

# **Nadir Toprak Elementleri**

**Necati Yıldız  
Maden Yük.Müh.**

**Eylül 2016  
Ankara**

**Bu çalışmanın tüm hakları yazara aittir. Yazarın yazılı izni olmaksızın, kitabın tamamı ya da bir bölümü eğitimde kullanılmak amacıyla fotokopi yapılabilir, çoğaltılabilir. Bu alışma, ticari amaç dışında, kaynak gösterilerek bedelsiz olarak dağıtılmak amacıyla kitap haline getirilebilir.**

**Necati Yıldız**

**[yildizn53@gmail.com](mailto:yildizn53@gmail.com)**

**Ankara**

## SUNUŞ

Günümüzde mıknaıtıs üretimi, cam ve seramik sanayi, metalürji, lazer üretimi, katalizör, hibrid araçlar, rüzgâr türbinleri, güneş enerjisi panelleri, MR makineleri, bilgisayar, cep telefonu ile elektronik devrelere bakıldığında Nadir Toprak Elementlerinin kullanıldığı görölmektedir. NTE'ler insan yaşantısını için gereksinim duyulan çoğu malzeme üretiminde kullanılan bir hammadde konumuna gelmiştir. Savunma sanayisi için üretilen malzemelerde hammadde olarak kullanılan NTE'ler bu kullanımlarıyla stratejik hammadde durumundadır.

Çin dünyadaki Nadir Toprak Element rezervlerinin yaklaşık 1/3'üne sahip olup, dünya NTE üretimi, kullanımı, ihracatı ve en önemlisi de NTE teknolojisi konusunda söz sahibi tek ülke konumundadır.

Çin uzun yıllar kapalı bir ekonomi sürdürmüş, kendi içinde sanayi reformunu gerçekleştirmiştir. 1986 yılından sonra da yüksek teknolojiye ağırlık veren kalkınma planını uygulamaya koymuştur. Çin, kararlı bir ekonomik büyümeyle 1990'lı yıllardan sonra da dışa açılma sürecine girmiş, 2001 yılında da Dünya Ticaret Örgütüne üye olarak serbest ticaret ve dış pazarlara açılım konusunda önemli bir adım atmıştır.

Çin günümüzde hammadde kaynakları, demir çelik, elektronik, tekstil gibi sanayinin tüm kollarında kendini kanıtlamış, dünyaya üstünlüğünü kabul ettirmiştir. Teknoloji olarak da çoğu ülkeyi geride bırakmıştır.

Çin'in toprakları  $9.7 \times 10^6$  km<sup>2</sup> olup Türkiye'nin yaklaşık 12.5 katı kadardır. Bu topraklarda üretilen her çeşit maden ülke gereksinimi yanı sıra dünya gereksiniminin de önemli bir bölümünü karşılamaktadır. Ekonomik olarak gelişmiş ülkeler Çin topraklarında değişik sektörlerde yatırım yapmışlardır. Özellikle büyük elektronik şirketlerin bir ayakları Çin'dedir. İş gücü ve enerji maliyetlerinin düşük olması Çin'e yatırım yapmayı cazip hale getirmektedir. Esasen sermayenin Çin'e kaymasının en önemli nedenlerin başında uygun maliyetli hammadde gereksiniminin karşılanabilmesi gelmektedir.

Ülkemizde bulunmuş, henüz işleilmeyen NTE yatakları mevcuttur. Ancak bu konuda girişimler söz konusudur. Bunun yanı sıra ülkemiz jeolojisi bu elementlerin oluşumu için de uygundur. Ancak şu anda bu madenleri üretilip ihraç etmemiz bir anlam taşımayacaktır. Hedefimiz bu elementlerin üretilmesi, zenginleştirilmesi, sanayisini kurarak, NTE hammadde gereksiniminin kaynaklarımızdan karşılanması olmalıdır.

Kitapta NTE'lerin dünyadaki konumu ile bir tablo çizilmiş, bu madenlerle ilgili bilgiler yanı sıra zenginleştirilmesi için temel süreçlere yer verilmiştir.

Umarım çalışma faydalı olur.

Ankara, Eylül 2016



# İÇERİK

Giriş .....	1
1. Nadir toprak elementleri içeren mineraller .....	3
2. Nadir toprak elementlerinin kullanım alanları .....	5
2.1. Hafif nadir toprak elementlerin kullanım alanları .....	10
2.1.1 Skandiyum .....	10
2.1.2 Lantanyum .....	11
2.1.3 Seryum .....	12
2.1.4 Praseodimiyum .....	12
2.1.5 Neodimiyum .....	13
2.1.6 Prometiyum .....	13
2.1.7 Europiyum .....	14
2.1.8 Samaryum .....	14
2.1.9 Gadolinyum .....	15
2.1. Ağır nadir toprak elementlerin kullanım alanları .....	16
2.2.1 Tulyum .....	16
2.2.2 Terbiyum .....	16
2.2.3 Disprosiyum .....	17
2.2.4 Holmiyum .....	18
2.2.5 Erbiyum .....	18
2.2.6 Yitriyum .....	19
2.2.7 Yiterbiyum .....	19
2.2.8 Lutetiyum .....	20
3. NTE metallereinden mıkınatıs üretimi .....	20
4. Dünya nadir toprak element rezervleri .....	21
5. Dünya nadir toprak element üretimi .....	28
6. Dünya nadir toprak elementleri arz ve talebi .....	30
7. NTE dünya ticareti .....	32
8. Nadir toprak elementlerinin geleceği .....	35
9. Nadir toprak elementlerinin geri dönüşümden kazanımı .....	38
10. Türkiye'nin nadir toprak element dış ticareti .....	40
11. Türkiye'de nadir toprak element oluşumları .....	40
12. NTE minerallerinin zenginleştirmesi .....	42
12.1. Fiziksel yöntemiyle zenginleştirme .....	44
12.1.1 Monazit cevherinin zenginleştirilmesi .....	46
12.1.2 Plaserlerden monazit konsantresi üretimi .....	47
12.1.3 Bastnazit cevherinin zenginleştirilmesi .....	49
12.2. NTE minerallerinin flotasyonla zenginleştirmesi .....	51
12.2.1 Ksenotim üretimi .....	56
12.2.2 Yitriyum oksit üretimi .....	57
12.3. NTE Konsantrelerinin özütlenmesi .....	58
12.3.1 Monazitin özütlenmesi .....	62
12.3.1.1 Monazitin asitle özütlenmesi .....	62
12.3.1.2 Monazitin alkali ortamda özütlenmesi .....	64
12.3.1.3 IRE yöntemiyle özütleme .....	65
12.3.2 Bastnazitin özütlenmesi .....	65
12.3.3 Bastnazitin klorlanması .....	68
13. Türkiye'de NTE ile ilgili yasal düzenlemeler .....	69
14. Kaynaklar .....	72





## Giriş

NTE'leri kullanılan ürünlerin kararlı, yüksek sıcaklığa, aşınmaya, korozyona karşı dirençli, savunma sektöründe değişik amaçlı ileri teknoloji ürün üretiminde kullanılmaları nedeniyle NTE'ler yüzyılın stratejik ve vazgeçilmez elementleridir. Cep telefonu, düz üstü bilgisayar, modern tıp cihazları, araçlarda katalitik çeviriciler, uçak motorları, seramik, petrol rafineri, televizyon üretimi gibi teknolojik ürünlerde NTE'ler kullanılmaktadır.

Yerkabuğunda “**nadir toprak elementleri, NTE**” çoğu elementten daha fazla bulunmaktadır.17.yüzyılda oksit bileşikleri şeklinde bulduklarında gruplandırılmamış, oksitlerinin metale indirgenmesi çok zor olduğu ve doğada benzeri olaya sık rastlanmadığından bu elementler “**nadir toprak elementleri, NTE, “rare earth elements, REE”** olarak isimlendirilmiştir.

18. yüzyılın sonlarında yapılan çalışmalarda nadir toprak elementler kimyasal davranışlarına göre sınıflandırılmıştır. Daha sonraki yıllarda bu sınıflandırma yerini atom numaralarına göre sınıflandırmaya bırakmıştır.

Lantanitler ya da nadir toprak elementleri, periyodik çizelgede geçiş metallere bir alt serisini oluşturmaktadırlar. Bu elementler Periyodik çizelgede atom numarası 57 olan lantanyum ile 71 olan lutetiyum arasında yer almaktadırlar.

Atom numarası 39 olan yitrium ile atom numarası 21 olan skandiyum geçiş metallere de lantanitlerle benzer kimyasal özellikler gösterdiklerinden nadir toprak elementleri olarak kabul görmüşlerdir.

Çizelge 1: Periyodik çizelge

1 H 1,00794																	2 He 4,00260
3 Li 6,941	4 Be 9,01218											5 B 10,811	6 C 12,0107	7 N 14,0057	8 O 15,9994	9 F 18,9984	10 Ne 20,1797
11 Na 22,98977	12 Mg 24,305											13 Al 26,9815	14 Si 28,0855	15 P 30,9737	16 S 32,065	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948
19 K 39,0983	20 Ca 40,078	21 Sc 44,9559	22 Ti 47,867	23 V 50,9415	24 Cr 51,9961	25 Mn 54,9380	26 Fe 55,845	27 Co 58,9331	28 Ni 58,6934	29 Cu 63,546	30 Zn 65,38	31 Ga 69,723	32 Ge 72,63	33 As 74,9216	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,798
37 Rb 85,4678	38 Sr 87,62	39 Y 88,9058	40 Zr 91,224	41 Nb 92,9063	42 Mo 95,96	43 Tc (98)	44 Ru 101,07	45 Rh 102,905	46 Pd 106,42	47 Ag 107,868	48 Cd 112,411	49 In 114,818	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,6	53 I 126,904	54 Xe 131,293
55 Cs 132,905	56 Ba 137,327	57-71 Lantanitler	72 Hf 178,49	73 Ta 180,947	74 W 183,84	75 Re 186,207	76 Os 190,23	77 Ir 192,217	78 Pt 195,084	79 Au 196,966	80 Hg 200,59	81 Tl 204,383	82 Pb 207,2	83 Bi 208,980	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 Aktinidler	104 Rf (267)	105 Db (268)	106 Sg (271)	107 Bh (272)	108 Hs (270)	109 Mt (276)	110 Ds (281)	111 Ds (280)	112 Cn (285)	113 Uut (284)	114 Fl (289)	115 Uup (288)	116 Lv (293)	117 Uus (294)	118 Uuo (294)
57 La 138,905	58 Ce 140,116	59 Pr 140,907	60 Nd 144,242	61 Pm (145)	62 Sm 150,36	63 Eu 151,964	64 Gd 157,25	65 Tb 158,925	66 Dy 162,5	67 Ho 164,930	68 Er 167,259	69 Tm 168,934	70 Yb 173,054	71 Lu 174,966			
89 Ac (227)	90 Th 232,038	91 Pa 231,036	92 U 238,028	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)			

### Ağır nadir toprak elementleri, HREE

39 Y 88,9058	64 Gd 157,25	65 Tb 158,925	66 Dy 162,5	67 Ho 164,930	68 Er 167,259	69 Tm 168,934	70 Yb 173,054	71 Lu 174,966
--------------------	--------------------	---------------------	-------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

### Hafif nadir toprak elementleri, LREE

21 Sc 44,9559	57 La 138,905	58 Ce 140,116	59 Pr 140,907	60 Nd 144,242	61 Pm (145)	62 Sm 150,36	63 Eu 151,964
---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-------------------	--------------------	---------------------



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

NTE'ler Çizelge 2'deki gibi teknolojideki kullanım alanlarına göre seryum ve yitriyum olarak iki gruba da ayrılmaktadır.

**Çizelge 2: Nadir Toprak Elementleri**

Grubu	Sembolü	Atom numarası	Yoğunluğu g/cm <sup>3</sup>	Ergime noktası,°C	
Seryum Grubu, hafif NTE'ler					
Skandiyum	Scandium	Sc	21	3.0	1541
Lantanyum	Lanthanum	La	57	6.1	918
Seryum	Cerium	Ce	58	6.8	789
Praseodimiyum	Praseodymium	Pr	59	6.8	931
Neodimiyum	Neodymium	Nd	60	7.1	1021
Prometiyum	Promethium	Pm	61	7.3	1042
Samariyum	Samarium	Sm	62	7.5	1074
Europiyum	Europium	Eu	63	5.3	822
Gadoliniyum	Gadolinium	Gd	64	7.9	1313
Yitriyum Grubu, ağır NTE'ler					
Terbiyum	Terbium	Tb	65	8.2	1356
Disprosiyum	Dysprosium	Dy	66	8.5	1412
Holmiyum	Holmium	Ho	67	8.8	1474
Erbiyum	Erbium	Er	68	9.1	1529
Tulyum	Thulium	Tm	69	9.3	1545
Ytterbiyum	Ytterbium	Yb	70	6.9	819
Lutetiyum	Lutetium	Lu	71	9.8	1663
Yitriyum	Yttrium	Y	39	6.9	1522

NTE'ler doğada saf metal olarak bulunmayıp prometyum dışındakiler bileşik halindedir. Prometyum'a da doğada çok az rastlanmakta ve endüstriyel açıdan da büyük bir önemi taşımamaktadır

NTE yataklarını aşağıdaki gibi gruplandırma olanağı vardır:

➤ *Birincil yataklar:*

- Volkanik kayaçlarla,
- Granitik kayaçlarla,
- Pegmatitlerle,
- Alkalın magmatizmayla bağlantılı karbonatit yataklar.

➤ *İkincil yataklar:*

- Akarsu ve derelerdeki,
- Sahillerdeki plaser yatakları.





Volkanizmalarla ilişkili yataklar çoğunlukla suların etkisiyle bozuşmuşlardır. Bu yataklara ince dağılmış olarak ya da çatlak dolguları şeklinde rastlanmaktadır. Volkanik kayalar genellikle tüf, riyolit ve trakit olup, örtü tabakaları da kumtaşlarından oluşmuştur. Yataklarda flüorit, bastnazit, bertrandit az miktar da baritle birlikte düşük oranda Rb, U, Th, Ta, Nb, Y, Be, Cs ve Re elementlerini içeren mineraller bulunmaktadır.

### 1. Nadir toprak elementleri içeren mineraller

Yeryüzünde NTE içeren oksit, karbonat, silikat ve fosfat bileşikleri şeklinde çok sayıda mineral mevcuttur. Bu minerallerin bazıları Çizelge 3 ile Çizelge 4'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3: Nadir toprak elementleri içeren mineraller**

Mineral Adı	Kimyasal Formülü
<b>Oksitler</b>	
Serianit	CeO <sub>2</sub>
<b>Florürler</b>	
Fluoserit	(Ce,La)F <sub>3</sub>
Fluorit, serian (itroserit)	CaF <sub>2</sub> + Ce alt grup
Fluorit, yttrian (itrofluorit)	CaF <sub>2</sub> + Y alt grup
<b>Karbonatlar</b>	
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
<b>Silikatlar</b>	
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>
<b>Fosfatlar</b>	
Apatit	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,OH)
Brokit	(Ca,Th,Ce,) <sub>2</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>



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

**Çizelge 4: Nadir toprak elementleri içeren karışık mineral oksitler**

Karışık oksitler (Özellikle Nb, Ta, ve Ti içeren)	
Brannerit	$(U,Ca,Fe,Th,Y)_3Ti_5O_{16}$
Uraninit	$(U,Th,Ce,Y,Pb)O_2$
Eschynit-priorit serisi	
Eschynit	$(Ce,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb)_2O_6$
Priorit	$(Y,Er,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb)_2O_6$
Euxenit-polycras serisi	
Euxenit	$(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$
Polycras	$(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta)_2O_6$
Fergusonit-formanit serisi	
Fergusonit	$Y,Er,U,Th)(Nb,Ta,Ti)O_4$
Formanit	$(Y,Er,U,Th)(Ta,Nb)O_4$
Loparit	$(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)_2O_6$
Perovskit	$CaTiO_3$
Piroklor-mikrolit serisi	
Betafit	$U,Ca)(Nb,Ta,Ti)_3O_6.nH_2O$
Mikrolit	$(Na,Ca)_2(Ta_2O_6(OH,F))$
Piroklor	$(Na,Ca)_2(Nb_2O_6(OH,F))$
Samarskit	$(Y,Er,Ce,U,Fe,Th)(N,Ta)_2O$
İtrotantalit	$(Fe,Y,U,Ca)(Ta,Nb,Zr,Sn)O_4$

Dünyadaki NTE'lerin en önemli üretim kaynağı bastnazit  $(Ce,La,Nd,Pr)F(CO_3)$  mineralidir. Bunların yanı sıra NTE'ler ksenotim içeriğinde, plaser yataklarda, uranyum ve bozuşmuş killerle birlikte ve karbonatitlerde de bulunmaktadır.

NTE'ler yer kabuğunda değişik oranlarda çok geniş bir alana yayılmış olarak yaklaşık 160'dan fazla mineralin içeriğinde bulunmaktadır. Bunların içinde ekonomik olarak işlenebilir mineral sayısı 10 civarında olup önemli olanları Çizelge 5'de verilmiştir.

**Çizelge 5: Ekonomik öneme sahip NTE mineralleri**

Mineral	N.T. Oksit içeriği %	Yoğunluğu $gr/cm^3$
Bastnazit $[(Ce, La) CO_3] F$	72	4.95-5.0
Monazit $(Ce,La,Nd,Th) PO_4$	60-70	4.6-5.4
Ksenotim $Y PO_4$	53-65	4.4-5.1
Cerit $(Ca,Mg)_2 Ce_8(SiO_4)_7.3H_2O$	60-70	4.70-4.86
Aeschynite $(Y,Er,Ce,U,Pb,Ca)(Nb,Ta,Ti)_2(O.OH)_6$	16-29	4.82-4.93
Samarskit $(Y,Er,Fe,Mn,Ca,U,Th,Zr)(Nb,Ta)_2(O.OH)_6$	10-38	5.6-5.8, Ort. = 5.69
Fergusonit $(Y,Ce,U,Th,Ca)(Nb,Ta,Ti)O_4$	31-44	4.3-5.8, Ort. = 5.05



Dünya nadir toprak element üretiminin % 95'i bastnazit, monazit ve ksenotim minerallerinden gerçekleştirilmektedir. Bu üç mineralin içerdiği NTE'ler Çizelge 6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 6: Üç mineralin içerdiği nadir toprak elementler**

Grubu	Bastnazit,%	Monazit,%	Ksenotim,%
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
Gadoliniyum	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

## 2.Nadir toprak elementlerinin kullanım alanları

NTE'lerin kimyasal benzerlikleri nedeni ile birbirinden ayrılmaları oldukça zordur. Bu elementler metal, alaşım veya bileşikler halinde kullanılmaktadır.

**Resim 1: Bazı NTE ve kimyasalları**



Resim 2'de NTE'lerin kullanıldığı bazı malzemeler gösterilmiştir.



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

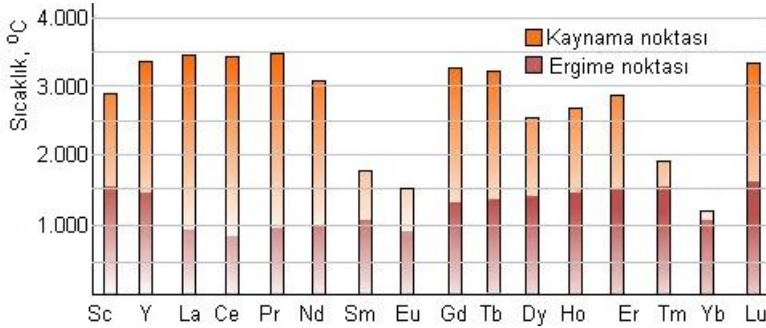
Resim 2: NTE kullanım alanları



NTE'ler oksit, metal ve değişik kimyasal bileşikler olarak pazarlanıp kullanıldığı gibi yüksek sıcaklıkta duraylı olmaları nedeniyle kaliteli metal alaşım üretiminde de kullanılmaktadır.

Grafik 1'de NTE metallerinin ergime ve kaynama noktaları verilmiştir.

Grafik 1: Nadir toprak element metallerinin ergime ve kaynama noktaları

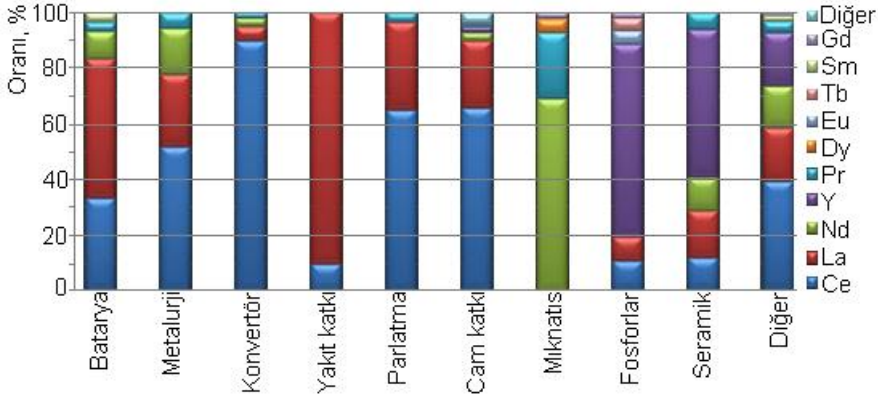


Katkı maddesi olarak NTE'leri içeren malzemeler kararlı, yüksek sıcak ve korozyona dayanıklı hafif malzemelerdir. Bu özellikleriyle NTE'leri bilgisayar, hibrid araçlar, yüklenebilir piller, cep telefonları, düz televizyon ekranları, dizüstü bilgisayarları, rüzgar türbinleri, tıbbi görüntüleme cihazları, radar sistemleri, katalitik çeviriciler, korozyona daha dayanıklı metal alaşımları, uçak motorları, tıp, seramik, cam üretiminde, petrol arıtmada kullanılmaktadır.

NTE'ler değişik malzeme üretiminde değişik oranlarda kullanılmaktadır. Grafik 2'de bu elementlerin kullanıldığı malzemeler ve kullanım oranları gösterilmiştir.



Grafik 2: NTE kullanım oranları

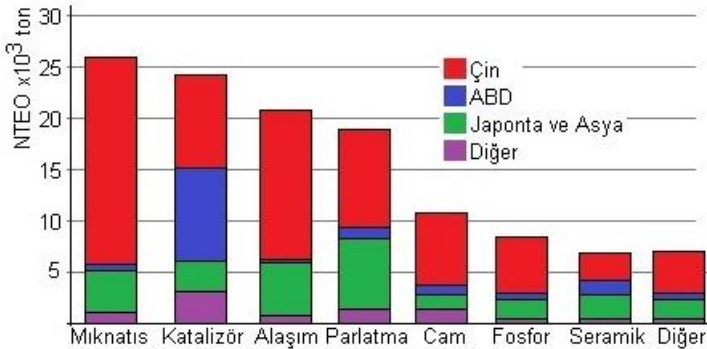


Kaynak: www.altenergystocks.com

NTE'leri kullanımı teknoloji ve ürüne bağlı olarak ülkelere göre değişmektedir. Miknatısın, telefon kulaklığından elektrik motor üretimine kadar çok geniş bir kullanım ve uygulama alanı mevcuttur. NTE'lerin önemli bir kullanım alanı da kaliteli alaşım üretimidir.

Grafik 3'de ürün çeşitliliğine göre ülkelerdeki NTE kullanım alanlarının yaklaşık dağılımı gösterilmiştir.

Grafik 3: Ülkelere göre kullanım alanları



Kaynak: Industrial Mining Company, Avustralya, 2011

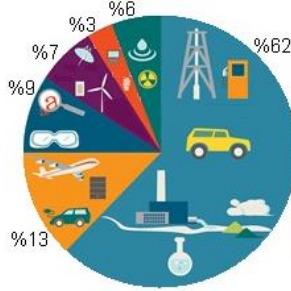
Grafikten Çin'in NTE'leri ileri teknoloji ürün üretimi kullanımında söz sahibi olduğu görülmektedir. Çin NTE üretim, tüket ve teknoloji olarak dünyada rekabet edilemeyen tek ülke konumundadır.

Grafik 4'de NTE'lerin temel kullanım alanları ve kullanım oranları gösterilmiştir.



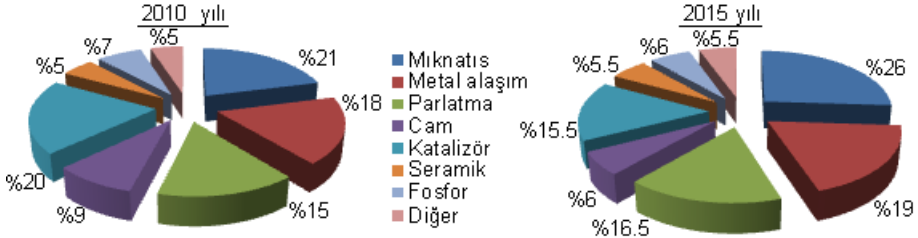
## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

**Grafik 4:NTE'lerin temel kullanım alanları ve oranları**



2010 yılından 2015 yılına kadar NTE'lerin kullanım alanlarındaki değişim Grafik 5'de gösterilmiştir.

**Grafik 5: NTE'lerin % olarak kullanım alanlarındaki değişim**



Grafiklerden önümüzdeki yıllarda NTE'lerin ağırlıklı olarak miknatis, metal alaşımı ve parlatma amacıyla kullanım oran ve miktarının artacağı tahmin edilebilmektedir.

Resim 3'de cep telefonunda kullanılan NTE'ler gösterilmiştir.

**Resim 3: Cep telefonunda kullanılan nadir toprak elementler**

Kamera  
Yttriyum  
Lantanyum

Hoparlör  
Neodimiyum  
Praseodimiyum  
Terbiyum  
Disprosiyum

Batarya  
Lantanyum  
Praseodimiyum

Elektronik devreler  
Neodimiyum  
Praseodimiyum  
Disprosiyum  
Lantanyum  
Gadolinium



Cam parlatma  
Seryum  
Lantanyum  
Praseodimiyum

Titreşim sistemleri  
Neodimiyum  
Lantanyum  
Praseodimiyum

Renkli ekranlar  
Europiyum  
Yttriyum  
Terbiyum  
Lantanyum  
Disprosiyum  
Praseodimiyum  
Gadolinium



Resim 4'de otomobilde NTE'lerin kullanıldığı kısımları gösterilmiştir.

**Resim 4: Nadir toprak elementleri kullanımı**



Fotoğraf makinesi, gözlük camları ve televizyon ekranlarının parlatılmasında seryum oksit kullanılmaktadır. Saf neodimiyum oksit cama mor renk vermektedir. Praseodimiyum ve neodimiyum karışımı, televizyon ekranlarında parlamayı önlemektedir.

