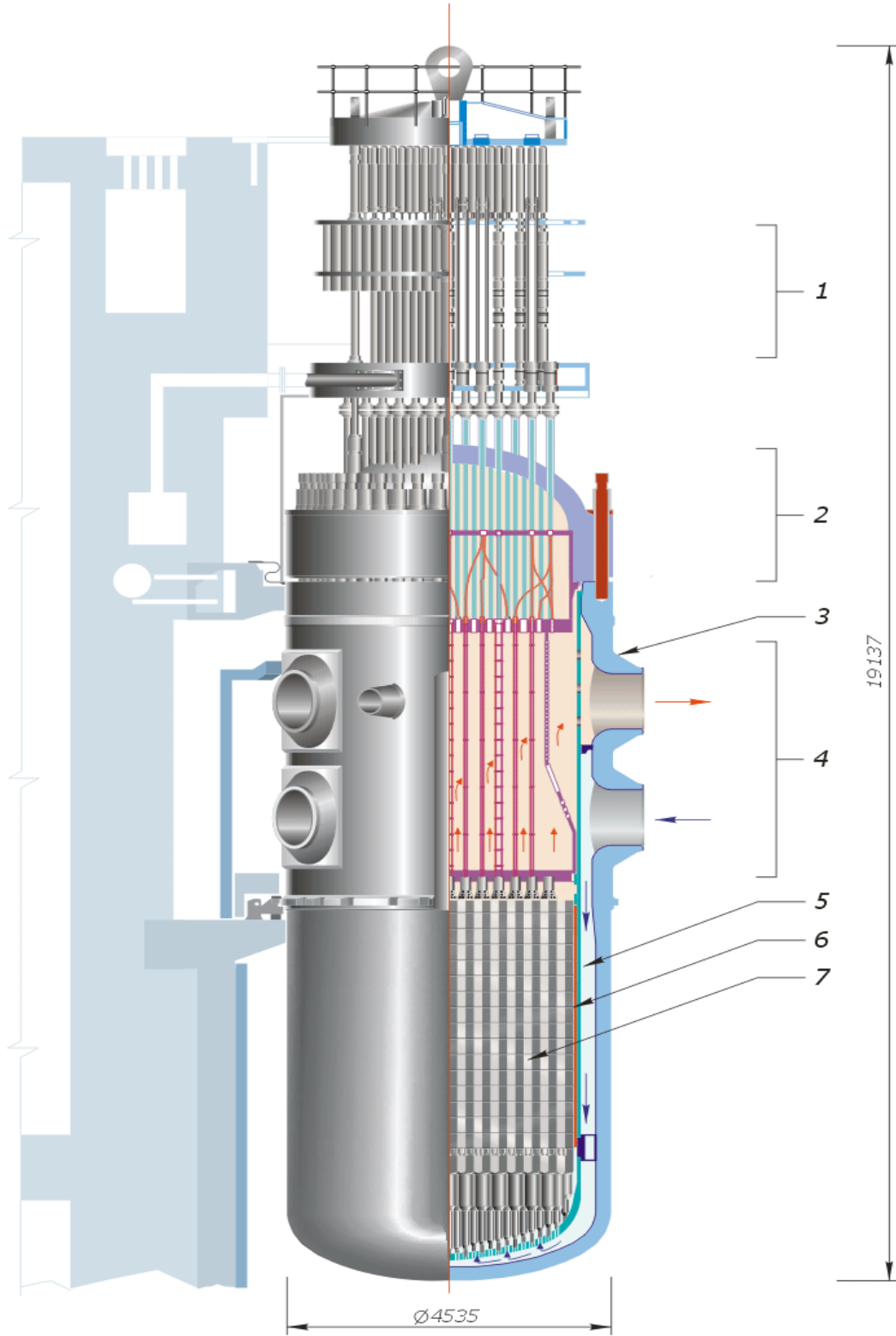
Öropyum, genellikle Öropyum oksidin vakum altında fazladan lantan ile ısıtılmasıyla elde edilir. İsmi Avrupa'dan gelmekte olup, periyodu 6, atom numarası 63'tür. Erime noktası 1095 K, kaynama noktası ise 1802 K'dir. Diğer nadir yer elementlerinde olduğu gibi dünyada birinci üreticisi Çin'dir. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/63/europium>) Öropyum oksit ilk olarak Molycrop tarafından elde edilmiştir (Yıldız, 2016).

### 1.2.10 Gadolinyum

Johan Gadolin'in onuruna ismi Gadolinyum olarak verilmiştir. 1880 yılında Charles Galissard de Marignac tarafından bulunmuştur. Didiyumun yeni bir element değil de bir karışım olduğuna dair şüphelenen Marignac, 1886'da Didiyumdan Gadolinyumu elde etmeyi Paul-Emile- Lecoq de Boisbaudran ile beraber başarmıştır. Periyodu 6 olup atom numarası 64'tür, erime noktası 1586 K olup, kaynama noktası 3546 K'dir. 20 santigrat derece sıcaklıkta katı halde olup görece atom ağırlığı 157,25'tir. Yumuşak gümüşümsü metal olup oksijen ve suyla tepkimeye girer. Alaşımlarda etkili kullanımı vardır. %1 Gadolinyum demir ve krom alaşımların işlevlerini oldukça artırır. Onların yüksek sıcaklık ve oksidasyona dayanıklılığını sağlar. Aynı zamanda mıknatıslarda ve data saklama disklerinde kullanılır. Kanserli tümörlerin tespit edilmesini sağlayan, manyetik rezonans resimlemesinde (MRI) kullanılır (Şekil 1.38). Nükleer reaktörlerin çekirdeklerinde, nötron absorbe edici olarak kullanılır. Çin diğer nadir yer elementlerinde olduğu gibi en büyük üreticilerdendir (Şekil 1.39).



**Şekil 1.38:** Gadolinyum-153 tek foton emisyonu ile elde edilmiş bir tomografi (<https://www.chemicool.com/elements/gadolinium.html>)



**Şekil 1.39:** Nükleer bir reaktörün temsili resmi 1. Kontrol rot sürücüsü, 2. Reaktör kabı, 3.Reaktör basınç kabı 4. Giriş-Çıkış başlığı 5. Reaktör çekirdek kabini 6. İç reaktör 7. Yakıt rotları (<https://en.wikipedia.org/wiki/VVER>)

### 1.2.11 Terbiyum

Terbiyum, Carl Mosander tarafından 1843 yılında bulunmuştur. Seryum oksiti zaten yakından inceleyen Mosander, buradan yeni bir element çıkardı, lantanyumu çıkardıktan sonra dikkatini İtiryuma çevirdi çünkü başka elementlere ev sahibi yapabileceğinden şüpheleniyordu. Buradan iki farklı metal oksit elde etmeyi başardı bunlar sırasıyla sarı terbiyum oksit ve gül pembesi erbiyum oksit idi (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/65/terbium>). Terbiyumun üç değerlikli tuzları ultraviyole ışıpta fosforesans özellik göstermekle beraber diğer kuzenleri olan nadir yer elementleri gibi luminesans özelliğinde olup (Deng, 2017) yumuşak, gümüşümsü bir metal olan Terbiyumun periyodu 6 olup atom numarası 65'tir, 20 derece santigrat sıcaklıkta katı haldedir, erime noktası 1632 K olup kaynama noktası 3503 K'dir. Düşük enerjili ampullerde, merkür lambalarında kullanılır. X-ray cihazlarında çok daha az sürede radyasyona maruz kalınmasını sağlayarak güvenliği arttırmıştır. Terbiyum tuzları lazerli cihazlarda kullanılır, 2008 yılında sürekli dalga lazerinde terbiyum üç değerlikli tuzları güçlendirmesi florit fiberde başarıyla kullanılmıştır (<https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=NFOEC-2008-JWA18#top>). Renkli televizyonların renklendirme tüplerinde yeşil fosforlarda terbiyum oksit kullanılmıştır. Terbiyum Monazit, Bastnasit minerallerinden iyon değişimi ve çözücü ekstraksiyonu ile elde edilir. Ticari olarak ise anhidrit florid veya kalsiyum metalli klorid'in vakumlama altında indirgenmesiyle elde edilir. Eriyik kalsiyum klorid içerisinde terbiyum oksidin elektrolizi ile de elde edilir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/65/terbium>).

### 1.2.12 Disprosiyum

Disprosiyum 1886 yılında Paul-Emile Lecoq de Boisbaudran tarafından bulunmuştur. İtiryum oksit 1794 yılında incelenirken diğer nadir yer elementlerinin bulunmasına vesile olmuştur. Buradan Erbiyum 1843 yılında, 1878 yılında ise Holmiyum elde edilmiş ve son olarak da Disprosiyum 1886 yılında elde edilmiştir. 1950'ler de iyon değişimi kromatografisine kadar saf Disprosiyum örnekleri elde edilememiştir. Günümüzde ise bu yöntem sıvı-sıvı değişimi teknolojisi ile yer değiştirmiştir. Periyodu 6 olup, atom numarası 66'dır. 20 derece santigratta katı olup erime noktası 1685 K, kaynama noktası 2840 K'dir. Görece atomik kütlesi 162.500 olup en önemli izotopu <sup>164</sup>Dy'dir. Yunanca elde edilmesi zor olan 'dysprositos' kelimesi ismini vermede kullanılmıştır. Parlak gümüşümsü metalik bir elementtir. Saf bir metal olduğu halde kullanım alanı pek yoktur çünkü su ve havayla tepkimeye girer. Neodmiyum alaşım içeren mıknatıslarda kullanılır. Bunun sebebi ise çok



yüksek ısılarla dayanıklı olmasıdır (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/66/dysprosium>) (Şekil 1.45). Motorlarda ve jeneratörlerde bu sebeple kullanılır. Hibrit araçların motorlarında da disprosiyum kullanılır (<https://www.roadandtrack.com/new-cars/car-technology/news/a17006/ill-raise-you-one-dysprosium/>). Neodmiyumun yüksek sıcaklıklara dayanması için manyetik özelliklerini de kaybetmemesi için disprosiyum ve terbiyum eklenmiştir (<https://www.mining.com/rare-earth-metals-and-hybrid-cars/>). Ayrıca rüzgar güllerinde, elektrikli araçlarda kullanılmaya başlanması arz talebini arttırmaya başlamıştır. Nötronlara uzun süre maruz kalmasına rağmen nükleer reaktörlerin kontrol rotlarında şişme veya esneme yapmamasından ötürü disprosiyum oksit-nikel sermet kullanılır (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/66/dysprosium>).

### 1.2.13 Holmiyum

Marc Delafontaine ve Louis Soret tarafından 1878 yılında Cenevre'de Holmiyum bulunmuşken, aynı zamanlarda, Per Teodor Cleve tarafından Upsala'da bulunmuştur. İki takım da İtiryum üzerine çalışıyor idi, İtiryum diğer nadir yer elementleri ihtiva ediyor, zaten Erbiyum daha sonra İterbiyum elde edilmişti. Cleve İterbiyum eldesinden sonra daha yakından inceleme başlattı ve arta kalanlarda birkaç element daha olabileceği kanısına vardı. 1878 yılında atom ağırlıklarındaki orantısızlığın dikkatini çekmesi üzerine, Erbiyumdan Holmiyumu ayırdı. Soret ve Delafontaine aynı kaynaktan Holmiyumu elde etmeye başarmış, atomik spektrum üzerinde açıklanamayan çizgilerden olayı çözmüşlerdi. İki grubun da saf Holmiyum elde ettiğini tam olarak söyleyemeyiz çünkü Holmiyumdan daha sonra Disprosiyum elde edilmiştir. Periyodu 6 olup, atom numarası 67'dir. Erime noktası 1745 K olup, Kaynama noktası 2973 K'dir. Görece atomik kütlesi 164.930 olup, ismi Stokholm'den gelmektedir (Holmia). Parlak gümüşümsü bir metaldir. Nükleer reaktörlerde zincirleme reaksiyonu nötron absorbe edişiyile kontrol altında tutar. Holmiyumun alaşımları bazı mıknatıslarda kullanılır. Monazit ve Bastnasitte az içerikte bulunur. İtiryum cevherleşmelerinden çıkarılır. İyon değişimi ve çözücü ekstraksiyonu ile elde edilir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/67/holmium>). Tıpta kullanım alanı lazer operasyonlarındadır (<https://medipol.com.tr/teknoloji/holmium-lazer-enerjisi>, 2021). Helikopter ve savaş uçaklarının, füzelere karşı yanıltıcı sistemlerinin üretiminde kullanılmaktadır. 2017 yılında IBM, tek bir holmiyum atomuna bir bitlik veri sığdırdığını duyurmuştur (<https://www.ibm.com/blogs/research/2017/03/meet-ibm-nanoscientists/>). Hassas radar sistemlerinde kullanılmaktadır (Yıldız, 2016).

Kübik zirkon mücevherlerde dikorik renk vermek için kullanılan holmiyum birçok renklendiriciden birisidir, sarımtırak ve şeftali renkleri eldesi için kullanılır.

### **1.2.14 Erbiyum**

1843 yılında Carl Mosander itriyumdan iki yeni metal oksit elde etmiştir. Bu metal oksitler 1794 yılından beri bilinen metal oksitlerdi. Bunlardan birisi pembe renkli erbiyum oksit, ikincisi ise sarı renkli terbiyum oksit idi. 1934'e kadar erbiyumun saf hali üretilmemiştir. Saflaştırılmış erbiyum kloriti potasyumla beraber ısıtarak Wilhelm Klemm ve Heinrich Bommer 1934 yılında ulaşmıştır. Yumuşak, gümüşü, metalik elementtir. Havanın etkisiyle yavaş olarak karardığı ve sudan etkilendiği için kullanım alanı metal olarak sınırlıdır. Vanadyum gibi metallerle alaşım oluşturulduğunda, onların sertliklerini düşürür ve böylece işlenebilirlikleri artırılmış olur. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/68/Erbium>). Fotoğrafçılıkta, kamera önlerine filtre olarak ve akne izlerinin tedavisi için tıpta kullanılır (Patwardhan, 2012).

