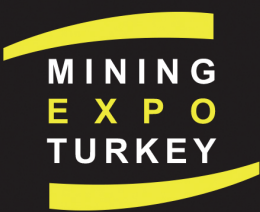




Bor Yataklarının Genel Değerlendirilmesi ve Gelecek Öngörüsü

Günümüz Teknolojilerinde Bor Ürünleri

SEG 2016 Konferansı Türkiye'de...



**MADENCİLİK TEKNOLOJİLERİ, EKİPMANLARI VE
İŞ MAKİNALARI FUARI**

27-29 Ağustos 2015 İstanbul Fuar Merkezi / Yeşilköy

www.demosfuar.com.tr

BU FUAR 5174 SAYILI KANUN GEREĞİNCE TOBB DENETİMİNDE DÜZENLENMEKTEDİR. TOBB



Prof. Dr. Cahit Helvacı
Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji
Mühendisliği Bölümü
cahit.helvacı@deu.edu.tr

Bor Yataklarının Mineral ve Kimyası Yönünden Genel Değerlendirilmesi ve Gelecek Öngörüsü



Batı Anadolu'da bor içeren Neojen havzalarının bir kesimi, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) boyunca gelişen NE-SW uzanımlı havzalarda (Bigadiç, Sultançayırı ve Kes-telek yatakları), ve diğerleri ise Menderes Masifi'nin kuzey kesiminde gelişen NE-SW gidişli havzaların içindeki Selendi ve Emet havzalarında yer alır. Kırka bor yatağı ise daha doğuda, tamamen farklı bir jeolojik ortam ve volkanostratigrafik istif içinde yer alır.

Bor elementi, yerküreyi oluşturan 92 elementten birisi olarak, çevremizde toprak, su, bitki ve canlılarda belli oranlarda bulunabilir. Bor doğada serbest halde bulunmaz, diğer elementler ve oksijen ile birlikte genel olarak bor tuzlarını oluşturur. 250'den fazla bor içeren mineral tespit edilmiştir. Sodyum, kalsiyum ve magnezyum tuzları en yaygın olanlarıdır. Küresel ölçekte kıtasal ortamlarda dört ana metalojenik bor bölgesi bilinir. Bunlar Anadolu (Türkiye), Kaliforniya (ABD), Orta Andlar (Güney Amerika) ve Tibet (Orta Asya)'dır. Bor yataklarının çökelme ortamı, volkanizma, sıcak su etkinliği, kapalı havzalar ve kurak iklimler ile yakından ilişkilidir. Boraks, borun en önemli ticari kaynağıdır, rezervleri Türkiye, ABD ve Arjantin'de bulunur. Kolemanit, Ca-borat üretimi için ana üründür ve mevcut rezervleri Türkiye ile sınırlıdır. Datolit ve szaibelyite mineralleri Rusya ve Çin'de bulunmaktadır. Dünyada boraks (tinkal) yatakları, Anadolu'da (Kırka), Kaliforniya'da (Boron), ve Andlar'da (Tincalayu ve Loma Blanca) bulunmaktadır. Kırka, Boron ve Loma Blanca bor yatakları mineralojik bileşim ve kimyasal özellikleri bakımından birbirleri ile benzerlikler sunarlar. Probertit ve hidroborsit içeren kolemanit yatakları Anadolu, Death Valley (Kaliforniya) ve Sijes (Arjantin) bulunur. Kuvaterner yaşlı bor oluşumları ise And'lardaki salarlarda, ABD ve Tibet'te playa göllerinde ve tuz tavalarında bulunurlar.

Bor, belirli yerlerde sıra dışı konsantrasyonlarda depolanabilir. Borat yataklarının oluşumu; demir oksit, silikatları kapsayan intrüzyonlarla ilişkili skarn grupları; denizel evaporit çökeltileri içinde oluşmuş magnezyum oksit grubu; ve playa-göl tortulları ve patlamalı volkanik aktivite ile ilişkili, sodyum ve kalsiyum bor hidratlar grubu şeklinde sınıflandırılır.

