

## KÖMÜR, NTE ile KÜLLERİNDEN DOĞUYOR

Periyodik tabloda atom numaraları 57'den 71'e kadar olan elementler ile 21 atom numaralı Skandiyum (Sc) ve 39 atom numaralı İtiryum (Y) lantanitlerle benzer kimyasal özellikler gösterdiklerinden Nadir Toprak Elementleri (NTE) olarak adlandırılırlar. Prometyum (Pm) hariç NTE'ler doğada diğer minerallerle bileşik halinde bulunurlar. Ayrıca Skandiyum (Sc) dışında hiçbir NTE tek başına bileşik yapmaz. NTE'ler doğada az bulunmaları nedeni ile değil içinde buldukları minerallerde düşük konsantrasyonlarda buldukları ve diğer elementlere kıyasla cevherden elde edilmeleri ve zenginleştirilmeleri zor olduğu için 'nadir' olarak adlandırılmaktadır. Bazı hammaddeler tedarik riskleri ve ekonomi için önemleri nedeniyle kritik olarak kabul edilmektedir. NTE'ler bu bakımdan kritik hammaddelerin en başında yer alır. NTE'ler oksit, metal ve değişik kimyasal bileşikler olarak pazarlanıp kullanıldığı gibi yüksek sıcaklığa duyarlı olmaları nedeniyle kaliteli metal alaşım üretiminde de kullanılmaktadır. Katkı maddesi olarak NTE içeren malzemeler kararlı, yüksek sıcaklık ve korozyona dayanıklı hafif malzemelerdir.

Gelişen sanayi ve teknoloji ile beraber yerüstü ve yeraltı kaynaklarına olan talep hızla artış göstermektedir. Uçaklarda, rüzgâr türbinlerinde, güneş enerjisi santrallerinde, yeni nesil elektrikli araçlarda, cep telefonlarında, havacılık endüstrisinde, nükleer yakıt çubuklarında, manyetik mıknatıslarda, elektronikte, savunma sanayi ve daha pek çok ileri teknoloji alanında NTE'ler en önemli hammaddeleri oluşturmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte NTE'lere olan talep her geçen gün hızla artmaktadır. Artan taleple beraber yeni kaynaklar bulunamaması durumunda özellikle Praseodimyum, Neodimyum, Samaryum ve Gadolinyum olmak üzere bazı NTE'lerde arz sıkıntısı yaşanacağı ve arzın talebi karşılamayacağı öngörülmektedir.

Dünyada başlıca NTE kaynakları; karbonatitler içinde bulunan bastnasitler (Mountain Pass ABD, Bayan Obo Çin), okyanus kıyısı plaserlerinde bulunan monazitler (Hindistan ve Avustralya kıyıları), Ti, Zr, Sn yataklarının yan ürünü olan ksenotim, denizel sedimenter fosfat yatakları, boksitler ve derin tropik ayrışmaya uğramış granitler üzerinde gelişen killere bağlı yataklardır.

NTE'nin zenginleştirilmesinde kullanılan en bilindik yöntem flotasyondur. Bunun yanı sıra çözümlendirme (liç), çözelti saflaştırma (solvent ekstraksiyon), NTE bileşiklerinin ayrı ayrı çöktürülmesi ve NTE bileşiklerinde kalsinasyon gibi bazı işlemler de uygulanmaktadır. Ülkemizde de zenginleştirme yöntemleriyle ilgili olarak çalışmalara devam edilmektedir.

Son verilere göre dünyada 121 milyon ton NTE rezervi bulunmaktadır. Bu rezervin yaklaşık 44 milyon tonu (%36) Çin Halk Cumhuriyeti'nde, 22 milyon tonu (%18) Brezilya'da, 22 milyon tonu (%18) Vietnam'da ve yaklaşık 18 milyon tonu (%15) ise Rusya'da bulunmaktadır. Ülkemizde Eskişehir-Beylikova, Malatya-Kuluncak, Sivas ve Burdur'da NTE rezervleri tespit edilmiştir. Özellikle Eskişehir-Beylikova NTE yatağı, ülkemiz için özel önem taşımaktadır. Bu sahada hem MTA hem de Eti Maden tarafından rezerv geliştirme çalışmaları yürütülmüş olup nihai olarak bölgede %3,14 NTE tenörlü yaklaşık 52 milyon ton rezerv olduğu belirlenmiştir. Bunların yanında Isparta Sofular ve Kayseri İncesu bölgelerinde de potansiyel NTE rezervleri tespit edilmiş bu alanlarda rezerv geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu kapsamda ülkemizde Enstitümüz tarafından NTE envanter çalışmaları da başlatılmıştır.