NTE kullanılarak alüminyum, magnezyum, vanadyum gibi çok değişik özel metal alaşımları üretilebilmektedir. NTE'li alaşımlar demir-krom ve çelik alaşımlarında korozyona karşı direnci arttırmaktadır.

Bazı NTE'ler değişik sıcaklıklarda ferro manyetik, antiferro manyetik ve para manyetik özellikler göstermektedir. Bu özellikleri ile NTE'lerden güçlü mıknatıslar üretilmektedir.

NTE kullanılan katalitik çeviriciler bir çeşit çelik kutuya benzemektedir. Egzoz gazı atmosfere bırakılmadan önce bu çeviriciye verilmektedir. Çevirici içindeki kimyasal maddeler egzozdan çıkan kullanılmış yakıtın içerdiği CO, HC, NO<sub>x</sub> ile tepkimeye girerek bu gazları çevreyi olumsuz yönde etkilemeyen CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O N<sub>2</sub>'ye dönüştürmektedir. Katalitik çeviricileri olan araçlarda kurşunsuz benzin kullanılmamasının nedeni, benzindeki kurşunun çeviricideki kimyasal maddelerin üzerini kaplayarak etkisiz hale getirmesidir.

Neodimiyum, seryum, skandiyum ve yttriyum gibi nadir toprak metalleri genellikle yumuşak ve kolay işlenebilir özelliktedir. Bu metallerin renkleri gri ile gümüş beyazı arasında değişmektedir. Ergime sıcaklıkları 800-1675°C arasındadır.

Çin dünyada en büyük NTE üreticisi, ihracatçı ve tüketici ülke konumundadır. Diğer dünya ülkeleri NTE teknolojisi konusunda Çin'e bağımlı durumdadırlar. Bu nedenle bazı uluslararası firmalar ileri teknoloji ürünleri için fabrikalarını Çin'de kurmuşlardır. Bu süreçte firmalar Çin'deki ucuz işçiliği de kendi adlarına fırsata çevirmişlerdir.





## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

NTE kullanılarak üretilen ürünlerin kullanıldığı son ürünler Resim 5'de gösterilmiştir.

**Resim 5: Nadir toprak elementlerin kullanıldığı son ürünler**



**Mıknatis**  
Hard disk  
Disk sürücü motoru  
Fren sistemi  
Araç parçaları  
Sürtünmesiz rulman  
Manyetik soğutma  
Mikrodalgı güç tüpü  
Jeneratör  
Mikrofon-hoperlör  
Haberleşme sistemi  
MR sistemi  
**Nd, Tb, Dy, Pr**



**Fosforlar**  
Floresans ampuller  
Tıpta görüntüleme  
Lazerler  
Fiber optik  
Ekran  
**Nd, Eu, Tb, Y, Er, Gd, Ce, Pr**



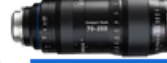
**Metal alaşımlar**  
NiMH bataryalar  
Yakıt hücreleri  
Çelik  
Kaliteli alaşımlar  
Alüminyum  
Magnezyum  
**Nd, Y, La, Ce, Pr**



**Katalizör**  
Petrol rafineri  
Katalitik çevirici  
Yakıt katkıları  
Kimyasal katkıları  
Hava kirlilik kontrolü  
**Nd, La, Ce, Pr**



**Seramik**  
Kapasitör  
Sensör  
Renklendirici  
Starter  
Refrakterler  
**Nd, Y, Eu, Gd, Lu, Dy, La, Ce, Pr**



**Cam ve parlatma**  
Parlatma  
Boya ve kaplama  
UV camları  
Lens  
Gözlük camları  
X-ray cihazları  
**Nd, Gd, Er, Ho, La, Ce, Pr**



**Savunma**  
Uydu haberleşme  
Yönlendirme sistemleri  
Hava araç parçaları  
Akıllı füzeler  
**Nd, Eu, Tb, Dy, Y, Lu, Sm, Pr, La**

Kullanıldığı ürünlerde NTE'ler ürünün ana hammaddesi olmayıp belirli oranlarda katkı maddesi olarak ilave edilmektedir. Örneğin mıknatis üretiminde değişik oranlarda Nd, Tb, Dy, Pr kullanılmaktadır. Bu elementlerin kullanım oranları üretilecek mıknatisin kullanıldığı ürünle ilgilidir. Bu mıknatisler kulaklık üretimi yanı sıra, hard disk ya da fren sistemi gibi daha işlevsel amaçlarla da kullanılmaktadır. Haliyle üretilecek mıknatisin gücü ve kalitesi de farklı olmaktadır.

Yaygın bir kullanım alanı olan NTE'ler için ülkeler Çin'e bağımlı olmaktan kurtulmak amacıyla yeni rezerv arayışları içindedirler. 1960'lı yıllardan bu yana okyanus derinlerinde değişik kaynaklar aranmaktadır. 2011 yılında Japonya Pasifik Okyanusunun 3.500-6.000 metre derinliğinde dip çamurlarında terbiyum ve disprosiyum içeren NTE kaynakları bulduklarını, bu kaynakların dünya yıllık NTE gereksiniminin 1/5'ini karşılayacak büyüklükte olduğunu ifade etmişlerdir. Burada tartışılması gereken konu dipteki bu kaynağın yeryüzüne çıkarılmasının ekonomikliğidir.

### 2.1 Hafif nadir toprak elementlerin kullanım alanları

#### 2.1.1 Skandiyum (Sc)

- Skandiyum gece aydınlatmalarında kullanılan gündüz ışığı etkisi yapan güçlü ampullerin üretiminde,
- Skandiyum-alüminyum savaş uçaklarının hafif olması ve daha iyi manevra yapabilmesi için uçak gövdesi üretiminde,





- Skandiyum-alüminyum güçlü ve hafif olduğundan bisiklet gövdesi üretiminde,

**Resim 6: Skandiyumun kullanıldığı ürünler**



- Gadolinyum-skandiyum-galliyum-garnet kristalleri savunma amaçlı malzeme ve cihaz yapımında,
- Yttriyum-skandiyum-gallium garnet lazer, dişçilikte kanal tedavilerinde,
- Hafif ve mukavemetli olduğundan skandiyum-alüminyum silah üretiminde kullanılmaktadır.

### 2.1.2 Lantanyum (La)

- Yüklenebilir nikel metal hibrit bataryalar, hibrit araçlar ve diz üstü bilgisayarlar için enerji kaynağı olarak,
- Lantanyum içeren nadir toprak bileşikleri, karbon esaslı aydınlatmada ve özellikle endüstrisinde, stüdyo aydınlatmalarında ve projeksiyon makinelerinde,
- Kameralarda kullanılan fiber optik kabloların data aktarım hızını artırmada, yüksek çözünürlüklü kamera, teleskop, gece görüş dürbünleri, kaliteli kamera merceği üretiminde,

**Resim 7: Lantanyumun kullanıldığı ürünler**



- $La_2O_3$  camın alkali direncini arttırdığından özel optik cam üretiminde,
- Granüllü dökme demir üretiminde az miktarlarla katkı maddesi olarak,
- Lantanyum içeren hidrojen emici sünger alaşımları kendi hacimlerinin 400 katı kadar hidrojen tutup verebilmekte, bu özellikleri ile enerji depolama sistemlerinde,
- Yakıtta katkı maddesi,
- Yüzme havuzlarında pH ayarı için,
- Rafinerilerde petrol arıtmada kullanılmaktadır.



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

### 2.1.3 Seryum (Ce)

- Seryum oksit, cam, metal ve değerli taşlar, bilgisayar çipleri, transistör ve diğer elektronik parçaları parlatmak için,
- Egzozdan çıkan gazlarının oluşturduğu kirliliğini azaltmak için katalitik çeviricilerde,

**Resim 8: Seryumun kullanıldığı ürünler**



- Floresan ampul üretiminde,
- Cam yapımında bileşen ve renk giderici,
- Petrol arıtmada katalizör olarak,
- Metalürjik ve nükleer uygulamalarda ısıya dayanıklı güçlü alaşımli metal üretiminde kullanılmaktadır.

### 2.1.4 Praseodimiyum, (Pr)

- Neodimiyum ile birlikte yüksek güçlü mıknatıs üretiminde,
- Sarı parlama ve ultraviyole ışınlarına karşı koruyucu cam ile kaynakçı ve cam üfleme gözlüğü yapımında,

**Resim 9: Praseodimiyumun kullanıldığı ürünler**



- Film stüdyolarında ışıklandırma ve projeksiyon amaçlı,
- Praseodimiyum tuzları, cam ve emaye renklendirmede, canlı sarı renkli porselen yemek takımı üretiminde,
- Kaynakçıların kullandığı koruyucu gözlüklerde praseodimiyumun bir bileşiği olan "didimiyum" camı üretiminde,
- Cam üretim sürecinde çıkan sarı ışığı filtreleme özelliği nedeniyle, cam işçileri için koruyucu gözlük üretiminde,



- Praseodimiyum oksit plastik, polietilen, soda şişesi, gıda paketleme, sandviç paketi ve süt karton ambalajların üretiminde kullanılmaktadır.

### 2.1.5 Neodimiyum (Nd)

- Neodimiyum güçlü mıknatıs üretimde kullanılmaktadır. Neodimiyum-demirbor ( $Nd_2Fe_{14}B$ ) mevcut en güçlü mıknatıslardandır. Bu mıknatıslar rüzgar enerjisi jeneratörlerinde, elektrikli araç motorlarında, kulaklık ve hoparlör yapımında kullanılmaktadır.
- Neodimiyum-yitrium alüminyum garnet lazer mesafe ölçme ve rehberlik sistem cihazlarında,

**Resim 10: Neodimiyumun kullanıldığı ürünler**



- Cam üzerinde, mor renkten şarap kırmızısına ve griye kadar farklı renklerde gölgeler yaratan renk verici özelliği nedeniyle bu camlardan geçen ışınlar çok keskin emilim bantları göstermektedirler. Bu özellikleri ile astronomi çalışmalarında,
- Praseodimiyum elementiyle birlikte, kaynakçılarının ve cam yapımcılarının kullandıkları koruyucu gözlük üretiminde,
- Parlak mor camların ve kızılötesi ışınları süzen camların yapımında,
- Neodimiyum tuzları emaye renklendirmede kullanılmaktadır.

### 2.1.6 Prometiyum (Pm)

- Fosfor özelliğe sahip bir malzeme tarafından soğurulduğunda ışıdamaya yol açtığından ışıldayan boya, plastik üretiminde, saatlerin kadran ışıklandırmasında,
- Işığı enerjiye çeviren enerji pili üretiminde,
- Kalınlık ölçüm aletlerinde,

**Resim 11: Prometiumun kullanıldığı ürünler**





## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

- Flüoresansların starterlerinde,
- Taşınabilir X-ışını kaynaklarında,
- Elektrikli battaniyelerde,
- Nükleer bataryalarda,
- Omuzdan atılan roketatarlarda hedef işaretlemede,
- Uydularda yardımcı güç sağlayan ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Prometiyum en son belirlenen nadir toprak elementidir. Diğer minerallerin içinde çok az miktarda bulunmaktadır. Prometiyum'un ekonomik olarak işletilebileceği bir kaynağa henüz rastlanamamıştır. Uranyum minerali olan pitchblend çok az miktarda prometiyum içermektedir.

### 2.1.7 Europiyum (Eu)

- Televizyon (kırmızımsı-turuncu) ve enerji tasarruflu floresan ışıkları (kırmızımsı- turuncu ve mavi) kullanılan fosforlarda,
- Yitriumla oluşturduğu alaşım, renkli televizyonlarda kırmızı renk eldesinde,
- Lazerlerde,
- Europiyum oksit fosforsan özelliği Euro ve diğer paraların sahtelerinden ayrılması,
- Europiyum  $\text{EuB}_6$ , nükleer reaktörlerde füzyon kontrolü için kullanılmaktadır.

#### Resim 12: Europiumun kullanıldığı ürünler



Daha önceki yıllarda televizyon turuncu bir renk olarak görülen gerçek kırmızı renk 1964 yılında europium kullanılarak sağlanmıştır. Televizyon üretimi için europium oksit ilk olarak Molycorp, Molibdenium Corporation of America tarafından üretilmiştir.

### 2.1.8 Samariyum (Sm)

- Kalıcı mıknatıs üretiminde,
- X-ışını lazerler, hassas güdümlü silahlarda,
- Endüstrisinde karbon esaslı aydınlatmada,
- Etil alkolün hidrojenlendirilmesinde ve hidrojenden arındırılmasında kullanılan samariyum oksit üretiminde,



**Resim 13: Samariyumun kullanıldığı ürünler**



- Samariyum x-ray radyoloji uygulamalarına,
- Kızılötesi ışığın soğurulması amacıyla optik camlarda kullanılmaktadır.
- Nükleer santrallerde nötron soğurucu olarak işlev görmektedir.

Samariyum kobalt mıknatıslar 70'li yıllarda kaset çalar, bilgisayar disk sürücüleri, kulaklıklar, hoparlör, gitar gibi çok değişik cihaz üretiminde kullanılmıştır.

Samariyum nadir toprak element içeren minerallerde bulunmaktadır. Birincil kaynağı karbonatitler ve bastnazit mineraldir. Aynı zamanda monazit mineralleri içinde de bulunmaktadır.

### 2.1.9 Gadolinyum (Gd)

Gadolinyum süper iletken özellikler gösteren ferro manyetik bir metaldir. Oda sıcaklığında da güçlü bir manyetik özellik göstermektedir.

- Gadolinyum-yitriyum birleşiminden oluşan garnet mikrodalga üretiminde,
- Demir, krom ve benzeri metal alaşımlarına %1 oranında katıldığında bu alaşımların işlenebilirliği, ısıya ve oksidasyona karşı dirençlerini yüksek oranda artırmaktadır.

**Resim 14: Gadolinyumun kullanıldığı ürünler**



- Gadolinyum bileşikleri, televizyonlarda renk maddesi olarak,
- Hastaya gadolinyum kontrast bileşikleri enjekte edilerek MR taramalarında sonuç netliğini artırmada,
- Bölünmeyi kontrol etmek için nükleer reaktör çubuklarında,
- Yitriyum gadolinium garnet veya yitriyum gallium garnet değişik elektronik devrelerde ve radarlarda kullanılmaktadır.



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Gadolinyum kaynağı hafif toprak element mineralleri, karbonatitler, bastnazit, monazit, çökeltme yataklar, pegmatitler, alkaline kompleks yataklardır.

### 2.2 Ağır nadir toprak elementlerinin kullanım alanları

#### 2.2.1 Tulyum (Tm)

- Pahalı olduğundan kullanım alanları sınırlıdır. Nükleer reaktörde işin bombardımanına uğratılan Tm-169 izotopu, portatif X-ışını ekipmanında radyasyon kaynağı olarak,
- Doğal tulyum, seramik manyetik maddeler olan ferritlerde ve mikrodalga fırınlarda kullanılmaktadır.

**Resim 15: Tulyumun kullanıldığı ürünler**



- Tulyum ile aktive edilen lanthanyum oksit bromit tıp ve dışçilikte insanların maruz kaldığı radyasyonu minimize etmek amacıyla,
- Tulyum iyodit stadyum, film çekimi ve sahne ışıklandırılmasında,
- Tulyum tıpta cam lazerler, laparoskopik ve endoskopik tıbbi uygulamalarda lazer olarak kullanılmaktadır.

#### 2.2.2 Terbiyum (Tb)

- Floresan ampuller ve tüpler (sarı-yeşil) fosforlar,
- X-ışını yoğunlaştıran ekranlarda (sarı-yeşil, mor ve mavi),
- Sodyum terbiyum borat, katı hal elektronik elemanlarda,
- Terbiyum oksit, renkli televizyon tüplerinde kullanılan yeşil fosforu etkin hale getirici,
- $ZrO_2$  ile birlikte yüksek sıcaklıklarda çalışan yakıt hücrelerini sağlamlaştırıcı kristal olarak,

**Resim 16: Terbiyumun kullanıldığı ürünler**





- Alaşımlarda, lazerlerde ve elektronik aletlerin üretiminde,
- Yüksek yoğunluklu yeşil emiter projeksiyon televizyonlarda,
- Terbiyum-demir-kobalt CD ve DVD'lerde kullanılmaktadır.

### 2.2.3 Disprosiyum (Dy)

- Yüksek mukavemetli kalıcı mıknatıs üretiminde,
- Romatizma eklem tedavisinde,
- Radyasyon etkisini tespit etmek ve izlemek için radyasyon yaka kartlarında,
- Disprosiyum-kadmiyum alaşımları, kızılötesi ışık kaynağı olarak, kimyasal tepkimeler üzerindeki çalışmalarda,

**Resim 17: Disprosiyumun kullanıldığı ürünler**



- Vanadyum ve diğer NTE'lerle birlikte, lazer yapımında,
- Disprosiyum-nikel karışımı dolgu, nükleer santrallerde soğutucu çubuk olarak kullanılmaktadır. Bu dolgu maddesi, uzun süreli nötron bombardımanında boyutlarında bir değişiklik olmaksızın nötronları soğurabilme özelliğine sahiptir.
- Terfenol-D içinde disprosiyum sonar sensor, konumlandırıcı,
- Disprosiyum fosfit, DyP, lazer diyotlarında, yüksek güç ve yüksek frekans uygulamalarında yan-iletken,
- Neodyum-demir-bor mıknatıslarına disprosiyum ilavesiyle bu mıknatısların kullanıldığı elektrikli araçlarda çalışma sıcaklığının yükseltilmesinde,
- Sıcaklığa dayanıklı metal ya da porselen içindeki disprosiyum oksit füzyon olayının kontrolü için,
- CD ve DVD kaplamalarında kullanılmaktadır.

Terfenol-D terbiyum, disprosiyum ve demir oluşan bir alaşımdır. Yoğunluğu  $9.3 \text{ gr/cm}^3$ , formülü  $\text{Tb}_{0.3}\text{Dy}_{0.7}\text{Fe}_{1.92}$ 'dir.

Demir, bor ve neodimiyum mıknatıs alaşımları  $300^\circ\text{C}$  üzerinde manyetik özelliğini kaybetmektedir. Bu alaşıma %5 oranında disprosiyum katıldığında alaşımların Curie noktası yükselmektedir. Bu özelliği ile alaşım türbinlerde ve diğer motorlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Disprosiyum kullanılarak elektrikli motorlardaki mıknatıs ağırlığı da düşürülmektedir.





## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

### 2.2.4 Holmiyum (Ho)

- Nötron soğurma özelliği nedeniyle, nükleer santrallerde kontrol çubuk üretiminde,
- Uzak mesafelerden nesnelere algılama ve 3 boyutlu görüntülerini oluşturmak için lazer sistemlerinde,

**Resim 18: Holmiyumun kullanıldığı ürünler**



- Helikopter ve savaş uçaklarının, füzelere karşı korunmaya yönelik mesafe ya da ısı olarak yanıtıcı sistemlerinin üretiminde,
- Tıpta yaygın olarak kullanılan lazer operasyonlarında,
- Hassas radar sistemlerinde,
- Küçük zirkon mücevherlerde şeftali ve sarı renk vermek amacıyla kullanılmaktadır.

### 2.2.5 Erbiyum (Er):

- Fiber optik bir amplifikatör gibi, medikal ve dişilikte kullanım için lazerlerde,
- Cam boyamada,
- Vanadyum elementine eklendiğinde, sertlik ve işlenebilirliğin artırılmasında,
- Erbiyum oksit pembe renkli olup cam, porselen, emaye sırlarında renklendirici olarak,
- Yüzey kırışıklıklarını kaldırmak amacıyla dermatolojide kullanılan lazerlerde,
- Erbiyum oksit renk ve kontrast algısını artırmak için güneş gözlüklerinde,

**Resim 19: Erbiyumun kullanıldığı ürünler**



- Erbiyum oksit takı sektöründe, dekoratif cam ve seramik sırlarında,
- Erbiyum oksit dışarıdan uzun mesafelere sinyal taşıyan fiber optik kablolarda,
- Geri dönüşümlerde erbiyum ve çinko oksit camları renksiz hale getirmede,





- Erbiyum oksit ile pembe, saydam kübik zirkon renklendirilmede,
- Nükleer santrallerde füzyon kontrolünde kullanılmaktadır.

### 2.2.6 Yitrium(Y)

- Yitrium fosforlar enerji tasarruflu floresan lambalar ve ampullerde,
- Yüksek sıcaklığa karşı metal yüzeylerde termal kaplama olarak,

**Resim 20: Yitriumun kullanıldığı ürünler**



- Metal alaşımlarının gücünü artırmada,
- Mücevher sektöründe,
- Jet motorlarında çok yüksek sıcaklığa karşı zirkon ile desteklenmiş yitrium bariyer üretiminde,
- Savunma, tıp ve grafik çizimlerinde kullanılan lazerlerde,
- Yitrium-demir-garnet savunma sistemlerinde elektronik parça üretiminde,
- Metal kesme aletlerini sıcaklık karşısında korozyona karşı korumada kullanılmaktadır.

### 2.2.7 Yiterbiyum(Yb)

Yiterbiyum mineralinde diğer iki element, litriyum ve erbiyum isimlerinin beraberce anılmaktadır.

- Yiterbiyum paslanmaz çeliğin dayanıklılığını, tanecik inceliğini ve diğer mekanik özelliklerini iyileştirmede, metalürji ve deneylerde,

**Resim 21: Yiterbiyumun kullanıldığı ürünler**



- Darbeli yeşil yiterbiyum fiber lazerler, mikro makineleşme, dokuma ve araç parçası kimlik numaralarını, tıbbi ürünlerin işaretlemeğinde,
- Yiterbiyum lazerler elmas işlemede,



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

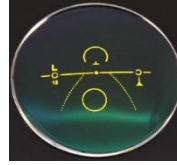
- Türbin kanatlarının, makine parçalarının, pistonların vb yiterbiyum lazerle yüzey sertleştirmesinde,
- Radyoaktif Yiterbiyum-169 kanserli hücrelerle mücadelede,
- Yiterbiyum metal depremlerde zemin deformasyonları izlemek için üretilmiş basınç göstergelerinde kullanılmaktadır.

### 2.2.8 Lutetiyum (Lu)

Lutetiyum tantalat (LuTaO)  $9.81 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğu ile bilinen radyoaktif olmayan beyaz metaldir. Lutetiyum lanthanit elementleri içinde en pahalı olanıdır.

- Termal nötron etkinliği sonrasında saf beta ışınımı yayan kararlı lutetiyum çekirdekleri, çatlatma, alkilasyon, hidrojen ekleme ve polimerizasyon işlemlerinde katalizör olarak,
- Meteorolojide rüzgar hızı, yönü, hava kirliliği ve nem ölçmede,
- Tıpta, tomografi cihazlarında,

**Resim 22: Lutetiumun kullanıldığı ürünler**



- Lutetiyum alüminyum garnet kullanılarak yapılmış yüksek kırılma indeksi optik lensler yüksek teknoloji entegre devrelerinde,
- Lutetiyum-177 radyoizotopu küçük, yumuşak tümörlerin radyoterapisinde kullanılmaktadır.

Not: Bu bölüm ağırlıklı olarak <http://www.reehandbook.com/holmiyum.html> sayfasından alınan bilgilerle düzenlenmiştir. NTE'lerle ilgili bu sayfadan daha detaylı bilgi edinilebilir.

### 3. NTE metallereinden mıknatıs üretimi

Mıknatıslar değişik şekillerde gruplandırılabilir. Temel sınıflandırma olarak kalıcı mıknatıslar, geçici mıknatıslar ve elektro mıknatıslar olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Mıknatısların yapıları da farklıdır.

Neodimiyum demir bor (NdFeB), samaryum kobalt (SmCo), alnico ve seramik veya ferrit mıknatıslar olarak dört çeşit kalıcı mıknatıs vardır:



Samaryum kobalt (SmCo) güçlü mıknatıslar olup manyetikliğin giderilmesi zordur. Değişik güçte SmCo mıknatıslar üretilmektedir. Bu mıknatıslar yüksek sıcaklığa ve oksidasyona karşı dirençlidir. 300°C sıcaklığa kadar dengelidir. Bu mıknatısların mekanik dayanımları zayıf ve kırılabilir olup pahalıdır.

Sm-Co mıknatıslar özellikle yarış araba motorlarının türbolarında, merkezkaç pompalar ve pervaneler gibi yüksek sıcaklıktaki çalışma ortamlarında kullanılmaktadır.

Neodimiyum demir-bor (NdFeB) mıknatıslar da güçlü mıknatıslar olup, düşük mekanik kuvvete sahip, kırılabilir yapıda aşınmaya karşı dirençsizdir. Altın, demir veya nikel kaplandığında çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Neodymium mıknatıslarını oluşturan ana metaller Nd, Fe, B, Dy, Co'dur.

Neodymium, demir, demir-bor, dysprosium ve kobalt, bakır, gallium, alüminyum ve diğer bileşikler karıştırılıp oluşturulan Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B fazı 1300°C sıcaklığın üzerinde vakum ortamında eritilmektedir.

Eritme işleminden sonra malzeme kırılmakta, jet değirmenlere 3µ boyutuna öğütülmektedir. Öğütülmüş malzeme, kullanım büyüklüğüne uygun olarak şekillendirilerek yaklaşık 4 tesla gücündeki manyetik bir ortamda yatay ve dikey yönde preslenmektedir.

Preslenmiş malzeme 1000°C sıcaklıkta vakumlu ortamda birkaç saat sinterlenmektedir. Sinterleme sürecinde malzemenin fiziksel değişimini ve yüzeyini kontrol etme olanağı yoktur. Ancak mıknatısın yüzeyinin çinko, nikel, Ni-Cu-Ni çok katmanlı metallere veya epoksi ile kaplanarak malzeme korozyona karşı korunurken, fiziksel etkenlerle parçalanması da önlenmektedir.

Neodimiyum mıknatısları daha ucuz olduklarından çok daha geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu mıknatıslar bilgisayarın sabit disk sürücülerini, akülü araçlar, hoparlör ve kulaklıklarda kullanılmaktadır.

Alnico (Al-Ni-Co) mıknatıslar yüksek sıcaklığa dayanıklı mıknatıslar olup sinterleme ya da döküm yöntemiyle üretilmektedir. Bu mıknatısları manyetikliğin giderilmesi nispeten kolaydır.

Seramik veya ferrit mıknatıslar sinterlenmiş demir oksit ve baryum veya stronsiyum karbonatın sinterleme ya da preslenmesiyle kolay üretilen ucuz mıknatıslardır.

