



Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

Dünyada ve Türkiye’de Nadir Toprak Elementleri



Skandiyum

İttriyum

İterbiyum

Lantan

Tulyum



Seryum

Disprosyum

Evropiyum

Neodimyum

Holmiyum



Prometyum

Samaryum

Gadolinyum

Terbiyum

Erbiyum

Lütelyum

Prasedmiyum

Maden Serisi : 5
Ankara



MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE NADİR TOPRAK ELEMENTLERİ (NTE)

HAZIRLAYANLAR

Mesut ŞAHİNER
Yusuf Ziya AKGÖK
Murat ARSLAN
M.Haluk ERGİN

Maden Müh.
Maden Yük. Müh.
Jeoloji Müh.
Maden Müh.

**Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı
Eylül 2017**

1. Giriş.....	5
2. Tanım	6
2.1. NTE'nin Kullanım Alanları.....	8
3. Maden Yataklarının Sınıflandırılması.....	11
4. Dünya Nadir Toprak Elementleri Rezervi	11
5. NTE Üretimi.....	15
6. Ticari Durum	17
6.1. NTE İthal ve İhraç Eden Ülkeler.....	18
6.2. Fiyat.....	19
7. Türkiye'de NTE	21
8. Öngörüler ve Değerlendirme.....	21
Kaynaklar	23

1. Giriş

Japonlar nadir toprak elementlerini teknolojinin tohumu, ABD’de teknolojik metal olarak adlandırır. NTE yaşadığımız bugünün dünyasını yüksek teknolojiye taşıması mümkün olabilecektir-her şey elektroniğin minyatürizasyonundan geçmektedir. Yeşil enerjiden tutun da ilaç endüstrisine kadar savunma sistemleri ve telekomünikasyonu da kapsayacak şekilde, dünyamızı değiştirebilecek teknolojik gelişmelere neden olabilecektir.

Nadir toprak elementleri, periyodik tabloda on yedi adet kimyasal element olarak yer almaktadır, on beş tanesi lantanit grubu ve ek olarak skandiyum ve itriyumdur. Skandiyum ve itriyum aynı cevherleşme içerisinde, aynı kimyasal özelliğe sahip lantanitler içerisinde türemiş, yer kabuğunda bulunabilen nadir olmayan element olmasına rağmen daha sonra nadir toprak element olarak kabul edilmiştir. Ekonomik mineral depoziti olarak bulunabilecek düzeyde vardır.

Nadir toprak elementlerin az miktar kullanımı, ürünün kalitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Yüksek teknoloji ürünlerinde de kullanım miktarı az olmaktadır. Ancak birim performansa etkisi kritik düzeydedir. Örneğin bir cep telefonunda sekiz adet nadir toprak element kullanılmaktadır. Renkli ekranlarda, mikrofonlarda cep telefonu devreleri ve ünitelerinin küçük ve fonksiyonel olmasında önemli yer almaktadır. Bir telefonda kullanılan nadir toprak element miktarı az olmasına rağmen kullanıcı sayısı hızla artmaktadır. Bu da önemini artırmaktadır.

Dünya pazarında nadir toprak elementlere en büyük talep Çin ekonomisinden gelmektedir. Yaşam koşullarındaki değişmelerle birlikte nadir toprak elementlere olan talep, gelişmelere bağlı olarak artabilecektir.



Resim 1- Basnazit



Resim 2- Skandiyum



Resim 3- Bazı Nadir Toprak oksit tozları (Fotoğraf: Peggy Greb, Agricultural Research Center of USDA)

2. Tanım

Renk: Parlak, demir gri veya gümüş rengindedirler.

Yapısal özellikleri: Genel olarak yumuşak, kolayca şekillendirilebilir, haddelenebilir ve tipik olarak tepkimeye girebilme karakteristiklerine sahiptirler.

Elektron dizilimleri: Kendilerine has manyetik ve optik özellikler vardır.

Ergime noktaları: Seri boyunca artar. Seryumun ergime derecesi 798°C iken Lütisyumun ergime noktası 1663°C 'dir. Metal üretimindeki redüksiyon sürecinde ergime noktasının direkt etkileri vardır.

Lantanitlerin, periyodik tabloda atom numaralarına göre 57-71 aralığında yer almaktadır. Lantan, seryum, prasedmiyum, neodimyum, prometyum, samaryum, evropiyum, gadolinyum, terbiyum, disprosyum, holmiyum, erbiyum, tulyum, iterbiyum ve lütisyum elementleridir. Kayaç formundaki lantanitler karbonat, oksit, fosfat ve silikatlar olarak bulunmaktadır. Nadir toprak elementler hafif nadir toprak ve ağır nadir toprak olarak ikiye ayrılmaktadır. Hafif nadir toprak elementlerinden lantanitlerin atom numaraları 57-64 aralığındaki elementler olmaktadır. Ağır nadir toprak elementleri atom numaraları ise 65-71 arasındaki elementlerdir. Farklılık hafif nadir toprakların sahip olduğu çift olmayan 4f elektron tabakasına sahip olmasından kaynaklanmaktadır ve ağır toprak elementleri 4f tabakasında çift elektrona sahiptir. Burada skandiyumun metal olarak durumu farklıdır en hafif element olmasına rağmen geçişken özelliği vardır ne ağır nede hafif lantanyum kategorisinde yer almaz.

İtriyum da bir diğer geçişken özelliği olan metaldir kimyasal olarak lantanitlere benzemektedir, lantanitler seri içerisinde yer almamasına rağmen ağır lantanitler serisi içerisinde kabul edilmektedir. Nadir toprak elementlerin pazarda kullanımı mıknatıslar, hidrojen alaşımlar katalizör, parlatma bileşikler ve fosfor üretiminde olmaktadır. Bunlara talep daha çok yeni nesil motorlar, manyetik ayırıcı, taşımacılık ve elektronik endüstrisinden gelmektedir.

Tablo 1- NTE metallerinin tanımı.

SEMBOL	İsim	Kullanım alanları	Atom no	Atom Ağırlığı	Formülü	Yoğunluğu gr/cm ³	Ergime	Noktası °C
Sc	Skandiyum	Havacılık bileşenlerini, Mercury-buhar lambaları	21	44,96	Sc ₂ O ₃	3.0	1541	
Y	İtriyum	Lazerler, mikrodalga filtreleri	39	88,91	Y ₂ O ₃	6.9	1522	
La	Lantan	Kamera lensleri, pil elektrotları	57	138,91	La ₂ O ₃	6.1	918	
Ce	Seryum	Petrol rafineleri için akışkan katalitik çatlama katalizörü	58	140,12	Sc ₂ O ₃	6.8 CeO ₂	789	
Pr	Prasedmiyum	Mıknatıslar, lazerler, karbon ark aydınlatma	59	140,91	Pr ₆ O ₁₁	6.8	931	
Nd	Neodimyum	Mıknatıslar, lazerler, seramik kapasitörler	60	144,24	Nd ₂ O ₃	7.1	1021	
Pm	Prometyum	Nükleer piller	61	147	Yok	7.3	1042	
Sm	Samaryum	Mıknatıslar, lazerler, nötron yakalama,	62	150,35	Sm ₂ O ₃	7.5	1074	
Eu	Evropiyum	Fosfor, lazerler, NMR rahatlatma üniteleri	63	152	Eu ₂ O ₃	5.3	822	
Gd	Gadolinyum	Bilgisayar hafızaları, mıknatıslar, lazerler	64	157,25	Gd ₂ O ₃	7.9	1313	
Tb	Terbiyum	Fosfor, lazerler, floresan lambalar	65	158,92	Tb ₄ O ₇	8.2	1356	
Dy	Disprosyum	Mıknatıslar, lazerler	66	162,50	Dy ₂ O ₃	8.5	1412	
Ho	Holmiyum	Lazerler	67	164,93	Ho ₂ O ₃	8.8	1474	
Er	Erbium	Lazerler, vanadyum çelik	68	167,26	Er ₂ O ₃	9.1	1529	
Tm	Tulyum	Portatif X-ray makina	69	168,93	Tm ₂ O ₃	9.3	1545	
Yb	İterbiyum	Kızılötesi lazer, kimyasal indirgenler	70	173,04	Yb ₂ O ₃	6.9	819	
Lu	Lütesyum	PET tarama dedektörleri, yüksek kırılma endeksli camlar	71	174,47	Lu ₂ O ₃	9.8	1663	