Erbiyum oksit, bazı durumlarda kızılötesi emici camlarda, örneğin kaynakçılar ve metal işçileri için yapılan güvenlik gözlüklerinde kullanılır. Erbiyum cama eklendiğinde, cam pembe renkli bir hal alır. Bazı güneş gözlüklerine ve yapay taşlara renk vermek için de bu durumdan faydalanılır. Geri dönüşüm işlemlerinde erbiyum ve çinko oksit camları tekrar renksiz hale getirmekte kullanılır. (Yıldız, 2016). Erbiyum, monazit ve bastnasit minerallerinde bulunur. İyon değişimi ve çözücü ekstraksiyonu ile elde edilir. Sembolü 'Er', atom numarası 68, görece atomik ağırlığı 167.259'dur ve 6. periyotta bulunur. Erime noktası 1802 K ve kaynama noktası 3141 K'dir, 20 santigrat derecede katı olarak bulunur. En fazla Çin, Rusya ve Malezya'da üretimi gerçekleşir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/68/Erbium>).

### **1.2.15 Tülyum**

İlk kez 1879 yılında Per Teodor Cleve tarafından tülyum oksit olarak bulunmuştur. Birçok nadir yer elementinin bulunuşu, 1794 yılında itriyumun keşfedilmesiyle başlamıştır. 1843 yılında erbiyum ve terbiyum, itriyumdan elde edildi. Ardından Cleve, 1874'te, erbiyumu daha yakından incelemiştir ve atom ağırlıklarının geldiği kaynağa bağlı olarak değiştiğinin gözlemlenmesi sebebiyle farklı elementleri de içerebileceği fark edilir. Tülyum, buradan 1879 yılında elde edilmiştir.

1911'de kimyager Theodore William Richards, elementin kesin saf bir örneğini elde etmek ve böylece atom ağırlığını tam olarak belirlemek için, 15000 tulyum bromatın yeniden kristalleştirilmesini yapmıştır. Lantanitlerin 13. Elementidir. Sembölü Tm, görece atom ağırlığı 168.934, ve atom numarası 69 iken erime noktası 1818 K ve kaynama noktası 2223 K'dir, 20 santigrat derecede katı olarak bulunur. Görünümü parlak, gümüşü metal şeklindedir. Tulyum, bir nükleer reaktörde ışınlanmaya maruz bırakıldığında, x ışınları yayan bir izotop üretilir. Bu izotop tıbbi kullanım için hafif, taşınabilir röntgen cihazı üretilmesinde kullanılır. Tulyum, aynı zamanda cerrahi uygulamalardaki lazerlerde kullanılır (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/69/Thulium>). Nükleer reaktörlerde ışın bombardımanına uğrayan Tm-169 izotopu, portatif X-ışını ekipmanı için radyasyon kaynağı olarak kullanılır. Mikrodalga fırın ve ferritlerde doğal tulyum kullanıldığı gibi, insanların maruz kaldığı radyasyonu en aza indirmek amacıyla tulyum aktivesi olmuş lantanyumoksibromit tıpta kullanılmaktadır (Yıldız, 2016). Tulyum lazeri tıp alanında prostat tedavisi için kullanılmaktadır (<https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/thulium>, 2021).

Tulyum prensip olarak monazit mineralinde bulunur, milyonda yaklaşık 20 parça içerir. İyon değişimi ve çözücü ekstraksiyon yoluyla sağlanır. Susuz florürün kalsiyum ile veya oksidin lantan ile indirgenmesi sonucunda metal, elde edilir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/69/Thulium>).

### **1.2.16 İterbiyum**

İterbiyum, Jean Charles Galissard de Marignac tarafından Genava Üniversitesi'nde 1878 yılında izole edilmiştir. İtriyumun, 1794'teki keşfinin ardından, 1843 yılında erbiyum ve terbiyum, itriyumdan elde edilir ve ardından 1878 yılında iterbiyum erbiyumdan ayrılır. Jean Charles Galissard de Marignac, erbiyum nitratı, ayrışana kadar ısıtır ve ardından çıkarılan kalıntıyı su ile ekstrakte eder. Bundan iki oksit elde edilir; kırmızı olan erbiyum oksit iken, beyaz olana ise 'İterbiyum' adı verilir. Saf olmayan iterbiyum metali, 1937 yılında iterbiyum klorit ve potasyumun birlikte ısıtılmasıyla yapılmıştır. 1953 yılında saf bir örneği elde edilebilmiştir.

Atom numarası 70, görece atom ağırlığı 173.045, sembolü Yb'dir ve 6. periyotta bulunurken, erime noktası 1097 K ve kaynama noktası 1469 K'dir, 20 santigrat derecede

katı olarak bulunur. Yumuşak, gümüşü renkli bir metaldir. Havada yavaşça oksitlenerek ve koruyucu bir yüzey tabakası oluşturur. İterbiyumun, hafıza cihazları ve ayarlanabilir lazerlerde kullanılması gibi, çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Bununla beraber endüstriyel katalizör olarak da kullanılır. Aynı zamanda, toksik ve kirletici olduğu düşünülen diğer katalizörlerin yerini almak üzere giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. İterbiyumun ana kaynağı, diğer pek çok lantanitin de olduğu gibi, monazit mineralidir. İyon değişimi ve çözücü ekstraksiyonu ile elde edilebilir. En fazla Çin, Rusya ve Malezya'da üretilir. En çok rezervin bulunduğu ülkeler ise; Çin, Bağımsız Devletler Topluluğu ülkeleri (örneğin Rusya) ve Amerika Birleşik Devletleri'dir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/70/Ytterbium>).

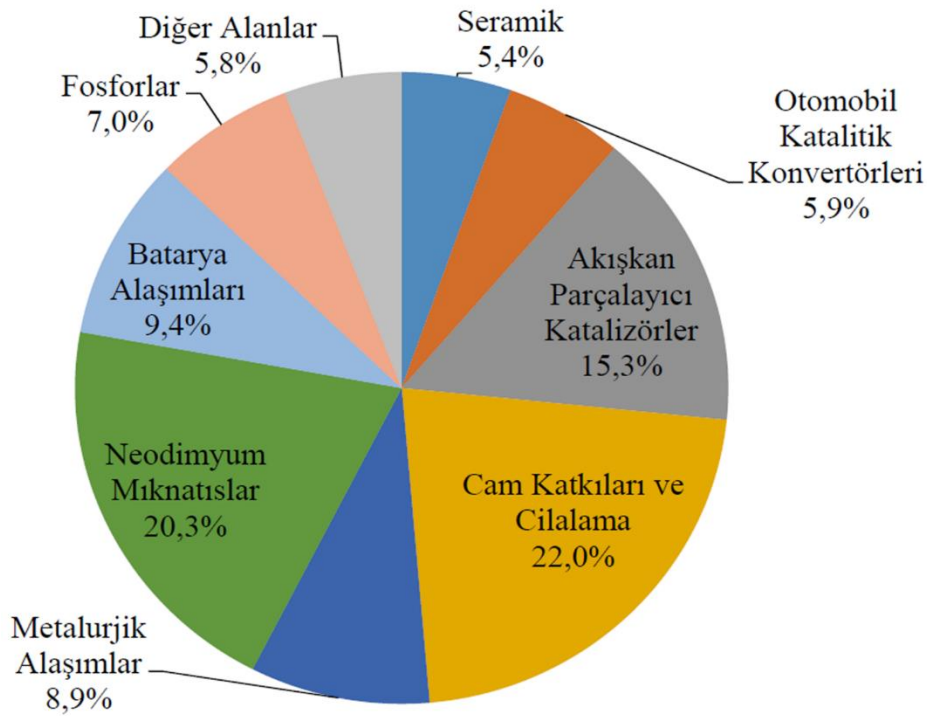
### 1.2.17 Lütesyum

Lütesyumun keşfi, ilk bildiriyi yapmasından ötürü Georges Urbain'a atfedilmiştir. Lütesyum ismi ise Antik Roma'daki Paris isminden gelmektedir (Krishnamurthy, 2004). 1794'te itriyumun bulunmasıyla birlikte, diğer birkaç nadir yer elementlerinin ayrılabilirliği ortaya çıkarılmıştır. 1843'te Erbiyumla başlayan süreç 1907'de lütesyumla son bulmuştur. Diğer kimyagerlerden, Karl Auer ve Charles James de aynı keşfi yapmıştır. Saf lütesyum metalinin örneği, 1953 yılına kadar yapılmamıştır. En fazla Çin, Rusya ve Malezya'da üretimi yapılmaktadır. En çok rezervin bulunduğu ülkeler ise; Çin, Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri'dir. Lütesyumun sembolü Lu' dur, lantanitlerin son üyesidir, nadir yer elementlerinin içinde sayılır. Atom numarası 71'dir ve 6. periyotta bulunur. Atomik kütlesi 174.9668 iken erime noktası 1936 K ve kaynama noktası 3675 K'dir, 20 santigrat derecede katı olarak bulunur. Gümüşü beyaz, sert ve yoğun metaldir. (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/71/Lutetium>) Lütesyum, meteorolojide rüzgarın hızını, yönünü bulmakta ve hava kirliliğini ve havadaki nemi ölçmede kullanılır, alüminyum granattan yapılmış kırılma indisi yüksek optik lenslerin yüksek teknoloji entegre edilmiş devrelerinde de kullanılır. (Yıldız, 2016) Lütesyum, bilimsel araştırmaların haricinde çok az kullanılır, bunlardan biri de petrol rafinerilerinde hidrokarbonları kırmak için katalizör olarak kullanılmasıdır (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/71/Lutetium>). Pozitron emisyonu tomografisinde seryum iyileştirmeli lütesyum oksitortosilikatları ana eleman olarak kullanılmaya başlanmıştır. Lütesyumun bilinen bir biyolojik rolü yoktur, toksisitesi düşüktür. Lütesyumun ana kaynağı, diğer pek çok lantanitte olduğu gibi, monazit mineralidir. Susuz florürün, kalsiyum metaliyle birlikte

indirgenmesi sonucu zorlukla elde edilir (<https://www.rsc.org/periodic-table/element/71/Lutetium>).

**Tablo 1.2:** Nadir yer elementlerinin kullanım alanları ( Review of the Rare Earth Elements and Lithium Mining Sectors, Cheminfo Services Inc., 2012)

Hafif nadir elementler (çok daha bol )	Yaygın Kullanım	Ağır Nadir Elementler ( az bulunan )	Yaygın Kullanım
Lantanyum	hibrit motorler, metal alaşımlar	Terbiyum	fosforlar, kalıcı mıknatıslar
Seryum	petrol rafinesi, metal alaşımlar	Disprosiyum	Kalıcı mıknatıslar, hibrit motorlar
Praseodimiyum	mıknatıslar	Erbiyum	fosforlar
Neodimiyum	oto katalizör, petrol rafinesi, sabit diskler, kulaklıklar, hibrit motorlar	İtriyum	kırmızı renk, floresan lambalar, seramikler, metal alaşım elemanı
Samaryum	mıknatıslar	Holmiyum	cam renklendirme, lazerler
Öropyum	televizyonda ve bilgisayarlarda kırmızı renk	Tulyum	medikal x-ray üniteleri
		Lutetiyum	petrol rafinesinde katalizör
		İterbiyum	lazerler, çelik alaşımlar
		Gadolinyum	mıknatıslar



**Şekil 1.40:** NYE kullanım alanları yüzdesi (Dünyada ve Türkiye'de Nadir yer Elementleri, MTA, 2017)

### **1.3 Nadir Yer Elementlerinin Genel Kimyasına Giriş**

Nadir yer elementleri denmesine karşın , diğer elementlere kıyasla yer kabuğunda nadiren bulunmazlar. Örnek olarak seryum, lantanyum, itriyum ve neodmiyum; Kobalt, Tin, Molibdeniyum, Gümüş ve Tungstene görece kat ve kat fazla yer kabuğunda bulunurlar (Henderson, 1984; Wedepohl, 1970). Seryum ise yer kabuğunda gözlenmiş olan doğal yollarla oluşup en çok fazlaşmış olan nadir yer elementidir. Kıtasal doygunluğu 60 ppm civarındadır (Christie vd., 1998) Jairethetal, 2014). Nadir yer elementleri genellikle +3 iyonludur. Sadece Seryum +4 ve Europiyum +2 değerliktedir (Rollison, 1993).

### **1.4 Nadir Yer Elementlerinin Yer Kabuğunda Bulunuş Yoğunluğu**

Alt manto magnezyum, kalsiyum içeren pervoskit ( $MgTiO_3$  ve  $CaTiO_3$ ), magnesiosutite ( $(Mg,Fe)O$ )'ten oluşur. Üst manto ise daha çok silikatlardan (olivin, piroksen vb..) oluşmuştur (Righter vd., 2003). Üst ve alt mantonun içeriğinin ne olduğu hala tartışılır olsa da, üst manto ile alt mantonun yapısı birbirlerine benzerdir (McDonough ve Sun, 1995). Nadir yer Elementi çokluğu ölçümlerinde, üst mantodan devşirilen kayalarda Nadir Yer Elementleri'nin adil yayılımı gözlenmiştir (Tablo 1.3). Özellikle hafif nadir yer elementleri 0.0001'den 25 kata kadar bayağı kondritlerde gözlenmiştir. Ağır nadir yer elementlerinin bayağı kondritlerde yoğunluğu ise 0.1'den 5 kata kadardır (Frey, 1984).