Jeolojik rezervlerin yanı sıra potansiyel NTE kaynağı olarak değerlendirilebilecek farklı kaynaklar da bulunmaktadır. Kömür rezervleri ile kömür yakıtlı termik santrallerin atıkları olan kömür külleri, faaliyetteki bütün maden işletmelerinin cevher zenginleştirme tesislerinin atık ve artıkları, fosfat üretimi yapılan maden sahalarının yan ürünleri ve mevcut elektronik atıklar potansiyel NTE kaynaklarının başında gelmektedir. Enstitümüz tarafından yapılan NTE envanter çalışmaları jeolojik NTE rezervleri ile sınırlı olmayıp, potansiyel NTE kaynaklarının araştırılmasını da kapsamaktadır. Bu kapsamda NATEN öncülüğünde ülkemizde bulunan kamu kurumları eliyle işletilen maden yataklarından ve bu madenlerin artık ürünlerinden numuneler alınarak analizleri yaptırılmış olup çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalara göre Tunçbilek Termik Santralinin uçucu kül ve taban küllerinde; Türkiye Taş Kömürü Kurumu'na (TTK) bağlı işletmelerde lavvarlara (kömür yıkama) giren tüvenan kömürlerde, lavvar artık ürünlerinde ve Çatalağzı Termik Santralinin taban külü ve uçucu küllerinde önemli miktarda NTE tespit edilmiştir. Ayrıca Seydişehir boksit yataklarının atıkları olan kırmızı çamurların ve Mortaş boksit yataklarının da NTE içeriğine sahip olduğu saptanmıştır.

Yaklaşık 20 milyar ton kömür rezervi olan ülkemizde kömürle çalışan termik santrallerde kömürün yakılması sonrasında her yıl yaklaşık 20 milyon ton kül açığa çıkmakta ve bu küllerin yaklaşık olarak %75-80'i uçucu kül, %20-25'i taban külünden oluşmaktadır. Yapılan araştırmalara göre kömürün yanması sonucu açığa çıkan baca külleri içeriğindeki malzemelerin %60 oranında kazanılabildiği ve bu malzemeler içerisinde 14'ten fazla NTE bulunduğu bilinmektedir. 2019 verilerine göre Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin (304,3 TWh) % 37'si kömür, % 30'u hidroelektrik, % 18'i doğalgaz, % 8'i rüzgâr, % 3'ü jeotermal, %3'ü güneş ve % 1'i diğer kaynaklardan sağlanmaktadır. Kömüre dayalı termik santrallerden toplam 113,1 TWh elektrik üretilmiş olup 2019 TÜİK verilerine göre bu santrallerde oluşan atık miktarı toplam 26,1 milyon ton ve bu atığın % 89,2'si (23 milyon ton) kül ve cüruf atıklarıdır. Yapılan çalışmalara göre ülkemizde kömür atık ve küllerinde ortalama 130 ppm NTE içeriği olduğu düşünüldüğünde özellikle atıklarının NTE eldesi için kullanılması durumunda yıllık geri kazanılabilecek NTE miktarı yaklaşık olarak 3000 ton olarak hesaplanmaktadır. Ülkemizin yıllık NTE ithalatını göz önüne alındığında kömür külünden elde edilebilecek olan nadir toprak elementlerinin ciddi ölçüde katma değer sağlayacağı düşünülmektedir.

Dünyada özellikle Amerika, Çin ve Rusya'da kömür ve kömür küllerinden nadir toprak ve diğer metalik elementlerin kaynak olma potansiyellerinin araştırılmasına önem verilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda Kentucky Üniversitesi tarafından kömür küllerinden NTE geri kazanımı için pilot tesis kurulmuştur. Ayrıca, Kuzey Dakota Üniversitesi Enerji Araştırmaları Enstitüsü'nde linyitten NTE kazanımı konusunda da çalışmalar yapılmaktadır. Bu ülkeler dışında Hindistan ve Polonya'da da termik santrallerden açığa çıkan küllerdeki NTE içeriği tespit çalışmaları yapılmaktadır.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de karbon salımını azaltma yolunda temiz ve yenilenebilir enerjiye geçiş çalışmaları yapılsa da kömür kullanımının bir süre daha devam edeceği öngörülmektedir. Bununla beraber teknolojik malzemelerin üretimi açısından büyük öneme sahip NTE'ler için kaynak arayışında olan ülkeler, bu elementlerin kömür rezervlerinden ya da küllerinden elde edilebilme potansiyelini araştırmaya devam edeceklerdir. Kömür yakıtlı termik santrallerin atıkları olan kömür küllerinin NTE ve diğer elementler açısından kaynak olma potansiyellerinin araştırılması, hammadde sorununu çözmesinin yanı sıra metalce zengin olan bu atıkların çevreye olan zararlarının azaltılması yönünden de önem arz etmektedir.