Volkanosedimanter playa-göl çökeltilerinde, ekonomik açıdan önemli bor yataklarının oluşumu şu koşullara bağlıdır: playa-göl ortamının oluşması; playa-gölde konsantrasyon, andezitik kaynaklı riyolitik volkanikler, havza içine doğrudan kül ya da graben fayları boyunca hidrotermal çözelti taşınımı; volkanizma çevresinde sıcak su kaynakları; kurak veya yarı-kurak iklim koşulları; ve göl suyunun pH aralığı, 8,5 - 12 arasında olmasıdır.

Bor mineralleri, borik oksit (B_2O_3) içeren bileşikler olarak tanımlanır. Minerallerin büyük bir kısmı, bor oksit içerir, fakat dünya çapında ticari önem taşıyan üç bor minerali; boraks, üleksit ve kolemanittir. Türkiye, dünyanın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit rezervlerine sahiptir. Bütün ülkeler Türkiye'nin kolemanit ve üleksit rezervlerine bağımlıdır. Dünya'nın en önemli ticari bor yatakları, açık ocak yöntemiyle işletilmektedir. Bor içeren tuzlu çözeltiler Searles Gölü'nden ve muhtemelen Çin kaynaklarından da benzer şekilde, buharlaştırma veya karbonlaştırma yöntemleriyle elde edilir. Borik asit bütün işlemler sonucu elde edilen son üründür.

Bor ve bunlarla ve birlikte bulunan minerallerin mineralojisi ve kimyası ile ilgili yapılacak ileri düzeyde araştırmalar, nihai bor ürünleri ile ilgili bilgileri geliştirecektir. Birçok gelişmiş modern endüstriler bor ve ürünlerini kullanmak zorundadır ve bor

ürünlerini Dünya’da kullanmayan insan sayısı son derece limitlidir. Borun bitki ve diğer yaşamlar üzerinde oynadığı etkide göz önüne alınırsa, Dünya’da boru kullanmadan yaşam hayal etmek zordur. Bu nedenle, bor ve bor ürünleri tüm dünyada sürdürülebilir kalkınma için en önemli çalışma konularından biri olacaktır.

Giriş

Doğada az oranda bulunan ve duraysız elementlerden birisi olan bor, yer kabuğundaki bulunurluğu ortalama 10 ppm civarındadır. Doğada oksitler halinde eski çağlardan beri bilinen ve kullanılan bir cevherdir. Ticari olarak boraks, üleksit ve boraks olarak üç bor bileşiği antik çağlardan beri kullanılmaktadır. İnsanoğlu Tibet’de Bor’u 4000 yıl önce ilk kez kullanmıştır. Bor, Babiller tarafından altın işlemede, Mısırlılar mumyalamada, Romalılar cam yapımında, eski Yunan ve Romalılar ise temizlikte kullanmışlardır. Araplar 875 yılında bor elementini ilk kez ilaç yapımında kullanmıştır. Bor, Avrupa’ya, Tibet’ten **Marko Polo** tarafından getirilmiştir. Bor, altın ve gümüş işlemeciliğinde lehim olarak kullanılmıştır. Etilerde aynı amaçla bor bileşiklerini kullanıldığını görürüz. Romalılar ise arena temizliği için, bor bileşiklerini kullanmışlardır. Elementer bor ise, 1808 yılında Fransız kimyacı Sir Humphry Davy tarafından bulunmuştur. Borik asit demir sülfat ile boraksın ısıtılması sonucu kimya öğretmeni William Homberg tarafından elde edilmiştir.

Bor Güney Amerika’da 1790 yılında And dağlarında bulunmuştur. İtalya’da borik asit üretimi 1830 yılında başlamıştır. 1850 yılında, İstanbul’da Fransız mühendis Camille Desmazures’e hediye edilen alçı taşından yapılmış heykelin yüksek oranda bor içermesiyle, Anadolu’da bor’un varlığı anlaşılmıştır. Bu heykelin geldiği yöre olan Balıkesir’in Susurluk ilçesinin Sultançayırı’ndaki pandemit (presit) madenine ulaşılmıştır. 13. ve 14. yüzyılında işlenen cevher, pandemit adı verilen bir bor mineralidir. Pandemit cevheri uzunca bir süreyle alçıtaşı olarak Avrupa’ya satılmıştır.