2.1. NTE'nin Kullanım Alanları

Tablo 2- NTE'lerin Kullanım alanları

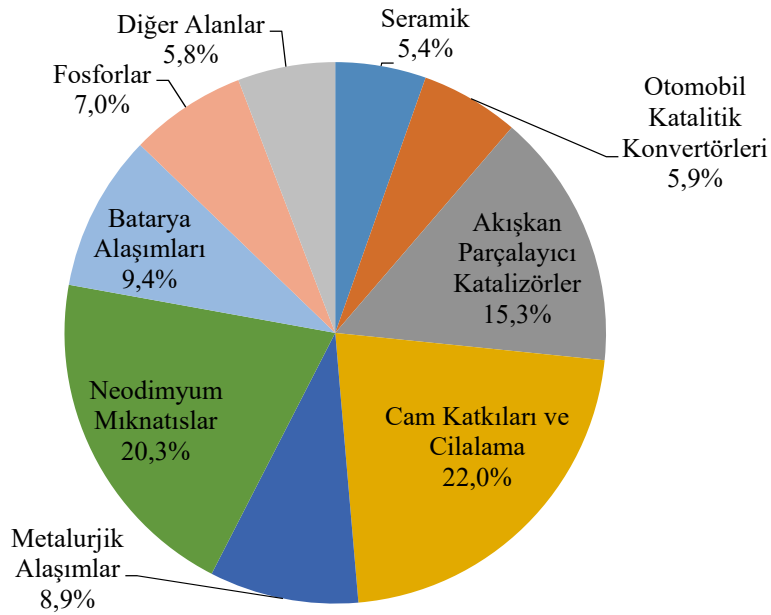
		Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Ed	Gt	Tb	Dy	Ho	Eu	Tm	Yb	Lu	Sc	RE
Katalizatör	Gelişmiş su arıtımı		•	•														•
	Emisyon kontrolü		•	•														•
	Akışkan kırma katalizörü		•	•														•
Seramikler	Alüminyum nitrit	•										•						
	Kondansatör	•	•	•	•	•	•		•		•		•					•
	Oksijen sensörleri	•																
	Ptc termistör	•	•		•				•		•							
	Silikon nitrit	•											•		•			
	Sentetik taşlar	•		•	•	•				•			•					
	Termal kaplama														•			
	Zirkonyum nitrit	•		•							•		•		•		•	
Elektronik	Global Konumlandırma Sistemi	•							•	•	•						•	
	Havacılık teknolojisi	•		•	•	•			•				•	•				
	Rehberlik ve kontrol sistemleri									•	•		•					
	Sabit diskler					•												
	ipads	•	•	•	•	•	•			•								•
	Nötron radyografisi		•				•		•									
	Gece görüş ekipmanı	•	•									•	•		•			
	Akıllı telefonlar			•	•	•	•				•							•
Enerji	Yüksek sıcaklık süper iletkenleri	•	•			•	•	•	•		•		•	•	•	•		•
	Hidrojen depolama alışı		•															•
	Nükleer enerji	•						•	•		•							
	Katı oksit yakıt hücreleri	•	•															
	Rüzgar türbinleri			•	•	•	•			•	•							
Cam	Boyama			•	•	•							•					
	Ağartmak, soldurmak			•	•	•							•					
	Ekran	•	•	•				•		•								•
	Cilalama			•														•
Manyetizma	Manyetik optik diskler					•			•	•	•							
	Manyetostriktif güç çevirici	•							•									
	Daimi mıknatıslar			•	•	•	•			•	•	•						•
İlaç	MR için kontrast madde								•									
	Tıbbi cihazlar								•					•				
	İlaçlar		•						•									
	X-ray CT için sintilatör	•			•			•	•					•				
Metalürji	Demir çelik için katkı		•	•														•
	Hibrid araç		•	•													•	•
	Süper alaşım	•							•			•					•	
Optik	El (elektro lüminesan)			•	•		•	•		•				•				
	florasan lamba	•	•	•				•	•	•								
	Işık yayan diyotlar LED	•				•												
	Metal halide lamba					•					•			•				
	Optik lif	•	•			•							•	•	•	•		
	Optik lens	•	•											•	•	•		
	Katı lazer YAG	•				•												
	X ışını yoğunlaştırıcı ekranlar								•	•								

Kaynak: Metall Rare Earth Limited

Nadir toprak elementleri; cevher konsantresi, karışık elementler, ara ürünler, yüksek zafiyetli oksit ve elementler, metal ve alaşımlar olarak ticari değere sahiptir. Nadir toprak elementlerinin doymamış 4f elektronik yapılarından kaynaklanan ışık yayma, manyetizma ve elektronik özellikleri, bu elementlerin nadir toprak fosforların üretiminde, çok güçlü manyetik ürünlerde, hidrojen depolama malzemelerinde ve katalizörler gibi malzemelerde kullanılmalarına olanak sağlamaktadır.

Nadir toprak elementleri kimyasal olarak aktif elementler olduklarından demir ve çelik içindeki nitrojen, oksijen, sülfür vb. elementleri uzaklaştırabilmektedirler. Ayrıca, dökme demirde sülfür ve grafitin yapısını etkileyerek dökme demirin matrisini düzenlemekte ve daha mukavim dökme demir üretilmesini sağlamaktadırlar. Sc-Al, Sc-Mg, Y-Al, Y-Mg ve Nd-Mn gibi nadir toprak alaşımları, yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini arttırmaları ve kuvvetli oksitlenmeyi önleyici rolleri sayesinde metalürjide yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Grafik 1- NTE Kullanım alanları yüzdesi



NTE'ler oksit, metal ve değişik kimyasal bileşikler olarak pazarlanıp kullanıldığı gibi yüksek sıcaklıkta duraylı olmaları nedeniyle kaliteli metal alaşım üretiminde de kullanılmaktadır. Katkı maddesi olarak NTE'leri içeren malzemeler kararlı, yüksek sıcak ve korozyona dayanıklı hafif malzemelerdir. Bu özellikleriyle NTE'leri bilgisayar, hibrid araçlar, şarj edilebilir piller, cep telefonları, düz televizyon ekranları, dizüstü bilgisayarları, rüzgâr 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.