#### 4. Dünya nadir toprak element rezervleri

NTE'leri doğada bileşik halde, özellikle oksitler halinde bulunmaktadır. NTE'ler "**nadir toprak metalleri, NTM**" ya da "**nadir toprak oksitleri, NTO**" olarak tanımlanmaktadır. NTE'ler birçok benzer özelliklere sahip olup genellikle jeolojik olarak birlikte bulunmaktadır. NTE metalleri çoğu zaman "oksit" olarak pazarlanmaktadır.

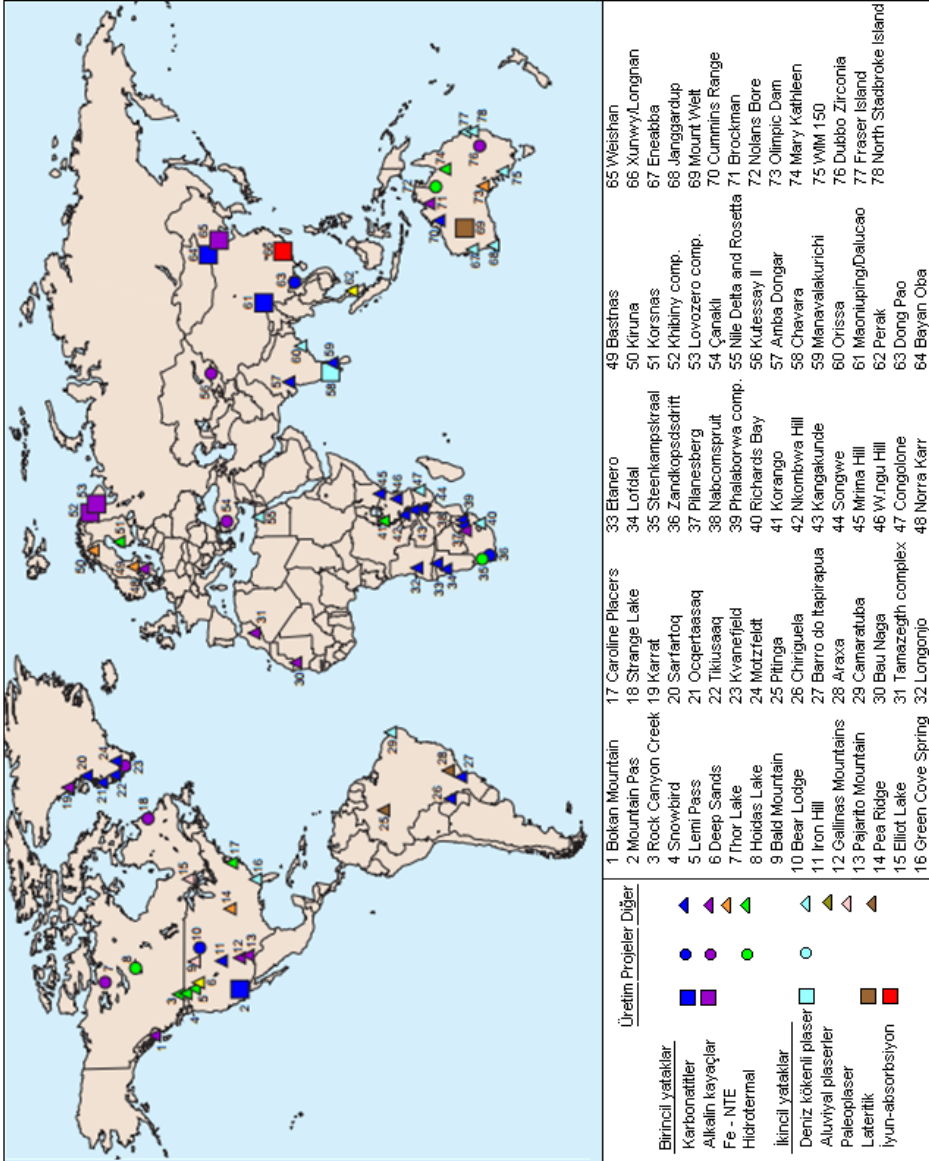


## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Dünyada NTE rezervleri 8 ülkede yoğunlaşmış olup  $140 \times 10^6$  ton civarındadır. Çin NTE rezervi bakımından  $55 \times 10^6$  ton ile dünyada ilk sırada yer almaktadır.

Harita 1'de dünyadaki NTE oluşumları gösterilmiştir.

Harita 1 : Dünya NTE oluşumları

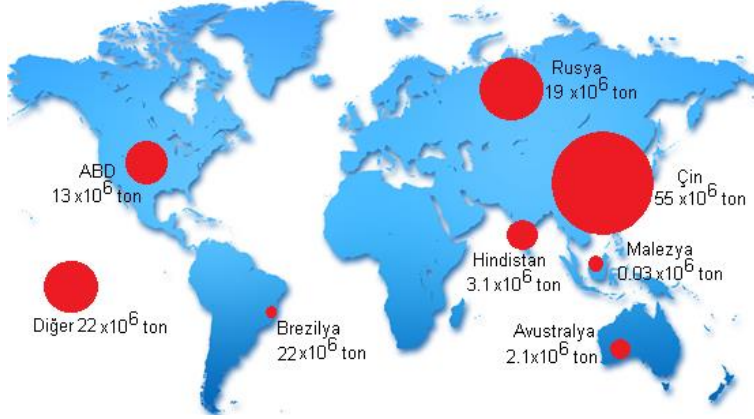


Kaynak: British Geological Survey



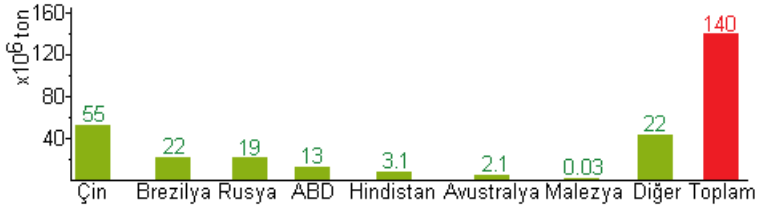
Harita 2'de NTE rezervlerinin ülkelere göre dağılımı gösterilmiştir.

**Harita 2: Dünya nadir toprak elementleri rezervi**

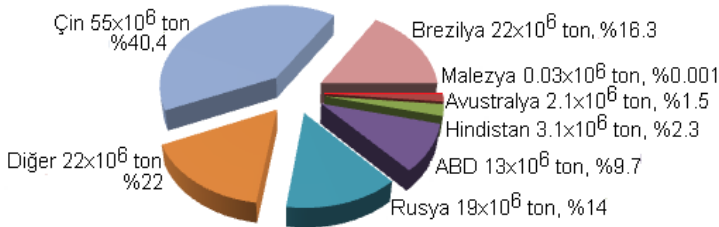


Grafik 6'da dünya NTE rezervleri, Grafik 7'de da bu rezervlerin % olarak dağılımı verilmiştir.

**Grafik 6: Dünya NTE rezervi**



**Grafik 7: Dünya NTE rezervlerinin % dağılımı**



Kaynaklardaki NTE ile ilgili bilgiler incelendiğinde çok farklı rakamlarla karşılaşılmaktadır. Bunun nedeni ülkelerin stratejik olarak gerçek rakamlarını diğer ülkelerle paylaşmadıklarından, ancak istedikleri kadarını paylaştıklarından kaynaklanmaktadır. Bu gerçeğe dayalı olarak dünyada gerçek rezervin bundan çok daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir.

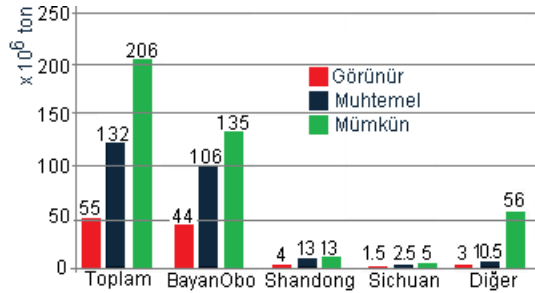


## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

**Çin**, Mongolya'da The Bayan Oba nadir toprak element oksit rezervi  $44 \times 10^6$  ton görünür rezerv olarak dünyanın en büyük rezervine sahiptir. Bu rezerv 1957 yılından bu yana işletilmekte olup Çin'in %70 hafif nadir toprak elementi bu işletmeden sağlanmaktadır. Bayan Oba madeninin yanı sıra Shandong, Sichuan da Çin'in önemli NTE yataklarıdır.

Grafik 8'de Çin'in NTE rezervleri gösterilmiştir.

**Grafik 8: Çin nadir toprak element rezervleri**



Çin'de Bayan Obo demir madeninden yan ürün olarak yıllık yaklaşık 50.000 ton NTE oksit üretilmektedir. Sichuan ve Mianning'teki bastnasit içeren karbonatit yataklarından 30.000 ton ve güneydeki kil yataklarından da yılda yaklaşık 10.000 ton NTE oksit üretimi gerçekleştirilmektedir.

**Resim 23: Dünyanın en geniş NTE madeni Bayan Obo Mine,Çin**



**ABD** 4.000 ton/yıl ile dünya nadir toprak element üretiminin %3.5'ini gerçekleştirmektedir. 10.000 ton/yıl civarında tüketim ile, Çin ve Japonya'dan sonra 3.sırada yer almaktadır.

ABD  $13 \times 10^6$  ton rezerv ile nadir toprak element dünya rezervinin %9'una sahiptir. Kaliforniya'da MolyCorp tarafından işletilen The Mountain Pass madeni 1960 yılından bu yana işletilmektedir. Bu maden 2002 yılında maliyet ve nadir toprak elementlerdeki fiyat düşüşleri nedeniyle kapatılmış, 2012 yılında tekrar işletilmeye alınmıştır. İşletmenin yıllık kapasitesi 15.000 t/y NTE civarındadır.





**Resim 24: Molycorp NTE Madeni, Mountain Pass, California, USA**



**Hindistan** 2.900 t/y üretimi dünya üretiminin %2.6 karşılık gelmektedir. Rezerv olarak da dünya rezervlerinin %2.3'üne,  $3.1 \times 10^6$  ton NTE rezerve sahip olduğu tahmin edilmektedir.

Devlete ait Hint Nadir Toprak Elementleri Limited şirketi dört plaser monazit rezervi işletmektedir. Bu işletmelerin ikisi Aluva ve Chavara Kerala eyaletinde, diğer ikisi Manavalakurichi'da Tamil Nadu ve Chatrapur'da yer almaktadır.

**Rusya'da** nadir toprak mineralleri üretimi dünya üretiminin %2.1'ine karşılık gelen 2.400 t/y'dır. Yıllık tüketimi de yaklaşık 1.500 t/y olup 2020 yılında 6.000 tona ulaşması beklenmektedir.

Murmansk Oblast'deki Lovozero madeni Rusya'nın tek nadir toprak elementleri üretilen işletmesidir. 2013 yılında devlet Rostec ve özel ITS şirketlerinin ortak girişim ile, 60 yıldan bu yana Sverdlovsk eyaletindeki devlete ait Uralminatsit işletmesindeki 83.000 ton NTE stokunu işlemeye başlamışlardır. Ortak girişim aynı zamanda Yakutia bölgesinde yitrium, niobiyum oksitleri, skandiyum ve terbiyum içeren  $150 \times 10^6$  ton Tomtor rezervi üzerinde çalışmaktadır.

2013 yılında **Avustralya** nadir toprak element mineralleri üretimi 2.000 t/y olup bu üretim dünya üretiminin yaklaşık %1.8'idir. Ülkenin nadir toprak element rezervleri dünya toplamının yaklaşık 1.5%'ine karşılık gelen  $2.1 \times 10^6$  ton olduğu tahmin edilmektedir.

2011 yılında Lynas Corporation Ltd (Lynas) şirketi Avustralya'da, Batı Avustralya Mount Weld bölgesinde dünyanın en zengin NTE rezervlerini bulunduğunu açıklamıştır. Ancak Mount Weld bölgesinden üretilen madenin Malezya'da zenginleştirilmesi ve zenginleştirme sonrası atıkların bu ülkede kalması bölge halkının ve Malezya hükümetinin büyük tepkisini çekmiş, geçici izin verilmemiştir.

Mount Weld madenin  $1.1 \times 10^6$  ton rezervi olduğu tahmin edilmektedir.

Kuzey Avusturalya'da The Nolans Bore, güneyde Dubbo Zirconia madencilik projeleri üzerindeki çalışmalar sürdürülmektedir.



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

**Vietnam**'ın 2013 yılında NTE üretimi 220 ton olarak gerçekleşmiştir. Vietnam şirketi Lai Chau-VIMICO ile Japon şirketi Dong Pao aralarında anlaşmayla yaparak Vietnam'ın Lai Chau eyaletinin Tam Duong bölgesindeki nadir toprak elementi rezervini beraberce işletme konusunda anlaşmışlardır. İlk aşamada yılda 10.000 ton nadir toprak elementi üretilmesi planlanmıştır.

**Brezilya**'nın nadir toprak elementleri rezervi  $22 \times 10^6$  ton civarındadır. Brezilya'nın 2013 yılında yıllık üretimi 140 ton olarak gerçekleşmiştir. Niyobyum ve tantal ülkede üretilen iki ana NTE'leri durumundadır.

Brezilya'nın en büyük niobiyum rezervi Araxa bölgesinde Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) firmasının sahip olduğu rezervdir. Goias eyaletinde Catalao ve Ovidor şehirlerine yakın bölgede Anglo American's Niobium Şirketi dünyanın en büyük niobium üreticisi durumundadır.

Dünyanın büyük tantalyum üretiminin yapıldığı yerlerden biri olan, Belo Horizonte'ye yakın The Mibra madeni Advanced Metallurgical Group (AMG) tarafından işletilmektedir. Diğer taraftan  $28 \times 10^6$  tonluk bir neodimiyum rezervinin de Batı Bahia bölgesinde bulunduğu açıklanmıştır.

**Malezya**'nın NTE'leri tahmini rezervleri 30.000 ton, 2013 yılı üretimi de 100 ton civarındadır. Malezya'nın nadir toprak mineral üretimi ağırlıklı olarak kalay üretiminde ikincil ürün olarak kazanılmaktadır. Bu arada Pahang bölgesinde yaklaşık 15 değişik NTE oksidi içeren Merapoh rezervi üzerinde çalışma sürdürülmektedir.

Çin,  $\sim 140 \times 10^6$  ton ile dünyada en büyük NTE rezervine sahip olması yanı sıra, en büyük üretim ve tüketicisi de konumundadır.

Harita 3'de NTE kaynakları, Çizelge 7'de bu kaynakların isimleri gösterilmiştir.

**Harita 3: Dünyada NTE kaynak haritası**







Çizelge 7 : Dünyada NTE kaynakları

No	NTE yatağı	Rezervi, ton	Üretim kapasite, ton
1	Bayan Obo	56.392.000	55.000
2	Jianxi	9.303.300	55.000
3	Sichuan	510.000	10.000
4	Morro Dos Seis Lagos	11.730	650
5	Orissa	?	12.700
6	Lovozerkoye	1.150.00	4.000
7	Mount Weld	1.183.400	22.000
8	Mountain Pass	1.840.000	42.402
9	Dubbo	545.340	2.580
10	Nolans Project	848.000	20.000
11	Nechalacto	3.057.000	9.296
12	Holdas Lake	62.208	5.000
13	Kvanefjeki	4.889.9090	43.700
14	Bear Lodge	398.860	10.000
15	Strang Lake	1.147.082	12.120
16	Zandkopsdrift	947.000	17.039
17	Steenkampskraal	29.400	2.500
18	Ulba	?	13.608
19	Zeus	31.800	?
20	Wigu Hill	?	?
21	Lofdal	?	?
22	Pintigna	?	?
23	Eco Ridge	67.222	?
24	Kutessay II	?	1.000
25	Tantalus	?	?
26	Narra Karr	326.700	5.000
27	Bokan Mountain	?	?
28	Lemhi Pass	567.455	?
29	Mau Xe North And South	11.740.000	30.000
30	Dong Pao	759.000	7.000
31	Rodeo De Los Molles	1.176.000	?

Kaynak: Joe Weisenthal, <http://www.businessinsider.com/rare-earths-map>

NTE kaynaklarının ülkelere yayıldığı görülmektedir. Ancak oluşumların çoğu da ekonomik olmadığından işletilme olanağı yoktur. Hatta üretim yapılan bazı madenler de zaman zaman maliyet ve arz-talebin etkisiyle faaliyetlerini durdurmakta, ekonomik olarak uygun olduğunda yatak tekrar işletmeye almaktadırlar.

2012 yılında Çin Devlet Konseyi Basın Ofisi **“Çin’de Nadir Toprak Elementlerine İlişkin Durumlar ve Politikalar”** başlıklı bir kitap yayınlamış, n.yildiz



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Pekin'de düzenlenen basın toplantısıyla bu kitabın tanıtımı yapılmıştır. Kitapta, Çin'deki nadir toprak elementleri rezervinin dünya toplamının sadece %23'ünü oluşturduğu belirtilmiş, geçmişte bunların "lahana ve havuç" fiyatına satıldığı ifade edilmiştir. Aynı yıl içinde Çin nadir toprak elementleri ihracatına kota konulmuş, ihracat fiyatlar yükseltilmiştir.

Çizelge 8'da dünyadaki önemli nadir toprak element rezervleri ile bu rezervler hakkında bilgi verilmiştir.

**Çizelge 8: Dünyadaki önemli nadir toprak element rezervleri**

Rezerv	Ülke	Kayaç	Laterit	Tenör, %
Ngulla	Tanzanya	Karbonat	Evet	2.24 REO
Bayan Obo	Çin	Fe oksit, Cu, altın	Hayır	6 TREO
Strange Lake	Kanada	Alkali sokulum	H	1.16 REO
Bokan Mt.	ABD	Damar sistemi	H	0.08 TREO
Mt. Welt	Avustralya	Karbonat	E	7.9, 11.7 REO
Zandkopsdrift	G.Afrika	Karbonat	H	2.32 REO
Tantalus	Madagaskar	Granit	E	1.52 REO
Mt.Pass	ABD	Karbonat	H	8.24 REO
Bear Lodge	ABD	Alkali kompleks	H	3.6 REO
Dong Pao	Viyetnam	Granit	E	5.22 REO
Araxa	Brezilya	Karbonat	E	5 TREO
Jianghua	Çin	Granit	E	0.035 TREO
Mabounie	Gabon	Karbonat	E	NA
Maderia	Brezilya	Karbonat	E	NA
Pitinga	Brezilya	Apogranit kumtaşı	E	NA
Stronmberg	Avustralya	Bozmuş tuf, kum taşı	E	0.43 TREO

### 5. Dünya nadir toprak element üretimi

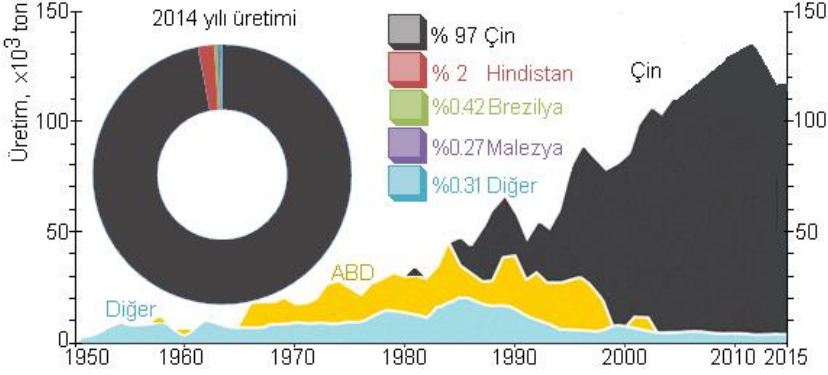
NTE üretimi zenginleştirilmesi, zenginleştirilmiş konsantrelerin kullanım amacına uygun hale getirilmesi bilgi, teknoloji, deneyim ve en önemlisi de uzmanlık gerektirmektedir. Bu özelliklerin tamamı da Çin'de toplanmıştır. Bu nedenle NTE içeren bir rezervin bulunması kadar bu rezervi işletebilecek bilgilere ve teknolojiye de sahip olunması gerekmektedir.

1950'lerde yılda 1.000 tonun altındaki NTE üretimi, gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde  $150 \times 10^6$  tonlara ulaşmıştır.

Grafik 9'da 1950 yıllardan günümüze kadar gerçekleşen NTE üretimi gösterilmiştir.



**Grafik 9: 1950 yılından günümüze kadar NTE üretimi**



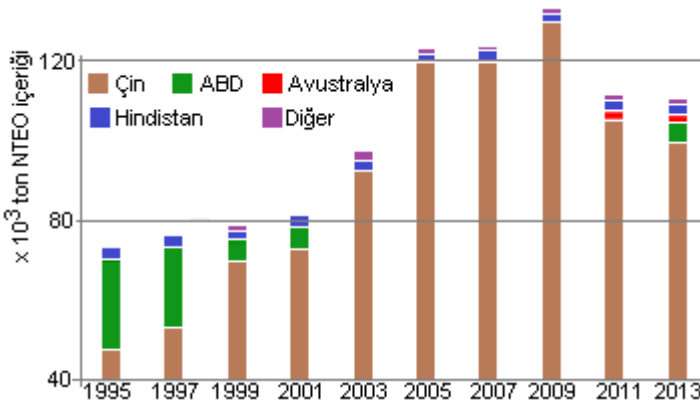
Grafikte Çin'in dünya NTE üretimi içinde 1980'li yıllardan sonra yer aldığı görülmektedir. Esasen 1980 öncesi Çin kendi gereksinimini karşılamaya yönelik yeteri büyüklükte üretim yapmıştır. 1965'li yıllarda NTE'ler monazit içeren plaserlerle ABD'deki Mountain Pass bölgesinden üretilmiştir. 1985'li yıllardan sonra da NTE üretiminde Çin dünya pazarlarında yerini almıştır.

2015'li yıllara gelindiğinde Çin dünyada tüvenan NTE üretiminin %95'ini, NTO üretiminde de % 95'inden daha fazlasını gerçekleştirmektedir. Nadir toprak metallere de yaklaşık %90'ını Çin'de üretilmektedir.

NTE üretimi 1980 yıllarında teknolojiye hızlı gelişime ayak uydurarak ciddi boyutta artmıştır. Bu artış dünya ekonomisine bağlı olarak düzenli bir şekilde artmakta, ekonomik krizlerin yaşandığı yıllarda da üretim hızı düşmektedir.

Grafik 10'da ülkelerin yıllara göre NTO, Grafik 11'de de dünya NTO üretimi gösterilmiştir.

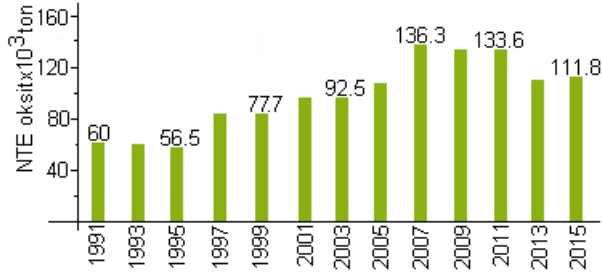
**Grafik 10: Ülkelerin NTO üretimi**





## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

**Grafik 10: Dünya NTO üretimi**



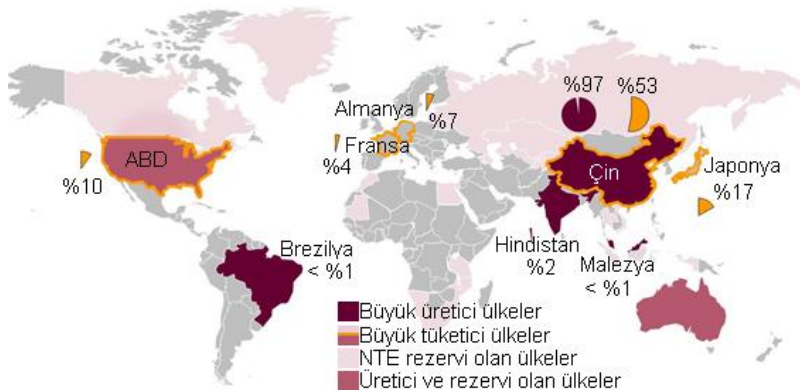
Bu grafiklerde Rusya görülmemektedir. Rusya'nın da  $2.2 \times 10^3$  ton/yıl civarında bir üretimi mevcuttur.

Çin dünyada kullanılan neodimiyum-demir-bor ( $NdFeB$ ) ile samaryum kobalt ( $SmCo$ ) mıknatıslarının büyük bir kısmını üretmektedir. Dünya NTE üretimi yaklaşık  $130 \times 10^3$  ton/yıl, bu üretimin parasal değeri de  $4 \times 10^9$  \$/yıl civarında olup Çin dünya NTE'leri üretiminin %95'ini gerçekleştirmektedir. İnsanların daha rahat yaşamayı arzu ettikleri sürece NTE'ye olan talep de artacaktır. Bu talebin kısa dönemde 150.000 ton/yıl çıkacağı, gelecek yıllarda da mıknatıs üretimi için NTE talebinin yılda %15'ler, otomobil sektörü için %10 seviyelerinde artacağı beklenmektedir. Bu artışa bağlı olarak bazı NTE'lerin arzında dar boğaz yaşanacağı tahmin edilmektedir.

### 6. Dünya nadir toprak elementleri arz ve talebi

Harita 4'de dünyada önde gelen NTE üretici, tüketici ülkelerle rezervi olan ülkeler gösterilmiştir.

**Harita 4: Dünyada NTE üretici, tüketici ve rezervi olan ülkeler**





Avrupa ülkeleri NTE oluşumlarına sahip olsa da ekonomik olarak işletilen yatak sayısı yok denecek kadardır. Harita 5'de Avrupa'da NTE kaynakları gösterilmiştir.

**Harita 5: Avrupa'da NTE kaynakları**



Kaynak: <http://www.eurare.eu/countries/reemap.html>

Haritalardan NTE rezervlerinin başta Kanada, Rusya ve Avustralya olmak üzere çoğu ülkeye yayıldığı görülmektedir.

Çin NTE üretim ve tüketim oranlarının en yüksek olduğu ülkedir. Dünyanın en büyük rezervlerine ve ileri teknolojiye sahip olması da göz önüne alındığında üstünlüğü NTE konusundaki konumu tartışılmaz bir durumdadır. Bu arada ABD, Japonya, Almanya ve Fransa tüketimde Çin'den sonra büyük tüketici ülkelerdir.

NTE dünya pazarlarında Çin'in kesin üstünlüğü vardır. Çin gerektiğinde bu üstünlüğünü dış politikasında güç olarak da kullanmaktadır. Örneğin 2010 yılında Çin Japonya ile yaşadığı anlaşmazlıkta bu ülkeye NTE ürünleri ihracatını durdurmuştur. Bu dönemde nadir toprak oksit fiyatları katlanmıştır.