**Tablo 1.3:**Kondrit, ilksel manto ve kıtasal kabuktaki ppm cinsinden NYE bulunuş yoğunlukları ( Jaireth vd., 2014).

Element	CI	İlksel manto	İlksel manto	Alt kabuk	Arkean üst kabuk	orta kabuk	Üst kabuk	Toplam
Sc	5.9	17.3	16.5	31	14.0	19	14	21.9
Y	1.6	4.55	4.37	16	18.0	20	21	19
La	0.237	0.7080	0.6860	8	20.00	24	31	20
Ce	0.613	1.8330	1.7860	20	42.00	53	63	43
Pr	0.0928	0.2780	0.2700	2.4	4.90	5.8	7.1	4.9
Nd	0.457	1.3660	1.3270	11	20.00	25	27	20
Sm	0.148	0.4440	0.4310	2.8	4.00	4.6	4.7	3.9
Eu	0.0563	0.1680	0.1620	1.1	1.20	1.4	1	1.1
Gd	0.199	0.5950	0.5710	3.1	3.40	4	4	3.7
Tb	0.0361	0.1080	0.1050	0.48	0.57	0.7	0.7	0.6
Dy	0.246	0.7370	0.7110	3.1	3.40	3.8	3.9	3.6
Ho	0.0546	0.1630	0.1590	0.68	0.74	0.82	0.83	0.77
Er	0.16	0.4790	0.4650	1.9	2.10	2.3	2.3	2.1
Tm	0.0247	0.0740	0.0717	0.24	0.30	0.32	0.3	0.28
Yb	0.161	0.4800	0.4620	1.5	2.00	2.2	2	1.9
Lu	0.0246	0.0737	0.0710	0.25	0.31	0.4	0.31	0.3
ToplamY'den Lu'ya	4.08	12.0567	11.6477	72.55	122.92	148.34	169.14	125.15
Toplam LREE	1.60	4.80	4.66	45.30	92.10	113.80	133.80	92.90
Toplam HREE	0.91	2.71	2.62	11.25	12.82	14.54	14.34	13.25
Toplam HREE and Y	2.48	7.26	6.99	27.25	30.82	34.54	35.34	32.25
Oran: LREE/HREE	1.77	1.77	1.78	4.03	7.18	7.83	9.39	7.01
Kaynak	1	2	3	4	5	4	4	4

### 1.5 Nadir Yer Elementlerinin Kayaçalarda Bulunuş Yoğunluğu

Hem felsik hem de alkalin kayaçlar, mafik kayaçlara göre ileri derecede nadir yer elementleri zenginleşmesi gösterirler. Nadir yer elementlerinde gözlenen ileri derecede karbonotit eriyikleri, bazı ortomafik ve magmatik hidrotermal cevherleşmeleri de karbonatitlerle ilişkilendirilir. Çoğu kayaç Ağır Nadir yer Elementlerine Göre , Hafif Nadir yer Elementleri ile daha çok zenginleşmiştir. Karbonitlerde hafif nadir yer elementi zenginleşmesi diğerlerine oranla had safhadadır. Skandiyum ise daha çok bazaltlarda zenginleşir.

Magmatik kayaçlardaki Nadir yer Elementi zenginleşmelerinin miktarı, magmanın ana kayaçlarının içeriklerine bağlıdır (Jaireth vd., 2014).

**Tablo 1.4:** Nadir yer elementlerinin ppm cinsinden bazı Magmatik Kayaçlarda bulunuşu (Jaireth vd., 2014). (N/A: Yanıtsız)

Element	C1	Bazalt	Granit	Siyenit	Karbonatit , Phalaborwa, South Africa	Karbonatit , Oka, Canada
Sc	5.900	35.00	8.00	3.00	NA	NA
Y	1.570	30.00	40.00	20.00	NA	NA
La	0.237	10.00	55.00	70.00	213.00	1640.00
Ce	0.613	30.00	90.00	161.00	397.00	1450.00
Pr	0.093	4.00	10.00	15.00	58.00	144.00
Nd	0.457	20.00	35.00	65.00	249.00	494.00
Sm	0.148	5.00	9.00	18.00	47.70	64.30
Eu	0.056	1.50	1.00	2.80	11.80	17.39
Gd	0.199	6.00	8.00	18.00	28.60	40.90
Tb	0.036	0.80	1.50	2.80	3.08	4.97
Dy	0.246	4.00	6.50	13.00	12.90	26.30
Ho	0.055	1.00	2.00	3.50	2.13	5.00
Er	0.160	3.00	4.50	7.00	4.31	11.87
Tm	0.025	0.50	0.60	0.60	NA	NA
Yb	0.161	2.50	4.00	7.00	1.57	9.52
Lu	0.025	0.50	0.70	2.10	0.15	1.29
Toplam Y'den Lu'ya	4.080	118.80	267.80	405.80	1029.24	3909.54
Toplam HNTE	1.604	70.50	200.00	331.80	976.50	3809.69
Toplam ANTE	0.91	18.3	27.8	54.0	52.74	99.85
Toplam ANTE ve Y	2.476	48.30	67.80	74.00	52.74	99.85
Skala: HNTE/ANTE	1.77	3.85	7.19	6.14	18.52	38.15
Kaynak	1	2	2	3	4	4

## 1.6 Nadir Yer Elementlerinin Hidrotermal Sıvılarda Bulunuşu

Hidrotermal Nadir yer elementleri cevherleşmeleri bize Nadir Yer Elementlerinin Hidrotermal Sıvılarda hareketli olduğunu göstermiştir. Eriyikten gelen yüksek sıcaklıktaki hidrotermal sıvıların Nadir yer elementi içerik oranları Nadir yer elementlerinin sıvı-eriyik dağılım katsayısına bağlıdır.

Bazı dağılım katsayısı deneysel gözlemleri göstermiştir ki Nadir Yer Elementleri'nin bazıları sıvılara katılmak için hazır bulunurlar (Bai ve Groos, 1999; Flynn ve Burnham, 1978; Reed vd., 2000; Webster ve Holloway, 1980).

## 1.7 Nadir Yer Elementlerinin Minerallerde Bulunuşu

NYE'lerin büyük iyon çapı minerallerde önemli ölçüde element değişimi sağlar. Üç değerlikli NYE'lerinin minerallerdeki değişimlerinin içeriği  $Ca^{+2}$ ,  $Th^{+4}$ ,  $U^{+4}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Zr^{+4}$ 'dir. İki değerlikli Örupyum ( $Eu^{+2}$ ) ise, benzer iyon çaplı  $Pb^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Sr^{+2}$ ,  $Na^{+}$  'yı değiştirir. Üç değerlikli NYE'nin katyonlarının değişik yükleri şunları gerektirir; yük telafisi, ikili değişim ya da açıklık üretimidir (Jaireth vd., 2014).

Dünyadaki NYE'lerin en önemli üretim kaynağı bastnazit ( $Ce,La,Nd,Pr$ )F(CO<sub>3</sub>) mineralidir. Bunların yanı sıra NYE'ler ksenotim içeriğinde, plaser yataklarda, uranyum ve bozmuş killerle birlikte ve karbonatitlerde de bulunmaktadır. NYE'ler yer kabuğunda değişik oranlarda çok geniş bir alana yayılmış olarak yaklaşık 160'dan fazla mineralin



(Tablo 1.5, 1.7) içeriğinde bulunmaktadır. Bunların içinde ekonomik olarak işlenebilir mineral sayısı 10 civarında olarak bilinmektedir (Yıldız, 2016).

**Tablo 1.5:** NYE içeren mineraller (Yıldız, 2016).

Mineral Adı	Kimyasal Formülü
<i>Oksitler</i>	
Serianit	CeO <sub>2</sub>
<i>Florürler</i>	
Fluoserit	(Ce,La)F <sub>3</sub>
Fluorit,serian(itroserit)	CaF <sub>2</sub> + Ce altgrup
Fluorit, yttrian (itroflurit)	CaF <sub>2</sub> + Y alt grup
<i>Karbonatlar</i>	
Ancylit	(Ce,La) <sub>4</sub> (Sr,Ca) <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>7</sub> (OH) <sub>4</sub> .3H <sub>2</sub> O
Bastnazit	CeFCO <sub>3</sub>
Doverit	CaY(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> F
Parisit	2CeFCO <sub>3</sub> .CaCO <sub>3</sub>
Synchisit	Ce,La)Ca(CaCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> F
<i>Silikatlar</i>	
Allanit	(Ca,Ce,Th) <sub>2</sub> (Al,Fe,Mg) <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O. <sub>7</sub> (OH)
Senosit	Ca <sub>2</sub> (CeY) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub> CO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O
Serit	(CeCa) <sub>2</sub> Si(O.OH) <sub>5</sub>
Gadolinit	Be <sub>2</sub> FeY <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>10</sub>
Huttonit	ThSiO <sub>4</sub>
Stilvellit	(Ce,La,Ca)BSiO <sub>5</sub>
Thalenit	Y <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Thorit	ThSiO <sub>4</sub>
Thortveitit	(Sc <sub>2</sub> Y) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
<i>Fosfatlar</i>	
Apatit	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,OH)
Brokit	(Ca,Th,Ce) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O
Florensit	Ce,Al <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>
Basazit	(Ce,La,Th,Y)PO <sub>4</sub>
Rabdophanit	(Ce,Y)PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O
Weinschenkit	YPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O
Ksenotim	YPO <sub>4</sub>

Dünyada nadir yer elementlerinin üretiminde %95 olarak; bastnazit, monzait ve ksenotim mineralleri önemli bir rol oynar. Tablo 1.6'da bu üç mineralin içerikleri gösterilmiştir (Yıldız, 2016).

**Tablo 1.6:**Bastnazit, Monazit ve Ksenotim'in NYE içerikleri. (Yıldız, 2016).

<b>Grubu</b>	<b>Bastnazit%</b>	<b>Monazit%</b>	<b>Ksenotim%</b>
Lantanyum	33.2	20	-
Seryum	49.1	43	-
Praseodimiyum	4.3	4.5	-
Neodimiyum	12	16	-
Samariyum	0.8	2.5	1.2
Europiyum	0.12	0.1	0.01
Gadolinyum	0.17	1.5	3.6
Terbiyum	160 ppm	0.05	1.0
Disprosiyum	310 ppm	0.6	7.5
Holmiyum	50 ppm	0.05	2.0
Erbiyum	35 ppm	0.2	6.2
Tulyum	8 ppm	0.02	1,27
Ytterbiyum	6 ppm	0.1	6,0
Lutetiyum	1 ppm	0.02	0,63
Yitriyum	-	2.5	60,0

**Tablo 1.7:** Kayaç oluşturan minerallerdeki Nadir yer Elementlerinin ppm cinsinden bulunuş yoğunluğu (Jaireth vd., 2014)

<b>Element</b>	<b>Olivin Bazalt</b>	<b>Klinop. Andezit</b>	<b>Ortop. Andezit</b>	<b>Horn. grand</b>	<b>Plaj. grand</b>	<b>Alkali Feldspat grand</b>	<b>Biyotit grand</b>	<b>Muskovit Granit</b>	<b>Granat Dasit</b>
<b>La</b>								86	
<b>Ce</b>	0.569	5.94	0.442	22.5	1.36	0.264	2.2	127.3	20
<b>Pr</b>									
<b>Nd</b>	0.365	7.23	0.645	27.5	0.252	0.0769	1.03		15
<b>Sm</b>	0.09	3.3	0.347	8.67	0.02	0.0112	0.221	20.91	15.1
<b>Eu</b>	0.02	0.554	0.064	1.375	0.155	0.0821	0.0377	1.14	1.42
<b>Gd</b>	0.084			9.74			0.213		53.6
<b>Tb</b>								2.73	
<b>Dy</b>	0.079	6.75	1.35	8.29	0.00552	0.006	0.17		122
<b>Ho</b>									
<b>Er</b>	0.046	4.04	1.4	4.18	0.00308	0.0029	0.0913		77.9
<b>Tm</b>								14.48	
<b>Yb</b>			2.1	3.18	0.00301	0.0033	0.0792	212	70.13
<b>Lu</b>	0.0094		0.414						10.1
<b>Toplam</b>	1.26	27.81	6.76	85.44	1.80	0.45	4.04	254.68	385.25
<b>NYE</b>									
<b>HNYE</b>	1.04	17.02	1.50	60.05	1.79	0.43	3.49	235.35	51.52
<b>ANYE</b>	0.22	10.79	526	25.39	0.01	0.01	0.55	19.33	333.73
<b>HNYE</b>	4.78	1.58	0.28	2.36	153.92	35.59	6.30	12.18	0.15
<b>ANYE</b>									

Bazalt içindeki Olivin, plajiyoklas, alkali feldspat, granadiyoritinden biyotit oldukça düşük konsantrasyonludur. Fakat Öropyum bu durumun dışında olup pozitif anomali göstermiştir. Muskovit, granat ve hornblend NYE açısından yüksek bulunuş yoğunluğuna sahiptir ve negatif Öropyum anomali göstermiştir. Bütün majör mineraller hafif NYE'ler üzerine zenginleşmiş olup Andezitten klinopiroksen buna bir istisnadır. Bunların yanında izafi zenginleşmeler plajiyoklaz ve muskovitte en yüksektir. Granat ise ağır NYE'de zenginleşmiştir (Jaireth vd., 2014).

## **1.8 Nadir yer Elementlerinin Madenciliği ve Yöntemleri**

Nadir yer elementi madenciliği diğer madencilik türlerine çokça benzer olup, sert kayacın yerden çıkarılmasıyla yapılır. Örnek verecek olursak Molycorp Mountain Pass tesisindeki şerit madenciliğidir. Birçok farklı yöntem uygulanmasına rağmen temelde, çıkarılma ve zenginleştirme ortak noktadır. Kayacın cevhere yükseltilmesi de bu ortak noktalardandır. Bu süreçler tarama, ıslak gravite ekipmanı, elektrostatik veya elektromanyetik ayırıştırma ve birçok daha yöntemi içerisinde kapsar. Cevherin katılaştırılması için kimyasal olarak işleme tabi tutmak gerekir. Bu çerçevede kavurma işlemi, tuz ve kostik fizyon, yüksek sıcaklık sülfatlaşması ve asitle aşındırma kullanılır. Bu işlem katılaştıran malzemedeki mineralleri ayırdıktan sonra nadir yer elementlerinin çözünmesini sağlamaktır. Ayrılan solüsyonlar daha sonra seçmeli çökeltme, çözücü ekstraksiyonu ve ya iyon değişimi ile birçok safsızlığından ayrılır ve yüksek veya orta dereceli kimyasal bileşikler olarak arıtma işlemine uygun hale getirilir (Review of the Rare Earth Elements and Lihium Mining Sectors, Prepared by Cheminfo Services Inc. 2012).

### **1.8.1 İtiryumu Gösterge Olarak Kullanıp Nadir yer Elementlerinde Toplam**

#### **Konsantrasyonun Tespit Edilmesi**

İtiryum kullanılarak, toplam nadir yer elementi ve İtiryum içeriği kömür bağdaşımli örneklerde ve yüksek REY (Rare Earth Yttrium) içeren numunelerin içeriklerinin hızlı ve ucuz yoldan belirlenmesi amaçlanır. Yang ve diğerleri tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada 10'un üzerinde antrasit bağdaşıklı örnekler Pensilvanya'nın üç farklı yerinden sırasıyla B, J, C adlandırması yapılarak alınmıştır. Toryum gama-ışığı loglamasına bağlı olarak yüksek REY içeriğine sahip oldukları düşünülmüştür. İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile belirlenen nadir yer dağılımı desenleri ve Y ve REY'in yerine göre sınıflaması yapılmıştır.