1919’dan 1923 yılına kadar Ulusal Kurtuluş Savaşı veren Türkiye, 1923’den sonra Anadolu’da yabancı şirketlerden kurtulma savaşı vermiştir. Yabancı şirketlerce, Anadolu’da bor madeni çıkartılması Cumhuriyet devrinde de devam etmiştir. Bor yataklarımız üzerindeki Amerikan-İngiliz hakimiyeti ancak 1935’de kurulan, Ulusal kurumumuz olan ETİBANK ve daha sonra 1978 yılında bor cevherinin devleştirilmesi sonucu kısmen de olsa kontrol altına alınmıştır.

Boraks Consolidated Ltd, 1950 yılına kadar tek üretici kaldığı Türkiye’de, yılda yaklaşık 15-16 bin ton ihracat yaparken, İkinci Dünya Savaşı sırasında Türklerin Almanya’ya satış yapması engellenmiş ve daha sonra Rusya’ya ihracatı kısıtlanmıştır. 1963 yılında İngiliz-Amerikan kökenli dünya tekeli olan firma Türk bor cevherleri için; “Türkiye de Bor minerali tükenmiştir, Türkiye’nin ancak 20.000 ton satış şansı vardır” diye durum tespiti yapmışlar, ama diğer taraftan Türk Boraks Madencilik, bu tarihlerde aldığı 500 adet Bor tuzu arama ruhsatıyla, Türk firmalarını arama sahalarından uzak tutmuştur. Ama 1978’deki

devletleştirmeden sonra asıl gerçekler ortaya çıkmıştır. Bor cevherlerinin kamulaşması sonucu ETİBANK, 1978’de 660 milyon ton olan rezervi, kısa sürede 2,5 milyar tona ulaştırılmıştır. Bor madenleri, stratejik bakımdan ülkemizin yarınları için gereklidir. Dünyanın en büyük bor cevheri rezerve sahipleri olan Türkiye, dünya toplam bor rezervinin %80’ine sahiptir. Türkiye’nin rezervi 450-500 yıl süre ile tüm dünyanın ihtiyacını tek başına karşılayacak düzeydedir.

Ülkelerin gelişmesinde bilgi ve emek güçlerinin yanısıra, doğal kaynaklar önemli bir yer tutarlar. Türkiye için de bor tuzları aynı önemde olduğu, yapılan bilimsel araştırmalar ve ekonomik-teknolojik gelişmeler sonunda ortaya çıkmıştır. Türkiye’deki bor yatakları rezerv ve tenör bakımından dünyada rakipsizdir. Tüm dünya ülkeleri çok yaygın kullanımı olan üleksit ve kolemanit mineralleri bakımından Türkiye’ye bağımlıdır.

Bor Minerallerinin Oluşumu ve Dağılımı

Bor, doğadaki duraysız elementlerden birisi olup, yer kabuğunda ortalama 10 ppm’den az olarak bulunmaktadır. Bor elementinin yer kabuğundaki dağılımı az olmasına karşın, belli ortamlarda aşırı şekilde ve olağanüstü orandaki artışı, ekonomik bor yataklarının oluşumunu sonuçlar. Dünyada ekonomik bor yatakları ABD, Güney Amerika ve Türkiye’de Neojen yaşlı karasal tortullar ve volkanizma ile ilişkili olarak gözlenir.

Batı Anadolu’da yer alan linyit, bitümlü şeyl, uranyum ve borat gibi ekonomik kaynakların oluşumuna yol açan depolanma ortamları Neojen havzalarında yer alırlar. Buna göre linyit, bitümlü şeyl ve uranyum yatakları, çoğunlukla kenarları büyüme fayları ile sınırlandırılmış, alüvyonal ve gölsel tortullar içeren, volkanikliğin etkin olmadığı havzalarda depolanmışlardır. Bu havzaların kenar bölümlerindeki flüviyal tortullar içinde uranyum ve linyit yatakları oluşurken, gölsel karakterli iç kısımlarda bitümlü şeyl yatakları gelişmiştir. Volkanizmanın ve hidrotermal faaliyetin aktif olduğu havzalarda playa türü sığ gölsel koşullarda borat yatakları gelişmiştir. Volkanik faaliyetin yanısıra, havzayı sınırlayan faylardan ve kırık sistemlerinden yükselen sıcak sular ve hidrotermal ergiyikler, borların asıl kaynağını oluşturmaktadır. Öte yandan, kurak, yarı-kurak iklim koşulları ve yaygın gelişen evaporasyon, borat birikimine yolaçan diğer önemli etkenleri oluşturmaktadır.