Günümüzde ABD, Japonya ve Avrupa Birliği üyeleri ülkelerinde yeterli kaynak olmaması, mevcutların da üretim maliyetleri açısından Çin ile rekabet edememeleri nedeniyle NTE bakımından Çin' bağımlıdır. Bu nedenle ülkeler geri dönüşüm ile ArGe çalışmalarına önem verip NTE'lerin yerini alabilecek yeni kaynak ve maddelerin arayışlarına girmişlerdir.

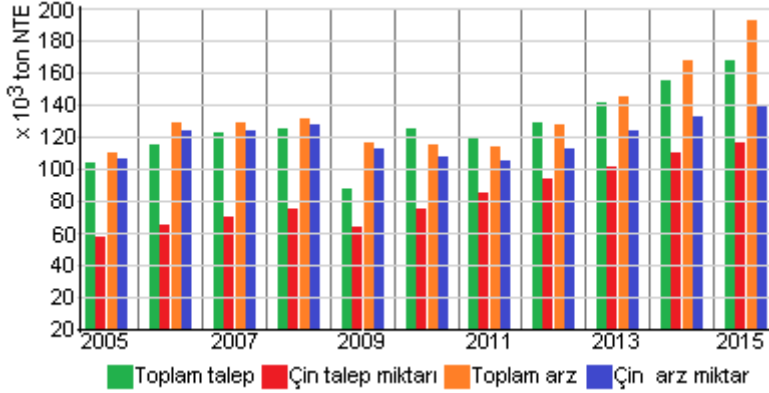
***İşte bu noktada yakın gelecekte ülkemiz kaynaklarının gündeme gelmesi(!) kaçınılmaz görünmektedir. Ülke olarak kendi kaynaklarımızın kendi gereksinimimizin karşılanması, üretilecek NTE'lerin ülke menfaatleri doğrultusunda zenginleştirilerek, kendi sanayimizin girdisi olarak kullanmamıza yönelik bir strateji oluşturması zorunluluğu vardır. Bu stratejinin belirlenmesi ve gerekli çalışmalara zaman kaybedilmeden başlanmalıdır.***



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Grafik 12'de 2005-2015 yılları arasında dünya ve Çin'in NTE arz ve talep değerleri gösterilmiştir.

**Grafik 12: Dünya nadir toprak elementleri arz ve talep**



Grafikte Çin'in arz ve talep konusunda en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

### 7. NTE dünya ticareti

NTE ticareti NTE oksit ya da NTE metalin pazarlanması şeklindedir. Çizelge 9(1,2)'de NTE oksit-metal ağırlık dönüşüm çizelgesi verilmiştir.

**Çizelge 9(1): NTE oksit-metal ağırlık çevirimi**

Grubu	Sembölü ve atom numarası	Elementin atom ağırlığı	Oksit formülü	Oksit ağırlığı	Oksite çevirim	Elemente çevirim	Metal gr /Oksit kg
<b>Seryum Grubu, hafif NTE'ler</b>							
Lantanyum	La, 57	138.90	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	325.80	1.17	0.85	852.68
Seryum	Ce, 58	140.12	CeO <sub>2</sub>	172.11	1.23	0.81	814.09
			Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	328.23	1.17	0.85	853.77
Praseodimiyum	Pr, 59	140.90	PrO <sub>2</sub>	172.90	1.23	0.81	814.94
			Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	329.81	1.17	0.85	854.47
			Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	1021.44	1.21	0.82	827.70
Neodimiyum	Nd, 60	144.24	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	336.47	1.67	0.86	857.35
Prometiyum	Pm, 61	146.51	Pm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	341.82	1.16	0.86	859.58
Samarium	Sm, 62	150.36	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	348.71	1.16	0.86	862.36
			SmO	166.35	1.10	0.90	903.82
Europiyum	Eu, 63	151.96	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	351.91	1.16	0.86	863.61
			EuO	167.95	1.10	0.90	904.75
Gadolinium	Gd, 64	157.25	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	362.49	1.15	0.87	867.59



Çizelge 9(2): NTE oksit-metal ağırlık çevirimi

Grubu	Sembölü ve atom numarası	Elementin atom ağırlığı	Oksit formülü	Oksit ağırlığı	Oksite çevirim	Elemente çevirim	Metal gr /Oksit kg
<b>Yttriyum Grubu, ağır NTE'ler</b>							
Terbiyum	Tb, 65	158.92	TbO <sub>2</sub>	190.92	1.20	0.83	832.40
			Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	365.84	1.15	0.87	868.80
			Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	747.69	1.17	0.85	850.21
Disprosiyum	Dy, 66	162.50	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	372.99	1.15	0.87	871.31
Holmiyum	Ho, 67	164.93	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	377.85	1.15	0.87	872.97
Erbiyum	Er, 68	167.26	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	382.51	1.14	0.87	874.52
Tulyum	Tm, 69	168.93	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	385.86	1.14	0.87	875.61
			TmO	184.93	1.10	0.91	913.48
Ytterbiyum	Yb, 70	173.04	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	394.07	1.14	0.88	878.20
			YbO		1.10	0.91	915.37
Lutetiyum	Lu, 71	174.96	LuO <sub>3</sub>		1.14	0.88	879.38
Yttriyum	Y, 39	88.905	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	225.81	1.27	0.79	787.44

Kaynak:Robert Beauford, Not: Rakamlar yuvarlatılmıştır.

Çizelge 10'da 2013 yılı dünya NTE ihracat, Çizelge 11'de 2012 yılı NTE ithalat değerleri verilmiştir.

Çizelge 10: 2013 yılı dünya NTE ihracatı

Ülke	Ihracat ton	Ağırlıkça ihracat, %	Ihracat değeri, X10 <sup>6</sup> \$	Değer olarak ihracat, %
Çin	22.493	26.4	576.165	31.4
Avusturalya	7.267	8.5	188.464	10.2
ABD	7.116	8.4	85.024	4.6
Japonya	5.952	7.0	75.693	4.1
Rusya	5.314	6.2	50.557	2.7

Kaynak: Ismar Borges de Lima ve Walter Leal Filho,

Çizelge 11: 2013 yılı dünya NTE ithalatı

Ülke	İthalat ton	Ağırlıkça ithalat, %	İthalat değeri, X10 <sup>6</sup> \$	Değer olarak ithalat, %
Japonya	14.693	22.4	461.758	30.9
ABD	14.320	21.8	292.278	19.6
Almanya	6.973	10.6	158.321	10.6
Estonya	4.794	7.3	114.376	7.6
Çin	3.668	5.6	65.615	4.4

Kaynak: Ismar Borges de Lima ve Walter Leal Filho,

Çin'in NTE ihracatı yaptığı ülkeler, ihracat miktarı ve ihraç edilen ürün yıllara göre değişim göstermektedir. Yaklaşık değerlerle Çin ihracatının %15'ini



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

ABD'ye, %55'ini Japonya'ya, %10'nunu Fransa'ya, %3'ünü Almanya'ya, %2'sini Hollanda, %2'sini İtalya'ya gerçekleştirmektedir. Çin'in Avrupa ülkelerine yaptığı ihracat, bu ülkelerin %100 gereksinimlerini karşılamaktadır.

Çizelge 12'de Çin'in 2014 yılı NTE oksitleri ihracat değerleri gösterilmiştir.

**Çizelge 12: Çin'in 2014 yılı NTE oksitleri ihracat değerleri**

Yıllar	kg	%artış	\$	%artış
Seryum oksit	1.225.924	7.3	13.607.424	29.1
Yitriyum oksit	1.059.477	23.6	17.826.434	-22.7
Lantanyum oksit	11.178.976	9.7	65.245.455	-21.8
Neodimiyum oksit	365.714	20.2	23.898.703	13.2
Europiyum oksit	1.888	-31.6	1.479.798	-58.0
Disprosiyum	18.078	-68.7	7.126.031	-93.8
Terbiyum oksit	11.534	10.1	7.466.105	-12.9
Praseodimiyum oksit	120.022	-5.5	14.340.827	20.5
Diğer oksitler	1.734.075	56.4	87.144.666	-32.7
<b>Toplam</b>	<b>16.715.688</b>	<b>15.7</b>	<b>238.135.443</b>	<b>-41.5</b>

Kaynak: China Customs Information Center

Çin dünya NTE ticaretini ve fiyatlarını belirleyici durumundadır. Çizelge 13'de dünya pazarlarında NTE fiyatları gösterilmiştir.

**Çizelge 13:Nadir toprak element fiyatları**

Yıllar	2009	2010	2011	2012	2013
Lantanyum oksit, \$/ kg	4.60	23.80	98.75	25.50	7.80
Seryum oksit, \$/ kg	3.40	23.10	98.20	24.70	7.80
Praseodimiyum oksit, \$/ kg	14.40	49.30	204.10	116.15	91.40
Neodimiyum oksit, \$/ kg	15.20	50.60	250.60	122.40	71.90
Samariyum oksit, \$/kg	3.40	16.00	104.80	58.05	13.30
Europiyum oksit, \$/kg	478	553	2.923	2.596	1.095
Gadoliniyum oksit, \$/ kg	-	10.70	62.70	24.16	24.03
Terbiyum oksit, \$/kg	360	557	2.344	2.025	920
Disprosiyum oksit, \$/kg	109	235	1.508	1.190	555
Holmiyum oksit, \$/kg	-	41	303	107	66
Erbiyum oksit, \$/kg	-	90	236	150	68
Yterbiyum oksit, \$/kg	-	27	91	113	53
Lutetiyum oksit, \$/kg	-	274	827	1.385	1.200
Yitriyum oksit, \$/kg	-	60	143	111	26

Katnak:<http://www.statista.com/statistics/449834/average-rare-earth-oxide-prices-globally/>

Çizelge 14'de 2015 yılı sonu hafif nadir toprak oksit ve metalleri, Çizelge 15'de da ağır nadir toprak oksit ve metalleri gösterilmiştir.





**Çizelge 14: 2015 yılı sonu hafif nadir toprak oksit ve metal fiyatları**

2015 yılı sonu hafif nadir toprak oksit ve metalleri	Fiyat, \$/kg
Lantanyum metal $\geq 99\%$	7.00
Lantanyum oksit $\geq 99.5\%$	2.00
Seryum metal $\geq 99\%$	7.00
Seryum oksit $\geq 99.5\%$	2.00
Praseodimiyum metal $\geq 99\%$	85.00
Praseodimiyum oksit $\geq 99.5\%$	52.00
Neodimiyum metal $\geq 99.5\%$	60.00
Neodimiyum oksit $\geq 99.5\%$	42.00
Samaryum metal $\geq 99.9\%$	7.00

**Çizelge 15: 2015 yılı ağır nadir toprak oksit ve metal fiyatları**

2015 yılı ağır nadir toprak oksit ve metalleri	Fiyatı, \$/kg
Europiyum oksit $\geq 99.99\%$	150.00
Gadolinyum metal 99.9%	55.00
Gadolinyum oksit $\geq 99.5\%$	32.00
Terbiyum metal $\geq 99.9\%$	550.00
Terbiyum oksit $\geq 99.5\%$	400.00
Disprosiyum metal $\geq 99\%$	350.00
Disprosiyum oksit $\geq 99.5\%$	230.00
Erbiyum metal $\geq 99.9\%$	95.00
Erbiyum oksit $\geq 99.5\%$	34.00
Yitriyum metal $\geq 99.9\%$	35.00
Yitriyum oksit $\geq 99.99\%$	6.00
Skandiyum metal 99.9%	15.000,00
Skandiyum oksit $\geq 99.95\%$	4.200,00
Mischmetal $\geq 99\%$	6.00

Geleceğe yönelik olarak Çin dünya pazarlarında NTE ithalati, ihracatı ve fiyatı konusunda belirleyici konumunu koruyacaktır.

## 8. Nadir toprak elementlerinin geleceği

NTE'lerin yerini alabilecek malzemeye yönelik günümüze değin yapılmış ArGe çalışmalarından olumlu bir sonuç alınamamıştır. 20-30 yıl öncesine kadar elektronik sistemlerde 11 değişik malzeme kullanılırken günümüzde daha işlevsel bilgisayar ve akıllı telefonlarda 60'dan daha çok sayıda değişik malzeme kullanılmaktadır.

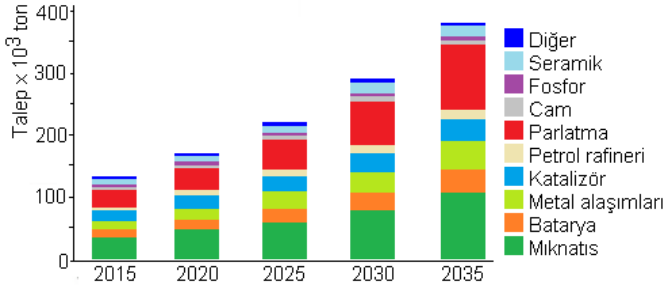


## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Gereksinimlerin karşılanması için geleceğe yönelik çalışmalar; ArGe çalışmaları ile NTE'ler yerine kullanılabilir malzemelere, geri dönüşüm ve yeni NTE kaynaklarının bulunmasına yönelik olacaktır.

Grafik 13'de geleceğe yönelik NTE'lerin sektörel talep öngörüsü gösterilmiştir.

**Grafik 13: Geleceğe yönelik NTE talebi öngörüsü**

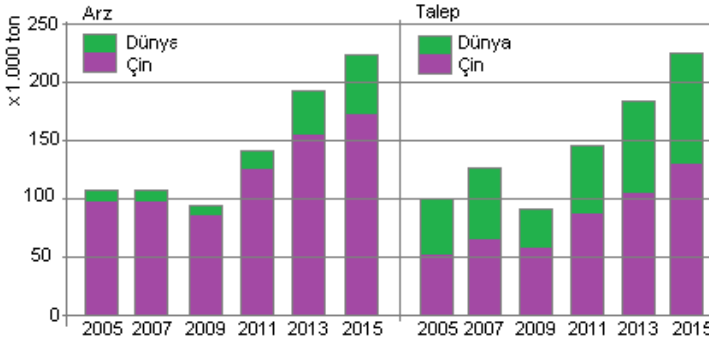


Grafikte gelecek yıllara da en yüksek NTE tüketimi miknatis üretimi için gerçekleşecektir. Miknatisi parlatma amaçlı kullanım takip edecektir.

2025 yılında NTE talebinin  $220 \times 10^3$  ton/yıl, 2035 yılında  $350 \times 10^3$  ton/yıl olacağı öngörülmektedir. Yeni kaynaklar ya da ArGe çalışmalarından sonuç alınamaması durumunda bu yıllardan sonra bazı NTE'lerde arz sıkıntısı yaşanacağı, rezervlerin, haliyle arzın talebi karşılanamayacağı riski vardır. Ancak NTE'lerin stratejik element olması durumuna bağlı olarak ülkeler NTE ile ilgili başta rezerv olmak üzere istatistik bilgilerini, ileriye dönük öngörülerini sürdürdükleri strateji doğrultusunda istedikleri kadarını paylaştıklarının göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Grafik 14'de 2005-2015 yılları arası yapılmış arz ve talep öngörüsü, Çizelge 16'da de 2010-2015 yılı arasında gerçekleşen üretim değerleri gösterilmiştir.

**Grafik 14: 2005-2015 yılları arası arz ve talep öngörüsü**



Kaynak: Dudley Kingsnorth /Industrial Minerals Co. of Australia



Çizelge 16: 2010-2015 yılları arası NTE tüketimi

Yıllar	2010	2011	2012	2013	2014	2015
NdFeB	26.000	27.300	28.700	30.100	31.600	33.000
Ni-H	22.000	23.000	24.000	26.000	26.000	27.000
Floresans	8.500	8.700	8.800	9.200	9.200	9.400
Katalizör	24.500	25.200	26.000	27.200	27.500	28.400
Seramik	7.000	7.070	7.140	7.200	7.280	7.370
Parlatma	19.000	19.300	19.600	19.900	20.200	20.500
Cam	11.000	11.050	11.100	11.150	11.220	11.280
Diğer	7.000	1.050	7.100	7.150	7.200	7.250
<b>Toplam</b>	<b>125.000</b>	<b>128.670</b>	<b>132.450</b>	<b>136.500</b>	<b>140.200</b>	<b>144.200</b>

2005'li yıllardan sonra 2005-2015 yılları arası arz ve talep öngörülerine bakıldığında 2007 yılında  $110 \times 10^3$  ton öngörülen NTE üretiminin  $135 \times 10^3$  ton olarak, 2015 yılında öngörülen yaklaşık  $225 \times 10^3$  ton üretimin  $115 \times 10^3$  ton olarak gerçekleştiği görülmektedir. Öngörülerde de büyük hatalar olabilmektedir.

2010 yılından 2015 yılına kadar NTE tüketiminde %15'lik bir artış gözlenmiştir. Bu artış gelecek yıllarda da yakın oranda devam edecektir.

Çin dünya NTE rezervlerini, dış ticareti, teknolojiyi elinde tutmaktadır. Gelecekte NTE kullanan ve gereksinimini Çin'den sağlayan ülkeler kuşkusuz yeni arayışlar içinde olurken bu konuda Çin ile olan ikili ilişkileri de iyi tutmak zorunda kalacaklardır.

Arz kaynaklarını çeşitlendirmek amacıyla, ABD'de Mountain Pass madeni ile Avustralya'nın Lynas Mount Weld madeni ve Lynas'ın Malezya'da bulunan maden işleme tesisleri (LAMP) üretime geçirilmiştir.

Kanada, Güney Afrika ve Kazakistan'da yeni madenler açılması için araştırmalar ve incelemeler yapılmaktadır.

ABD, Landisville'de yerleşik Electron Energy Corporation (EEC) firması samaryum-kobalt ( $SmCo$ ) sabit mıknatıslarını, Hitachi Metals North Caroline Ltd. firması düşük kapasitede neodimiyum-demir-bor ( $NdFeB$ ) mıknatıslarını, Tolleson Arizona'da bulunan Santoku America Ltd. de samaryum-kobalt ( $SmCo$ ) ve neodimiyum-demir-bor ( $NdFeB$ ) mıknatıslarını üretmektedir. Gelekte de NTE'leri yerine kullanılacak malzemelerin belirlenmesine yönelik ArGe çalışmaları devam etmektedir.

Bu arada Avrupa'da uzun bir süredir NTE geri dönüşümü amacıyla faaliyet gösteren Belçika'nın Rhodia firması kapasitesini artırma kararı almıştır (Gökhan Binzet, Uzman, Asya Pasifik Araştırma Merkezi).

Lantanyum oksit, seryum oksit gibi nadir toprak element oksitleri daha ileri işleme gerek olmadan pazara sürüldüğünden, Molycorp'un Amerika'da,



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Lynas'ın Avustralya ve Malezya'daki üretimi ile Çin'in nadir toprak element arzına bağımlılığın kırıldığı yönünde yanlış bir algı oluşmuştur.

Henüz dünyada NTE konusunda ilave bir kapasite yaratılamamıştır. Yeniden işletmeye açılan Mountain Pass/ABD ve Mount Weld/Avustralya'daki madenlerden ağır NTE'leri değil, hafif NTE'leri üretilmektedir. Hafif NTE'leri üretmek, toplam (*hafif ve ağır*) NTE arzına yönelik katkı sağlamamaktadır. Bu nedenle NTE kullanarak ileri teknoloji ürünü üreten ülkelerde özellikle NTE'lerden neodimiyum, evropiyum, terbiyum, disporsiyum ve yitriyum ile ilgili kısa ve orta dönemde arz sıkıntısı yaşanacağı düşünülmektedir. Ayrıca Mountain Weld'in üretiminin Malezya Kuantan'da bulunan NTE işleme tesisi *Lynas Advanced Materials Plant-LAMP*'nin kapasitesinin sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.

Santoku America Inc., Hitachi Metals North Caroline Ltd. ve Electron Energy Corporation'ın samaryum-kobalt (*SmCo*) ve neodimim-demir-bor (*NdFeB*) mıknatis üretimleri de hammadde açısından Çin'e bağımlıdır. NTE'lerin Çin dışında üretilmesi durumunda da, *sabit mıknatis üretiminde olduğu gibi*, rafine edilmek ve daha sonra metal ve alaşımlara dönüştürülmek üzere Çin'e geri gönderilmek durumundadır(Gökhan Binzet, Uzman, Asya Pasifik Araştırma Merkezi).

Önümüzdeki 20 yıl sonunda NTE talebi dünyadaki teknolojik gelişmelere, ülkelerin geliştirdikleri stratejiler ve dünyadaki dengelere bağlı olacaktır. Bu arada ülkemizin rezervlerinin işletilmesi de çok yakın gelecekte gündeme gelecektir. Ülke olarak bu konuda hazırlıklı olunması, bu kaynaklarımızın ülkemiz çıkarları doğrultusunda değerlendirilmesi için bir strateji oluşturması gerekmektedir.

### 9. Nadir toprak elementlerinin geri dönüşümden kazanımı

Çin Dünyadaki NTE rezervlerin önemli bir bölümüne sahiptir. Gereksinimlerini ithalat yoluyla karşılayan ülkeler için geri dönüşüm ayrı bir önem taşımaktadır. Diğer taraftan ülkeler NTE rezervlerinin büyüklüğünü bilgi olarak diğer ülkelerle paylaşmazken bazıları da rezervlerini olduğundan büyük göstermeye çalışmaktadırlar.

***21.yüzyılda, insanlar yaşamlarının bir parçası olan malzemelerin nereden ve nasıl üretildiğini, mevcut kaynakların büyüklüğünü düşünüp geleceği sorgulamaya başladıklarında başta metal ve kağıdın geri dönüşümü daha da önem taşıyacaktır.***

NTE geri dönüşümünün dört aşaması vardır;

- *Toplama*
- *Sökme*
- *Sınıflandırma*
- *Geri kazanım işlemi*



Şu anda iyi bir yaklaşımla tüm nadir toprak minerallerinin sadece yaklaşık %2 kadarı geri dönüştürülmektedir. Kullanılmış floresan ampuller, sabit diskler başta olmak üzere bilgisayarda NTE'lerinin kullanıldığı malzemelerin geri dönüştürülmesi olanağı vardır.

### Resim 25 : Nadir toprak elementlerin geri dönüşümü



Bu konuda bazı ülkelerde ciddi olarak çalışmalara başlanmıştır. EPA'ya göre, 2009 yılında kullanılan bilgisayarın % 38'i, televizyonların % 18'i cep telefonlarının %8'i geri dönüşüm için toplanmıştır. Ancak floresan ampullerin ancak % 3-5'i geri dönüşüme sokulabilmiştir.

NTE'lerin geri dönüşümü için öncelikle daha fazla tüketici bilinci ve katılımı gerekmektedir. Tüketici bilincinin yanı sıra, geri dönüşüm malzemelerinin toplanabilmesi için iyi bir organizasyon gerekmektedir. Örneğin hiç kimse kullanım ömrü bitmiş floresan lambayı, birilerinin gelip alması için evinde uzun süre bekletmeyecektir. Geri dönüşüm için apartmanlarda ya da mahallerde geri dönüşüm kutuları yerleştirilmeli, bu kutuları dolup ortalığı kirletmeden zamanında boşaltılmalıdır.

Floresan ampullerin içindeki tozlar geri kazanılabilir nadir toprak fosforudur. Geçmiş dönemlerde bu ampullerin içerdiği cıva, ampulün iki ucu açılarak kazanılmış, bu nedenle floresan atıkları biraz önemsenmiştir. Ancak günümüzde bu tozların ne olduğu çoğu kimse tarafından da bilinmemektedir.

Cep telefonu içinde hoparlör, titreşim sistemlerinde kullanılan mıknatıslar, elektronik devrelerin geri dönüşüm adına ayrılması zordur. Bunların yanı sıra büyük mıknatısları toplayıp ayırmak daha kolaydır. LCD ekranlar europiyum, terbiyum ve euridyum içermektedir. Kullanılmış elektronik cihazların toplanması kadar bunları söküp ayırtmak da zor ve yoğun emek istemektedir.

NE içeren malzemelerin geri dönüşüm amacıyla toplanması belki de geri dönüşümün en kolay aşamasıdır. NTE kullanılarak üretilmiş, mıknatıs, elektronik devreler gibi ürünlerden sökülerek sınıflandırılmış parçaların tekrar kullanılabilir hale getirebilmesi için, bu parçalar karmaşık bir ısı ve kimyasal süreçten geçmektedir. Bu süreç sonunda NTE'lerin bazıları saf metal bazıları da değişik kimyasal yapıda kullanıma hazır hale getirmektedir. Bu süreç de önemli bir bilgi ve teknoloji gerektirmektedir.



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

### 10. Türkiye'nin nadir toprak element dış ticareti

Türkiye'nin 2014 ve 2105 yıllarında ithal ettiği nadir toprak metalleri Çizelge 17'de verilmiştir.

Çizelgelerden 2015 yılında nadir toprak metalleri için yaklaşık  $1.5 \times 10^6$  \$ ödendiği görülmektedir. Bu arada nadir toprak elementleri kullanılarak üretilmiş ürün ithalatının göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

**Çizelge17: Türkiye'de nadir toprak metal ithalat değerleri**

Nadir toprak metaller	2014		2015	
	kg	\$	kg	\$
Skandiyum,yitrium, alaşım halinde	4.412	61.718	7,020	70.374
Yttriyum/skandiyumun anorganik bileşikleri	7.132	402.117	20.525	403.754
Yttriyum/skandiyumun organik bileşikleri	3.966	502.567	6.059	904.990
Skandiyum, yttriyum, diğer	4.040	77.827	2.155	91.667

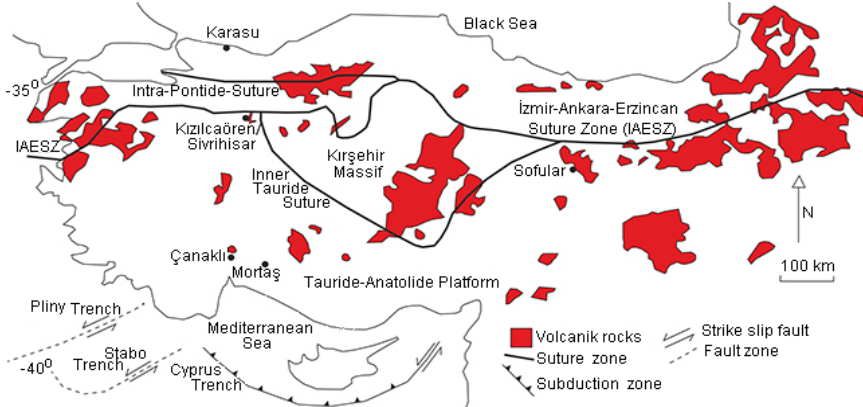
Kaynak: TÜİK

### 11. Türkiye'de nadir toprak element oluşumları

Ülkemizde NTE'ler, alkalın-ultramafik ve karbonatit komplekslerine ek olarak yaygın bir şekilde peralkalin ve peraliminyumlu volkanikler, granitler ve granitik pegmatitler içinde de cevherleşmişlerdir. Ticari yönden en önemli yataklar çoğunlukla pegmatit ve karbonatlarla ilişkilidir. Birincil nadir metal yataklarının ayrışması sonucu oluşan ikincil yataklar, esas olarak denizel ya da alüvyal plaserler şeklinde birikmişlerdir(A.H.Gültekin).