Bazı alanlardaki kullanımları;

Uzay ve Savunma

Nadir toprak elementleri, birçok elektronik, optik ve manyetik uygulamalarda vazgeçilmezdir. Nadir toprak mıknatısları son derece güçlüdür; Bazıları yüksek sıcaklıklarda manyetik gücünü muhafaza ederler ve bu onları ticari ve havacılık uygulamaları için ideal hale getirir. Nadir toprak elementleri lazerler ve çözünürlük teknolojileri için de kullanılır. Bu teknolojiler, modern havacılık sistemleri için kritik öneme sahiptir.

Sağlık hizmeti

Nadir toprak daimi mıknatıslar, sağlık ve tıbbi teknolojiye gelişimi kolaylaştırdı. MR'ler gibi medikal görüntüleme cihazlarında kullanılan ve bu sayede doktorların hastalıkları teşhis etmesine olanak tanıyan güçlü bir manyetik alan üretirler; aksi takdirde tespit edilmeleri daha zor olur. Nadir toprak elementleri, robot yardımlı ameliyatlar gibi modern cerrahi makinelerde de kullanılır. Koklear implantlar gibi öncü teknolojilerde kullanılırlar. İtiryum, katı hal lazerlerinde ve kanser tedavisinde kullanılan ilaçlarda kullanılır. Modern tıpta çok önemlidir.

Temiz enerji

Nadir toprak elementleri, CO2 ve diğer emisyonları azaltmaya yardımcı olan rüzgar türbinleri, elektrikli araba pilleri ve enerji tasarruflu ışıklar da dahil olmak üzere birçok gelişmiş enerji teknolojisinde kullanılır. Nadir toprak elementleri hem kompakt floresan aydınlatma (CFL'ler), LED aydınlatma ve fiber optik için gereklidir. Nadir toprak mıknatıslarını kullanan yeni bir teknoloji olan manyetik soğutma, ev ve ticari kullanım için buzdolaplarının enerji verimliliğini potansiyel olarak artırabilir. Nadir toprak elementleri, yeni enerji teknolojilerimiz için kritik öneme sahiptir.

Elektronik

Nadir toprak elementleri, cep telefonları ve bilgisayar sabit diskleri gibi daha hızlı, daha küçük ve daha hafif ürünler sağlar. Televizyonlarda, bilgisayar ekranlarında ve diğer cihazlarda renkli ekranlar daha canlı hale getirilir. Kulak içi kulaklıklar, mikrofonlar, hoparlörler, optik eyaflar, akıllı telefonlar ve tablet bilgisayarlar için de önemlidir. İletişim ve bilgi işlem yeteneklerimizi sürekli olarak geliştirmemizi sağlıyorlar.

Nakliye ve Taşıtlar

Nadir toprak mıknatısları, otomobillerde, özellikle de enerji tüketimini azaltmak için tasarlanmış yeni nesil araçlarda birçok kullanıma sahiptir. Örneğin, birçok hibrid otomobil ve elektrikli taşıtın elektrikli motorlarında ve bunlara güç sağlamak için pillerde kullanılırlar.

Arabalardaki katalitik konvertörlerde bulunurlar ve zararlı hava kirleticilerinin azaltılmasına yardımcı olabilirler.

Kimyasallar, Petrol Arıtma ve İmalat

Nadir toprak elementleri, birçok kimyasal ve imalat sürecinde hayati önem taşır. Ham petrolün benzine dönüştürülmesini daha etkin hale getirirler ve birçok özel metal alaşımında kullanılırlar. Bu endüstriler için dünya çapında kritik önem taşıyor.

3. Maden Yataklarının Sınıflandırılması

Nadir metal yatakları, oluşumlarından doğrudan sorumlu tektonik, magmatik ve hidrotermal işlevler dikkate alınmadan, içinde yataklandıkları kayaçlarla olan münasebetlerine göre şu şekilde sıralandırılır.

A- Primer yataklar

- 1- Volkanik kayaçlarla ilişkili yataklar
- 2- Granitik kayaçlarla ilişkili yataklar
- 3- Pegmatitlerle ilişkili yataklar
- 4- Alkalın-ultramafik ve karbonatitlerle ilişkili yataklar

B- İkincil yataklar

- 1- Alüvyal (Akarsu) plaser yataklar
- 2- Sahil plaser yataklar

A- Primer yataklar

1- Volkanik kayaçlarla ilişkili, yataklar

Volkanizmayla ilişkili nadir metal yatakları, çoğunlukla hidrotermal alterasyona uğramış volkanik kayaçlar veya bu kayaçlar tarafından kesilmiş olan sedimanter birimler içinde ince taneli veya çatlak dolguları şeklinde izlenir. Yapısal kontrollü yataklanma, cevherleşmeyle eş zamanlı olarak ana kaya alterasyonuna da yol açan hidrotermal solüsyonlarca oluşmuş cevherleşme için en belirgin özelliştir. Volkanik kayaç ekseriyetle tüf, riyolit ve trakit olup, sedimanter örtü kayaç, hemen hemen değişmez bir şekilde kumtaşlarından oluşur.

Bu tür yataklarda sıvı inklüzyonlar üzerinde yapılan çalışmalar cevherleşmeye neden olan solüsyonların flüor içeriğinin belirgin bir şekilde yüksek ölçüldüğünü ve bir indikatör olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Yataklarda yaygınca izlenen cevher mineralleri flüorit, basnazit, bertrandit daha az olarak da barittir. Bu minerallere Rb, U, Th, Ta, Nb, Y, Be, Cs ve Re elementleri içeren mineraller bulunmaktadır. Metal kaynağı ya doğrudan, intrüzyon yapan magmanın kendisidir veya mevcut çatlaklar içinde dolaşan hidrotermal sıvıların reaksiyona girdiği katılaştırmış magmatik veya diğer yan kayaçtır.

Çoğunlukla volkanizmayla eş zamanlı gelişmiş olan kırıklar boyunca yükselen nadir metallerce zengin postmagmatik sıvılar, bir taraftan yan kayaçlar içinde özellikle de tüflerde camlaşma, zeolitleşme ve külleşme gibi bir dizi hidrotermal alterasyona neden olurken diğer taraftan, damar dolguları ve dissemine türde cevherleşmelere yol açar. Böyle bir oluşum mekanizması içinde birbirinden bir kırılma periyodu ile ayrılmış iki veya daha fazla sayıda mineralleşme evresi görülebilir. Gelişen mineral birliği çoğu zaman yatak için karakteristiktir ve çok evreli cevherleşmeyi anlatan birçok dokusal ilişki yansıtır. Genel olarak, bir sonraki evrede oluşan mineraller ilk oluşanların kısmen veya tamamen yerini almıştır.