B yerinden alınan örnekler REY değerlerinin belirlenmesi için ICP-MS analizi yapılmıştır. Bu analizlerde pozitif Eu anomalisi gözlenmiştir. B ile J yerinden alınan örneklerin zenginleşmeleri birbirlerine benzerdir.

Bu çalışmada analizlerde bulunan örnekler çoğunlukla M-tip dağılımlar olup genellikle UCC'ye göre 1.5-2.0 kat daha fazladır. İtiryumu gösterge kabul eden Yang ve diğerleri kömür içerikli numunelerdeki Y içeriğini incelemiştir. Bu örnekler 3 farklı Pensilvanya bölgesinden alınmıştır. ICP analizinin bu örneklerle uygulandığında daha ucuz ve hızlı sonuç sağladığı gözlenmiştir (Yang vd., 2020).

## **1.9 NYE Metalojenisinin Jeolojik Zamandaki Ana Özellikleri**

Tkachev ve diğerlerinin 2021'de yaptığı çalışmada, alınan kayaç örnekleri daha çok geniş silis aralığı gösteren magmatik komplekse akraba ve yüksek veya yükseltgenmiş alkalilik cevherleşmelerini içermektedir. Bu cevher yatakları magmatik kristalleşme esnasında ortaya çıkmakta olup, magmatikleşme sonrası hidrotermal sirkülasyon sonrası da buna dahildir. Karbonit komplekslerinde cevherleşme ikiye ayrılmıştır bunlar karbonatit ve hiperjen cevherleşmelerdir. İkincil tipte ise ana karbonatit komplekslerin erozyona uğraması sonucu gerçekleşmiştir. Ayrıca hipojenetik cevher minerallerinin kalıntıları ana mineral içeriğinde bulunabilir. Bunlardan bağımsız olarak iki tip depolanma vardır. Birincil yüksek nadir yer elementi içeriği ile ilgisi bulunmayan depolanmalar killer içinde olup yüksek iyonik adsorpsiyon kapasitesine sahip farklı kökenli plaserlerdir, genellikle deniz kıyısı kesimlerindedir.

Çoğunlukla NYE kompleks cevherleşme gösterir ve P, Nb, Zr, Fe, U, F ve bir kaç diğer element (farklı varyasyonları) içerir. Bunlar genellikle ticari kullanım için elverişli değildir. Sadece iyonik killer ve belirli karbonatitler yüksek rezervlere sahiptir. Buna rağmen iki cevherde NYE üretimine yatkındır.

### **1.9.1 NYE'nin Uzam-Zamansal Dağılımı**

Tkachev ve diğerlerinin yaptığı bu çalışmada alınan örnekler uzam-zamansal olarak dağıtılmıştır. Kenoran döngüsünde magmatik kompleksler jeolojik formasyonlarda aynı orijine sahip olup Arkaen'den beri vardır. Fakat Saharjok intrüzif kütlelerinin nefelin siyenitleri Zr-NYE mineralizasyonu ekonomik olarak değer gösterir. Bu çalışmada analiz edilen örneklerde paleo plaser cevherleşmeleri Kenoran'a aittir. Global ölçekte kaynaklar önemsizdir. Tek yerel uranyum içeren metakonglomeralar Huronian havza sondadır (Kanada Kalkanı). Bu cevherleşmelerde bulunan uranyum konsantrasyonu gösteren mineraller Uranyum, İtiryum için daha önceden işlenmişlerdir. Ancak uranyum her halukarda birincil önceliklidir çünkü ana değeri yüksektir. 21. yüzyılda burada yeni cevherleşmeler bulunmuş fakat kullanılabilirlikleri ertelenmiştir.

Columbian döngüsünde ise NYE metalojenisi Kenoran döngüsüne göre çok daha açık bir şekilde gözlenmektedir. Tkachev ve diğerlerinin yaptığı bu çalışmada 19 cevherleşmenin 6'sı Columbian döngüsüne aittir. Çalışmadaki cevherleşmelerin yarısı karbonatitleşme tipi

cevherleşmelerdir. Bu cevherleşmeler, Ukrayna (Novopoltavka), Kanada (Montviel, Ashram), Arunta (Nolans Bore)'da bulunan Grönland (Karrat) ve Aldan (kalkanları), Mojave (Mountain Pass) ve Capricorn (Yangibana) tektonik bloklarıdır. Sadece Novopoltavka ve Seligdar'daki cevherleşmelerde NYE birincil ekonomik öneme sahip değildir. Yilgarn kratonu içerisindeki iki büyük objedeki cevherleşmelerde NYE gözlenmiştir. Orta bölgede ve taç kısımlarda bu cevherleşme yoğunlaşmıştır. Foidik tip cevherleşmeler Kanada'da gözlemlenmiştir. Bunlar Baltic (Norra Karr) ve Kanada (Nechalacho) kalkanlarıdır. İki durumda da NYE cevherleşmeleri için kolay çözünme birincil taşıyıcıdır. Ancak Nechalacho cevherleşmesindeki dış cevher gövdelerinde kolay çözünme yerine hemen hemen hep epijenetik metasomatik işlem sonucu olan polimineral agregatı gözlenir. Siyenitik tip ise bu döngüde iki yerde gözlenir, bunlardan birisi Ukraynada diğeri ise Kuzey Çin'dedir. Rodinian döngüsü en üretken döngüdür. Karbonatit tipler yalnızca iki cevherleşmede gözlenir bunlar: Kuzey Çin (Bayan Obo) ve Kanada (Clay-Howells) kalkanlarıdır. Bayan Obo dünyanın en büyük cevherleşmesidir. Burada NYE çıkarılması 20. yy ortalarında başlamıştır. 21. yy'da ise kullanılan HNYE'nin yarısı buradan sağlanmaktadır. Orijini hala tartışmalıdır, günümüzde ise bir çok uzman Mesoproterozoikdeki karbonatit oluşumlarına dayandırmaktadır. Karbonatitlerdeki hiperjen Rodinian NYE cevherleşmeleri ise Amazonas (Seis LAgos) ve Kaapval (Glenover) kratonlarında meydana gelmiştir. Halls Creek (Cummins Range) ve Ubendian kuşakları bunlara dahildir. İkincisi bu listedeki en yüksek nadir yer elementi içeriğine sahiptir.

Pangean Döngüsü, diğer döngülere göre kaynaklar bakımından geridedir. Kenoran döngüsünden ise ileridedir. Birçok cevherleşme jeolojik zaman bakımından karnatit tiptir. Ubendian (Nkombwa Hill), Sveconorwegian (Fen), Qinling (Miaoya, Taiping-zhen) ve Cordilleran (Wicheeda) kuşaklarında oluşmuştur. Kanada (Lavergne, Saint-Honore), Grönland (Sarfartoq) ve Baltık (Afrikanda) kalkanlarında oluşmuştur. İkincisinde cevherleşme perovskit ana nadir yer elementi taşıyıcısıdır. Pangean döngüsündeki hiperjen karbonatit cevherleşmeleri, Siberya Platformunda ve Kongo Kratonunda gözlenmiştir.

Amasian döngüsü hala devam etmektedir. Columbian ve Pangean döngüsü ile karşılaştırılabilir, bunların içeriklerini biraz aşar. Karbonatit tip cevherleşmeler, Grönland, Angola, Kuzey Çin (Weishan) ve Hindistan kalkanlarıdır. Ayrıca Mozambik,

Mauritanide, Orta Asya ve Alp-Himalaya (Kızılcaören-Khanneshin) kuşaklarında da gözlenir. Yangtze platformunun aktif marjinde de gözlenmektedir (Tkachev vd., 2022).

## 1.10 İtiryumun Zhijin Nadir Yer İçeren Fosforitlerdeki Zenginleşme

### Karakteristikleri

Atom numarası 39 olan itiryumun görece atom ağırlığı 89 olup dış elektron yapısı  $4d^15s^2$ dir ve olağan değerliği 3'tür. Y'nin kimyasal özellikleri diğer nadir yer elementlerine benzediği için NYE klasmanında değerlendirilir (Gong vd., 2021). İtiryum geniş kullanım alanına sahip olup cam, alaşım, televizyon, demir-çelik endüstrisinde kullanılmakta olup, bu element modern bilimsel, teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda kendilerine yer bulur (Gong vd., 2021).

Gong ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, deniz fosforitlerinin NTY zenginleşmesi gösterdiğinden bahsedilmiştir. Ana mineral fosforitlerifrankolit olup kimyasal kompozisyonu  $(Ca, Na, Mg, Sr)_{10}(PO_4, CO_3, SO_4)_6F_2$  'dir. Çin'de Zhijin'dekifosforitlerbir çok insanın dikkatini çekmiştir. Birçok araştırmacı bu bölgede NYE ve P, Y ve P arasında ki ilişkiyi incelemek için bulunmuştur. Bu çalışmalar başlıca bulunuş, oluş, jeokimyasal karakteristikler, zenginleşme karakteristikleri ve çevre paleocoğrafyasını NTY içeren fosforitler bakımından incelemektir.

Bu bölgedeki daha önce yapılan çalışmalarda genel görüşler şu şekildedir; Oluş şekline göre, NTY zenginleşmesi kumlu klastikfosforitler ve koyu renkli parçalarında katmanlı yapısal fosforitlerGezhongwo Formasyonunun alt kesimlerinde gözlenmiştir. Bu NTY'ler bağımsız mineraller şeklinde gözlenmemekle beraber apatitle yakından ilişkilidir.

Nadir yer dağılım desenleri ele alındığında, NTY negatif Ce anomalisi göstermekte, Gd ise pozitif anomali göstermektedir ve ayrıca Y zenginleşmesi ve diğer ağır nadir yer elementleri tükenimi gösterir.

NTY zenginleşmesi, coğrafi mikrofasiyelere bağlıdır ve Xia ve diğ. 2019, Xu ve diğ. 2019, Zhijin bölgesinde paleocoğrafi çevreyi erken kambriyen fosfor oluşum periyodu olarak tanımlamıştır. Kayaç içeriği, kayaç yapısı ve mineral büyüklüğü, yuvarlaklık ve daha diğer durumlara göre, Zhijin bölgesini hafif eğimli havza, hafif eğimli sahil ve hafif eğimli kenarlar şeklinde tanımlamıştır. Bu sonuçlar ise farklı coğrafi özellikler farklı derecede NTY zenginleşmesi göstermiştir (Gong vd., 2021).

Önceki çalışmalar fosforitlerde NTY zenginleşmelerinin karakteristiklerini anlamakta Gong ve diğ. 2021 yaptığı bu çalışmada önemli bir yer tutmaktadır. Ancak zenginleşme karakteristikleri ve itriyum kaynakları belirsizdir. Zhijin bölgesinde zenginleşme karakteristiklerini ve itriyum kaynaklarını açığa çıkarmak için bu bölgedeki fosforit örnekleri ölçülmüştür. Gong ve diğerleri bu çalışmada global itriyum krizine az da bir çözüm arayışı bulmak istemişlerdir.

Çalışılan bölgenin jeolojik arka planında bulunan Yangtze platformu muhtelemen dünyada ki en büyük fosfat fasiyesidir. (Ilyin, 1998) NTY içeren fosforit depolanması orta Guizhou yükseltisinin pasif büküm kuşağının, güney UpperYangtze eski kıtasının, güney batı bitişindedir. Eskiden yeniye mostra stratası; Yukarı SinianDengying Formasyonu, Aşağı Kambriyen Gezhongwu Formasyonu, Niutitang Formasyonu ve Mingxinsi Formasyonu, Aşağı Karbonifer Jiujiulu Formasyonu ve Dapu Formasyonu, Orta Permiyen Liangshan Formasyonu, Qixia Formasyonu ve Maokou Formasyonu, Changxing Formasyonu ve Dalong Formasyonu, Aşağı TriyasYelang Formasyonu, Jialingjiang Formasyonu, Orta Triyas Guanling Formasyonu'dur. Eksik strata Paleozoik Yukarı Kambriyen, Ordovisyen, Siluriyen, Devoniyen, Mesozoyik, Jurasik ve Kratese olup, magmatik kayalar daha oluşmamıştır (Gong vd., 2021).

Mineral depolanmalarının karakteristikleri ise çalışmada şu şekilde belirtilmiştir; Gezhongwu Formasyonunda NTY içeren fosforitler serisi vardır, fosfor içeren Niutitang Formasyonu tarafından altlanır ve Dengying Formasyon karbonat dolostonu tarafından üzerlenir. Dengying Formasyonu Gezhongwu formasyonunun temelidir ve cevher taşıyan kayada dizisindedir. Orta kalınlıkta, iyi taneli dolomit katmanı açık gri, beyazımsı gri, gri renklerde olarak gözlenir.

Niutitang Formasyonu ise ince taneli feldspat-kuvars kum taşları, siltli kum karbonatlı çamurtaşı ve yumru, merceksi silika fosforit NTY cevher katmanı gösterir. Bariz bir şekilde fosforit ve NTY değişimi gözlenir.

Cevher içeren kayaç dizileri Gezhongwu Formasyonundadır, ana fosfor içeren cevher katmanı olup kalınlığı 0-33.73 m'dir. Yapılan çalışmada cevher karakterlerinde ise; NTY ise çoğunlukla fosforitlerde olduğu gözlenmiştir. Dokuz tane cevher kısmı vardır, Xinhua, DaMaChang, GaoShan, DaJi, Guohua bunlardan bazılarıdır.

NTY içeren fosforit mineralleri başlıca açık gri, gri, grimsi siyah, siyah, kahverengi-sarı'dır. Fosforitler genellikle kumlu-klastik özellikler gösterirler ki yerel olarak



karbonatlıdırlar. Kalsit, dolomit, silikalı çimentolanma oluşumları olağandır. Mineralojik karakteristik özellikleri ise; Ana mineral olarak NTY içeren fosforitler, apatit olup gang mineraller dolomit, kuvars, kil mineralleridir. Apatit konsantrasyonları yüksekken, dolomit, kuvars, kil mineralleri konsantrasyonları düşüktür. Tam tersi olarak dolomit, kuvars, kil mineralleri konsantrasyonları yüksekken apatit konsantrasyonu düşüktür. Aralarında büyüme-düşüş ilişkisi vardır. Gang mineraller ve ana cevher mineralleri haricinde pirit, hematit gibi ikincil minerallere fosforitler içerisinde sıkça rastlanır.