Harita 6'da Türkiye'nin NTE yataklanmasına uygun bölgeleri gösterilmiştir.

**Harita 6: Türkiye'de NTE yataklanmasına uygun bölgeler**



Kaynak: <http://www.eurare.eu/countries/turkey.html>, Kaynak notu: Harita Robertson ve diğerleri (2012) ile Sarıfakioğlu ve diğerleri (2009) çalışmalarından düzenlenmiştir.



MTA Genel Müdürlüğü 1959 yılında, Eskişehir ili Sivrihisar ilçesinin 40 km kuzeybatısındaki Kızılcaören, Karkın ve Okçu köyleri arasındaki 15 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yaptığı çalışmalar sonrası ortalama %0.212 ThO<sub>2</sub> , %37.44 CaF<sub>2</sub>, %31.04 BaSO<sub>4</sub> ve % 3.14 nadir toprak oksit içeren *Beylikakır NTE mineraller* rezervini belirlemiştir.

NTE ve toryum kaynağı olan bu yatak karmaşık mineralleşmeye sahip olup değerli mineraller olarak florit, barit ve bastnazit içermektedir. Nadir toprak elementlerin çoğu bastnazit içerisinde yer almıştır.

Çizelge 18'de Beylikakır NTE minerallerinin kimyasal yapısı verilmiştir.

**Çizelge 18: Beylikakır NTE minerallerinin kimyasal yapısı**

NT Elementleri	İçerik, %	Bileşik	İçerik, %	Element	İçerik, %
Ce	3.29	CaCO <sub>3</sub>	2.80	S	3.60
La	2.83	SiO <sub>2</sub>	1.30	Pb	0.071
Nd	0.55	CaF <sub>2</sub>	52.47	Sc	0.004
Pr	0.18	BaSO <sub>4</sub>	25.40	Ag	0.003
Sm	220 ppm	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.00	Ti	0.07
Gd	120 ppm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.00	V	0.02
Eu	60 ppm	ThO <sub>2</sub>	0.02	Mg	0.20
Tb	<25 ppm	SrO	0.60		
Dy	60 ppm	MnO	0.54		
Ho	20 ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.00		
Er	40 ppm	CO <sub>2</sub>	1.16		
Tm	<10 ppm				
Yb	25 ppm				
Lu	<10 ppm				
Y	300 ppm				

Kızılcaören florit-barit-NTE mineralleşmesi esas olarak hidrotermal çözeltilerle oluşmuştur. Hidrotermal çözeltilerin kaynağının da alkali volkanizma ile kökensel olarak ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yatak piroklastik kayalarında epitermal damarlar ve breş dolguları şeklindedir (Pınar Şen, Ercan Kuşcu ve Sebahattin Ak, Gültekin ve Örgün, 2000; Gültekin ve diğerleri, 2002).

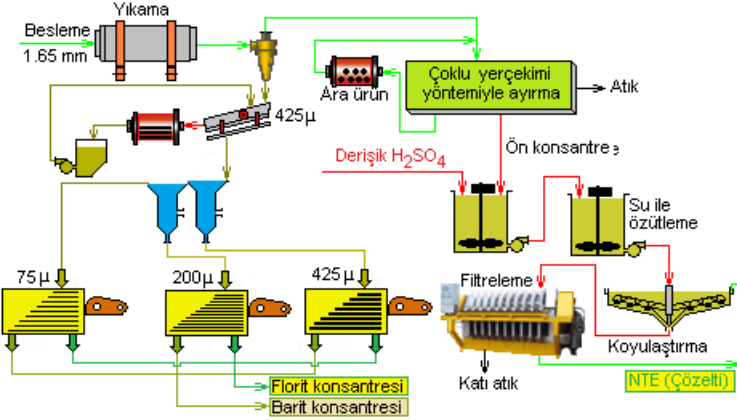
Türkiye'nin NTE potansiyelini belirlemek ve dolayısıyla gelecekte gereksinim duyulacak NTE'leri kendi kaynaklarından elde edilmesine yönelik ülkemizde alkali mağmatizmanın yoğun olarak gözlemlendiği bölgelerin NTE cevherleşmesi açısından detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir (Pınar Şen, Ercan Kuşcu ve Sebahattin Ak).

Beylikakır NTE yatakları Türkiye için özel önem taşımaktadır. Dünyadaki diğer NTE mineralleri gibi ThO<sub>2</sub> içermektedir. Ancak şu ana kadar yatağın üretime yönelik ciddi bir çalışma yapılmamıştır.



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Yataktaki minerallerin zenginleştirilmesine yönelik yapılmış araştırmalardan birinde önerilen akım şeması Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmanın sonuç bölümünde; *Cevher zenginleştirme ve metalürjik çalışmalar sırasında, Beylikahır cevherine uygulanabilecek birçok seçeneğin olduğu ortaya çıktığı, en uygun yöntemin seçimi, hangi ürünlerin, ne kalitede elde edilmesinin belirlenmesinden sonra, yöntemin pilot çapta denemesi ve ekonomik analizin yapılması ile sağlıklı biçimde ortaya çıkarılacağı* ifade edilmiştir. (G.Özbayoğlu ve diğ., 1995)



**Şekil 1: Beylikahır florit, barit, NTE kazanımı için önerilen akım şeması**

Türkiye'de Kızılcaören, Seydişehir Mortaş ve Doğukuzu boksitlerinin olduğu bölgeler NTE cevherleşmelerinin olduğu bölgelerdir. Çanaklı ve Sofular bölgeleri potansiyel NTE rezervleri bakımından kaynak umut vericidir. Bu bölgelerde alınmış ruhsatlarla arama çalışmaları yapılmaktadır. Ancak bu aramaların bir merkezden sistematik olarak yapılmasında yarar vardır.

### 12.NTE minerallerinin zenginleştirilmesi

NTE'leri monazit ve ksenotim gibi fosfatlı, bastnazit gibi karbonatlı kayalardan ekonomik olarak zenginleştirip kazanılmaktadır. NTE oluşumları alkali kayaç bileşikleri, karbonatitler ve plaserlere bağlıdır. Ayrıca NTE'ler ikincil pegmatitler ile değişim geçirmiş kayaların yapılarında da yer almışlardır.

**Resim 26: Bastnazit**

**Resim 27: Monazit**

**Resim 28: Ksenotim**







Bastnazit ( $(LaCe)FCO_3$ ), % 66-77 arasında NTO içeren karbonat, monazit ( $La,Ce, Nd, Th$ )  $PO_4$ , NTE içeren fosfat, ksenotim ( $YPO_4$ ) yitrium fosfat mineralleridir. Bunların yanı sıra NTE'ler uranyum ve apatit cevheri atıklarından da kazanılmaktadır. Yitrium, skandiyum ve diğer NTE'ler yan ürün olarak da kazanılmaktadır. Boksitten alümina üretim sürecinde artık olarak çıkan kırmızı çamur skandiyum kaynağıdır.

NTE'nin ayrı saf olarak üretilmesi için NTO'leri iyon değiştiricilerle veya sıyırmayla birbirlerinden ayrılmaktadır. Saf NTO'ler metalik kalsiyumla nadir toprak metallerine indirgenebilmektedir. Samaryum ve europiyum oksitlerinden metalik lantan ve seryum indirgenerek metal halinde elde edilebilir.

NTE'lerin zenginleştirilmesi oluşumu gibi oldukça karmaşıktır. Öncelikle cevherdeki NTE'leri içeren mineraller toplu sonra da seçimli konsantre olarak birbirlerinden ayrılmaktadır. NTE konsantresi üretim sürecinde çok değişik yöntemler uygulanmaktadır. Dünyadaki nadir toprak minerallerin oluşumları birbirinden farklıdır. Oluşum itibarı ile benzer yataklarda, hatta aynı cevher yatağının değişik bölgeleri için farklı zenginleştirme yöntemleri uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle NTE yataklarının zenginleştirilmesi tasarlanırken yatağın değişik yerlerinden alınan örnekler üzerinde ayrı ayrı ve harmanlanarak çalışılmasında yarar vardır. Ayrıca laboratuvarında elde edilen olumlu sonuçların her zaman endüstriyel boyutta uygulanır olamayacağı göz ardı edilmeden alınan sonuçların pilot boyutta hazırlanacak bir tesiste test edilmesi, tesis kurulduğunda hayal kırıklığına uğranılmaması açısından önemlidir.

Zenginleştirme yöntemleri üretilecek NTE'lerin kullanım amacına bağlıdır. Nadir toprak klorürleri, genelde mıknaşis üretimi için elektrolitik indirgemeyle metale dönüştürülmektedir. Nadir toprak florür ve oksitleri de elektrolitik ve ısı ile indirgenerek metal üretilmektedir. Nadir toprak halojenürleri, sulu nadir toprak çözeltilerinin oksit veya karbonatlı bileşiklere dönüştürüldükten sonra uygun halojen asidi ile tepkimeye sokulmasıyla elde edilmektedir.

Diğer NTE'leri uranyum ve apatit zenginleştirme süreçlerinde atıklardan da üretilmektedir. Yitrium ve skandiyum yan ürün olarak kazanılmaktadır. Boksitten alümina üretimindeki atık olarak alınan kırmızı çamur önemli bir skandiyum kaynağıdır.

NTE'lerin üretiminde öncelikle mineraller zenginleştirilerek konsantre üretilmektedir. Üretilen konsantre asidik veya bazik ortamda özütlenerek yitrium dışındaki elementlerden oluşan mischmetal (karışık metal) olarak isimlendirilen yüksek saflıkta metal ve alaşımlar elde edilmektedir. Süreçteki her aşama bir öncekine göre daha karmaşık ve teknoloji gerektirmektedir.

NTE'leri üretilen konsantrenin iyon değiştiricilerle yada uygun sıralı ısı ile işleme birbirlerinden ayrılmaktadır. Saf nadir toprak oksitler de indirgenerek nadir toprak metalleri üretilmektedir. Samaryum ve europiyum oksitler metalik lantanyum ve seryumla indirgenerek metal halinde getirilmektedir.



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

### 12.1 Fiziksel yöntemle zenginleştirme

Cevher hazırlamada aralarında yoğunluk farkı olan mineralleri ve içerdikleri safsızlıkları birbirinden ayırmak için fiziksel yöntemler yaygın ve ekonomik olarak uygulanmaktadır.

Monazit ve ksenotim mineralleri genellikle yerçekimi yöntemleriyle plaser ya da sahil kumlarından ilmenit, zirkon ve rutil'in üretimi sırasında yan ürünü olarak kazanılmaktadır.

Plaser yataklardaki NTE kazanımı için kuru ve yaş yöntemler beraber uygulanmaktadır. Bu yataklarda bulunan ilmenit, rutil, leucoksen, zirkon ve monazitin zenginleştirmesinde yerçekimi, manyetik, elektrostatik yöntemlerle birbirinden ve safsızlıklardan ayrılmaktadır. Cevherin 100 $\mu$  altında öğütülmesi durumunda cevherin yerçekimi yöntemiyle zenginleştirmesi zor olduğundan bu boyuttaki cevherin flotasyonla zenginleştirilmesi gerekmektedir.

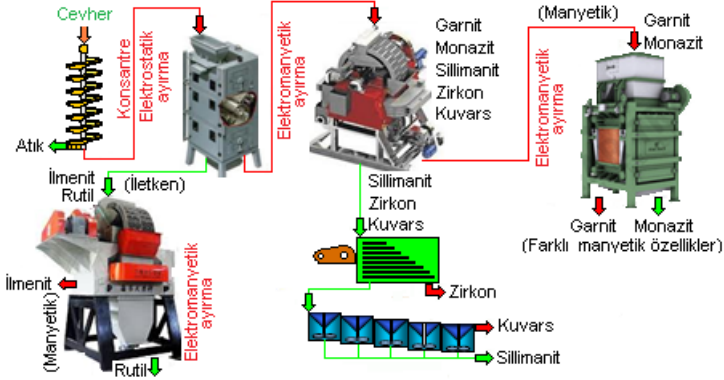
Çizelge 19'da plaser yataklarının içerdiği değişik minerallerin özellikleri gösterilmiştir.

**Çizelge 19: Plaser minerallerinin özellikleri**

Mineral	Yoğunluğu, gr/cm <sup>3</sup>	Elektriksel özelliği	Manyetik özelliği	Kimyasal yapısı
İlmenit	4.5-5.0	(+)	(+ ++)	FeOTiO <sub>2</sub>
Rutil	4.2	(+)	(-)	TiO <sub>2</sub>
Leucoksen	3.9-4.5	+++	++	TiO <sub>2</sub> + Fe, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Monazit	4.9-5.3	-	+	(Ce, La, Di) PO <sub>4</sub> + ThO
Zirkon	4.5-4.8	(-)	(-)	ZrSiO <sub>4</sub>
Kasiterit	6.8-7.1	++ / +++	-	SnO <sub>2</sub>
Sillimanit	3.2	(-)	(-)	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>
Garnit grubu	3.14-4.3	(-)	(+)	CaMgFeMn,Al <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> )
Kuars	2.65	(-)	(-)	SiO <sub>2</sub>
Kromit	4.1-4.9	- / +	- / +	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + Mg, Al
Magnetit	5.1-5.18	++++	++++	FeO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Hematit	5.2	++++	++	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Altın/Gümüş/Platin	10.1- 21.2	++++	-	Au, Ag, Pt
Biotit	2.7-3.1	++	++	H <sub>2</sub> K(Mg, Fe) <sub>3</sub> Al(SiO <sub>4</sub> )
Muskovit	2.76-3.0	-	-	(H, K)AlSiO <sub>4</sub>

Not: - Yok, + Zayıf, ++ Orta, +++ Yüksek, ++++ Çok yüksek

Garnit, monazit, sillimanit, zirkon, kuvars, ilmenit, rutil ile kil, kum, şist gibi bazı safsızlıklar içeren plaserlerdeki kıymetli mineralleri Şekil 2'de verilen akım şeması ile ayırma olanağı vardır.



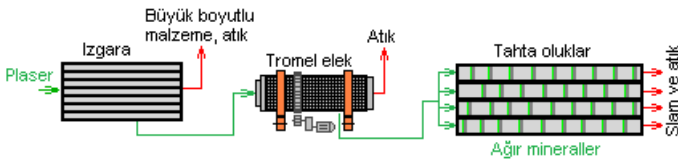
**Şekil 2: Plaser minerallerinin ayrılması**

Dünyada NTE üretiminin yaklaşık %75'i plaserlerden gerçekleştirilmektedir. Plaser yataklarda kıymetli mineral oranı genellikle düşük olup ağırlıkça %3-5 civarındadır. Bu nedenle zenginleştirme işleminde oldukça fazla miktarda malzeme ile uğraşılması gerekmektedir. Yapılacak işin ekonomik olabilmesi için zenginleştirme işleminin ilk aşamasında şlam ve atık ayrılarak malzeme miktarı düşürülmektedir. Plaserden alınan ağır mineral içeren malzeme pülp haline getirilerek "palong" olarak isimlendirilen içine 100x50 mm eşikler yerleştirilmiş 50 metre uzunluk, 2 metre genişliğinde tahta oluklardan geçirilmektedir. Oluğun eğimi 1:20 ile 1:10 arasında değişmektedir. Şlam ve hafif mineraller akıştaki türbülans nedeniyle oluk boyunca akarken ağır mineraller çökerek eşiklerin önünde toplanmaktadır. Resim 29'de plaser zenginleştirilmede kullanılan tahta oluklar gösterilmiştir.

**Resim 29: Plaser zenginleştirmede kullanılan tahta oluklar, palon**



Şekil 3'de tahta olukların kullanıldığı atık ve şlam alma akım şeması gösterilmiştir.



**Şekil 3: Tahta olukların kullanıldığı atık ve şlam alma akım şeması**



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Aynı amaçla daha dar ve küçük oluklar, daralan oluklar ve içi içe girmiş iki silindirik gövdeden oluşmuş döner akma kanalları da kullanılmaktadır. İç içe girmiş iki silindir kullanıldığında içteki silindir deliklidir. Yoğunluğundan dolayı ağır mineraller yavaş dönen silindir içinde akan pülpün oluşturduğu yatağın tabanında hareket ederek içteki silindirin deliklerinden iki silindirin arasına geçip ayrılmaktadır. Bu nedenle içteki silindir delikleri ağır minerallerin aşağı geçebileceği sıklık ve çapta açılmıştır.

Plaser yataklardan üretilen tüvenan cevherin içerdiği kil, kum, şlam, mika gibi atıkların temizlenmesinde spiral ve siklonlar da kullanılmaktadır. Ağır minerallerin manyetik ve elektrostatik özellik farklılıklarından yararlanılarak öncelikle plaserdeki kıymetli mineraller diğerlerinden ayrılmaktadır. İlimenit ve rutil iletkendir. Plaser yatakta bulunan minerallerin manyetik özellikleri de birbirinden farklıdır. Daha sonraki aşamalarda da yoğunluk ve yüzey özellikleri kullanılarak gravite ve flotasyon yöntemi ile minerallerin tamamı birbirinden ayrılarak kazanılmaktadır.

Zenginleştirme işlemi için plaser yataklardaki minerallerin fiziksel, kimyasal, manyetik ve elektriksel özelliklerinin laboratuvarında iyi belirlenmesi gerekmektedir. Aynı plaser ya da cevherin içerdiği minerallerin belirlenen özellik farklılıklarına bağlı olarak zenginleştirme makineleri seçilmekte ve bu özellikleri kullanıldığı akım şemaları düzenlenmektedir.

Plaser yatakları taşınma ile oluştuklarından taneler birbirinden ayrılmış ya da düşük bir kuvvetin etkisiyle kırılıp dağılacak şekilde çimentolanmıştır. Uygulanacak zenginleştirme yöntemlerinde malzemenin dağılmış olması gerektiğinden plaser yatakları üretildikten sonra önce elekten geçirilmekte, istenilen boyutun üzerindeki elek üstü malzeme kırılmakta ya da öğütülmektedir. Bu yataklardaki kıymetli ağır minerallerin yoğunlukları içerdikleri safsızlıklardan farklıdır. Minerallerin yoğunluk farkından yararlanılarak yerçekimi yöntemiyle zenginleştirme ile oldukça iyi sonuç alınabilmektedir. Ayırma işleminde jig, spiral, ayırma konileri ve sallantılı masalarla kullanılmaktadır.

### 12.1.1 Monazit cevherinin zenginleştirilmesi

Formülü  $(La,Ce,Nd,Th)PO_4$  olan monazit, NTE'lerin üretildiği en önemli minerallerdir. Monazit NTE'leri içeren ağır bir fosfat minerali olup aynı zamanda önemli toryum kaynağıdır. Monazit minerali %20'ye varan oranda  $ThO_2$  içermektedir.

Monazit kimyasal etkilere karşı gösterdiği direnç ve yüksek yoğunluğundan dolayı manyetit, ilmenit, rutil ve zirkon gibi ağır minerallerle birlikte sahil kumlarında bulunmaktadır. Bu kumların yanı sıra bazı zenginleştirme tesisi atıklarından da monazit üretilebilmektedir. İçerindeki elementler ve safsızlıklara göre monazit minerali değişik yöntemlerle zenginleştirilmektedir.



### 12.1.2 Plaserlerden monazit konsantresi üretimi

Monazit ve ksenotim plaser ve sahil kumlarından kasiterit, manyetit, ilmenit, zirkon ve rutil'in kazanılması sürecinde yan ürünü olarak alınmaktadır. Bu yataklar garnet, kuvars, kil gibi safsızlıkların yanı sıra platin, kromit, pikotit, bedellit, zinobar gibi metalleri de içerebilmektedir.

Şekil 4'deki plaser yatakları için kullanılan akım şemasında ilk aşamada spiral kullanarak yataktaki kil, mika ve şlam gibi safsızlıklar uzaklaştırılmıştır.



**Şekil 4: Plaser kumlarının zenginleştirilmesi**

Akım şemasında üç aşamada manyetik ayırıcılar kullanılmıştır. Böyle bir akım şemasında minerallerin manyetik özellik farklılıklarından yararlanıldığı için manyetik ayırıcıların gücünün farklı ve doğru belirlenmesi gerekmektedir. Plaserlerin zenginleştirilmesinde düşük, orta ve yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Özellikle orta güçlü manyetik ayırıcıların gücü değiştirilebilen elektromanyetik ayırıcılar olarak seçilmesinde yarar vardır.

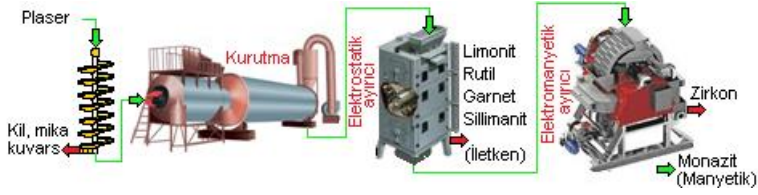
Plaser yataklarının içerdiği mineral çeşitlerine, ağırlıklı minerale, mineral özelliklerine ve tenörlerine bağlı olarak değişik zenginleştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Zenginleştirme işleminin ilk aşamasında yerçekimi yöntemiyle plaserin içerdiği kil, mika, kuvars ve şlam gibi safsızlıklar temizlenmektedir. Bu amaçla siklon, sallantılı masa ve yaygın olarak da spiral kullanılmaktadır.

Plaserin oluş biçimi zenginleştirme sürecini de etkilemektedir. Sahil kumu şeklindeki bir plaser yatağı kuru olduğundan zenginleştirme sürecinin ilk aşamasında kuru yöntemlerin uygulanabilmesi safsızlıkların temizlenmesi açısından önemlidir. Bu işlem de yapılacak işin ekonomikliğini önemli oranda artırmaktadır. Ancak sulu üretim yapıldığında ilk aşamada kil ve şlamın temizlenmesi için siklon ve spiral kullanılması gerekmektedir.

Şekil 5'deki akım şemasında spiral sonrası iki aşamalı bir zenginleştirme yapılmıştır. Bu akım şeması zirkon ve monazit kazanmaya yöneliktir. Diğer mineral konsantreleri toplu alınmaktadır. Toplu alınan konsantrenin içeriği kıymetli mineraller miktar ve oran olarak yeterince zenginse ilave süreçlerle bu mineraller de birbirinden ayrılmaktadır. Elektrostatik ayırma öncesi spiral konsantresi döner fırında kurutulmaktadır.

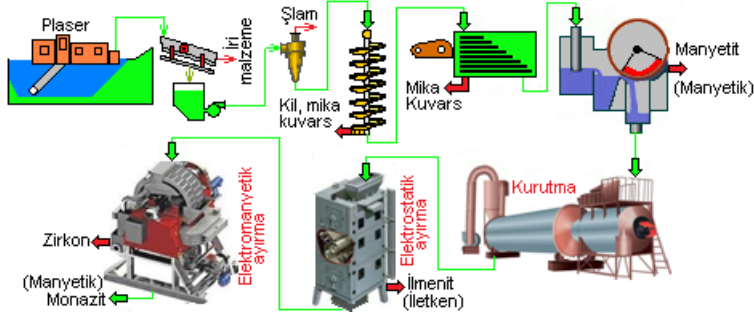


## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ



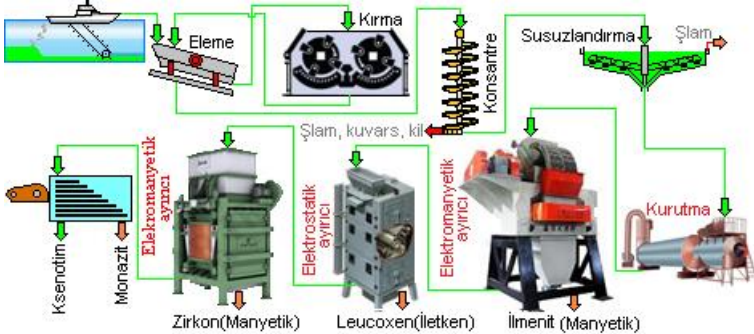
**Şekil 5: Plaser kumlarının zenginleştirilmesi**

Şekil 6'daki akım şemasında plaser içindeki safsızlıklar siklon, spiral ve masa kullanılarak üç aşamada temizlenmektedir. Süreçte konsantre siklon, spiral, masa ve manyetik ayırmada sulu işlem görmektedir. Manyetik ayırma sonrası konsantre kurutulmaktadır.



**Şekil 6: Plaser kumlarının zenginleştirilmesi**

Şekil 7'deki akım şemasında plaserden monazit, ksenotim, zirkon, leuoxen ve ilmenit üretilmektedir.



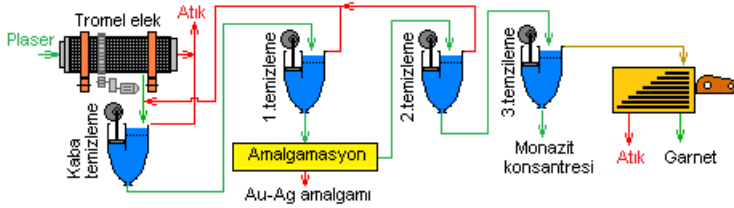
**Şekil 7: Plaser/sahil kumlarından monazit ve ksenotim üretimi**

Sürecin ilk aşamasında plaser ya da sahil kumları elekten geçirilerek iri boyutta olan topaklar kırılarak dağıtılmaktadır. Akım şemasında minerallerin yoğunluk, manyetik, elektrostatik özelliklerinden yararlanılmıştır. Zenginleştirme sonrası üretilen konsantre %1-20 arası monazit minerali içermektedir. Sürecin daha hassas uygulanması ile zenginleştirme etkinliğini artırılma olanağı vardır.



Sahil kuşları içinde monazit yoğunluğu en yüksek mineraldir. Minerallerin manyetik özellikleri en yüksekten düşük olana doğru ilmenit, garnet, ksenotim ve monazit şeklindedir. Bu mineraller plaserlerin zenginleştirmede sürecinde manyetik mineraller olarak ayrılmaktadır. Elektrostatik ayırmada ilmenit ve rutil iletken minerallerdir. Ksenotimin manyetik özelliği monazitten çok daha yüksektir. İlmenit ile ksenotimi birbirinden ayırmak için elektrostatik yöntem uygulanmaktadır. 600°C sıcaklıkta leucoxenin içerdiği serbest hematit manyetite dönüşerek ayırmayı kolaylaştırmaktadır.