2- Granitik Kayaçlarla İlişkili Yataklar

Granitlerle ilişkili yataklar, magmaların kristalleşme periyodunun bir parçasını oluşturan nadir metal mineralleri içerir. Çoğunlukla hidrotermal alterasyon ürünlerinin eşlik ettiği cevherleşmenin nadir metal içeriği fazlaca yüksek değildir. Bu nedenle pek çoğu ancak, atmosferik ayrışmanın önemli miktarda ayrılmış malzeme oluşturduğu, alanlarda ekonomik özellik kazanır. Yatakların yaşı Proterozoyikten Senozoyike kadar değişim gösterir. Tipik olarak 4 km'den daha az derinliklere yerleşmiş olan bu yataklar ana kayanın alüminyum doygunluk indeksine göre iki farklı grupta toplanır. Peralüminyumlu türler orojenik kuşaklarda, yeşil şist fasiyesi metamorfik kayaçlar içinde post orojenik plütonlar şeklinde görülür. İkinci grubu oluşturan peralkalin granitler çoğunlukla gerilme kuvvetleri etkisi ile subvolkanik sokulumlar halinde kıtasal kabuk içine yerleşmişlerdir ve zaman zaman nonperalkalin kayaçlarla bir birlik oluşturlar.

3- Pegmatitlerle ilişkili yataklar

Pegmatitler, özellikle granitik pegmatitler tantalum, lityum ve diğer bazı nadir metaller için önemli birer kaynak oluşturur. Cevherli türler çoğunlukla Arkeen-Proterozoyik yaşlıdır ve esas olarak metamorfik sahalarda üst yeşil şist - alt amfibolit fasiyesi kayaçları içinde yer alırlar. Genel olarak cevher post tektonik peralüminyumlu granitlerle ilişkili pegmatitler içinde izlenir. Nadir metal pegmatitleri basit veya asimetrik zonlu yapılar gösterir. Cevher minerallerine ilave olarak albit, kuvars, spodümen, mikroklin, ambligonit, Kfeldspat gibi mineraller de içerirler. Bazı yataklarda pegmatit bileşiminin %50'den fazlasını spodümenin oluşturduğu saptanmıştır. En yaygın izlenen cevher minerallerini kolumbit-tantalit, mikrolit, kasiterit, vodginil, beril ve bentrandit teşkil eder.

4- Alkalın-ultramafik ve karbonatitlerle ilişkili yataklar

Bu tip kayaçlar, esas olarak niyobyum ve nadir toprak element cevherleşmeleri içermeleriyle dikkati çeker. Cevher minerallerini az oranda baddeleyitin eşlik ettiği primer piroklor, bastnazit, flüorit ve barit oluşturur. Atmosferik ayrışmaya maruz kaldıkları yerlerde

ikincil piroklor ve monazit içeren zonlar gelişebilir. Karbonatitler, nadir metaller dışında apatit, filogopit, magnetit, provskit ve vermikülit gibi mineraller içinde yer yer önemli kaynak kayalarlardır. Nadir metal yataklarında özel bir yere sahip olan karbonatitler kalsit, dolomit ve diğer karbonatlarca zengin alkali ultrabazik kayalarla jenetik ilişkili çoğunlukla damar şekilli kayalarlardır. Esas olarak kıta içi havzalarda gelişen liftlerle ilişkilidirler. Dünyada saptanmış olan 200'e yakın karbonat oluşumunun yarısı Afrika kıtasında bulunur. Doğu Afrika'da bulunanlar esas olarak nefelinli türlerle ilişkilidirler.

B- İkincil Yataklar

İkincil yataklar esas olarak nadir metal içeren granit, pegmatit ve karbonatit gibi kayaların ayrışma, taşınma ve ağır mineral derişimlerine uygun alanlarda yığılması sonucu oluşurlar. Ticari yönden en önemli türlerini alüvyal ve kıyı plaser yataklar teşkil eder. Bunlara ilave olarak birincil yataklar üzerinde veya yakın çevresinde alüvyal türde yataklar oluşabilirse de bu tip plaserler daha çok ana kaya ile birlikte işletilir ve birincil yataklarla bir arada değerlendirilir.

Alüvyal plaserler, akarsularca taşınan malzemenin hidrolik koşullar etkisi altında yığılması sonucu oluşurlar. Ayrık malzeme içinde ekonomik derişimler oluşturan nadir metal mineralleri daha çok toryum içerebilen monazit, zirkon, öksenit, ksenotim, brannerit ve niobiyum, tantal minerallerinden ibarettir. Bunlara plaser yataklarda yaygınca izlenen ağır minerallerden kasiterit, manyetit, ilmenit, kromit, granat, rutil ve turmalin değişik oranlarda eşlik eder.

Sahil plaser yataklar Brezilya, Avustralya, Mısır, Sierra Leonna ve ABD'nde geniş alanlara yayılmış büyük oluşumlar şeklindedir. Genel olarak nadir metal mineralleri, kumlar içinde ağır minerallerle birlikte yataklanmıştır. Akarsularca kıyıya taşınmış olan kumlar çoğu zaman dalgalar, gel-git hareketleri ve kıyı akıntılarınca yeniden işlenmiştir. Kıyıya paralel mercek, şerit, cep ve tabaka şekilli oluşumlar gösteren zengin zonlar çoğu zaman siyah, renkli ve ince tanelenmiş olup tanelerine göre düzenli boyutlanmalar gösterirler.

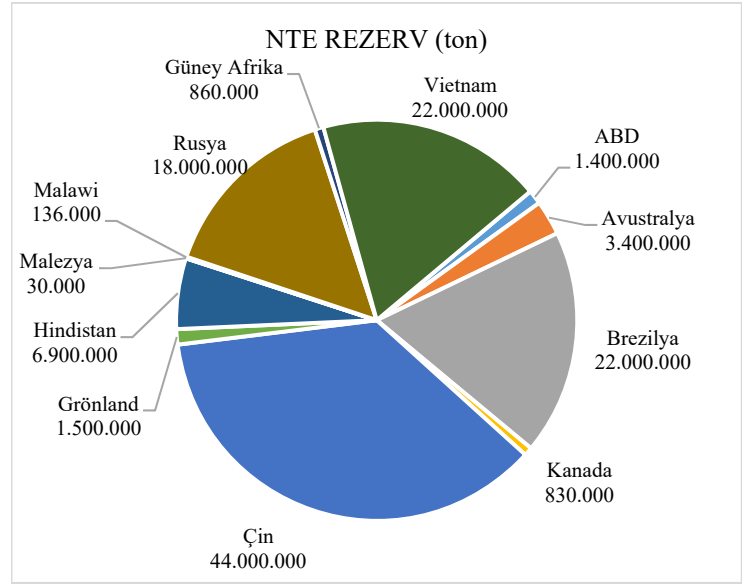
4. Dünya Nadir Toprak Elementleri Rezervi

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.