Uçucu külleri kullanmanın diğer avantajı da yoğun kazı işlemini gerektirmiyor olması ve uçucu küllerin ince toz halinde kimyasal işleme hazır olmasıdır.

Kömür madenciliğinin ve termik santrallerde kömür kullanımının yüksek olduğu ülkemizde de kömür yıkama atıklarının ve kömür küllerinin NTE ve diğer elementlerin potansiyel kaynağı olarak değerlendirilmesi hem yerli kaynak kullanımını artırarak ülkemiz için büyük bir ekonomik katma değer sağlayacak, hem de atıkları ortadan kaldırarak çevre kirliliğini azaltmaya yardımcı olacaktır. NATEN, kömür küllerinden NTE'lerin ülkemizde üretilmesi için teknolojik çözümler geliştirilmesi ve yeni uç ürünlerin üretilmesini sağlayacaktır. Ürünlerin sürdürülebilir bir şekilde üretiminden kullanımına bütün değer zincirinde ulusal düzeyde öncülük edecektir. Ayrıca, NTE'lerin dünya ticaretindeki yerinin, ülkelerin yüksek teknolojik ürünler üretebilme kapasitelerine göre biçimleneceği ve bunun sonucu olarak, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için öneminin giderek artacağı göz önüne alındığında NTE için araştırma geliştirme faaliyetlerinin yürütülmesi, gelecek stratejilerinin oluşturulması, gerekli planlamaların yapılarak ülkemizin bu pazarda etkin bir rol almasını sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. Akgül, Ç. M., Yener, A. P., Bayramtan, M., 2018. Türkiye'de Uçucu Küllü Betonlar için Yaşam Döngüsü Analizi. IMO, İstanbul Bülten, Sayı 148, 4-12.
2. Burat, F., 2019. Nadir Toprak Elementi Kaynağı Olarak Kömür Yıkama Artıkları, Turkchem.
3. TEİAŞ, 2019, Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri
4. Franus, W., Wiatros-Motyka, M. M., Wdowin, M., 2015. Coal Fly Ash as a Resource for Rare Earth Elements. Environmental Science and Pollution Research, 22 (12).
5. İleri Teknoloji Elementleri Potansiyelinin Araştırılması, 2018. MTA, Ankara.
6. İmgel, E., 2020. Kömürde Saklı Hazine: Nadir Toprak Elementleri, Madencilik Türkiye Dergisi.
7. Kiegiel, K., Miskiewicz, A., Herdzik-Koniecko, I., Gajda, D., Zakrzewska-Koltuniewicz, G., 2018. Rare Earth Elements in Poland: Natural Sources, Mining Industry Research, Resource Hup, S&P Global.
8. Kömür Linyit Sektör Raporu, 2018. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.
9. Laudal, D. A., 2017. Evaluation of Rare Earth Element Extraction from North Dakota Coal-Related Feed Stocks. PhD Thesis, University of North Dakota.
10. Mondal, S., Ghar, A., Satpati, A. K., Sinharoy, P., 2019. Recovery of Rare Earth Elements from Coal Fly Ash Using TEHDGA Impregnated Resin. Hydrometallurgy, 185, 93-101.
11. Öztürk, H., Haniççi, N., Altuncu, S., Kasapçı, C., 2019. Türkiye'nin Nadir Yer Element (NYE) Kaynakları: Özelliklerine ve Kökenlerine Genel bir Bakış, MTA Dergisi, 159. 133-148.
12. Piercy, L., Gregory, A., Rumford, C., Corwin, B., 2018. Pilot-scale plant to extract rare earth elements in heart of coal country, University of Kentucky.
13. Sütçü, E., 2020. Termik Santral Kömür Küllerinin Ekonomik Öneme Sahip Nadir Toprak ve Diğer Elementler Bakımından Kaynak Olma Potansiyellerinin Araştırılması Projesi, Tunçbilek Kömür Sahası Ön Raporu.
14. Taggart, R. K., 2017. Recovery of Rare Earth Elements from Coal Combustion Ash: Survey, Extraction, and Speciation, PhD Thesis, Duke University.
15. Yıldız, N., 2016. Nadir Toprak Elementleri, Maden Müh. Odası, Ankara.