Şekil 8'deki akım şemasıyla plaserden jig ile monazit konsantresi üretimi gösterilmiştir.



**Şekil 8: Plaserden jig ile monazit konsantresi üretimi**

Akım şemasında jig kullanılarak dört aşamalı bir zenginleştirme uygulanmaktadır. İkinci aşamada jig konsantresi içindeki altın ve gümüş amalgamasyonla alınmaktadır. Geri kalan konsantre içindeki monazit de son kademedeki jigden kazanılmaktadır.

Akım şemalarında kullanılan zenginleştirme makineleri benzerdir. Elektrostatik ayırma ve bazı manyetik ayırıcılara malzemenin kuru olarak beslenmesi gerekmektedir. Plaser yataklarının zenginleştirilmesi sürecinde malzemenin kurutulması yapılan işlemin ekonomikliğini doğrudan etkilemektedir. Bunun için akım şemaları mümkün olduğunca ikinci bir kurutma gerektirmeyecek şekilde düzenlenmelidir.

### 12.1.3 Bastnazit cevherinin zenginleştirilmesi

Bastnazit'in kimyasal formülü  $[(LaCe)CO_3F]$  olup % 66-77 arasında nadir toprak oksitleri içeren flor karbonat mineralidir. Sertliği 4-4.5, yoğunluğu da 4.7-5.0 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Hafif NTE grubu dışında, ağır NTE grubundan da elementler içermektedir. Bastnazitler daha çok damarlar halinde, bileşik karbonat silikat kayalarda yayılmış halde yataklanmışlardır.

Bastnazit seryum, lantanyum ve yitriyum elementlerini içermektedir. Mineral içerdiği ağırlıklı elemente göre gruplandırılmaktadır. Bastnazit-Ce'nin kimyasal formülü  $(Ce,La)CO_3F$ , bastnazit-(La)'nın  $(La,Ce)CO_3F$ , bastnazit-(Y)'nin de  $(Y,Ce)CO_3F$ 'dir. Bu üç mineralin fiziksel özellikleri birbirine çok yakındır. Doğada yaygın olarak Bastnazit-Ce bulunmaktadır. Bastnazit ve fosfat minerali olan monazit Ce elementinin ana kaynağıdır.

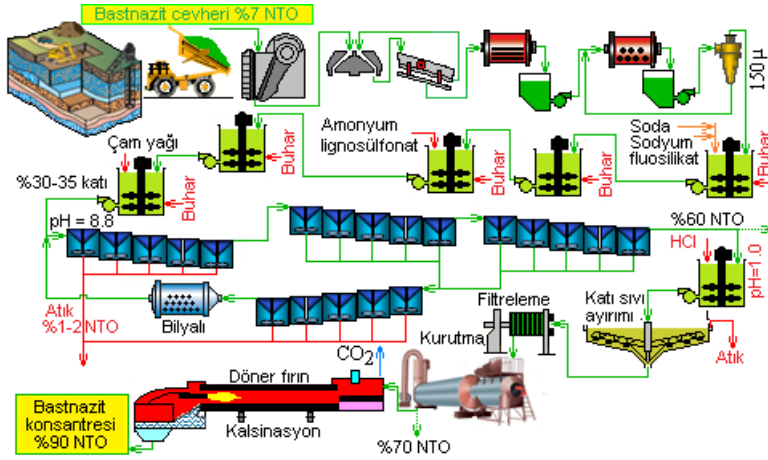




## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Bastnazitlerler, genellikle kalsit, barit, flüorit veya demir cevherleriyle bileşik halde bulunmaktadır. Açık ocak ya da yeraltı işletme yöntemiyle üretilen cevherlerden bastnazitin ayrılması için flotasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Bastnazitin kimyasal bileşimi ve birlikte bulunan kalsit, barit, flüorit gibi mineraller zenginleştirmede yöntem seçimini ve sürecini belirlemektedir.

Şekil 9'daki akım şemasından %7 NTO içeren cevherden %90 NTO kazanımla konsantresi elde edilmektedir.



**Şekil 9: Bastnazit konsantre üretimi**

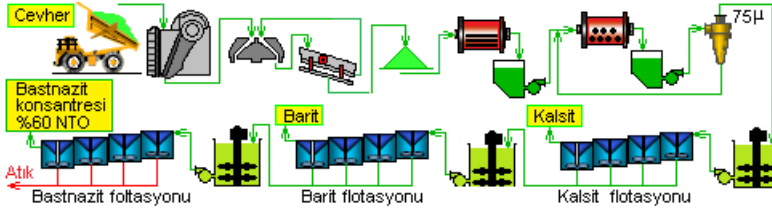
Bu cevher safsızlık olarak barit, kalsit, stronsiyum ve kuvars içermektedir. Bastnazit ile birlikte bulunan barit ve kalsit gibi bazı safsızlıklar benzer davranış göstermeleri nedeniyle flotasyonla sorun yaratmaktadır.

Üretilen cevher klasik boyut küçültme devrelerinde 150µ boyutuna öğütülmekte, karıştırma tanklarında pülp 70-90°C sıcaklığa ısıtılmaktadır. İlk tanka pülpe soda, sodyum fluosilikat  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  ve buhar verilmektedir. Daha sonraki tanklarda pülpe amonyum lignosülfonat ve sonra da çam yağı ilave edilmektedir.

Flotasyona hazırlanmış %30-35 katı içeren pülp sırasıyla, kaba, temizleme ve süpürme devrelerinden geçirilmektedir. Flotasyon atığı %1-2 kadar NTO içerirken flotasyondan yaklaşık %60 kazanımla NTO elde edilmektedir. Üretilen konsantrenin daha iyi temizlenmesi için konsantre %10 derişimli HCl içinde karıştırılarak içerdiği safsızlıkların çözülmesi sağlanmaktadır. Pülp koyulaştırıcı ve sonrası filtrelerden geçirilerek kurutulduğunda %70 kazanımla NTO konsantresi elde edilmektedir. Konsantre kalsine edildiğinde NTO kazanımı %90'a çıkmaktadır. Süreçten bastnazit mineralinin içerdiği barit ve florit de ekonomik olarak kazanılmaktadır.

Şekil 10'da akım şeması kullanılarak karmaşık yapıllı bastnazit cevherinden yaklaşık %85 kazanımla bastnazit konsantresi üretilmiştir.





**Şekil 10: Kompleks yapıli cevher konsantre üretimi**

%30 NTO içeren bastnazit konsantresinin kok, hurda demir ve silis ile karıştırılarak daldırma elektrotlu ark ocaklarında 1.600°C sıcaklıkta ergitilerek %60 kazanımla %30 NTE-Si-Fe içeren nadir metal silisi elde edilmektedir. Bu alaşım çelik yapımında S kontrolü için katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

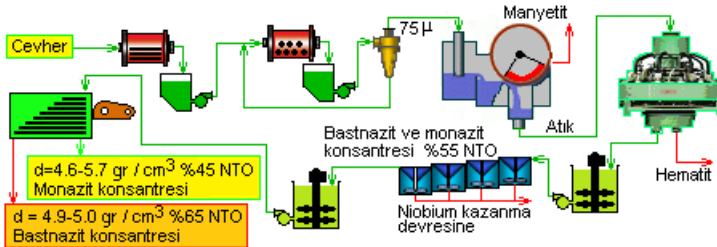
## 12.2 NTE minerallerinin flotasyonla zenginleştirilmesi

Monazit ve ksenotim gibi birkaç mineral NTE içermektedir. Tane boyutu küçüldükçe minerallerin yerçekimi yöntemiyle zenginleştirilmesi oldukça zorlaşmakta, mineral kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenler doğal olarak bulunan ya da 100µ ile 15µ arasında serbestleşen minerallerin flotasyonla zenginleştirilmesinde yarar vardır.

Bayan Obo demir yatağındaki cevherden NTE yanında manyetit, florit, hematit ve niobiyum mineralleri değişik zenginleştirme devrelerinde ekonomik olarak kazanılmaktadır. Bunun için cevher 75µ boyutu altına öğütülmektedir. Flotasyonda ortam pH'ı  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile ayarlanmaktadır. Bazik ortamda demir ve silikat mineralleri bastırılmakta, toplayıcı olarak da parafin kullanılmaktadır. Flotasyonda batan kısımdan demir ve niobiyum kazanılmaktadır.

Safsızlıklarından kısmen temizlenmiş ve şlamı alınmış NTE içeren mineraller pH düzenleyici olarak  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , diğer safsızlıkların bastırılması için  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , toplayıcı olarak hidroksamik asit kullanılmaktadır. pH 5-6 arasında kalsit, florit ve barit batmaktadır. Seçimli flotasyon sonrası monazit ve bastnazit içeren yaklaşık %80 kazanımla %45 NTE içeren konsantre elde edilmektedir.

Şekil 11'de monazit ve bastnazit içeren NTO konsantresi eldesi gösterilmiştir.



**Şekil 11: Monazit ve bastnazit içeren NTO konsantresi eldesi**



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Bu akım şemasında ilk kademede manyetit, ikinci kademede de hematit ortamdan alınmaktadır. Cevherdeki minerallerin manyetik özelliği ve miktarına göre demir cevherini tek kademede de temizleme olanağı vardır.

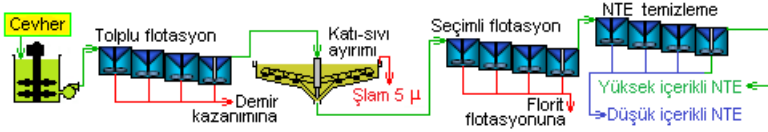
Şekil 12'de flotasyonla NTE konsantresi üretimi gösterilmiştir.



**Şekil 12: NTE konsantre üretimi**

Zenginleştirmede sırasıyla cevherin içerdiği florit, demir ve şlam temizlenmektedir. Son flotasyon devresinden alınan ürünlerden biri yüksek oranda NTE içerirken, diğerinin içeriği daha düşüktür. Akım şemalarının seçimi tamamen üretilen konsantrenin NTE içeriğine ve kazanım oranına bağlıdır.

Şekil 13'deki akım şeması da benzer amaçlı hazırlanmıştır.



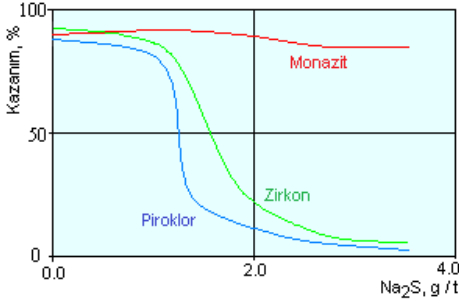
**Şekil 13: NTE konsantre üretimi**

Monazit ve bastnazitin yapısı oldukça karmaşıktır. Her iki mineral de flotasyonunda yağ asitleri gibi katyonik toplayıcılar kullanılmaktadır. Bu toplayıcılar alkil sülfat veya alkil sülfatla fosfat ester ile desteklenerek daha iyi sonuç alınmıştır.

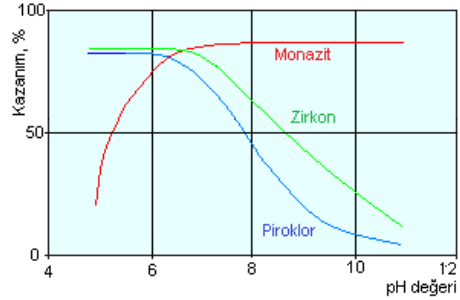
Seryum grubunun veya bastnazit ve monazitin flotasyondaki davranışları birlikte buldukları kalsit, barit, apatit, turmalin, piroklor ( $(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)$ ) ve diğer safsızlıklara benzerlik gösterdiğinden seçimli flotasyonla bu minerallerin zenginleştirilmesi zordur. Ancak yapılmış çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmıştır. Örneğin oleik asit ve sodyum oleat gibi katyonik toplayıcılar kullanılarak pH 7-11 aralığında monazit yüzmektedir. Laurel amin ya da anyonik toplayıcılar kullanılarak monazit kolay yüzmektedir.

Grafik 14'de görüldüğü gibi flotasyonda ortama  $Na_2S$  ilave edildiğinde ilave edilen miktara bağlı olarak monazitin yüzebilirliğinin etkilenmediği, zirkon ve piroklorun ( $(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)$ ) battığı görülmüştür.

Ortamın pH değeri arttıkça monazit tarafından sodyum oleatın soğrulması da artmaktadır. Ortamın pH değeri azaldıkça monazitin yüzebilme özelliği azalmaktadır. Asidik ortamda piroklor yüzmekte pH değeri yükseldiğinde de batmaktadır. Grafik 15'de pH değerinin flotasyonunda monozait, zirkon ve piroklor mineralleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Grafik 14: Flotasyonda Na<sub>2</sub>S'in etkisi

Grafik 15: Flotasyonda pH'in etkisi

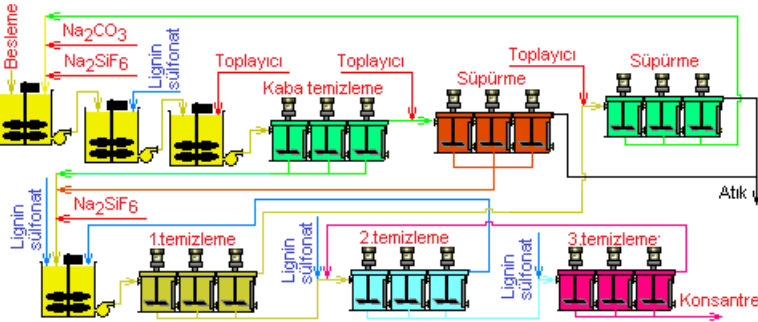


Bastnazitin flotasyon etkinliği içerdiği safsızlıklarla ilişkilidir. Flotasyonda pulp sıcaklığı arttıkça NTO kazanımı da artmaktadır.

Barit ve florit yataklarında bulunan bastnazitin yağ asitleri ya da sodyum oleat ile yüzdürme olanağı yoktur. Böyle bir durumda ilk aşamada baritin flotasyon ortamından alınması flotasyon etkinliğini artırmaktadır. Karbonatlarla birlikte bulunan bastnazitin flotasyonunda fosfat esterle desteklenmiş oleik asit iyi sonuç vermektedir.

Pegmatitik yatalardaki bastnazitin flotasyonunda petrol sülfanatlarla desteklenmiş değişik petrol kökenli yağlar kullanılabilir.

Şekil 14'de bastnazit cevherinin zenginleştirildiği bir akım şeması verilmiştir.



Şekil 14: Bastnazit cevherinin zenginleştirilmesi, Mountain Pass USA

Bu yatakte bastnazitin yanı sıra synchisit (Ce,La)Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F, parasit Ca(Ce,La)<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>F<sub>2</sub> ve monazit ikincil NTE'ler olarak, safsızlık olarak kalsit, barit, silikat ve dolomit bulunmaktadır. Safsızlık oranları yatağın değişik yerlerinde farklılık göstermektedir. Barit stronsiyum da içermektedir.

Yataktaki cevherin serbestleşme boyutu 50µ civarındadır. Yatağın içerdiği NTO'ların zenginleştirilmesi için çok değişik kimyasallar kullanılarak testler yapılmıştır. Uygulamada hidroxamik asit yağ asitlerine göre daha etkili



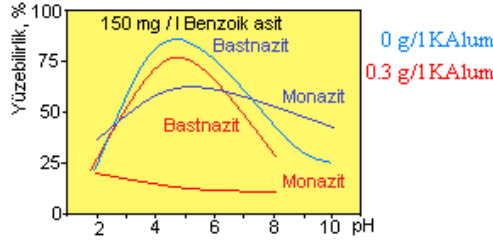
## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

olmuştur. Tesiste flotasyonda 3-4.5 kg/t soda  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 300-600 g/t sodyum fluorosilikat, 2.4-3.5 kg/t lignin sülfonat ve 200-400 g/t oil yağ asidi kullanılmıştır. Cevherin %10'nu NTO konsantresi olarak alınabilmektedir.

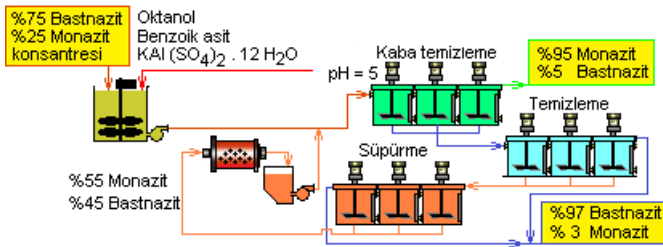
Monazit ile bastnazitin seçimli flotasyonunda toplayıcı olarak benzoik asit kullanıldığında ortamın pH değerinin flotasyona etkisi Grafik 16'da gösterilmiştir.

Grafikte görüldüğü gibi pH'ın 5 olduğu ortamda her iki mineralin de yüzebilirliği en yüksek değerdedir. Ortama potasyum alumun  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  ilave edildiğinde bastnazitin yüzebilirliği ilave edilen miktara bağlı olarak bir noktaya kadar daha da artarken monazit batmaktadır.

**Grafik 16: Monazit ile bastnazitin flotasyonunda pH değerinin etkisi**



Şekil 15'de gösterilen akım şemasının kullanıldığı bir araştırmada benzoik asidin toplayıcı olarak kullanıldığı pH değerinin 5 olduğu ortamda düşük miktarda potasyum alum ilavesiyle bastnazitin yüzebilirliği etkilenmeden monazit bastırılmıştır. Bunun nedeni minerallerin yüzeyinde hidrolize olan potasyum alumunun bastırma etkisinin monazit yüzeyinde daha etkin olmasıdır.



**Şekil 15: Monazit ve bastnazitin seçimli flotasyonu**

Dong Pao NTE rezervleri Vietnam'ın kuzey-batı bölgesinde yer almaktadır. Bu yatak hidrotermal kökenli, damar ve adese şeklinde kireçtaşlarının içinde yer almıştır. Mineralleşmede ana mineraller bastnazit, florspat, parasetirdir. Bu yatağın rezervi  $5 \times 10^6$  ton civarındadır.

Dong Pao yatağından barit, florit ve bastnazit mineralleri üretilmektedir. Bu yatak yoğun hava koşullarının etkisi altında kalmıştır. Cevherde bastnazitin yaklaşık  $1/3$ 'ü  $7\mu$  civarındadır.



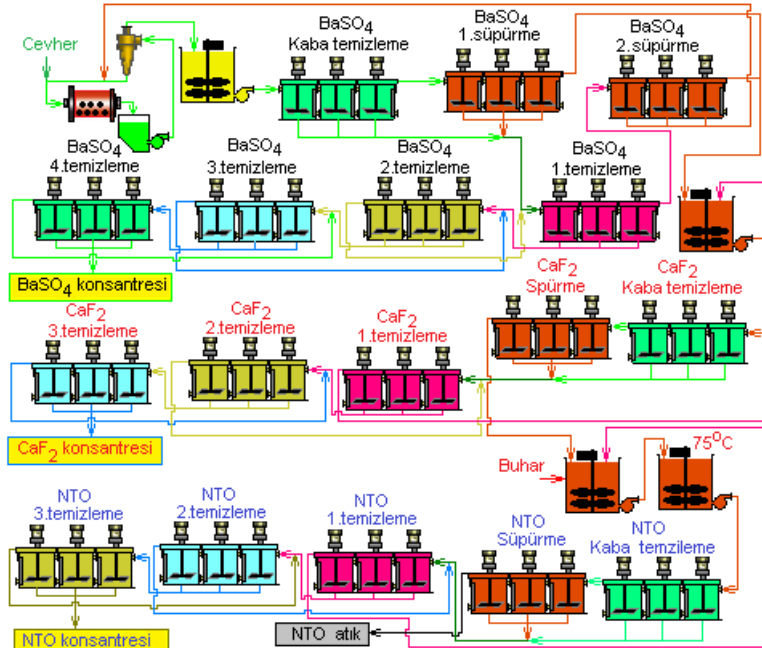
Yataktaki cevherde barit ve florit oranının yüksek olması nedeniyle bastnazitin doğrudan flotasyonla kazanılması mümkün olmamaktadır. Floritle bastnazitin flotasyondaki davranışları da benzerdir. Bu nedenle iki minerali birbirinden ayırmak oldukça zordur.

Tesiste şlamı alınmış cevher öğütüldükten sonra flotasyonla barit ardından florit ve son flotasyon aşamasında da NTO kazanılmıştır.

Tesisteki zenginleştirme işlemimde;

- Laboratuvar çalışmalarında belirlenmiş uygun toplayıcı ve bastırıcı flotasyon kimyasallarının tesiste doğru miktarda ardışık kullanışı ile barit ve floritin bastnazitten ayrılması sağlanmıştır.
- Bariti yüzdürme için bastırıcı olarak sodyum silikat, canlandırıcı olarak baryum klorit, toplayıcı olarak petroleum sülfonat, sodyum alkil sülfonat ve succinamat karışımı,
- Floritin flotasyonunda quebracho ve lignin sülfonat karışımı, toplayıcı olarak kullanılan oleik asit ve fosforik ester karışımı ile birlikte,
- Bastnazitin flotasyonunda toplayıcı olarak three etilen tetra amin ile desteklenmiş tall oil yağ asidi, bastırıcı olarak moleküler ağırlığı yüksek lignin sülfonat kullanılmıştır.

Şekil 16'da bu cevherin zenginleştirilmesinde kullanılan tesisin akım şeması verilmiştir.



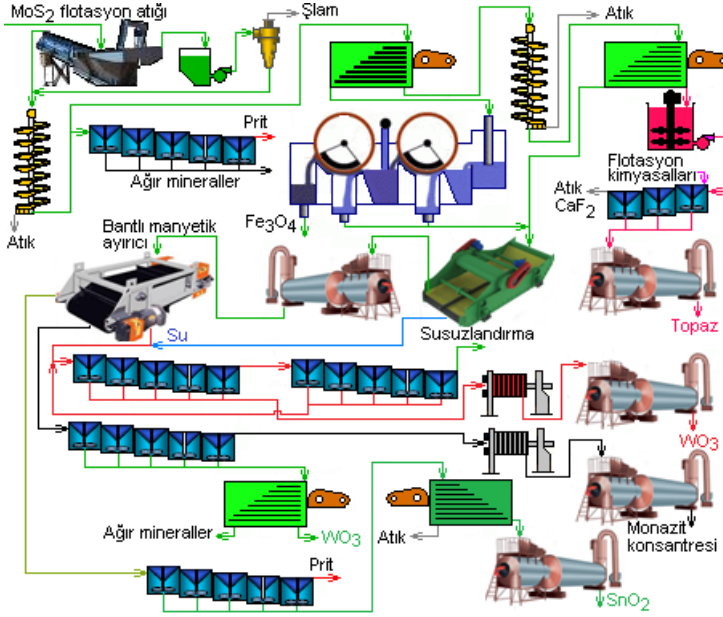
Şekil 16: Dong Pao cevheri akım şeması



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Benzer yatakların içerdği ağır minerallerin ayrılmasında benzer akım şemaları düzenlenmiş olsa da mutlaka belirgin birkaç farklılık olmaktadır.

Şekil 17'deki akım şemasında  $\text{MoS}_2$  atığındaki minerallerin yoğunluk farkı, manyetik özellikleri arasındaki fark ve flotasyonda da yüzey özelliklerinden yararlanılarak monazit konsantresi üretilmiştir.

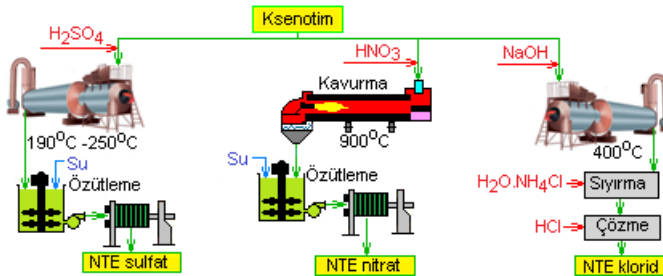


Şekil 17:  $\text{MoS}_2$  atığından flotasyonla monazitin kazanılması

### 12.2.1 Ksenotim üretimi

Ksenotim ( $\text{YPO}_4$ ) yitrium fosfat minerali olup genellikle monazit ile birlikte sahil kumlarında bulunmaktadır.

Şekil 18'de ksenotim cevherinin zenginleştirmesinde kullanılan akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 18: Ksenotim cevherine uygulanan zenginleştirme işlemleri



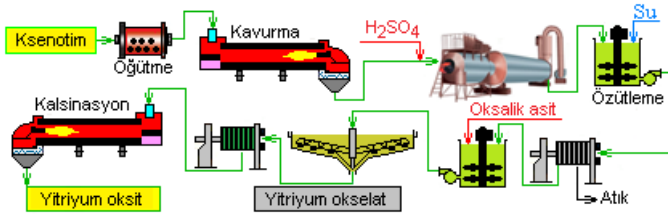
Monazit ve ksenotim plaser ve sahil kumlarından genellikle kasiterit, manyetit, ilmenit, zirkon ve rutilin kazanılması sürecinde yan ürün olarak üretilmektedir. Bu yataklar garnet, kuvars, kil gibi safsızlıklar ile altın, platin, kromit, pikotit, bedellit, zinober gibi metalleri de içerebilmektedir.

Ksenotim cevherinin işlenmesi için cevher derişik  $H_2SO_4$  asidi ile  $250-300^\circ C$  sıcaklıkta 1-2 saat kadar karıştırılmaktadır. Bu sürede ksenotim içindeki NTE fosfatları suda çözülmeye geçebilecek bileşiklere dönüşmektedir. Süre sonunda karışım suda özütlendiğinde ksenotim içindeki NTE'lerin yaklaşık %80-90'ını çözülmeye geçmektedir. Yöntemde yitrium ve NTE sülfatları suda rahat çözüldüklerinden NTE'leri iki elementli  $SO_4$  halinde çöktürme olanağı yoktur. Bu nedenle çözelti doğrudan ayırma sürecine alınmaktadır. Yöntemin %10'dan düşük oranda ksenotim içeren cevherlere uygulanması ekonomik değildir.

Diğer bir uygulamada öğütölmüş ksenotim erimiş soda ile  $400^\circ C$  sıcaklıkta ya da  $Na_2CO_3$  ile  $900^\circ C$  sıcaklıkta birkaç saat kavrulmaktadır. Cevher özütlendikten sonra fosfatlar eriyiğe geçerken katı fazda kalan hidroksitler de HCl ile çözüldürölmektedir.