Tablo 3- NTE Rezervi

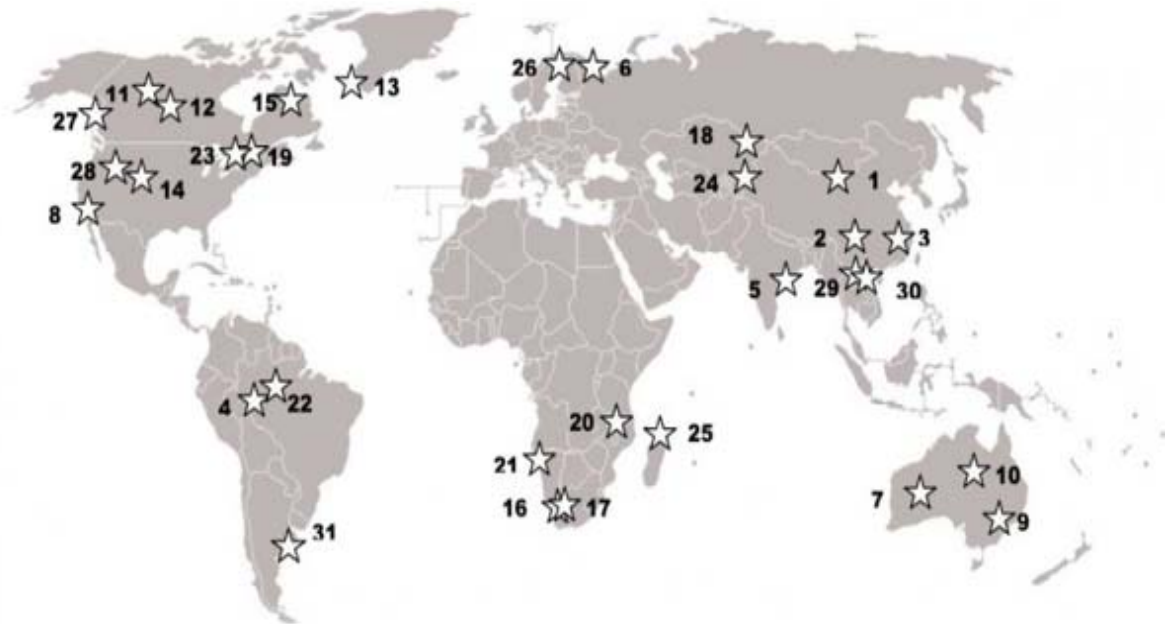
ÜLKELER	REZERV (ton)
ABD	1.400.000
Avustralya	3.400.000
Brezilya	22.000.000
Kanada	830.000
Çin	44.000.000
Grönland	1.500.000
Hindistan	6.900.000
Malezya	30.000
Malawi	136.000
Rusya	18.000.000
Güney Afrika	860.000
Tayland	Veri Yok
Vietnam	22.000.000
TOPLAM	121.056.000

Grafik 2- NTE Rezerv Dağılımı



Kaynak: Mineral Commodity Summaries, 2017.

Nadir toprak metalleri, yeryüzünde yaygın olarak bulunmaktadır. Çin NTE rezervlerinin yaklaşık % 36,52, Rusya % 19,27, ABD'de yaklaşık % 13,19, Avustralya'da % 5,48 Hindistan % 3,14'üne sahiptir. Ülkemiz de 1965-2004 yılları arasında 20 civarında çalışma yapılarak araştırılmıştır. Çalışma alanları Eskişehir-Sivrihisar- Kızılcaören bölgesi ağırlıklı olmak üzere, Manisa-Turgutlu, Malatya-Darende ve Samsun- Bafra yöreleridir. Çalışmalarda kayda değer rezervler bulunamadığı söylene de, yetersizliği kabul edilmektedir.



Tablo 4- Dünyada devam eden önemli projeler ve kaynaklar

☆	FİRMALAR	PROJELER	REZERV DURUMU	ÜRETİM KAPASİTESİ	PROJENİN DURUMU
1	Baogang Rare Earth	Bayan Obo	56.392.000	55.000	üretim
2	Various	Jianxi	9.303.300	55.000	üretim
3	Various	Sichuan	510.000	10.000	üretim
4	CBMM	Momo Dos Seis Lagos	11.730	650	üretim
5	Indian Rare Earths Limited	Orissa	N/A	12.700	genişleme
6	JSC Sevredmet	Lovozerskoye	1.150.000	4.000	genişleme
7	Lynas Corp	Mount Weld	1.183.400	22.000	inşaat
8	Molycorp Minerals	Mountain Pass	1.840.000	42.402	inşaat
9	Alkane Resources	Dubbo	546.340	2.580	Belirlenen rezerv
10	Aratura	Nolans Project	848.000	20.000	Belirlenen rezerv
11	Avalon Rare Metals	Nechalacho	3.057.000	9.296	Belirlenen rezerv
12	Great Western	Hoidas Lake	62.208	5.000	Belirlenen rezerv
13	Greenland Minerals	Kvanefjeld	4.889.900	43.700	Belirlenen rezerv
14	Rare Element Resources	Bear Lodge	398.600	10.000	Belirlenen rezerv
15	Quest Rare Minerals	Strange Lake	1.147.082	12.120	Belirlenen rezerv
16	Frontier Rare Earths Limited	Zandkopsdrift	947.000	17.039	Belirlenen rezerv
17	Great Western	Steenkampskraal	29.400	2.500	Belirlenen rezerv
18	Kazatomprom Sumitomo	Ulba	N/A	13.608	Belirlenen rezerv
19	Matamec Explorations	Zeus	31.800	N/A	Belirlenen rezerv
20	Montero Mining	Wigu Hill	N/A	N/A	Belirlenen rezerv
21	Namibia Rare Earth Inc.	Loldal	N/A	N/A	Belirlenen rezerv
22	Neo Materials Mitsubishi	Pintingga	N/A	N/A	Belirlenen rezerv
23	Pele Mountain Resources	Eco Ridge	67.222	N/A	Belirlenen rezerv
24	Stans Energy	Kutessay 2	N/A	1.000	Belirlenen rezerv
25	Tantalus Rare Earths AG	Tantalus	N/A	N/A	Belirlenen rezerv
26	Tasman Metals	Norra Karr	326.700	5.000	Belirlenen rezerv
27	Ucore Uranium	Bokan Mountain	N/A	N/A	Belirlenen rezerv
28	US Rare Earths	Lemhi Pass	567.455	N/A	Belirlenen rezerv
29	Vietnam Gov't	Mau Xe North ve South	11.740.000	30.000	Belirlenen rezerv
30	Vietnamese Gov't Toyota Tsucho/Sojitz	Dong Pao	759.000	7.000	Belirlenen rezerv
31	Wealth Minerals Ltd.	Rodeo de Los Molles	1.176.000	N/A	Belirlenen rezerv