İtriyumun çalışmadaki bölgede olan zenginleşme karakteristikleri ise; itriyumun NTY içerisinde ki yüzdesi Y/NTY oranı, Y anomalisi, Y/Ho oranı ve NTY dağılım desenidir. İtriyumun bulunan yüzdesi diğer NTY'lere oldukça benzerdir fakat bu yüzde sürekli değildir. Y/NTY azdan çoğa ilerledikçe, Y/NTY içerisindeki itriyum gitgide azalmaktadır. Y/NTY değeri 286'dan az, 286-535 ppm, 535-771 ppm, 771 ppm değerinden büyük olduğunda itriyum yüzdesi sırasıyla 30.96%'dan 29.55%'e, 27.13%, ve 26.14%'tür. En düşük değerden, en yüksek değere gidildikçe Y/NTY içerisindeki itriyumun yüzdesi %16 olarak düşer. Bu bulgu İtriyum zenginleşmesi derecesi Y/NTY değerleri yükseldikçe azaldığını bize gösterir.

Bütün olarak, Zhijin fosforiti pozitif itriyum anomalisi gösterir fakat bu anomali değişkenlik gösterir ve Y/NTY azdan çoğa arttıkça, itriyum anomalisi %37 olarak azalmıştır. Bu da gösterir ki Y/NTY arttığında, itriyumdaki anormal değişimler Dy, Ho azalmasına bağlı olup, itriyumun davranışları Dy ve Ho ile tutarlılık gösterir. Y/NTY 286 ppm'den az, 286-535 ppm, 535-771 ppm ve 771 ppm'den fazla, buradan yükseldiğinde, itriyum anomalisi 1.87'den 1.64'e, 1.39'dan 1.18'e sırasıyla düşer. En büyük ve en küçük Y/NTY aralığındaki itriyum anomalisi %37 şeklinde bir düşüş gösterir. Bu da bize Y/NTY yükselişinde, itriyumdaki anormal değişimlerin Dy ve Ho azalımıyla ilişkisi olduğunu göstermekte ve itriyum davranışının Dy ve Ho ile tutarlı olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak itriyum yüzdeleri veya itriyum anomalisi veya Y/Ho oranları ya da NTY dağılım desenleri olsun, Zhijin fosforit içeren NTY'ler itriyum zenginleşme karakteristiklerini gösterir fakat itriyumun zenginleşme derecesi Y/NTY değeri azdan çoğa artıyor olduğunda düşer (Gong vd., 2021).

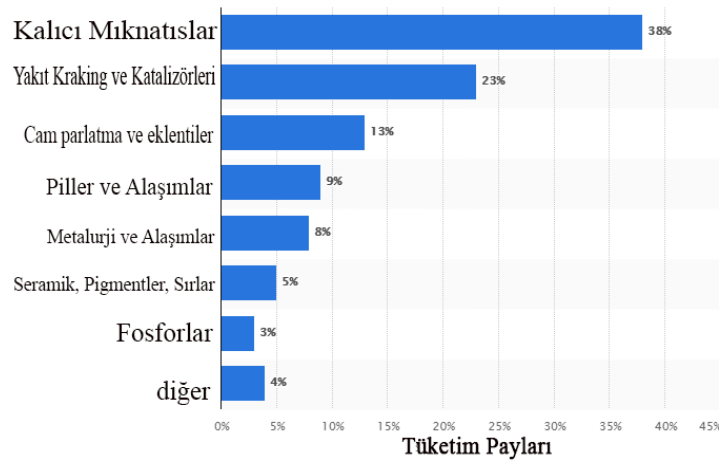
### 1.11 Cevherleşme Sürecinde Demir İzotop Kısıtlamaları

Skandiyum yüksek teknoloji metali olarak bilinir. Sc-Al alaşım serilerinde, Sc-Na lambalarında, katı oksit yakıt hücrelerinde, özel çeliklerde, demir içermeyen alaşımlarda, yüksek performans seramiklerinde skandiyum ana olarak kullanılır. Stratejik endüstrilerde yüksek talep doğrultusunda Çin ve Avrupa tarafından kritik metal olarak ilan edilmiştir. Zenginleşme süreçlerinden, birincil Skandiyum yatakları magmatik cevher, hidrotermal cevher, süperjen cevher yatakları olarak ayrılır (Sun vd., 2021). Bu depolanmalarda Sc derecesi %0.005-0.04 wt.'dir. Sadece 12 tane mineral skandiyumu temel bileşen olarak içerir. Bir skandiyum silikat olan Tortveitit bu minerallerin içerisinde en önemlisidir. Skandiyumun önemli bir bölümü ferromagnezyen silikat mineralleri (klinopiroksen ve granat) ve kalıcılığı yüksek (High-field-strength-elements) minerallerde örnek olarak wolfram, baddeleyit, rutil gibi minerallerde bulunabilir. 20. yy başından itibaren skandiyum tortveit içeren pegmatitlerde Norveç, Evje-Iveland'den çıkarılmıştır. Daha sonra skandiyum başlıca yan ürün olarak artıklardan, atıklardan, NYE üretiminden kalan atık likörlerden, tungsten ve titanyumdan üretilmeye başlanmıştır. Bayan Obo Maden Kompleksinden dünyanın skandiyum üretiminin %90'ı karşılanır ve aynı zamanda da dünyadaki en büyük NYE cevherleşmesidir. (Sun, 2021) Son zamanlarda skandiyum zengini lateritler Küba ve Dominik Cumhuriyeti'nde keşfedilmiştir bunlar gelecekte skandiyum kaynağı olarak kullanılabilir. Laterit tipi Skandiyum cevherleşmeleri çok fazla dikkati üzerine toplar. Böyle bir potansiyel çok önemlidir ve skandiyum bağımsız cevher olarak çıkarılabilir, dahası skandiyumu lateritten çıkarmak makul ve ekonomiktir. (Sun, 2021) Dünya standartlarında olan lateritik skandiyum cevherleşmesi olan Avustralya'da demir ve skandiyumun simbiyotik ilişkisi olduğu, Chassé ve diğerleri tarafından 2017 yılında ortaya konulmuştur, skandiyum götit üzerinde adsorbe edilmiş ve birazı da lateritlerdeki hematitle yer değiştirmiştir. Skandiyum götit üzerinde adsorbe haricinde, yapısal olarak dahil olabileceği Qin ve diğerleri tarafından 2021 yılında yapılan X-ray floresans ve x-ray absorpsiyon ince yapısal teknikleri ile gösterilmiştir. Lateritleri oluşturan önemli bileşenler demir oksitlerdir bunlar da götit, hematit, magnetitdir. Önceki çalışmalar demir izotopu değişiminin toprak oluşum sürecindeki demirin jeokimyasal davranışını ve toprağın redoks oluşumundaki çevresel evrime ipucu olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı lateritteki demir izotopu ve demir içeriği çalışmalarından, demirin formasyon içerisindeki jeokimyasal davranışını ve lateritin evrimini anlayabilir, daha sonrasındaysa skandiyumun zenginleşme ve mineralizasyon sürecini anlayabiliriz. Son zamanlarda keşfedilen Çinin güneybatı bölümünde bulunan Qinlong Shazi laterit tipi

cevherleşmesi, Emeishan bazaltıyla ilişkili olma potansiyeli vardır. Bu yüksek skalalı skandiyum depolanmasıdır. Önceki çalışmalar genellikle jeolojik geçmişe yönelik olup, cevher karakteristikleri, cevherin kaynakları olan cevher oluşturan materyaller incelenmiş fakat skandiyum zenginleşme süreçleri pek ele alınmamıştır.

### 1.12 Nadir Yer Elementlerinin Pazarı

2010 yılında NYE'lerinin pazarı yaklaşık olarak 136.100 ton'dur. Global üretimi (Şekil 1.41) aynı yıl 133.600 tondur (Review of the Rare Earth Elements and Lihium Mining Sectors, Prepared by Cheminfo Services Inc. 2012). Global talep sürekli artmakta ve bu artışın daha da fazla olacağı ön görülmesine rağmen sağlayıcıların bu talebe cevap verebileceği belirsizdir. Araştırma aşamasında olan NYE projeleri ilerki yıllarda normal projelere evrilmesi ön görülmüştür. (Review of the Rare Earth Elements and Lihium Mining Sectors, Prepared by Cheminfo Services Inc. 2012).



**Şekil 1.41:**Nadir Yer Elementlerinin Global olarak en yaygın kullanım şekilleri, 2019, <https://www.statista.com/statistics/604190/distribution-of-rare-earth-element-consumption-worldwide-by-end-use/>

### 1.13 Global Arz ve Talep

Nadir yer elementlerinin tedariki, artan talebe rağmen düşmektedir (Review of the Rare Earth Elements and Lithium Mining Sectors, Prepared by Cheminfo Services Inc., 2012). Çin tek başına global tüketimin %60'ını sağlamaktadır. Çin küresel arzın %95'ini temsil etmeleri ve ihracatlarını kesme sürecinde olmaları nedeniyle, kısa vadede muhtemelen nadir yer elementi tüketimine hakim olmaya devam edeceklerdir.

Çin ihracat kotasını düşürmekte ve nadir yer elementlerinin fiyatları yükselmektedir. Bu dünyadaki diğer ülkelerin bu işe girmesini düşünmeye itmektedir. Bu düşüş spekülasyonlara, potansiyel talep ve fiyatlandırmaya ne olacağına dair endişelere yol açmaktadır (Review of the Rare Earth Elements and Lithium Mining Sectors, Prepared by Cheminfo Services Inc. 2012).

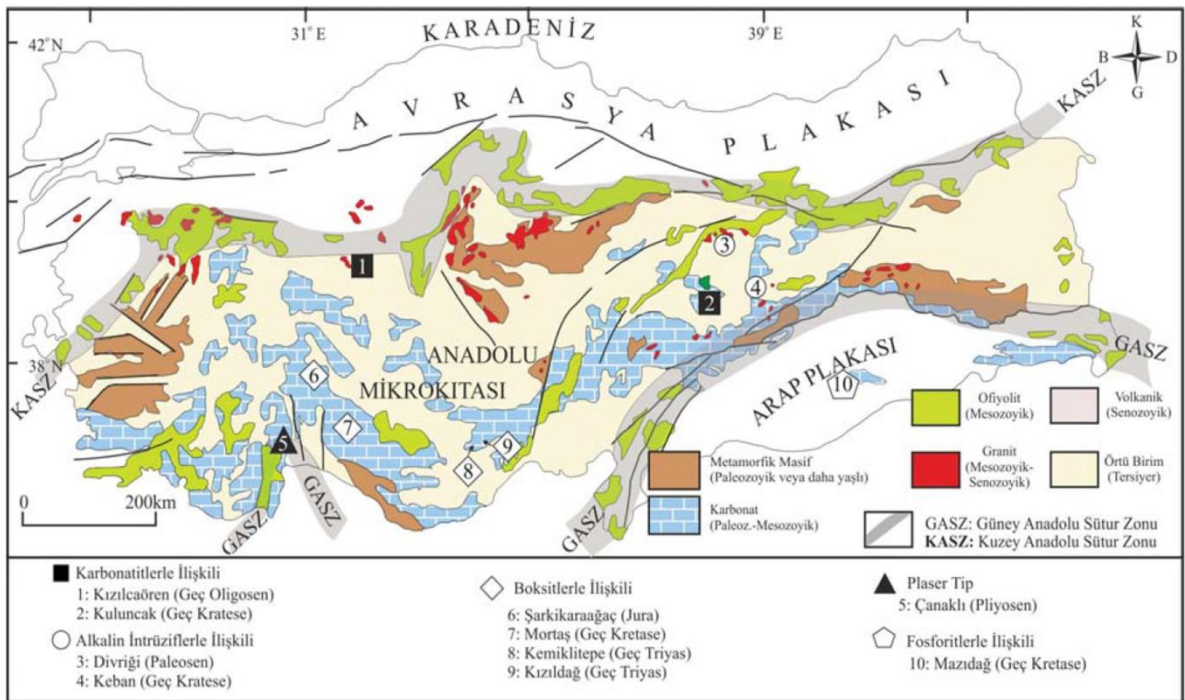
**Tablo 1.8:** Nadir yer elementi oksitlerinin gelecek yıllardaki tahmini fiyatları (Dünyada ve Türkiye'de Nadir yer Elementleri, MTA, 2017).

<b>Nadir yer Oksitler</b>	<b>2018</b>	<b>2022</b>	<b>2025</b>
Lantanyumoksit( \$/ton)	7.904	6.558	6.932
Seryumoksit( \$/ton)	5.516	3.248	3.303
Prasedmiyumoksit( \$/ton)	122.931	113.000	119.093
Neodimyumoksit( \$/ton)	107.729	105.000	148.444
Samaryumoksit( \$/ton)	6.884	4.519	4.887
Evropiyumoksit( \$/kg)	721	418	372
Gadolinyumoksit( \$/ton)	28.473	19.982	23.437
Terbiyumoksit( \$/kg)	868	556	577
Disprosyumoksit( \$/kg)	454	367	378
Holmiyumoksit( \$/kg)	46	20	22
Erbiyumoksit( \$/kg)	155	128	143
İterbiyumoksit( \$/kg)	76	45	48
Lutesyumoksit( \$/kg)	1.258	1.258	1.258
İtriyumoksit( \$/kg)	54	35	38

## 2. TÜRKİYEDE'Kİ NADİR YER ELEMENTLERİ VE OLASI POTANSİYEL

Türkiye'nin Nadir Yer Elementi yatağı (Şekil 2.1) ve cevherleşmelerini, kökenine göre dört gruba ayrılabilir. İlk olarak karbonatit-alkali magmatitlerle ilişkili yataklardır. Kızılcaören (Eskişehir) ve Kuluncak (Malatya) sırasıyla %2.9 ve %0.7 toplam NYE tenörüne sahiptir ve en bilinen yataklardır. Düşük TNYE tenörüne sahip Keban (%0.05) ve Divriği (%0.13) cevherleşmeleri floritçe zengindir. Bu oluşumların NYE desenleri, floritlerdeki sıvı kapanımlarının homojenleşme sıcaklığı ve tuzlulukları benzer olarak gözlenmiştir.