Çözelti filtrelenerek silis, kasiterit gibi çözünmeyen safsızlıklar temizlenmekte, sonra da NTE'ler okselat olarak çöktürölmektedir.

Şekil 19'daki akım şemasıyla ksenotim içindeki yitrium kazanılmaktadır.



**Şekil 19: Ksenotim içindeki yitrium kazanılması**

Bunun için cevher öğütölmekte daha sonra da fırında kavrulmakta, kavrulmuş cevher  $H_2SO_4$  ile karıştırılarak özütlemeye hazırlanmaktadır. Süreçte ksenotimin içerdiği  $YPO_4$  suda  $SO_4$  olarak çözülebilecek forma dönüşmektedir. Özütlemeye soğuk su daha iyi sonuç vermektedir. Yitrium sülfat eriyiğine oksalik asit  $(COOH)_2$  ilave edilerek yitrium okselatın çökmesi sağlanmaktadır. Sürecin son aşamasında da kalsinasyonla yitrium oksit elde edilmektedir.

### 12.2.2 Yitrium oksit üretimi

Yitrium oksit oksit grubunun termodinamik olarak en kararlı bileşigidir. Titanyum ya da uranyum gibi metallere mukavemet sağlamaktadır.  $2.200^\circ C$  sıcaklıkta dengededir.

Yitrium grubu yeteri kadar piroklor  $(Na, Ca)_2Nb_2O_6(OH, F)$  veya kolumbit  $((Fe, Mn, Mg)(Nb, Ta)_2O_6)$  ile tantalitten  $((Fe, Mn)(Ta, Nb)_2O_6)$  oluşan ikili metalik formda COLTAN (kolumbit-tantalit) içermekte, her iki mineral de zirkonla birlikte yüzmektedir.

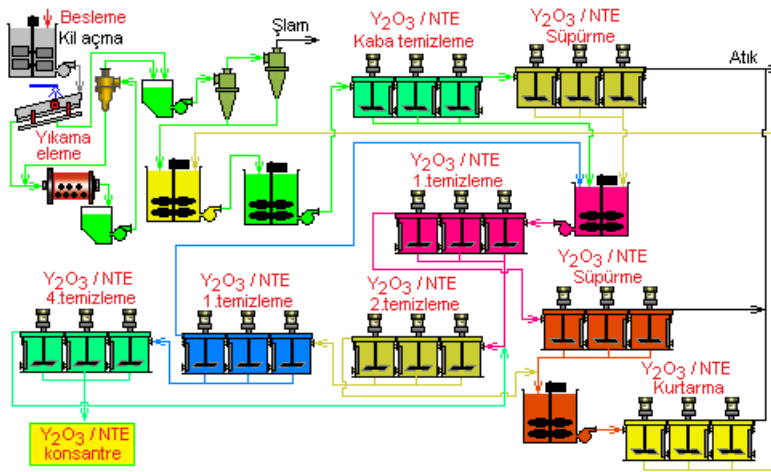


## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

Yitrocerit ( $(Ca, Y, Ce, Er)F_2 \cdot 3H_2O$ ), gadolinit ( $(Y, Ce_2)Fe, BeSi_2O_{10}$ ), fergusonit,  $(Y, RE)NbO_4$  priorit ( $(Y, Er, Ca, Th)(Ti, Nb)_2O_6$ ) mineralleri genellikle kuvars, klorit, serisit içeren bileşik bir yapıya sahiptir. Hidrotermal kökenli bileşik yapıdaki mineraller zirkonla birlikte yitrium grubundaki NTO'leri içermektedir. Yitrocerit ve gadolinit pH 9-10 aralığında hydrohamik asit ile yüzmektedir.

Serbestleşme boyutu  $<74\mu$  olan dağılmış halde bulunan yitrium grubu elementleri içeren minerallerin flotasyonla zenginleştirilmesi gerekmektedir. Yitrium grubu içinde bulunan zirkon da oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir.

Şekil 20'deki akım şemasıyla cevherden 65%  $REO + Y_2O_3$  tenör ve %75  $Y_2O_3$  kazanımla konsantre üretmiştir.



Şekil 20: Yitrium üretimi için genel akım şeması

Bu cevherlerde fergusonit, euxenit ve NTO içeren diğer mineraller yanında priorit de bulunmaktadır. Zirkon içeren yitrium grubu minerallerden NTO kazanımında uygulanacak sürecin zirkonla beraber düşünülmesi gerekmektedir.

### 12.3 NTE Konsantrelerinin özütlenmesi

Nadir toprak elementleri konsanresi içinde içinde karbonat, florit, fosfat, oksit veya silikat formlarında bulunmaktadır. Bu bileşikler su içinde çok az miktarda çözülebilmektedir. Bu konsantreler bazı kimyasal işlemler sonrası suda ve mineral asitlerinde çözülebilir hale gelmektedir. Çözme sonrası ayırma, saflaştırma, yoğunlaştırma ve ısıl işlem sonrası değişik bileşiklerde nadir toprak elementleri üretilmektedir. Bu ürünler de bir sonraki aşamada değişik yöntemlerle birbirinden ayrıştırılmaktadır.

Ayrışmada asit, alkali ve klorla özütleme yöntemleri uygulanmaktadır. Asitle ayrıştırmada hidroklorik, sülfürik ve hidroflorik asitleri kullanılmaktadır. Alkali yöntemde sodyum hidroksit ve soda ile kavurma yöntemleri uygulanmaktadır.

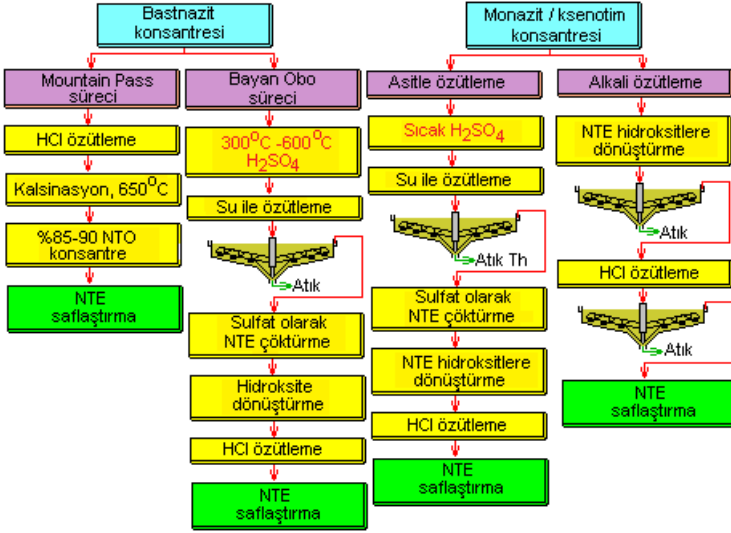




Yöntemin seçimi konsantrite tenörüne, tesis olanaklarına, çevre ile ilgili kaygılara, sürece ilave edilen geri dönüşüm gibi değişik etkenlere bağlıdır.

Minerallerin zenginleştirme sürecini, süreç sonunda istenilen ürün ve bu ürünün kullanımı belirlemektedir. Özütleme, katı-sıvı ayırımı, filtreleme, kurutma ve kalsinasyonla NTO oranı %60'lardan %90'lara kadar çıkarılabilmektedir.

Şekil 21'de yerçekimi ve flotasyonla üretilen NTE konsantreleri sonraki aşamalarda değişik şekillerde özütlenmektedir:



Şekil 21: Özütleme süreçlerinin temel akışları

Bastnazit konsantresi asitle özütlenirken, monazit konsantrisini asit yada alkali ortamda özütleme olanağı vardır.

Bayan Obo tesislerinde NTE 300-600°C sıcaklıkta  $H_2SO_4$  asidi içinde kaynatılmaktadır. Kaynatma işleminden sonra malzeme su ile özütlenerek NTE çözeltiliye alınırken çözülmeyen katı safsızlıklar da koyulaştırıcılarla katı-sıvı ayırımı ile ayrılmaktadır. Çözeltiliye alınan NTE'ler sülfat olarak çöktürüldükten sonra hidroksite dönüştürülmektedir. NTE hidroksitler de tekrar HCl ile özütlenerek saflaştırılmaktadır.

Lanthanid üretiminde öncelikle serium'u (+4) forma dönüştürmek için kalsine edilmekte, bu süreçte lanthanid (+3) değerli olarak kalmaktadır.

Cevherinin zenginleştirilmesi ile %60 NTO içeren konsantrite üretilmekte, konsantritenin HCl asiti ile özütlenmesiyle NTO içeriği %70'e çıkarılabilmektedir. Özütleme sürecinde stronsiyum ve kalsiyum karbonat da NTO'nun içeriğinden temizlenmektedir.

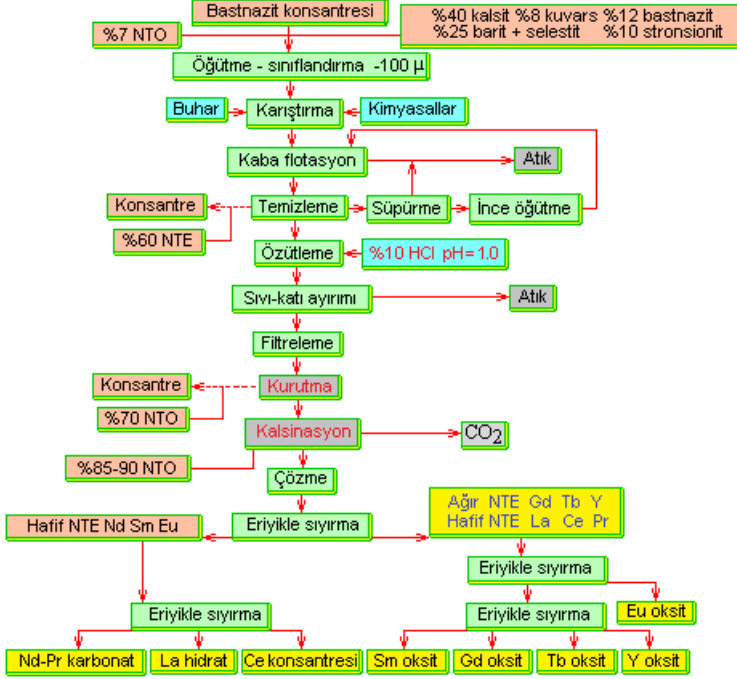
Monazit ve ksenotim konsantrisinin asitle özütlenmesinde konsantrite sıcak  $H_2SO_4$  içinde bekletildikten sonra NTE suda çözündürülerek ortamdaki fosfat



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

alınmaktadır. Çözelti seyreltikten sonra konsantrenin içerdiği NTE ayrı ayrı çöktürülmektedir. Günümüzde bu yöntem fazla kullanılmamaktadır.

Şekil 22'de gösterildiği gibi kalsinasyon sonucu oranı yaklaşık % 90NTO'e çıkan konsantre asitli ortamda çözündürülmektedir.



Şekil 22: Bastnazit konsantresinden NTO kazanımı

Özütleme sonrası çözültiden sıyırma ile;

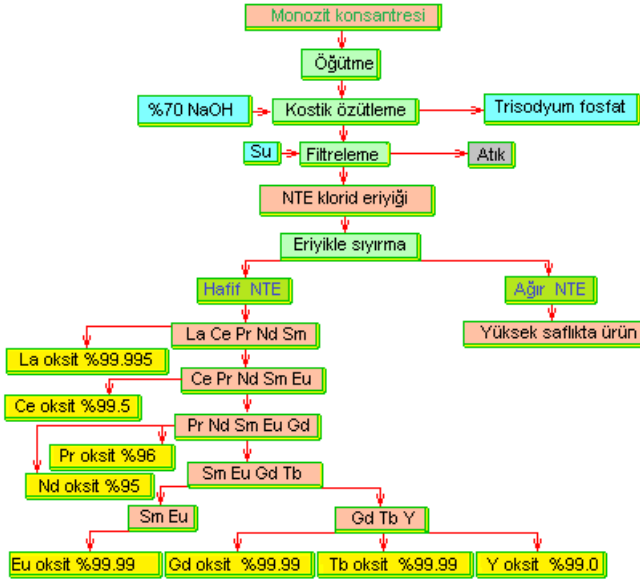
- Neodimyum-praseodimiyum karbonat,
- Lantanyum hidrat,
- Seryum konsantresi,
- Samariyum oksit,
- Gadolinyum oksit,
- Terbiyum oksit, ve
- Europiyum oksit kazanılmaktadır.

NTE'lerin alkali ortamda çözündürülmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. 140-150°C'de NaOH içinde NTE ve toryum hidroksit bileşikleri oluşmaktadır. Fosfat bileşikleri suda çözündürülüp ortamdan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  şeklinde alınıp ekonomik olarak değerlendirilebilmektedir. Yüksek derişimli HCl asidi içinde NTE çözültiyeye geçerken toryum ortamda katı fazda kalmaktadır. Çözelti filtrelenerek toryum ve NTE'ler birbirinden ayrılmaktadır.



Monazit ve ksenotimin işlenmesinde en yaygın yöntem Şekil 23'deki gibi zenginleştirme sonucu elde edilen konsantrenin %70 derişimli NaOH ile çözüldürülerek NT hidroksitler elde edilmektedir.

NTE hidroksitleri de HCl ile özütlenerek çözülebilir NTE kloritlere dönüştürülmektedir. Bu çözelti içinden de çok aşamalı eriyik sıyırma ile %95-99.995 arasındaki saflıkta NTO'ler elde edilmektedir.



**Şekil 23: Monazit konsantresinden NTO kazanımı**

NTO'nun diğer bir kazanım yöntemi atıkların işlenmesidir. Örneğin Pea Ridge demir cevheri zenginleştirme tesis atıkları %0.5 oranında NTO içermektedir. Apatit içinden NTO'ler asitle özütme ve fiziksel yöntemlerle ayrılabilir. Oleik asit ve çam yağı kullanılarak apatit pülpü içinden fosfat yüzdürülmektedir. Atığın aşamalı flotasyonu ile içerdiği lanthanidler kazanılmaktadır.

NTE konsantrlerinin içerdiği elementlerin özellikleri birbirlerine benzemeleri nedeniyle NTE'leri birbirinden ayırmak oldukça zordur. Uygulanan yöntemlere göre safsızlık oranı %99.9-99.9999 arasında değişmektedir. Seçici oksidasyon veya indirgeme yöntemleri bazı NTE için iyi sonuç vermektedir. NTE genellikle (+3) değerli iken seryum, praseodimiyum ve terbiyum (+3) değerli olabildikleri gibi (+4) değerli de olabilmektedir. Samaryum, europiyum ve terbiyum (+2) değerlidir. Bu farklılık elementleri birbirinden ayırmada kullanılmaktadır.

Seryum ve europiyum seçici oksidasyonla, diğer NTE kristalleşme, eriyikle çözme, çökme, iyon değiştirme gibi yöntemlerle ayrılmaktadır.

Oksit ve klorit mineralleri içinden NTE metalleri serbestleştirmek mineraldeki çok kararlı yapıları nedeniyle oldukça zordur. Bu minerallerden NTE metalleri kazanmak için yaygın olarak üç yöntem uygulanmaktadır:



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

- *Klorid ya da florit indirgenmekte,*
- *NTO'ler indirgenmekte,*
- *NTE klorit ya da oksit- florit karışımı elektrolizi.*

Ergitmeyle indirgeme yöntemi NTE metalleri üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konsantre fırınlarda oksijen, sülfür, karbonat gibi oksitleyici bir ortamda indirgenerek metal elde edilmektedir.

NTE bileşiklerinin indirgenmesinde daha az kullanılan yöntemler:

- *Elektroliz*
- *Gaz ile indirgeme*
- *Vakumla yoğunlaştırma*
- *Civa amalgamasyonu ve indirgeme.*

Loparit konsantresi yüksek sıcaklıkta klor gazı ile indirgendiğinde titanyum, niobium, ve tantalum NTE klorürlerinden ayrılmaktadır. Ortamdaki mineraller de eriyik halinde keke dönüşmektedir. Bu kek de  $H_2SO_4$  asidi ile özütlenerek amonyum sülfat ile tepkimeye sokulmaktadır. Ortamın seyreltilmesi için su ve  $Na_2CO_3$  ilave edildiğinde NTE ve toryum çökmektedir.

### 12.3.1 Monazitin özütlenmesi

Monazit ve ksenotim konsantresi üretildikten sonra asit yada alkali özütlemesiyle zenginleştirilmektedir. Yaygın olarak alkali ortamda özütleme uygulanmaktadır. Alkali özütlemede %70 derişimli sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanılmaktadır.

Özütleme sürecinde NTE ve toryum hidroksitler halinde çökerek filtrelemeyle çözültiden ayrılmaktadır. Çözünmeyerek katı fazda kalanlar asitle çözültiye alınmaktadır. Toryum ortamın pH değeri ayarlanıp çöktürülmektedir. Arda kalan NTE eriyikten sıyırma ya da NTE'nin çeşidine bağlı olarak uygun yöntemlerle kazanılmaktadır.

Monazit veya ksenotim konsantrelerinin asitle özütlenmesinde derişimi yüksek sıcak  $H_2SO_4$  asidi kullanılmaktadır. Ortamda, suda çözülebilen NTE ve toryum sülfat bileşikleri meydana gelmektedir. Bu sülfatlar suda çözüldürüp filtrelenerek katı fazda kalan atık ve minerallerden ayrılmaktadır. Çözelti içinden toryum pirofosfatlarla çöktürülerek, eriyikte kalan NTE'ler eriyikten sıyırma ile alınmaktadır.

#### 12.3.1.1 Monazitin asitle özütlenmesi

Tenörüne, ortamın derişimine, sıcaklığına bağlı olarak toryum ve NTE seçimli ya da toplu olarak asile özütlenebilmekte, çözültiden ayrı ayrı olarak kazanılabilmektedir. Ancak sülfürik asitle özütleme yaygın olarak uygulanmamaktadır.

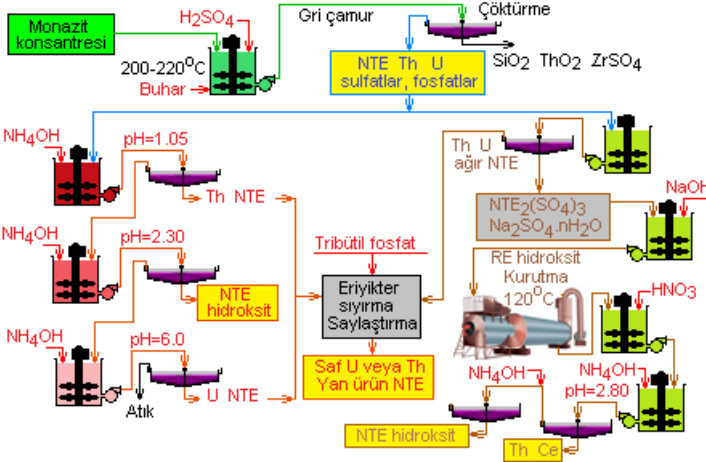
Monazit konsantresi  $H_2SO_4$  asiti ile 200°C sıcaklığın üzerinde özütlenmektedir. Bu ortamda yitrium ve NTE çift elementli sülfatlar ortamda toryum ile birlikte



rahatça çözeltilmeye geçmektedir. Katı fazda kalan mineraller ayrılarak sıvı faza alınmış NTE, Th, U sülfat ve sülfanatlar ortamın pH değeri  $\text{NH}_4\text{OH}$  ilavesiyle ayarlanarak çöktürülmektedir.

Uranyum ve toryumun saflaştırma sürecinde NTE ve yitrium eriyikten sıyırma ile ayrılmaktadır. Nitrik asit eriyiği içindeki toryum ile NTE karışımından, tribütül fosfat ile eriyikten sıyırma yöntemiyle toryum, uranyum, seryum ve NTE kazanılmaktadır.

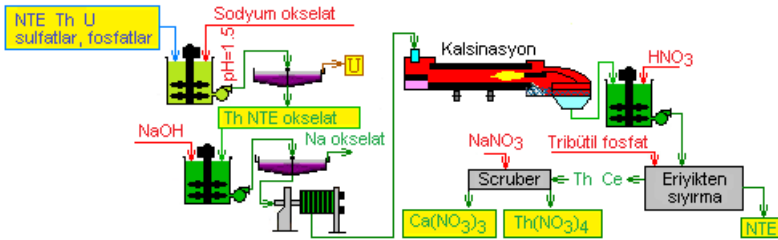
Şekil 24'de monazit konsantresinin asitle özütlemesi süreci gösterilmiştir.



**Şekil 24: Monazit konsantresinin asitle özütlemesi süreci**

$\text{H}_2\text{SO}_4$  asitle özütlenmiş eriyik iki elementli sülfat olarak çöktürülmekte, Th, U ve ağır NTE eriyikte kalmaktadır. Eriyikten U ve Th kazanılırken NTE'ler de yan ürün olarak alınmaktadır. Katı fazda kalan NTE sülfat da  $\text{NaOH}$  içinde çözülüp bir dizi işlem sonrası NTE hidroksit, Th ve Ce üretilmektedir.

Şekil 25'deki akım şemasında  $\text{H}_2\text{SO}_4$  asitle özütlenmiş çözeltiye sodyum okselat [ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ] ilavesiyle U çözeltide kalırken Th ve NTE katı faza geçmektedirler. Katı fazdaki mineraller de sırasıyla  $\text{NaOH}$ , kalsinasyon,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$  ve tribütül fosfat [ $\text{C}_{12}\text{H}_{27}\text{O}_4\text{P}$ ] ile işlemden geçirilerek NTE ile Th ve Ce nitrat üretilmektedir.



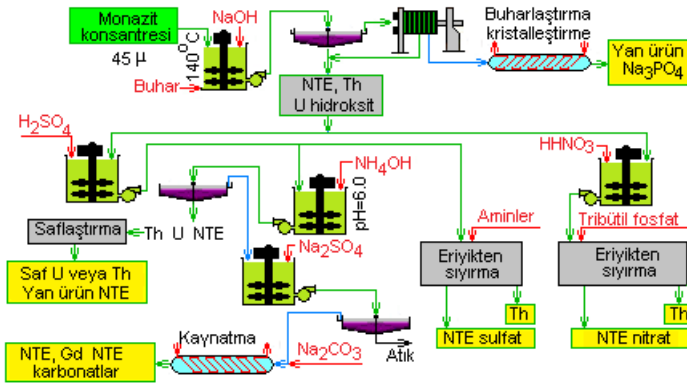
**Şekil 25: Monazit konsantresinin asitle özütlemesi süreci**



### 12.3.1.2 Monazitin alkali ortamda özütlenmesi

Alkali özütlemde  $45\mu$  boyuta öğütülmüş monazit konsantresi kostik soda ile eriyiğe alınmaktadır. Bazı uygulamalarda soda öğütme sürecinde ortama ilave edilerek %50'lere varan oranda daha az tüketilmektedir. Sürecin başında monazitin içerdiği fosfat ortamdan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  şeklinde ekonomik olarak alınabilmektedir. Süreçteki hidroksitlerden seçimli çözündürmeyle NTE bileşikleri ayrılabilir. Şekil 26'daki akım şemasında alkali ortamda monazit özütleme ile NTE hidroksitleri HCl ve NaOH ile işleme sokularak NTE klorit, karbonat ve hidroksitler elde edilmektedir.

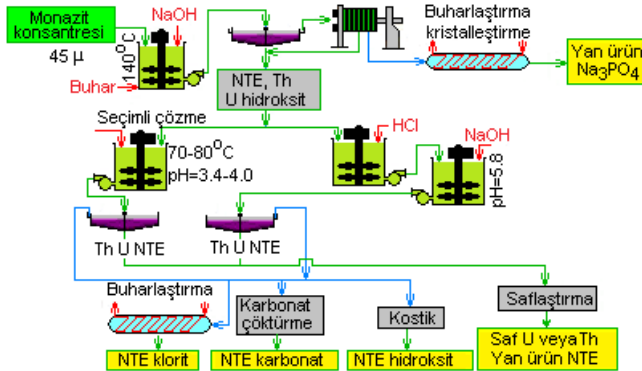
Şekil 26'daki akım şemasında alkali ortamda monazit özütleme ile NTE hidroksitleri HCl ve NaOH ile işleme sokularak NTE klorit, karbonat ve hidroksitler elde edilmektedir.



Şekil 26: Alkali özütlemeye NTE klorit, karbonat, hidroksit üretimi

Şekil 27'deki alkali ortamda monazit özütlemesinde NTE hidroksitleri  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  ve  $\text{NH}_4\text{OH}$  ile seçimli çözündürmeyle NTE  $\text{SO}_4$  ve  $\text{NO}_3$  üretilmektedir.

Nitrik asit içinde NTE hidroksitlerin özütlenmesi sonrası ortamdaki toryum ve uranyum tribütül fosfat ile eriyikten sıyrılarak kazanılmaktadır. Bu yöntem biraz karmaşıktır. Eriyikten sıyırmada aminleri kullanılması iyi sonuç vermektedir.

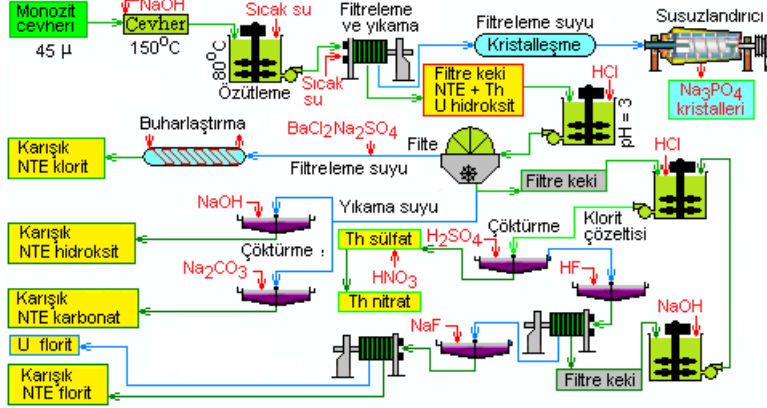


Şekil 27: Alkali özütlemeye NTE sülfat ve nitrat üretimi



### 12.3.1.3 IRE yöntemiyle özütleme

“The Indian Rare Earths Ltd” tarafından uygulanan IRE yöntemi ile özütlemenin akım şeması Şekil 28’de gösterilmiştir.



Şekil 28: IRE yöntemiyle özütleme

IRE süreci sonunda değişik NTE bileşikleriyle tortum nitrat ve uranyum florit üretilmektedir.