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

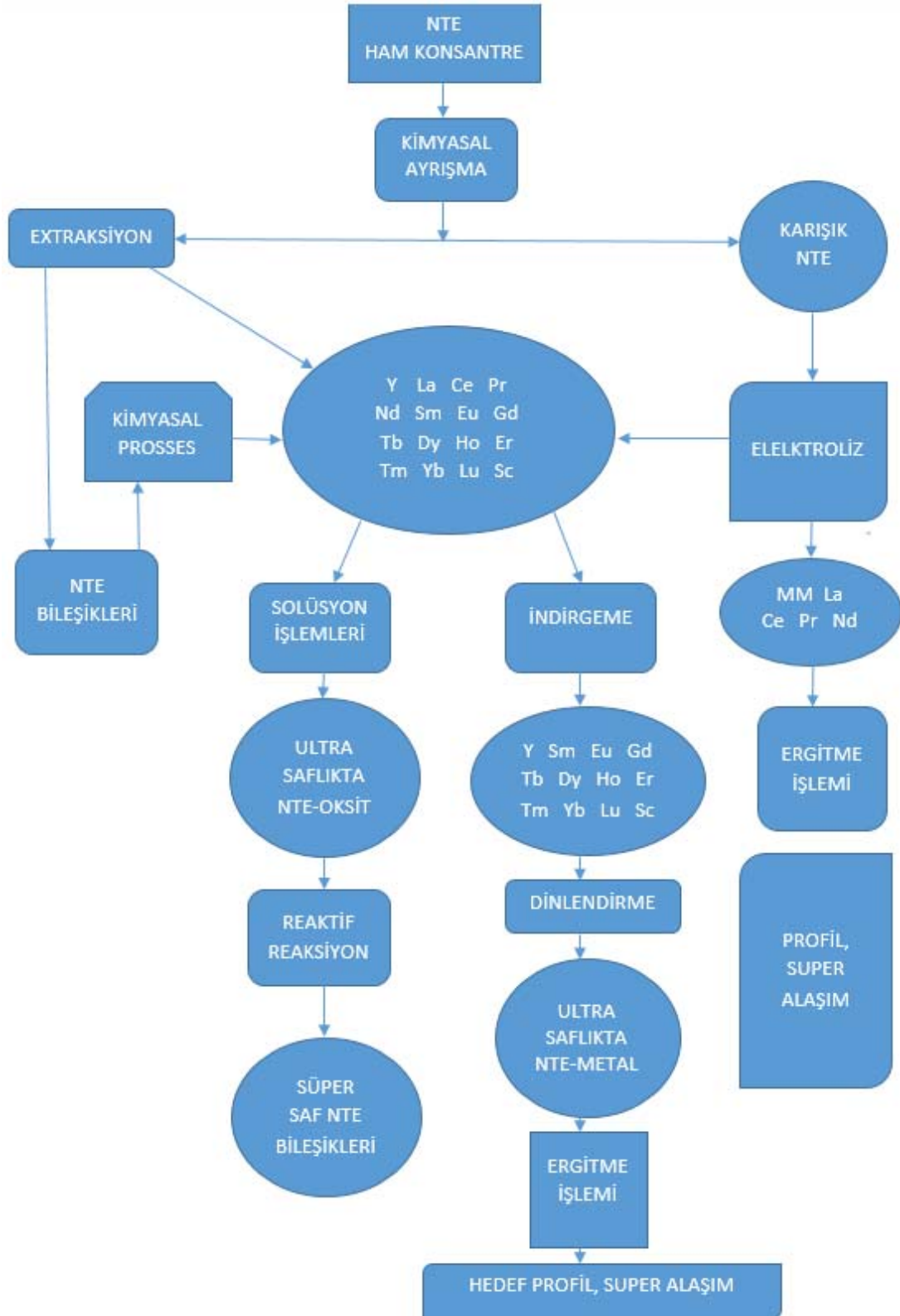
N/A: Bilgi Yok.

5. NTE Üretimi

NTE üretimi solüsyon madenciliği, yeraltı madenciliği, açık işletme yöntemleri uygulanarak yapılmaktadır. Solüsyon madenciliği ülkelerin izin verdiği ölçüde uygulanmaktadır. Çıkarılan hammaddeler kırma, öğütme, kimyasal ve metalürjik işlemler

sonucunda ürün haline getirilmektedir. Bunu yapabilmek için bilgi, teknoloji, deneyim ve uzmanlık gerekmektedir. Bu sebeple NTE'nin bulunmasının yanında bunu işleyebilecek teknolojinin ve deneyimin de olması gerekmektedir.

Grafik 3- NTE ham konsantrenin endüstriyel kullanıma geçiş süreci şeması.



Grafik 3’de gösterilen akım şemasındaki aşamalar dikkate alındığında NTE’nin endüstriyel kullanım aşamasına gelineye kadar izlenen süreç yöntemleri birçok mühendislik disiplininin ortak çalışmasıyla mümkün olabilecektir. Bu sistemin Ar-Ge kuruluşları ve Üniversiteler aracılığı ile geliştirilmeli ve gelecekte üretim sürecine hızla geçiş sağlanmalıdır.

Tablo 5- Dünya NTO (Nadir Toprak Oksitleri) üretimi (2010-2016) (ton).

ÜLKELER	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Avustralya	-	2.188	3.222	3.000	8.000	12.000	14.000
Brezilya	140	140	110	330	—	880	1100
Çin	89.200	93.800	93.800	93.800	105.000	105.000	105.000
Hindistan	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700
Kazakistan	--	--	-	-	140	----	-----
Malaysiya	380	410	100	180	240	500	300
Rusya	2.300	2.500	2.400	2.500	2.600	2.800	3.000
ABD	-	-----	3.000	5.500	5.400	5.900	---
Tayland	5.600	3.100	120	130	1.900	760	800
Vietnam	170	200	200	100	-	250	300
Toplam	99.500	104.000	105 000	107000	125000	130.000	126.000

Kaynak: Mineral Commodity Summaries, 2017

Tablo 5’de görüldüğü gibi son yıllarda ortalama 125 bin ton üretim yapılmaktadır. Bu üretimin %80’ninden fazlasını Çin üretmektedir. Bunun yanında diğer önde gelen üreticiler ise Avustralya, Rusya, Hindistan ve Brezilya’dır.

6. Ticari Durum

Dünyada önde gelen Nadir Toprak Elementleri üretici ülkelerinin başında Çin gelmekte olup bunu Brezilya izlemektedir. Dünyada tüketim yapan ülkelerin başında da Çin gelmekte olup bunu Japonya, ABD, Almanya, Fransa takip etmektedir.

Nadir toprak elementlerinin dünya ticaretindeki yerinin, ülkelerin yüksek teknolojik ürünler üretebilme kapasitelerine göre biçimleneceği ve bunun sonucu olarak, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için öneminin artacağı açıktır.

Günümüzde yaklaşık 500 milyon dolar olan nadir toprak pazarının 2020 yılına kadar 9 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Artış en çok da kalıcı manyetik alan mıknatıs segmentinde olacaktır. Gelişmiş neodimyum mıknatısların rüzgâr tribünlerinde ve hibrid – elektrikli araçların kullanılmasıyla ortaya çıkacaktır. Nikel metal hibrid bataryalara olan talebi

artıracaktır. Bunlara ek olarak yağ rafinasyon sektöründeki iyileşmeler küresel katalitik konvektör kapasitesinde artışa neden olacaktır buda katalizör üretimini destekleyecektir. Bu durumda lantanyum ve seryum talebi ve üretimi artıracaktır. Çelik, araba motorları ve elektronik de ki üretim artışı nadir toprak elementlerindeki tüketimi artıracaktır.

6.1. NTE İthal ve İhraç Eden Ülkeler

Dünyada alıcı ve satıcı ülkelerin verileri Birleşmiş Milletler Ticari istatistiklerinden derlenerek yapılmış olup bazı ülkeler veri vermekten imtina ettikleri gibi bazı durumlarda tutarsız verilerde vermektedirler. Bu veriler ışığında; 2015 yılı itibariyle Dünyada Nadir Toprak Elementi ihracatı 7.660 ton olup bunun % 35 ABD, % 23,4 Brezilya, % 9,5 Çin, % 8,5 Avrupa Birliği, % 8,3 Belçika ve diğer ülkelere aittir. Bu ülkeler Dünya Nadir Toprak Elementi ihracatının % 85'ini yapmaktadır.