Boksitlerle ilgili olarak Bolcardağı bölgesindeki Triyas şeylleri, bunlardan oluşan boksitlerde ağır NYE zenginleşmesi tipik olarak gözlenir. Boksitler ve boksitlerin protoliti şeyllerin TNYE tenoru yaklaşıklık olarak %0.15'tir. Jeokimyasal açıdan ise Çin'deki granitik kayaçların üzerinde gelişen killere ilişkili " iyon adsorpsiyon tip " yataklara benzerdir. Plaser tip yataklardan olan Çanaklı (Burdur) U, Th, ANYE, manyetit, zirkon, rutil gibi ağır minerallerce zengin bir depolanmadır ve yaklaşık %0.08 toplam NYE tenörüne sahiptir. Fosforitler dünyada en büyük NYE kaynağını oluştururlar. Ancak Türkiye'de Kratese Mazıdağı fosfatları çok düşük (40 ppm) toplam NYE içeriğine sahiptir, bu yüzden ekonomik öneme sahip değildir (Öztürk vd., 2018).



## **2.1 Karbonatit ve Alkali Magmatik Kayaçlarla İlişkili Nadir yer Elementleri**

Türkiye'de bu tip zenginleşmelerin en bilinenleri Kızılcaören (Eskişehir) ve Kuluncak-Başören (Malatya) olup, alkali magmatitlerle ilişkili olanları ise Keban (Elazığ) ve Divriği (Sivas) cevherleşmeleridir. Bunların hepsi floritlerle beraber olarak gözlenmiştir. Bunun sebebi ise flor elementi NYE ile kompleks iyonlar oluşturup başka yere taşınmasıdır. En önemli yatakların başında gelen Kızılcaören (Eskişehir) NYE yatağı aynı zamanda Th içermesi bakımından da önemlidir. Başören köyü (Kuluncak, Malatya) civarındaki Kuluncak Florit-NYE cevherleşmesi de MTA tarafından incelenmiştir (Öztürk vd., 2018).

## **2.2 Boksit Yataklarına Bağlı Nadir Yer Elementleri**

Türkiye'deki boksit yatakları Kokaksu (Zonguldak) haricinde tamamı Toros kuşağında yer almaktadır ve bu yataklardan bazılarının köken kayaçları potansiyel kaynak olabilecek şekilde yüksek miktarlarda NYE içermektedir. Bolkadağı bölgesindeki boksitlerin ve köken kayaçlarında yapılan analizler sonucu en yüksek NYE değerleri gözlenmiş ve Çin'deki Ganzhou bölgesindeki killerde bulunan NYE' ye büyük ölçüde benzediği görülmüştür. ANYE açısından ise Kızıldağ boksitlerinin köken kayacı olan şeyller ve Kemiklitepe boksitleri zenginleşme göstermiştir.

## **2.3 Nadir yer Elementi İçeren Plaser Depolanmaları**

Burdur bölgesindeki bir plaser oluşumu olan Çanaklı bir NYE ve ANYE cevherleşmesi olup, ağır mineral cevherleşmesi de bölgede gözlenir. Yapılan çalışmalarda Çanaklı-1 bölgesinde ortalama 808 TNYE, %0.72 TiO<sub>2</sub> ve 490 ppm ZrO<sub>2</sub> tenörlü 80 milyon ton görünür rezerv saptanmıştır. Çanaklı-2 sahasında ise 627 ppm TNYE, %0.7 TiO<sub>2</sub> ve 404 ppm ZrO<sub>2</sub> içerikli 414 milyon ton görünür rezerv saptanmıştır (Öztürk vd., 2018).

## **2.4 Sedimanter Fosforitler ve Nadir Yer Elementleri**

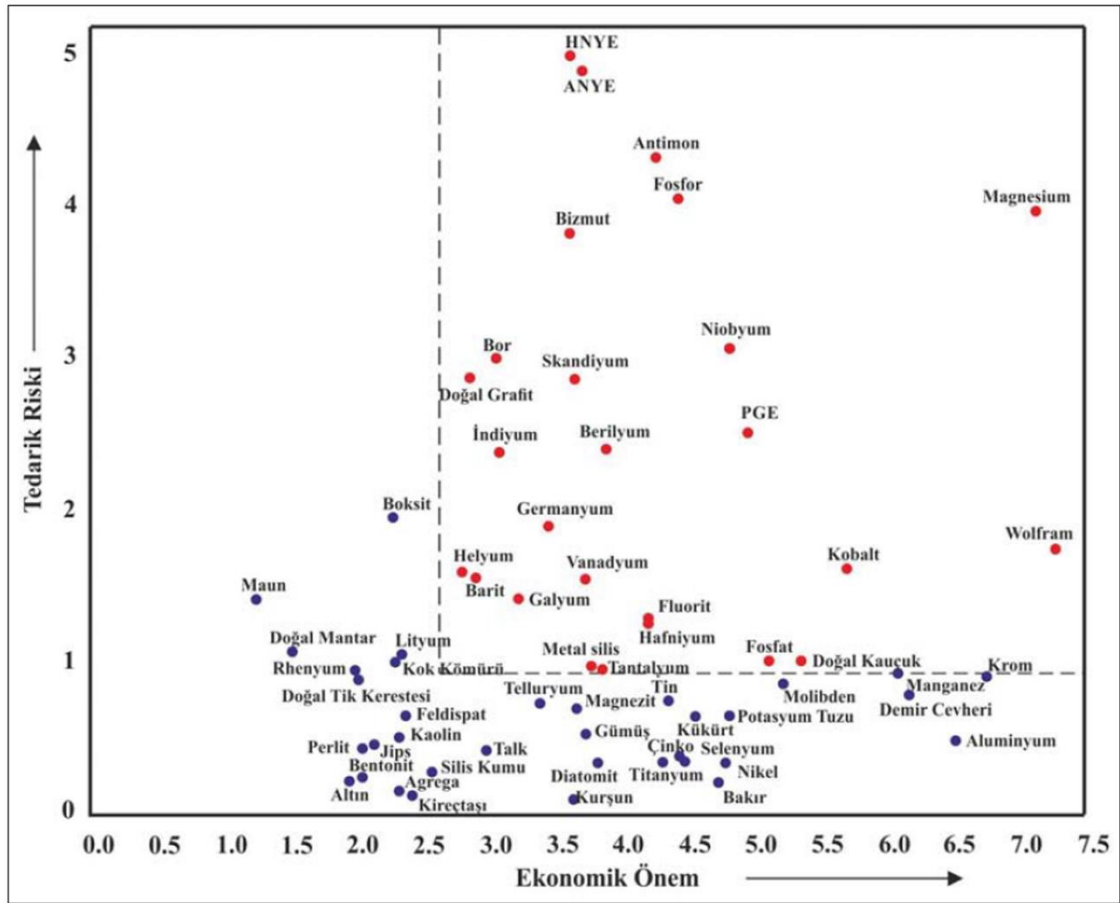
Denizel sedimanter fosforit depolanmaları dünyanın en çok ve temiz NYE kaynağı olarak düşünülmektedir. Global olarak çok farklı yerlerde bulunan ve Paleozoyik dönemden günümüze ulaşana kadar çeşitli yaş kuşaklarında bulunan TNYE değerleri 1200 ppm'ye (%0.12) ulaşır.

Türkiye'de ise fosfat yatakları Mazıdağı (Mardin) tarafında gözlenir. Üst Kratese yaşlı kireçtaşlarının çörtlü seviyelerinde bulunur. En önemli cevherleşmelerinden birisi en üstte yer alan Şemikan fosfat zonudur (Öztürk vd., 2018).

**Tablo 2.1:** Türkiye'deki Nadir Yer Elementi Yatakları ve Potansiyel Kayaçların İçerikleri (Öztürk vd., 2018).

NYE	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	T m	Yb	Lu	ΣNYE
Kızılcaören Karbonatit	9380	15070	1234	3584	289	57	22	15	66	9,4	25	3,9	23	2,0 9	29982
Kuluncak Karbonatit	2919	3317,1	248,8	598,4	48,8	8,7	43,1	5,4	29	5,8	16	2,2	11	1	7254,7
Divriği Alkali Mag.	299,7	507,6	62,4	237,8	58,8	7,3	61,2	9,4	53	9,9	27	3,8	22	2,6	1362,9
Keban Alkali Mag.	219,2	247,2	19,3	42,4	3,5	0,8	3,2	0,4	2,2	0,4	1	0,1	0,8	0,1	540,5
Çanaklı (Plaser)	191	325	34	120	16	4,1	11,1	1,4	6,7	1,1	3,3	0,5	3,2	0,5	717,2
Kemiklitepe Boksit	337,1	635,7	91,8	376,1	71,9	15	65,2	8	42	7,2	19	2,9	18	2,7	1693,1
Kızıldağ Şeyl	398,9	467,7	96,5	361,1	65,8	13	58,7	8	39	6,7	16	2,3	14	2,1	1548,5
Mortaş Boksit	39,5	191,6	10,5	38	8,6	1,8	7,8	1,5	11	2,1	6,9	1,1	8	1,2	329,2
Kırmızıçamur (Boksitliği, Seydişehir)	356,2	728,5	102,7	346,7	67,9	14	8,2	52	43	8,2	22	3,3	22	3,3	1777,4
Seydişehir (Fillat)	58,1	124,6	13,7	54	10,1	2,0	8,5	1,4	7,8	1,5	4,5	0,7	4,3	0,7	292,0
Şarkikaraağaç Boksit (n=2)	44,6	110	13,6	63,4	16,3	5,5	14,5	2	10	2	4,9	0,8	4,4	0,6	293
Şarkikaraağaç (boksit)	17,2	33,4	4,21	18,0	4,11	1,32	4,45	0,71	4,18	0,72	1,9	0,3	1,6 7	0,2 4	92,41
Mazıdağı Fosforit	15,1	5	1,51	6,2	1,12	0,3	1,67	0,2	2,3	0,7	2,2	0,2	2	0,4	39
Ganzbou (Çinkilyatağı)	287	311	65	278	44	8	36	5	26	5	14	2	11	2	10,94

Avrupada Skandiyum eldesi için Kırmızı-Çamur, Granatlı Kum ve atık ürünleri gibi ikincil kaynaklardan yararlanılması için araştırılma başlatılmıştır. Granatın kafes sisteminde hali hazırda Skandiyum, Magnezyum ve Demirle değiştiği için, Granat mineralleri olan Almandin ve Pirop bolca Skandiyum ihtiva edebilirler. Granatlı kum, aşındırıcı olarak ve kuşlama için kullanılmasının ardından atık ürün seviyesine gelmede nönce sıkça tekrar kullanılır. Granatlı kumdan skandiyum eldesi bertaraf maliyetini düşerebilir. Çalışılan Granatlı Kum madenlerinden, Avustralya, Hindistan, ABD ve Almanya'daki endüstriyel ticari Granatlı Kum tedarikçilerinden sağlanan verilerde skandiyum konsantrasyonları 93.7mg/kg ve 90.7 mg/kg, büyük ölçüde Kırmızı Çamura benzer. Elde edilen bilgiler değeri dönüşümü taze olan granatlı kumlar bunlarla aynı oranda skandiyum konsantrasyonu gösterir. Minimum atık ürün felsefesi doğrultusunda endüstriyel atık olan " Granatlı Kumun" alışıla gelmemiş bir skandiyum kaynağı olarak kullanıldığında, bertaraf maliyetini düşürür.



Şekil 2.2: Tedarik riski ve ekonomik önem eşliğine göre 2017 yılı için AB komisyonu tarafından kritik olarak tanımlanmış hammaddelerin konumu (Öztürk vd., 2018).

## 2.5 Türkiye'nin Orta Asya'daki Olası İşbirliği Potansiyeli

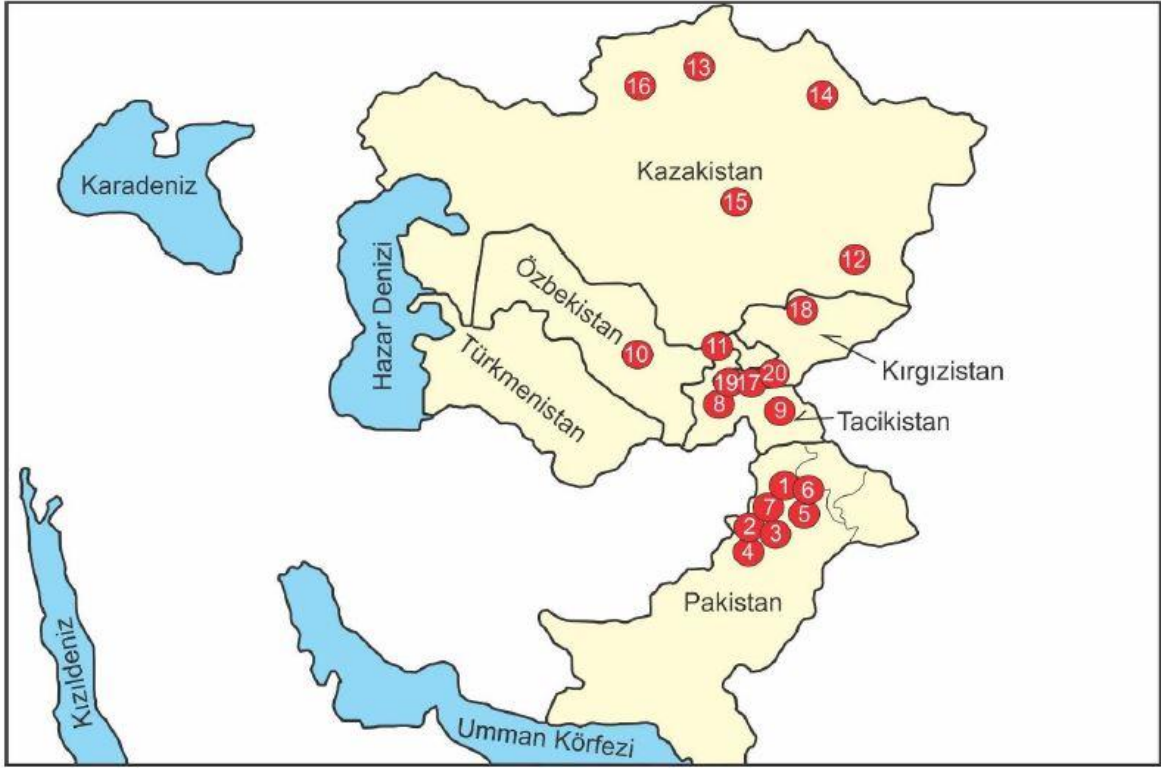
Orta Asya ülkeleri ciddi bir potansiyel NYE depolanmasına sahiptir. 2011 yılında Kazakistan şirketi olan Kazatomprom ile Toshiba arasında, 2012 yılında ise yine Kazatomprom, Sumitomo ve JOG MEC arasında NYE'lerin işletilmesi ve teknolojik alışveriş alanlarında anlaşmalar imzalanmıştır (Karvan ve Çimen, 2020).