Yöntemde monazit cevheri genellikle kuru olarak öğütölmektedir. Öğütölmüş monazit %50 oranında kostik soda ile karıştırılarak 150°C sıcaklığa kadar ısıtılmakta, sonra da bu karışıma %50 soda daha ilave edilmektedir. Soda-cevher karışımı 80°C sıcaklıkta belirli süre karıştırılarak özütlenmektedir. Özütleme sonrası pulp filtrelenerek içerdiği trisodyum fosfat ile kostik sodanın fazlası filtreleme suyu olarak ayrılmaktadır.

Kuru trisodyum fosfat yaklaşık olarak %20 civarında P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içermektedir. Süreçte üretilen trisodyum fosfat, fosforik asitten üretilene göre daha saftır.

Hidroksit bileşikler tekrar yıkanmaktadır. Pulp'un pH değeri ortama HCl ilave edilerek 3'e düşürölmektedir. Pulp filtrelenerek filtre suyu ile filtre kekinin yıkama suyu ayrı süreçlere sokulmak için ayrılmaktadır.

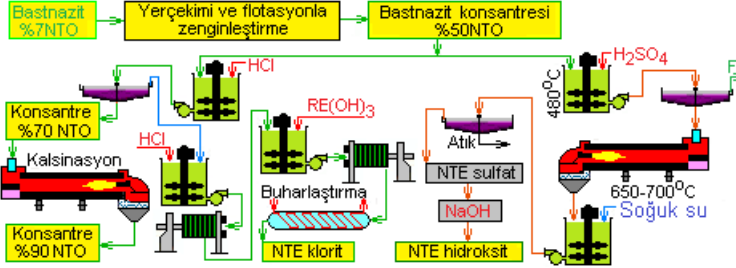
### 12.3.2 Bastnazitin özütlenmesi

Bastnazitin özütlenmesinde HCl ya da H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmaktadır. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile özütleme sürecinde bastnazit konsantrisi derişik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile karıştırılarak ısıtılmaktadır. Isıtma sırasında nadir toprak metalleri sülfatlara dönüşmektedir. Dönüşümün tamamlanması için sıcaklık 900°C'ye kadar çıkartılmaktadır. Isıtma sırasında fırından CO<sub>2</sub>, HF ve SiF<sub>4</sub> gazları çıkmaktadır. Bu işlem sonrası konsantr kalsine edilmektedir. Fırından çıkan nadir toprak metal sülfatları soğuk su ile özütlenerek sıvı faza alınmaktadır. Ortamdaki çözölmeyen katı kısım safsızlıkları içermektedir.



### 12.3.2.1 Bastnazitin asitle özütlenmesi

29'daki bastnazitin asitle özütleme süreci gösterilmiştir.

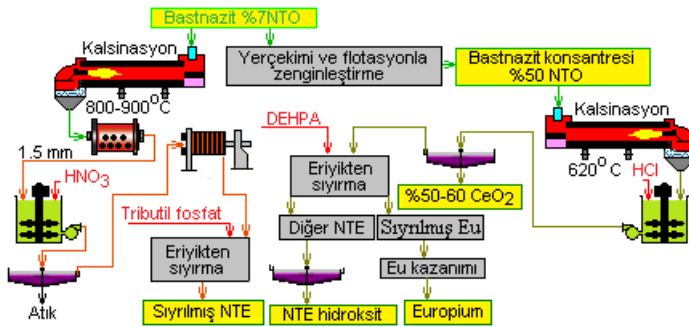


Şekil 29: Bastnazitten NTO konsantresi, NTE klorit ve hidrokisit üretimi

Elde edilen çözeltiye  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ilave edilerek çift elementli Na-NTE sülfatlar çöktürülmektedir. Çöken Na-NTE sülfatlar NaOH ile tepkimeye sokularak hidroksite dönüştürülmektedir. Hidroksitler de amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) ile nadir metal klorürlerine dönüştürüldükten sonra eriyikten sıyrılarak NTE'ler kazanılmaktadır.

Bastnazit cevherlerine uygulanan diğer bir yöntem de özütleme öncesi cevheri ya da konsantreyi sodyum hidrokisit ( $\text{NaOH}$ ) ile kavurmaktır. Kavurmayla cevherdeki florür  $\text{NaF}$ 'e nadir toprak metalleri de hidrokisit  $[\text{LnO}(\text{OH})_3]$  bileşimine dönüşmektedir. Kavurulmuş malzeme de su ile özütlenerek  $\text{Ln}(\text{OH})_3$  ve tepkimeye girmeyen barit ( $\text{BaSO}_4$ ) suda çözünen florürden ayrılmaktadır.

Şekil 30'daki akım şemasında bastnazit doğrudan ya da zenginleştirildikten sonra kalsine edilerek  $\text{HNO}_3$  ya da  $\text{HCl}$  ile özütlenerek içerdiği NTE kazanılmaktadır.



Şekil 30: Bastnazitin doğrudan ya da zenginleştirme sonrası kalsinasyonu

Akım şemasında kalsine bastnazit %30 derişimli  $\text{HCl}$  asidi içinde  $32^\circ\text{C}$  sıcaklıkta özütlenmektedir. Ortamda çözülmeyen seryum oksit ( $\text{CeO}_2$ ) katı-sıvı ayırımında katı fazda kalmaktadır. Yaklaşık % 70 NTO içeren katının % 90'dan fazlası  $\text{CeO}_2$  ve  $\text{ThO}_2$  bileşikleridir.





Sıvı fazda kalan çözeltide NTE'ler klorürler şeklinde bulunmaktadır. Çözeltinin safsızlıklardan temizlenmesi için ortama soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ilavesiyle pH ayarlanarak safsızlıkların çökmesi sağlanmaktadır. Çöken safsızlıklar filtrelenerek temizlenmektedir.

Çözeltideki NTE'leri birbirinden ayırmak için kristalleştirme, çöktürme, seçimli oksitleme ya da indirgeme, iyon değiştirme, eriyikten sıyırma gibi değişik yöntemler uygulanmaktadır. Bunların içinde en yaygın uygulananı eriyikten sıyırma yöntemidir.

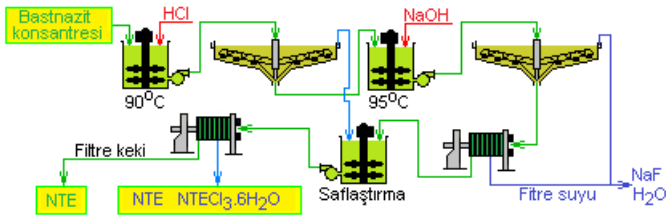
NTE minerallerinin özütleme sonrası çözeltide değişik bileşikler bulunmaktadır. Bu bileşiklerin özellikleri birbirine çok yakındır. Eriyikten sıyırma işlemi çok sayıdaki ardışık devrelerde değişik sıyırma kimyasalları kullanılarak bu bileşiklerin birbirinden ayrılması sağlanmaktadır.

Eriyikten sıyırma işlemi  $\text{HNO}_3$  kullanıldığı nitratlı ortamlarda, tri bütil fosfat TBP,  $\text{HCl}$ 'nin kullanıldığı klorlu ortamlarda di-ethylhexyl fosforik asit *DEHPA* veya *HDEHP*,  $(\text{C}_8\text{H}_{17}\text{O})_2\text{PO}_2\text{H}$ , organik reaktifler, gaz yağı veya benzeri bir çözücü ile karıştırıldıktan sonra uygulanmaktadır. Sıyırma işlemi aside dayanıklı polivinilklorür ve epoksi fiber camla kaplı karıştırıcılarda gerçekleştirilmektedir.

Ayırma işleminden sonra NTE'leri organik fazdan sıyırmak için hidrosit, karbonat veya oksalat şeklinde çöktürülmektedir. Çöktürülen bileşiklerden NTE'leri element olarak elde edebilmek için indirgeme işlemi uygulanmaktadır. İndirgenme işlemi klorür, florür, oksit ve oksit florür karışımı tuzlarının ergimiş halde elektrolizle ve metalik kalsiyum veya magnezyumla yapılmaktadır. Çok saf rafine metal üretimi içinde vakum altında ergitme, elektroliz ve son rafinasyon işlemleri uygulanmaktadır.

Diğer bir özütleme sürecinde bastnazit cevheri soda ile tepkimeye sokularak floritler hidrosit bileşenlerine dönüştürülmektedir. Bu bileşikler  $\text{HCl}$  içinde çözüldükten sonra  $\text{NECl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  şeklinde elde edilen nadir element klorürleri kristalize edilmektedir. Bu eriyiğin kristalize edilmeden de içerdiği NTE'lerin ayrı ayrı kazanılması olanağı da vardır.

Şekil 31'deki akım şemasında bastnazit cevherinden NTE klorid üretilmektedir.



**Şekil 31: Bastnazit cevherinden NTE klorid üretilmesi**

Bu süreç üç aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada bastnazit cevheri  $\text{HCl}$  ile tepkimeye sokulmaktadır:



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ



Bu tepkime sonucu cevherdeki değişik florür bileşikleri  $\text{NEF}_3$ 'e dönüşmektedir. Ortamdaki fazla su alındıktan sonra katı fazda kalanlar soda ile bozundurulmuş florürler hidroksite dönüştürülmektedir:



Üretilen  $\text{NE}(\text{OH})_3$  içindeki safsızlıkların temizlenmesi için pH=3 oluncaya kadar ortama HCl ilave edilmektedir:



Demir hidroksitlerin tamamının çöktürülmesi için ortama bir miktar hidroksit ilave edilmektedir. Kurşun sülfatların çöktürülmesi için az  $\text{H}_2\text{SO}_4$  asit, fazla sülfatların çökmesi ve toryum bileşiklerinin taşınması için baryum klorür ilave edilmektedir. Ortamın pH değerlerinde toryum hidroksit katı fazda kalmakta, eriyik filtrelediğinde katı fazda kalanlar temizlenmektedir. Sıvı fazda kalan  $\text{NECl}_3$  buharlaştırılarak derişimi artırılmakta ya da katı faza alınmaktadır.

### 12.3.2.2 Bastnazitin klorlanması

Bastnazit mineraline değişik özütleme işlemleri uygulanabilmektedir. Bunun için cevher genellikle 180µ boyutuna öğütülmektedir. Öğütülen cevher kömürle karıştırılarak klorlama işlemi sırasında toz olarak uçmaması için uygun bir bağlayıcı ile pelet ya da briket haline getirilmektedir.

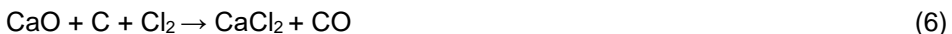
Klorlama süreci bastnazit cevheri yanı sıra monazit, ksenotim, allanit gibi diğer NTE minerallerine de uygulanabilmektedir.

Şekil 32'deki akım şemasında uygun boyuta indirilmiş bastnazit cevheri doğrudan kömür ile karıştırılıp biriktendikten sonra 1.000-1.200°C sıcaklıkta üzerinden klor gazı geçirilerek NTE kloridlere dönüştürülmektedir. Süreçte ortamdaki klorür gazları uçuculuklarına göre ayrılırken NTE klorürler de ergiyerek fırın tabanında biriktirmektedir. Fırından çıkan gazlardaki klorürler de ayrı ayrı kazanılmaktadır.



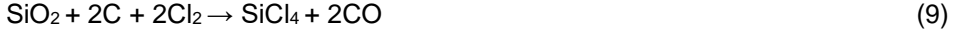
Şekil 32: Bastnazit cevherinin briktlenerek klorlanması

Ortamdaki tepkimeler cevherin içerdiği minerallerle ilişkilidir. Fosfat ve silikatlı cevherlerde ısıl işlem oksitli cevherlere göre daha yüksektir. Isıl işlem sürecinde ortamda gerçekleşen ısı veren tepkimeler:





Aynı süreçte ısı alan tepkimeler de aşağıdadır:



### 13. Türkiye’de NTE ile ilgili yasal düzenlemeler

3213 sayılı Maden Kanununda NTE’ler IV.Grup (c) bendi altında sayılmıştır:

c)Altın, Gümüş, Platin, Bakır, Kurşun, Çinko, Demir, Pirit, Manganez, Krom, Cıva, Antimuan, Kalay, Vanadyum, Arsenik, Molibden, Tungsten (Volframit, Şelit), Kobalt, Nikel, Kadmiyum, Bizmut, Titan (İlmenit, Rutil), Alüminyum (Boksit, Gipsit, Böhmite), **Nadir toprak elementleri (Seryum Grubu, Yttriyum Grubu) ve Nadir toprak mineralleri (Bastnazit, Monazit, Ksenotim, Serit, Oyksenit, Samarskit, Fergusonit)**, Sezyum, Rubidyum, Berilyum, İndiyum, Galyum, Talyum, Zirkonyum, Hafniyum, Germanyum, Niobyum, Tantalum, Selenyum, Telluryum, Renyum.

Bu minerallerin üretimi, kullanımı ve pazarlanmasıyla ilgili yasal bir kısıtlama yoktur.

Ülkemizde toryum ya da NTE’ler anıldığında ilk akla gelen yatak Beylikahır rezervleridir. Gerek oluşum ve gerekse bu nedenle toryum ile nadir toprak elementleri beraberce anılmaktadır. Bu nedenle yasal düzenleme toryum madeni üzerine kurulmuştur. 3213 sayılı Maden Kanununda toryum ile ilgili özel düzenleme vardır.

2840 Sayılı Bor Tuzları ve Asfaltit Maddeleri ile Nükleer Enerji Hammaddelerinin İşletilmesini Linyit ve Demir Sahalarının Bazılarının İadesini Düzenleyen Yasa 13.06.1983 tarih ve 18076 sayılı R.G.’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yasada; 2172 sayılı Devletçe İşletilecek Madenler Hakkındaki Yasayla kamu kuruluşlarına devredilen maden hakları yeniden düzenlemiştir. Yasada Devlet eli ile işletilecek madenler başlığı altında:

*“Bor tuzları, trona(tabi soda), asfaltit, uranyum ve toryum madenlerinin aranması ve işletilmesinin Devlet eli ile yapılacağı, bu madenler için 6309 sayılı Maden Yasası gereğince gerçek ve özel hukuk tüzel kişilerine verilmiş olan ruhsatların iptal edildiği”* hükmü gereği toryum madeninin devlet tarafından işletilmesi öngörülmüştür.

1985 yılında yürürlüğe giren 3213 sayılı maden kanununun 50.maddesi aşağıdaki gibidir:



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

**“Madde 50 – Bu Kanunun yürürlük tarihinden sonra toryum ve uranyum madenlerinin aranması ve işletilmesi bu Kanun hükümlerine tabidir.**

**“Üretilen cevher Devlete veya Bakanlar Kurulunca tespit edilecek yerlere satılır.”**

Bu kanunun yürürlük tarihi 15.06.1985 olup bu tarihten sonra toryum ve uranyumun özel ya da tüzel kişiler tarafından aranıp işletilmesi ile ilgili yasal engel kaldırılmıştır. Ancak üretilen madenin pazarlanması konusunda, pazarlanacağı kişi, kuruluş ya da ülke için devletten izin alınması gerekmektedir. Zaten çoğu ülkede radyoaktif minerallerin aranıp üretilmesi ve özellikle pazarlanması konusunda ülke menfaatleri doğrultusunda özel yasal düzenlemeler mevcuttur.

Ülkemizde NTE ve toryum üretimiyle ilgili olarak 9.Aralık 2010 tarihli Resmi Gazetede aşağıdaki ilan yer almıştır:

### **Teşekkülümüze Ait İR.3360 Sayılı Toryum Sahası Toryum Ve Nadir Toprak Elementleri (NTE) Olarak Değerlendirilecektir**

#### **Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğünden:**

*Teşekkülümüze ait Eskişehir İli Sivrihisar İlçesi sınırları içerisinde yer alan İR 3360 sayılı toryum sahasında, toryum ve Nadir Toprak Elementleri (NTE) için, özel sektör marifetiyle veya ortaklık şeklinde çalışma yapılacaktır. Bu çalışmaya katılmak isteyen firmalarla 20-31 Aralık 2010 tarihleri arasında randevu almak suretiyle görüşme yapılacaktır.*

1- Görüşmenin yapılacağı yer: *Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Maden Arama ve Maden Hakları Dairesi*

2- İşin Kapsamı ve Konusu:

*Değerlendirilecek olan İR.3360 sayılı toryum sahası, 2840 sayılı Kanun gereğince 1990 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından Teşekkülümüze bedelsiz olarak devredilmiştir. Sahada MTA Genel Müdürlüğünün buluculuk hakkı bulunmaktadır. 2840 sayılı yasa gereği sahanın herhangi bir şahsa ve kuruluşa devri mümkün değildir. Ancak, ortaklık, redevans ve kira şeklinde işletilebilecektir.*

*Sahada 1980-84 yılları arasında MTA tarafından yapılan arama çalışmaları sonucunda % 37.44 CaF<sub>2</sub>, % 31.04 BaSO<sub>4</sub>, % 3.14 NTE (nadir toprak elementleri) ve % 0,2 ThO<sub>2</sub> tenörlü kompleks cevher rezervi tespit edilmiştir. Toryum sahamızda bugün için bilinen rezervden üretilebilecek yaklaşık 4.000 ton toryum oksit bulunmaktadır. Yatağın kompleks olması nedeniyle toryum, kalsit, florit, barit ve NTE açısından birlikte değerlendirilme yapılmaması gerekmektedir.*

*Alanı 1.758,46 hektar olan sahanın tamamına ait toryum işletme izni ile birlikte uranyum, NTE, seryum, lantanyum, neodyum, barit ve florit işletme izinleri*



*bulunmaktadır. İzin süreleri 07.01.2012 tarihinde sona erecek olup, ruhsat temdit işlemleri, süresi içerisinde Teşekkülümüz tarafından gerçekleştirilecektir.*

*Cevherin prosesinde önce kalsit, barit ve floritin cevherden ayrılması, daha sonra toryumun ayrılması ve NTE'nin elde edilmesi gerekmektedir. Elde edilecek toryum Maden Kanununa göre sadece Devlete verilebilecek ya da Bakanlar Kurulunun belirleyeceği bir yere satılabilecektir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ile yapılan görüşme sonucunda, bu Kurumun 4-5 bin ton toryum oksidi depolayabileceği, ancak bunun da bir depolama maliyetinin olduğu öğrenilmiştir.”*

NTE ya da toryum madenin işletilmesi ve özellikle zenginleştirilmesi konularında ülkemizde bu işin uzmanı bir kuruluş yoktur. NTE rezervleriyle ilgili gerek bu yatakların işletilmesine, gerekse zenginleştirilmesine ve en önemlisi de ülkemizde kullanımına yönelik Maden Tetkik Arama Enstitüsü ve gerekse Eti Maden işletmeleri Genel Müdürlüğüne önemli bir çalışma yapılmamıştır.

Beypazarı trona rezervleri bulunduğu 1979 yılından yaklaşık 30 yıl sonra 2009 yılında üretime başlamıştır. Acaba bu madenin üretime alınması neden bulunduktan 30 yıl sonra gerçekleşmiştir?

1967 yılında, o zamanki adıyla Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü bünyesinde Radyoaktif Mineraller Servisi kurulmuştur. Ancak bu servis daha sonraki yıllarda kaldırılmıştır. Şu bir gerçek ki bu servis kaldırılmamış olsaydı ülkemizde nadir toprak elementleri, uranyum ve toryum konusunda uygulamaya yönelik ciddi bir bilgi birikimine sahip yetişmiş insanların olacağıdır. Beylikakır NTE rezervleri 1959 yılında MTA tarafından bulunmuştur. Bu rezervlere yaklaşık 50 yıldan bu yana dokunulmamıştır. Bu rezervlerin üzerine oturulup bekçiliğini yapmanın da bir anlamı yoktur. Ülkemizde NTE rezervlerinin üretilmesi, zenginleştirilmesi ve ülkemiz sanayisinde kullanımına yönelik düşünülmeli, bu kaynaklarımız ülkemiz insanı için ekonomimize kazandırılması için gerekli araştırmalar yapılmalıdır.

**Not:** Bu çalışmada 2014 yılında yayınlanan “Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme”, kitabı (ISBN 978-975-96779-5-4, 1500 sayfa) II. Cildinin Nadir Toprak Elementleri başlığı altındaki 49.bölümü de (sayfa 49.1281-1320 arası) kullanılmıştır.



#### 14. Kaynaklar

- ✚ Ali Haydar Gültekin, Nadir metal yatakları jeolojisi, İT.Ü. Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 80626, Maslak – İstanbul. Jeoloji Mühendisliği, Mayıs 1998.
- ✚ Boca Raton London New York Washington, D.C., ISBN 0-203-41302-4 Master e-Book ISBN ISBN 0-203-67180-5 (Adobe e-Reader Format), International Standart Book Number 0-415-33340-7 (Print Edition).
- ✚ British Geological Survey, Natural Environmental Resourch Concil, Rare Earth Elements
- ✚ Bulatovic, S., Process Development for Beneficiation of Barite, Fluorite, Bastnaesite Ore from the Dong Pao Deposit, Vietnam, Report of Investigation, 1995.
- ✚ Bulatovic, S., Process Development for Beneficiation of Mount Weld REO Ore, Report of Investigation, 1990.
- ✚ Bulatovic, Srdjan B., Handbook of Flotation Reagents, Chemistry, Theory and Practice, II.Volume, ISBN-10: 0444530827, ISBN-13:9780444530820, 2010, Elsevier Science and Technolgy Books.
- ✚ C.K.Gupta, N.Krishnamurthy, Extractive Metallurgy of Rare Earths, CRC PRESS
- ✚ EPA/600/R-12/572, December 2012 Revised, Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues, Engineering Technical Support Center Land Remediation and Pollution Control Division National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, Cincinnati, OH
- ✚ G. Özbayoğlu, Ü. Atalay, C. Hiçyılmaz , ODTÜ, MM Bölümü, Ankara Türkiye 14. Madencilik Kongresi Ankara 1995, ISBN 975-395-150-7, Beylikahır Kompleks Cevherinin Zenginleştirilmesi Beneficiation Of Beylikahır Complex Ore
- ✚ Gökhan Binzat, Uzman, Asya Pasifik Araştırma Merkezi, “Temiz Enerji ve İleri Teknoloji Üretiminde Nadir Toprak Elementlerin (NTE) Önemi ve Küresel Güçlerin Gizli Mücadelesi”, Enerji ve Enerji Güvenliği Araştırmaları Merkezi, 2015
- ✚ Greg Jones, “Mineral Sands: An Overview of the Industry” Manager Development Geology, Iluka Resources Limited, Jenkin Rd, Capel WA 6271
- ✚ <http://atilasaraloglu.com/Cevirmeler/Periyodik.aspx>
- ✚ <http://raremetalblog.com>
- ✚ <http://reehandbook.com>



- ✚ Ismar Borges de Lima ve Walter Leal Filho, Editörs:Tare Earths Industry, Technological, Economics and Environmental Implications, Elsvier, 2016
- ✚ Marc Humphries, Specialist In Energy Policy, Rare Earth Elements: The Global Supply Chain, June 8, 2012, Congressional Research Service, 7-5700, www.crs.gov, R41347
- ✚ Mikiya Tanaka, Tatsuya Oki, Research Institute for Environment Technology, Tomoko Akai, Research Institute for Innovation in Sustainable Chemistry, Yasushi Watanabe, Institute for Geo-Resources and Environment, AIST National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Printed in 2008, Japan.
- ✚ Nadir Toprak Metaller, Doç.Dr. Fatma Arslan: İTÜ Maden Fakültesi, Doç Dr.Cüneyt Aralan: İTÜ Kimya/Metalurji Fakültesi 80626 Maslak/ İstanbul.
- ✚ P. L. Hellman & R. K. Duncan, "Evaluation of rare earth element deposits", Applied Earth Science, Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B ISSN: 0371-7453 (Print) 1743-2758 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/yaes20>
- ✚ Pavez, O., and Perez, A.E.C., Bench Scale Flotation of Brazilian Monazite, Mineral Engineering, Vol. 7, No. 12, pp. 1561–1564, 1994.
- ✚ Pınar ŞEN, Ercan KUŞCU ve Sebahattin AK, Nadir Toprak Elementler, Özellikleri, Cevherleşmeleri Ve Türkiye Nadir Toprak Element Potansiyeli, MTA Genel Müdürlüğü.
- ✚ Polkin, C.I., Beneficiation of Precious Metals and Rare Mineral Ores, Publisher Nedra, Moscow, pp. 336–370, 1987.
- ✚ Rare Earth Elements 101, April 2012, IAMGOLD Corporation.
- ✚ Rare Earth Elements for Emerging Technologies, New Mexico Earth Matters, Summer 2011.
- ✚ Rare Earth Elements, British Geological Survey, Natural Environmental Researches Council, November 2011.
- ✚ Rare Earth Elements: A Review of Production, Processing, Recycling, and Associated Environmental Issues, Engineering Technical Support Center Land Remediation and Pollution Control Division National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development Cincinnati, OH, EPA 600/R-12/572, December 2012,| [www.epa.gov/ord](http://www.epa.gov/ord)
- ✚ Rare Earth Elements-End Use and Recyclability, Scientific Investigations Report 2011–5094, U.S. Department of the Interior , U.S. Geological Survey.
- ✚ Rare Metals, Mamoru Nakamura: Director, Kimihiro Ozaki, Material Research Institute for Sustainable Development, Shigeki Hara, Research Institute for Sustainable Chemistry,



## NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ

- ✚ Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu: Demirdışı Metaller Sanayii Özel İhtisas Komisyonu, Nadir Toprak Metalleri, Antimuan, Civa, Arsenik Raporu Çalışma Grubu Raporu. DPT: 2537 . ÖİK: 553
- ✚ Selective flotation of bastnaesite from monazite in rare earth concentrates using potassium alum as depressant, Jun Ren, Shaoxian Song , Alejandro Lopez-Valdivieso, Shouci Lu, International Journal of Mineral Processing, Volume 59, Issue 3, June 2000, Pages 237–245
- ✚ Stephen B. Castor and James B. Hedrick, Rare Earth Elements, Industrial Minerals and Rocks.
- ✚ Tony Harwood, CEO, Toronto, Rare Earths: Exploration, Mining And Refining TSX.V : Mon Montero Mining & Exploration Ltd., [www.monteromining.com](http://www.monteromining.com)
- ✚ World of the Elements Elements of the World. Hans-Jürgen Quadbeck-Seeger Copyright © 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-32065
- ✚ Wu Qifan, IAEA Board Room (Room A, M Building), IAEA, Headquarters, Vienna Third Technical Meeting (TM) on the Environmental Modelling for Radiation Safety EMRAS II Intercomparison and Harmonization Project IAEA Board Room (Room A, M Building), IAEA Headquarters, Vienna 24–28 January 2011, Overview of Legacy/NORM sites in Bayan Obo and Baotou, Inner Mongolia, China.