Tablo 6- NTE ihracatı yapan ülkeler (2015)

Ülkeler	DEĞER (\$)	Miktar (ton)
ABD	124.543.710	2.675
Brezilya	87.431.973	1.791
Çin	73.746.367	734
Şili	43.731.180	2
AB -28 Ülkeleri	28.423.290	652
Diğer Asya Ülkeleri	23.366.952	469
Japonya	16.887.021	35
Almanya	16.131.493	31
Rusya	14.241.195	174
Estonya	9.225.476	115
Hollanda	7.889.949	45
Belçika	5.814.408	638
Kanada	5.782.432	29
İngiltere	5.279.363	12
Slovakya	2.602.229	9
Ukrayna	2.231.736	1
Fransa	2.121.827	6
Diğer Ülkeler (37)	4.586.821	242
Toplam	474.037.422	7.660

Kaynak: data.un.org 2017

Dünyadaki NTE'nin İthalat durumuna bakıldığında 2015 yılında toplam 5.149 ton olup % 18 Singapur, % 17,7 Malezya, % 12 Çin, % 6,4 Avrupa Birliği % 4 ABD, % 4 ile Almanya önde gelen ülkelerdir.

Tablo 7- NTE ithalatı yapan ülkeler (2015)

Ülkeler	DEĞER (\$)	Miktar (kg)
AB -28 Ülkeleri	53.886.715	332
Almanya	47.159.887	191
Çin	39.893.218	616
Malezya	27.504.173	912
Diğer Asya Ülkeleri	22.229.553	79
ABD	21.410.918	210
Japonya	18.888.190	62
Kore Cumhuriyeti	11.410.337	39
Singapur	9.655.820	935
Hindistan	8.988.472	175
Finlandiya	7.361.468	46
İtalya	6.010.545	72
İsviçre	5.516.294	2
İsrail	4.620.000	11
Fransa	4.236.427	52
Avusturya	4.112.208	86
Avusturalya	3.456.064	45
İngiltere	3.447.282	31
Rusya	2.901.625	10
Kanada	2.885.279	23
Yeni Zelanda	2.802.178	141
Belçika	2.727.082	86
İsveç	1.988.808	14
Macaristan	1.927.528	6
Sudi Arabistan	1.460.268	1
Meksika	1.429.232	26
Türkiye	1.180.845	38
Brezilya	1.153.129	3
Tayland	1.079.853	81
Diğer Ülkeler (63)	6.097.584	823
Toplam	327.420.982	5.149

Kaynak: data.un.org 2017

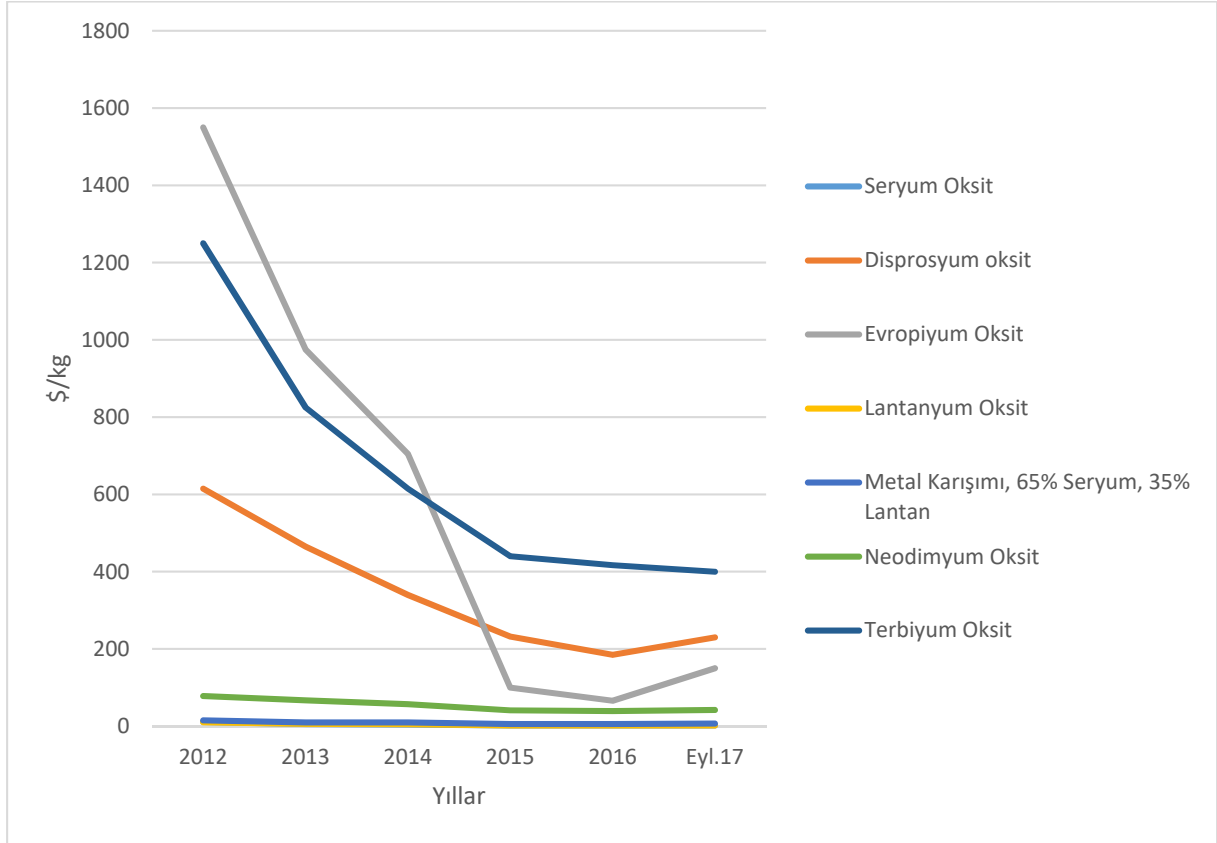
6.2. Fiyat

2009 yılında sonra 2011 yıl sonuna kadar NTE'nin arz güvenliği konusundaki endişelenmelerden kaynaklı olarak artış göstermiştir. 2012 ve 2013'te NTE'ye olan talep azalmasıyla ve yeni üreticilerin piyasaya girmesiyle %50'den fazla fiyat gerilemiştir. Bu yıldan sonra sürekli düşen fiyatlarla devam ettikten sonra 2016 sonlarından 2017'nin Ekim ayına kadar hibrit ve elektrikli araçlarda NTE taşıyan bileşenlerin kullanımı, NTE endüstrisine yeniden

ivme kazandırmıştır. Çin'in çevre denetimleri ve kaçak üretimleri denetleme çabası ile bazı işletmelerin üretimi askıya alması, fiyatları arttırmıştır. Ancak kaçak üretim satışları %35-40 düzeyindedir. Çin, büyük üreticilerin vermiş olduğu fiyatların aşağısında işlem görmesini sağlamıştır ancak ileriki dönemlerde, NTE'nin ülke içindeki hakimiyetiyle birlikte fiyatlar da gerçek değerine ulaşacaktır.