NYE tedarik zincirinde oluşan beklenmedik kesinti sonrasında teknoloji üreten ülkeler Orta Asya ülkeleri ile iş birliğine başlamışlardır. ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu USGS tarafından 2018 yılında yayınlanan rapor kapsamında Kazakistan, Kırgızistan, Tacikistan, Özbekistan ve Türkmenistan'da toplam 384 adet NYE oluşumu olduğu belirlenmiştir. Ancak günümüzdeki teknoloji ele alındığında NYE'lerin ekonomik düzeyde bulunabileceği alanlar çok daha az seviyededir (Karvan ve Çimen, 2020).

Ülkemizde de üretim faaliyetlerinde bir aksama yaşanmaması durumuyla kesintisiz ve güvenilir NYE tedarik zinciri kurulması maksadıyla, yakın coğrafyamızda olan Orta Asya



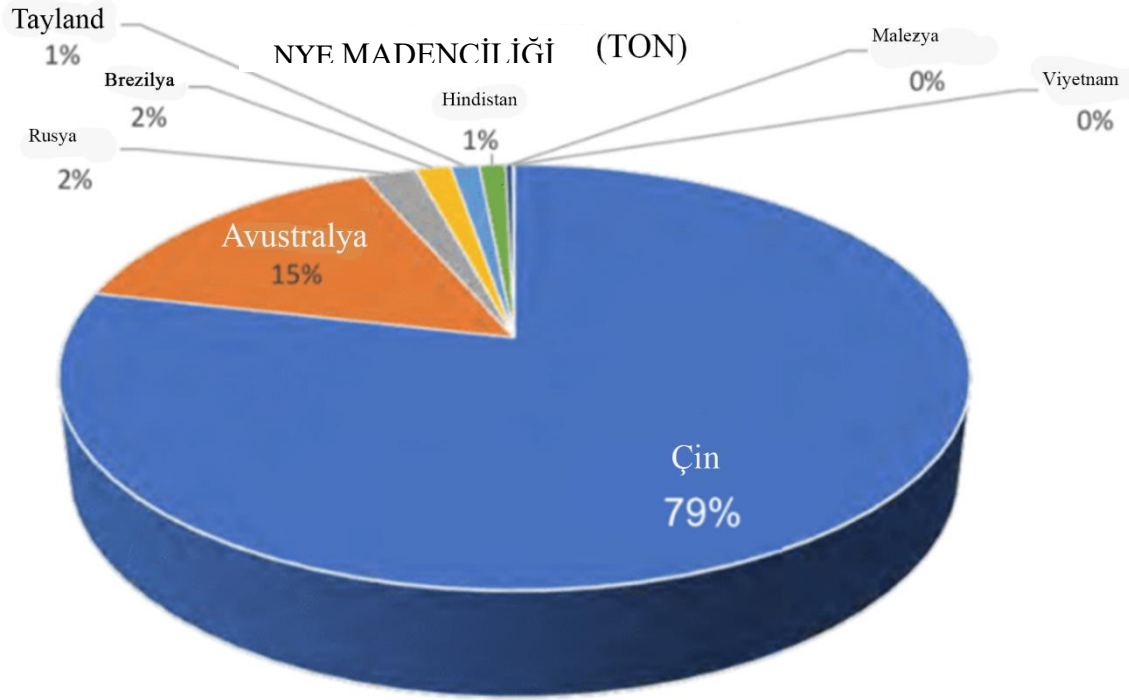
ülkelerinin potansiyeli değerlendirilmeli, iş birlikleri daha ayrıntılı ve sistematik bir şekilde yürütülmelidir (Karvan ve Çimen, 2020).



**Şekil 2.3:** Orta Asya Ülkelerindeki Potansiyel NYE Cevherleşme Alanları (Karvan ve Çimen, 2020).

### 3. DÜNYA ÜZERİNDEKİ NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Dünyanın çeşitli yerlerinde nadir yer elementleri oluşumları ve cevherleşmeleri çeşitli çalışmalarla gözlenmiştir. Okyanuslardan (Hein vd., 2011), dağlara kadar her yerde bu cevherleşmeler görülmektedir. Başlıca NYE yatakları karbonatitler içindeki bastnasitler (örneğin MtPass Yatağı, ABD; Bayan Obo yatağı, Çin) okyanus kıyısı plaserlerinde yer alan monazitler (Örneğin, Hindistan ve Avustralya kıyıları), denizel sedimanter fosfat yatakları, boksitle ve derin tropik ayrışmaya uğramış granitler üzerinde gelişen killere bağlı yataklardır (Öztürk vd., 2018). Çin global tedarik zincirinde birinci sıradadır. Çin en büyük tedarikçi olduğu için fiyatlara direkt ve ya endirekt olarak etki eder. Çin haricinde Nadir yer elementi oksitleri üreticileri, Avustralya, Rusya Vietnam'dır. Kanada'nın büyük bir potansiyeli vardır fakat yeterli kapasiteye henüz ulaşamamıştır (<https://www.semiconductor-digest.com/2019-rare-earths-rarely-so-strategic/>).



**Şekil 3.1:** Nadir Yer Elementlerinin ülkelere göre çıkarılması, 2018.  
(<https://www.semiconductor-digest.com/2019-rare-earths-rarely-so-strategic/>)

Nadir yer elementlerinden olan skandiyumun sistematik sınıflandırılması, magmatik cevher yatakları, hidrotermal cevher yatakları, süperjen cevher depolanmalarından ileri gelir (Wang vd., 2020). Bunun öncesinde, skandiyum depolanmaları endojenetik ve

ekzojenetik olarak ikiye bölünmüştür. Cevher derecelenmeleri skandiyum cevherleşmelerine (Tablo 3.1) göre çok çeşitlilik gösterir (Wang vd., 2020).

**Tablo 3.1:** Dünyadaki bazı skandiyum depolanmaları ve ikincil kaynakları(Wang, 2020).

No	Lokasyon	Rezerv (Ton)	Kalite/ppm	Anakayaç/etken	Majör Sc içeren	Aksesuar Sc içerenfazlar
<i>MagmatikCevherleşme</i>						
1.Mouding	Yunnan,Çin	470	40-72	Klinopiroksen	Amfibol	Diopsit, zirkon
2.Lajishan	Qinhai, Çin	-	>50	Klinopiroksen	Klinopiroksen	-
3.Duke Adası	Alaska	2,673,060	54-110	Klinopiroksen	Amfibol	-
4.Ural	Rusya	1,914,607	75-135	Klinopiroksen	Amfibol	-
5.Dongwanzi	Çin	24,817	65-99	Klinopiroksen	Amfibol	-
6.Gaositai	Çin	7,595	88-108	Klinopiroksen	Amfibol	-
7.Chelan	Amerika	859,320	61-97	Klinopiroksen	Amfibol	-
8.Tiema	Hebei,Çin	>100,00	>60	Hornblendit	Amfibol	-
9.Wang Nam	Tayland	-	93-115	Hornblendit	Amfibol	-
10.Zhongtiao	Çin	-	71-78	Hornblendit	Amfibol	-
11.Sunjialing	Gansu, Çin	162	69	Hornblendit	Amfibol	-
12.Kiviniemi	Finlandiya	2,184	163	Ferrodiorit	Amfibol	Zirkon
13.Misery Lake	Quebec	-	>150	Ferrodiorit	Hedenbergit	-
14.Kovdor	Kola	274	-	Fosforit	Baddeleyit	Magnatit
	Peninsula					
15.Evje-Iveland	Norveç	-	-	Pegmatit	Tortveitit	-
16.Tordal	Norveç	-	-	Pegmatit	Bazit	İksiolit
17.Befanamo/Ber	Madagaskar	-	-	Pegmatit	Tortveitit	-
18.Crystal	Montana, ABD	-	-	Pegmatit	Tortveitit	Ferroandiopsit
19.Baveno	İtalya	-	-	Pegmatit	Bazit	Kaskandit
20.Yingjiang	Yunnan, Çin	-	-	Pegmatit	Biotit	Serisit, Kaolin
21.Kumir	Altay,Rusya	4	50~2,400	Alaskit	Tortveitit	Mikalar,feldspatlar
<b>Hidrotermal</b>						
22.Nanling	Hunan, Çin	-	-	KuvarsDamarı	Wolframnit	-
23.Erzgebirge	Almanya	-	-	KuvarsDamarı	Wolframnit	Zirkon, şelit
24.Austroalpin	Avusturya	-	<200	KuvarsDamarı	Pretülit	-
25.Zhovti Vody	Ukrayna	777	105	Amfibol	Riebekit	-

## 4. SONUÇLAR

Nadir yer elementleri, en çok bastnasit, monazit ve iyon adsorpsiyon killerde bulunmaları açısından Türkiye'de bulunan, lateritler, boksitler, karbonatit ve alkali magmatik kayalar nadir yer elementleri açısından araştırılmalı ayrıca plaser tip depolanmaların olabirliği açısından herhangi bir monazit varlığı gözlenmeye çalışılmalıdır.

Unutulmamalıdır ki dünyanın en büyük nadir yer elementleri yatakları Bayan Obo'da olup karbonatitlerle ilişkilidir. 20. yüzyılda en önemli ham maddelerin başında nadir yer elementleri gelmeye başlamıştır ve ileri teknoloji ürünlerinin hemen hepsinde kullanılmaktadır. Ülkemiz bu teknolojik yarışta yer almaya sahip bir potansiyelindedir.

Nadir yer elementlerinin çıkarıldıkça tükenmeye başlaması tenörü ne olursa olsun herhangi bir nadir yer elementi cevherleşmesini işletmeye yol açacak, Türkiye'de ve Dünya'da bulunan düşük tenörlü zenginleşmeler bile önümüzdeki yıllarda önem arz edecektir. Bu yüzden herhangi bir nadir yer elementi zenginleşmesini büyük ve ya küçük tenörlü demeden tespit etmemiz uygun olacak ve bu ülkemizin nadir yer elementi yarışında bir adım öteye gitmesini sağlayacaktır. Böylece ileriki yıllarda nadir yer elementleri için çıkan uluslararası çekişmelerde karlı çıkmak hayat standartlarına ve ekonomiye katkı sağlayacaktır.

Diğer bir yandan ise nadir yer elementlerinin daha fazla kullanılmaya başlanması çevre dostu enerji üretimine katkı sağlayacaktır. Rüzgar türbinleri, düşük enerjili ampuller, elektrikli arabalar gibi çevre dostu enerji ürünleri nadir yer elementi içerdikleri için bu kapsamda önem arz etmektedir. Nadir yer elementi içeren ham maddelerden yapılan çevre dostu bu ürünler sürdürülebilirlik, temiz enerji açısından son derece önemlidir. Yaygınlaşmaya başlamaları, insanlık açısından gelecek için daha temiz bir dünya demektir.

Bunların yanında nadir yer elementi madenlerini hiçbir işlem yapmadan ihraç etmek yerine bilgisayar işlemcisi, miknatis, depolama aracı, elektrik motor, ekran kartı ve benzeri diğer ürünlere çevirerek satışını uluslararası arenada yapmak hem daha fazla katma değer sağlayacak, hem de teknolojik bakımdan daha da ilerlememize sebebiyet verecektir.

Türkiye'de bulunan fosfat yatakları (Mazıdağı), plaser tip zenginleşmeli (Aksu Diamas Formasyonu), bilinen boksit yatakları (Zonguldak Kokaksu, Toros kuşasında yer alan boksitler), karbonatit ve alkali magmatik kayalarla ilişkili (Kızılcaören (Eskişehir), Kuluncak-Başören (Malatya), Divriği (Sivas)) nadir yer elementi depolanmaları haricinde dünyada bulunan, bilinen cevherleşmeler ile Türkiye'deki cevherleşmeler arasında paralellik kurulmalı bu sayede potansiyel alanların tespiti hızlandırılmalıdır.

Nadir yer elementlerinin ileriki yıllarda artan arz talep fazlalığından doğacak olan cevherlerin tükenmesi durumu hem kırmızı çamur gibi geri dönüşüm kaynaklarının hem de geri dönüşümün önemini ortaya çıkaracaktır. Buna bağlı olarak nadir yer elementleri kaynağı olabilecek farklı geri dönüşüm yöntemleri araştırılmalı, bu konuya gereken önem verilmelidir.