Tablo 8- Önemli NTE metal oksit fiyatları

NTE Mineralleri (\$/Kg)	2012	2013	2014	2015	2016	Eylül 2017
Seryum Oksit, 99,5% minimum	11	5,5	4,5	2	2	2
Disprosyum oksit, 99,5% minimum	615	465	340	232	185	230
Evropiyum Oksit, 99,9% minimum	1550	975	705	100	66	150
Lantanyum Oksit, 99,5% minimum	10	6	5	2	2	2
Metal Karışımı, 65% Seryum, 35% Lantan	15	9,5	9,5	5,5	5,5	7
Neodimyum Oksit, 99,5% minimum	78	67	57	41	39	42
Terbiyum Oksit, 99,99% minimum	1250	825	615	440	417	400



Tablo 9- Nadir Toprak oksitlerinin gelecekteki tahmini fiyatları

Nadir Toprak Oksitler	2018	2022	2025
Lantanyum oksit (\$/ton)	7.904	6.558	6.932
Seryum oksit (\$/ton)	5.516	3.248	3.308
Prasedmiyum oksit (\$/ton)	122.931	113.000	119.093
Neodimyum oksit (\$/ton)	107.729	105.000	148.444
Samaryum oksit (\$/ton)	6.884	4.519	4.887
Evropiyum oksit (\$/kg)	721	418	372
Gadolinyum oksit (\$/ton)	28.473	19.982	23.437
Terbiyum oksit (\$/kg)	868	556	577
Disprosyum oksit (\$/kg)	454	367	378
Holmiyum oksit (\$/kg)	46	20	22
Erbiyum oksit (\$/kg)	155	128	143
İterbiyum oksit (\$/kg)	76	45	48
Lütesyum oksit (\$/kg)	1.258	1.258	1.258
İtriyum oksit (\$/kg)	54	35	38

Kaynak: statista.com

7. Türkiye’de NTE

En önemli NTE yatağı, Kızılcaören-Eskişehir’deki bastnasit-fluorit-barit yatağı ortalama %3 tenörlü, 4.000.000 ton rezerve sahiptir.

Malatya-Kuluncak yöresi önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Bu yörede 1000 ton, %24 tenörlü britolit cevherleşmesi tahmin edilmektedir.

Ülkemizde bulunmuş ve henüz işletilmeyen NTE yatakları mevcuttur.

Ülkemizdeki NTE yatakları için girişimler söz konusudur. Bunun yanı sıra ülkemiz jeolojisi bu elementlerin oluşumu için de uygundur. Ancak şu anda bu madenleri üretip ihraç etmemiz bir anlam taşımayacaktır. Hedefimiz bu elementlerin üretilmesi, zenginleştirilmesi, sanayisini kurarak, NTE hammadde gereksiniminin kaynaklarımızdan karşılanması olmalı ve hatta sanayisini kurarak hammaddeyi ithal edip katma değer oluşturabilmelidir.

8. Öngörüler ve Değerlendirme

Nadir metallerin önemli bir bölümünün 2030 yılına kadar tükeneceği tahmin edilmektedir. Örneğin 2006 yılında güneş panellerinin yapımında kullanılan galyumun yüzde 83’ü Çin’de kullanılmıştır. 2006 yılında dünya genelinde 152 ton üretilen galyum talebinin 2030 yılında 603 tona çıkacağı tahmin edilmektedir.

Ancak bu yatakların araştırılmasında engelleyici en önemli faktörden bir tanesi de hatırı sayılır büyüklükte tanımlanmış olan rezervlere karşılık, günümüzde hala düşük miktarlarda tüketilir olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte önümüzdeki yıllarda, nadir metallerin, tüketimindeki artışın yüksek olacağı tahmin edilmektedir.

Uzmanlar, ABD ve diğer Batılı devletlerin, dünyanın en büyük nadir metal ve mineral ihracatçısı Çin'in tehdidi altında bulunduklarını sıklıkla vurgulamaya başlamışlardır. Çünkü nadir madenler, rüzgâr türbinleri ve düşük enerjili ampuller (LED) gibi yeşil teknoloji ürünleri için son derece önemli ham maddelerdir.

Yeni yüzyılın, petrol ve doğal gaz açısından olduğu kadar özellikle stratejik madenler ve mineraller açısından da uluslararası çıkar çekişmelerinin giderek yoğunlaştığı bir dönem olacağı tahmin edilmektedir. Uluslararası çıkar kavgası sadece yer altı maden ve mineral zenginliklerinin paylaşımında değil, Çukç Denizi'nde ve Kuzeybatı Geçidi'nde olduğu gibi denizlerdeki ve okyanuslardaki maden ve mineral yataklarının paylaşımında da yaşanacaktır.

Uluslararası çekişmelerin kaynağında milli güvenlik kadar, milli ekonominin itici gücünü oluşturan maden ve mineral kaynaklarının paylaşımının da olduğu hatırdan çıkarılmamalıdır. Bu nedenle gerek diplomatik yöntemler, gerek etnik yapıyı zorlama, gerekse rejim değişikliğini hedefleyen çabaların arkasındaki ana hedefleri kavramadan milli çıkarları korumak mümkün olmayacaktır. Maden ve mineral kaynaklarına sahip olmak için zaman zaman doğrudan veya dolaylı olarak askeri güç kullanıldığını da göz ardı etmemek gerekmektedir.

Sanayi ülkeleri uydu teknolojisi ile dünyanın maden ve mineral zenginliklerini belirleme bakımından avantajlı ve ayrıcalıklı bir konumdadırlar. Bu avantajdan Türkiye'nin de yararlanması için her türlü girişim yapılmalıdır.

Türkiye, bulunan madenleri olduğu gibi satmak yerine, işleyerek, katma değerini yükselterek ihraç etmeyi başarmalıdır.

Nadir Toprak Elementleri üretimine paralel olarak gelişmiş ülkelerdeki tüketimin de önümüzdeki yıllarda artacağı bilinmektedir. Bulunan yatakların değerlendirilmesi dünya pazarındaki arz talep dengesine göre artış göstermektedir. Ülkemiz açısından Nadir Toprak Elementleri değerlendirilmesine bakıldığı zaman sadece geçmiş yıllarda yapılan araştırma boyutunda çalışmalar ile sınırlı kalmış olup, herhangi bir potansiyele sahip yataklanma bulunamamıştır. Günümüzde Havza bazında maden faaliyetleri kapsamında Nadir Toprak Elementleri arama çalışmalarına başlanılmış olup, bu çerçevede Madencilik sektöründe Nadir Toprak Elementleri kazanımı için öncelikle MTA adına yürürlükte olan ruhsatlarda detaylı bir çalışma yapıldıktan sonra elde edilecek veriler ışığında belirlenen bölgelerde özel sektörün yatırım alanına çekilmesi ilk adım olmalıdır. Bu aşamadan sonraki süreçte ham madde üretimi ve teknoloji birleşimi ile ürün bazında üretime geçilerek ekonomiye katkı sağlanması mümkün olacaktır.

Kaynaklar

1. U.S. Geological Survey Mineralsyearbook—2017
2. <http://www.rareelementresources.com/rare-earth-elements>
3. Engineering And Mining Journal /December 2015
4. MTA Doğal Kaynaklar Ve Ekonomi Bülteni, 13.Sayı
5. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(1), ss. 207-214, Mart 2017
6. Gültekin A.H., Jeoloji Müh. Odası. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. Sayı 52. Sayfa 29,
7. Metall.com.cn verileri
8. Geology.com verileri
9. Caesarsreport.com verileri
10. Investingnewa.com verileri
11. <https://www.statista.com> verileri