## 5. KAYNAKLAR (APA)

- A rare metal called neodymium is in your headphones, cell phone and electric cars like Tesla's Model 3 — and China controls the world's supply. <https://www.cnbc.com/2018/10/18/neodymium-china-controls-rare-earth-used-in-phones-electric-cars.html>. Erişim tarihi: 2021
- A New Green Fiber Laser using Terbium-doped Fluoride fiber, Optica publishing group. <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=NFOEC-2008-JWA18#top>. Erişim tarihi: 2021
- Aiglsperger, T., Proenza, J.A., Lewis, J.F., Labrador, M., Svojtka, M., Rojas-Purón, A., Longo, F., D'uríšová, J. (2016). Critical metals (REE, Sc, PGE) in Laterites from Cuba and the Dominican Republic. *Ore Geology Reviews*, 73, 127-147.
- Airpods. <https://www.apple.com/tr/airpods-3rd-generation/>. Erişim tarihi: 2021
- Aircraft engine. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_engine). Erişim tarihi: 2020
- Apollo Lunar Module. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo\\_Lunar\\_Module#/media/File:Apollo16LM.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo_Lunar_Module#/media/File:Apollo16LM.jpg). Erişim tarihi: 2020
- Bai, T.B., Koster Van Groos, A.F., 1999. The distribution of Na, K, Rb, Sr, Al, Ge, Cu, W, Mo, La, and Ce between granitic melts and coexisting aqueous fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, 1117-1131.
- Chasse, M., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., Calas, G., 2019. Australian Laterites Reveal Mechanisms Governing Scandium Dynamics in the Critical Zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 260, 292-310.
- Chassé, M., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., Calas, G. 2017. Scandium speciation in a world-class lateritic deposit. *Geochemical Perspectives Letters*, 3, 105-114.
- ChemistryLearner. <https://www.chemistrylearner.com/yttrium.html>. Erişim tarihi: 2021
- Chemicool. Yttrium element facts. <https://www.chemicool.com/elements/yttrium.html>. Erişim tarihi: 2021
- Chemicool. Gadolinium Element Facts / Chemistry. <https://www.chemicool.com/elements/gadolinium.html>. Erişim tarihi: 2020
- Christie, T., Brathwaite, B., Tulloch, A. (1998). Mineral Commodities Report 17 — Rare

coefficients between a chloride containing vapor phase and silicate melts Earths and Related Elements. New Zealand Institute of Geological and Nuclear Sciences Limited

Combating corrosion in the world's aging nuclear reactors  
<https://cen.acs.org/energy/nuclear-power/Combating-corrosion-worlds-aging-nuclear/98/i36>. Erişim tarihi: 2020

Common Applications of Samarium Cobalt Magnets. <https://www.stanfordmagnets.com/common-applications-of-samarium-cobalt-magnets.html>. Erişim tarihi: 2020

Distribution of rareearth element consumptionworldwide. <https://www.statista.com/statistics/604190/distribution-of-rare-earth-element-consumption-worldwide-by-end-use/>. Erişim tarihi: 2021

Dysprosium - Rare Element for Hybrid and EV motors  
<https://www.roadandtrack.com/new-cars/car-technology/news/a17006/ill-raise-you-one-dysprosium>. Erişim tarihi: 2021

Eck, Imperialdevelopscandium-modified EV alloy. <https://www.argusmedia.com/en/news/2259648-eck-imperial-develop-scandiummodified-ev-alloy>. Erişim tarihi: 2021

EngineeredforPower, Performance, and Reliability. <https://www.sterlingperformance.org/high-performance-engines/>. Erişim tarihi: 2020

Fender Noiseless Pickups. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fender\\_Noiseless\\_Pickups](https://en.wikipedia.org/wiki/Fender_Noiseless_Pickups). Erişim tarihi: 2020

Ferrocerium. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ferrocerium>. Erişim tarihi: 2021

Flynn, R.T., Burnham, C.W. (1978). An experimental determination of rareearthpartition Germany

GlassFacts. İnfö. <https://www.glassfacts.info/image7e46.html?id=128>. Erişim tarihi: 2020

Gong X., Wu, S., Xia, Y., Zhang, Z., He, S., Xie, Z., Xiao, J., Yang, H., Tan, Q., Hang, Y., Yang, Y. (2021). Enrichmentcharacteristicsandsources of thecritical metal yttrium in Zhijinrareearth-containingphosphorites, GuizhouProvince, China

Henderson, P. (1984). General geochemicalpropertiesandabundances of therareearth elements.In: Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry, 2. Elsevier

How They DidIt: Meetthe IBM NanoscientistswhoStored Data on a Single Atom.  
<https://www.ibm.com/blogs/research/2017/03/meet-ibm-nanoscientists/>. Erişim tarihi: 2020

- Ilyin, AV. (1998). Rare-earth geochemistry of 'old' phosphorites and probability of syngenetic precipitation and accumulation of phosphate investigations at 800 degrees Celsius and 200 Mpa.
- Jaireth S., Hoatson, D.M., Mieziotis, Y. (2014). Geological setting and resources of the major rare-earth-element deposits in Australia. *Ore Geology Reviews*, 62, 72-128.
- Jlab Science Education. <https://education.jlab.org/itselemental/ele059.html>. Erişim tarihi: 2020
- Karvan Z., imen O., 2020. Nadir Toprak Elementleri, Orta Asya'daki Cevherleşme Alanları: Türkiye için Olası İş Birlikleri. *B. 'Enerji Notları BEN*. 39.
- Klimpel, F., Bau, M., Graupner, T., 2021. Potential of garnets and as an unconventional resource of the critical high-technology metals scandium and rare earth elements. *Scientific Reports*, 11, 5306.
- Kremer pigmente. <https://www.kremer-pigmente.com/en/shop/pigments/42300-cerium-red.html>. Erişim tarihi: 2021
- Lanthanum fluoride particles to enhance radiation therapy. <https://spie.org/news/6430-lanthanum-fluoride-particles-to-enhance-radiation-therapy?SSO=1>. Erişim tarihi: 2021
- Long, K.R., Van Gosen, B.S., Foley, N.K., Cordier, D. 2010. The principal rare earth deposits of the United States - A summary of domestic deposits and a global perspective. United States Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5220 Longman, Harlow
- Los Alamos National Laboratory, <https://periodic.lanl.gov/21.shtml>. Erişim tarihi: 2020
- Luminous paint. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_paint](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_paint). Erişim tarihi: 2021
- Lutetium: geological information. <https://www.webelements.com/lutetium/geology.html>. Erişim tarihi: 2020
- Lynas Rare Earths. <https://lynasrareearths.com/about-us/vtour/>. Erişim tarihi: 2021
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Serisi:5, 2017. Dünyada ve Türkiye'de Nadir Toprak Elementleri
- McDonough, W.F., Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth
- Metal halide lamp. Wikipedia. [https://www.wikiwand.com/en/Metal-halide\\_lamp](https://www.wikiwand.com/en/Metal-halide_lamp). Erişim tarihi: 2020
- Murano Horse Neodymium Glass Vintage Art Collectibles. <https://www.etsy.com/listing/965632439/murano-horse-neodymium-glass-vintage->

- art?ga\_order=most\_relevant&ga\_search\_type=all&ga\_view\_type=gallery&ga\_search\_query=neodymium+glass&ref=sr\_gallery-1-11. Erişim tarihi: 2021
- Nadeau, J., Kudinov, K., Bekah, D., Cooper, D., Bradforth, S., 2016. Lanthanumfluoride particles to enhance radiation therapy
- Neodymium magnet. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium\\_magnet](https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet). Erişim tarihi: 2021
- Neodymium magnet. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium\\_magnet#/media/File:Neodymium\\_magnet\\_lifting\\_spheres](https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium_magnet#/media/File:Neodymium_magnet_lifting_spheres). Erişim tarihi: 2021
- New World Encyclopedia. <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Scandium>. Erişim tarihi: 2021
- Ni, Y., Hughes, J.M., Mariano, A.N., 1995. Crystalchemistry of the monazite and xenotime structures. *American Mineralogist*, 80, 21-26.
- Öztürk, H., Hanilçi N., Altuncu S., Kasapçı C., 2018. Türkiye'nin Nadir Toprak Element (NTE) Kaynakları: Oluşum Tiplerine Genel Bir Bakış. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, s.129-143.
- Qin, H. B., Yang, S., Tanaka, M., Sanematsu, K., Arcilla, C., Takahashi, Y., 2021. Scandium immobilization by goethite: Surface adsorption versus structural incorporation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 294, 255-272.
- Qin, H.B., Yang, S., Tanaka, M., Sanematsu, K., Arcilla, C., Takahashi, Y., 2020. Chemical speciation of scandium and yttrium in laterites: New insights into the control of their partitioning behaviors. *Chemical Geology*, 552, 119771
- Patwardhan, M. (2012). Use of mosaic (erbium glass) laser in treatment of acne scars. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 66, 4.
- Professional video camera. [https://en.wikipedia.org/wiki/Professional\\_video\\_camera#/media/File:Sony\\_television\\_camera\\_with\\_DIGI\\_SUPER\\_86II\\_xs\\_20120211a](https://en.wikipedia.org/wiki/Professional_video_camera#/media/File:Sony_television_camera_with_DIGI_SUPER_86II_xs_20120211a). Erişim tarihi: 2021
- Reed, M.J., Candela, P.A., Piccoli, P.M., 2000. The distribution of rare earth elements Rare Earth Metals and Hybrid Cars, Kidela Capital Group. <https://www.mining.com/rare-earth-metals-and-hybrid-cars/>. Erişim tarihi: 2020
- Review of the Rare Earth Elements and Lihium Mining Sectors, Prepared by Cheminfo Services Inc. 2012



- Righter, K., Drake, M.J., Heinrich, D.H., Karl, K.T., 2003. Partition coefficients at high pressure and temperature. *Treatise on Geochemistry* Pergamon, Oxford. *Elsevier*, p. 425-449.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data; Evaluation, Presentation, Interpretation*. Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/21/scandium>.  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/39/Yttrium>.  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/57/lanthanum>.  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/58/cerium>.  
Erişimtarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/59/praseodymium>.  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/60/neodymium>.  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/61/promethium>:  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/62/samarium>:  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/63/europium>:  
Erişimtarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/65/terbium>:  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/66/dysprosium>  
2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/67/holmium>:  
Erişimtarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/68/Erbium>.  
Erişimtarihi: 2020

- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/69/Thulium>.  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/70/Ytterbium>:  
Erişim tarihi: 2020
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/71/Lutetium>:  
Erişim tarihi: 2020
- Samarium Cobalt Block Magnets. <https://www.magnetshop.com/samarium-cobalt-block-magnets.html#1>. Erişim tarihi: 2020
- Scandium, aluminium and the brave new World. <https://www.gsa-env.co.uk/news/scandium-aluminium-and-the-brave-new-world/>. Erişim tarihi: 2020
- Scandium, aluminium and the brave new World. GSA Environmental Ltd. <https://www.gsa-env.co.uk/news/scandium-aluminium-and-the-brave-new-world/>.  
Erişim tarihi: 2021
- Semiconductor Daily Digest, News and Industry Trends. <https://www.semiconductor-digest.com/2019-rare-earths-rarely-so-strategic>. Erişim tarihi: 2021
- Starglowpaint. <https://glowtec.co.uk/starglow-paint/>. Erişim tarihi: 2021
- Sun, J., Liu, Y., Liu, X., 2021. Iron Isotope Constraints on the Mineralization Process of Shazi Sc-Rich Laterite Deposit in Qinglong County, China. *Minerals*, 11(7), 737.
- Tanning lamp. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Tanning\\_lamp#/media/File:Ultraviolet\\_tanning\\_bed\\_lamp\\_running](https://en.wikipedia.org/wiki/Tanning_lamp#/media/File:Ultraviolet_tanning_bed_lamp_running). Erişim tarihi: 2021
- The ultimate guide to frame materials: what's best for bikes <https://off.road.cc/content/feature/the-ultimate-guide-to-frame-materials-whats-best-for-bikes-664>. Erişim tarihi: 2021
- Tkachev, A. V., Rundqvist, D. V., Vishnevskaya, N. A., 2020. Comparison of super continent cycles in the metallogeny of niobium. *Geology of Ore Deposits*, 62, 49-68.
- Tkachev, A. V., Rundqvist, D. V., Vishnevskaya, N. A., 2022. Main Features of the REE Metallogeny through Geological Time. *Geology of Ore Deposits*, 64, 41-77.
- Tu, J., Yuen, W.W., Gong, Y. (2012). An Assessment of Direct Chip Cooling Enhancement Using Pin Fins. *Heat Transfer Engineering*. 10, 845-852, DOI: 10.1080/01457632.2012.654445

- Unpacking europium, the main stay of the lighting industry. <https://www.downtoearth.org.in/news/unpacking-europium-the-mainstay-of-the-lighting-industry-47080>. Erişim tarihi: 2021
- Vasconcellos de, M., E., Rochada, S.M.R., Pedreira W., R., Queiroz, C., A., da S., Abrao, A., 2005. Enrichment of yttrium from rare earth concentrate by ammonium carbonate leaching and peroxide precipitation
- VVER. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/VVER>. Erişim tarihi: 2020
- Walters, A., Lusty, P., Chetwyn, C., Hill, A., 2010. Rare Earth Elements, Mineral Profile Series, British Geological Survey (BGS), UK. Pp. 53.
- Wang, Z., Li, Y.H.M., Liu, R.R.Z., Zhou, F.M., 2020. Scandium: Ore Deposits, the Pivotal Role of Magmatic Enrichment and Future Exploration. *Ore Geology Reviews*, 128, 103906
- Webster, E.A., Holloway, J.R., 1980. The partitioning of REE's, Sc, Rb and Cs between a silicic melt and a Cl fluid
- Wedepohl, K.H., 1970. Handbook of Geochemistry, vol. II/2. Springer-Verlag, Berlin
- What Studio Lighting Is Actually Worth Buying? <https://www.nyip.edu/photo-articles/cameras-and-gear/what-studio-lighting-is-actually-worth-buying>. Erişim tarihi: 2021
- What Would Nuclear Batteries Do For Us? <https://www.directindustry.com/prod/moxtek/product-23672-1607035.html>. Erişim tarihi: 2020
- What Would Nuclear Batteries Do For Us? <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2021/01/25/what-would-nuclear-batteries-do-for-us/?sh=338ac362e9dd>. Erişim tarihi: 2020
- Wikimedia. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/050euro-uv.jpg>. Erişim tarihi: 2021
- Yakubova, G., N., 2010. Nuclear Batteries with Tritium and Promethium-147 Radioactive Sources. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Nuclear Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, pp. 162
- Yang X., Kozar, D., Gorski, D., Marchese, A., Pagnotti, J., Sutterlin, R., Rezaee, M., Klima, S., M., Pisupati, S.V. (2020). Using yttrium as an indicator to estimate total rare element concentration: a case study of anthracite-associated clays from north eastern Pennsylvania. *International Journal of Coal Science & Technology* 7, 652-661.

Yıldız N., 2016. Nadir Toprak Elementleri. *Ders Notları*, 74 s.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Orhan Cem YIRCALI

Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1990 Balıkesir

e-posta : arhalewn@hotmail.com

## Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği	2018-
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği	2009
Lise	Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	2004