Miyosen volkanosedimenter tortullar içinde yer alan Türkiye bor yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde mercekli yapılar sunmasına karşın, sıkça tortullarla ardalanmalar, ince bantlar ve yanal olarak kamalanmalar gösterirler. Türkiye’deki tüm yataklarda, bor içeren birimlerden önce ve sonra yaygın olarak kireçtaşı çökelişi gerçekleşmiştir. Türkiye bor yatakları, dünyanın en büyük ve yüksek tenörlü (sırasıyla %30, 29 ve 25 B₂O₃) kolemanit, üleksit (sodyum-kalsiyum borat) ve boraks (tinkal) (sodyum borat) yatakları olup, dünya ihtiyacının büyük bir kesimini uzun yıllar karşılayacak boyuttadır. Boraks cevheri yalnızca Kırka’da gözlenmektedir. Türkiye’deki bor yatakları rezerv ve tenör bakımından tüm ►

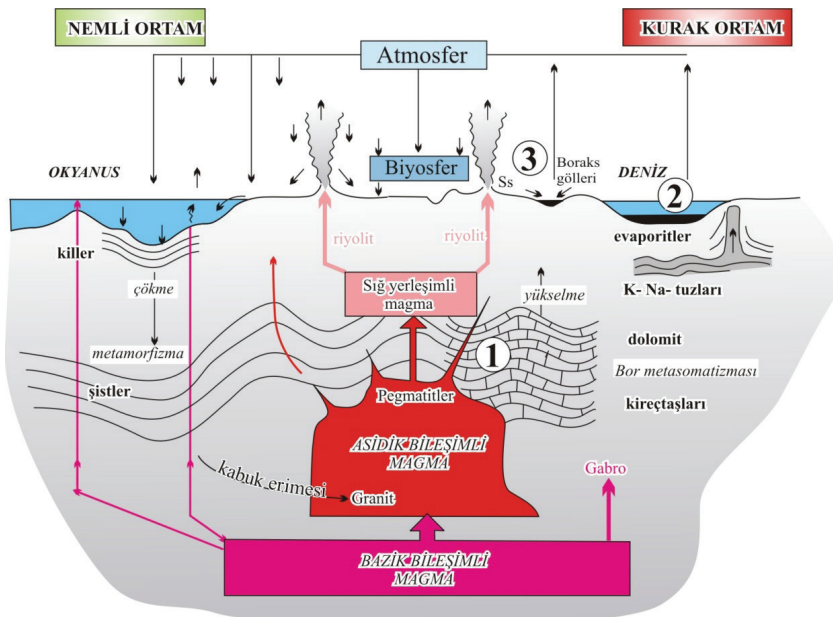
dünya’da rakipsizdir. Tüm dünya ülkeleri çok yaygın kullanımı olan üleksit ve kolemanit mineralleri bakımından Türkiye’ye bağlıdır.

Borat yataklarını oluşturan playa göllerinin çevresinde volkanik faaliyetler çok yaygın olup, genellikle kalkalkalen karakterli ve asitten bazıge kadar değişen volkanitler ve tortullarla ardalı olarak piroklastik kayalar gözlenir. Tüm bor havzalarında volkanik kayaların bulunması, bor oluşumu için volkanizmanın gerekli olduğunu ve bor getiriminin ortaç ve asidik volkanik kayalara bağlı olduğunu ortaya koyar. Diğer taraftan bor havzalarındaki tortulların büyük bölümü volkanik kayalardan türemiş gereçler içerir.

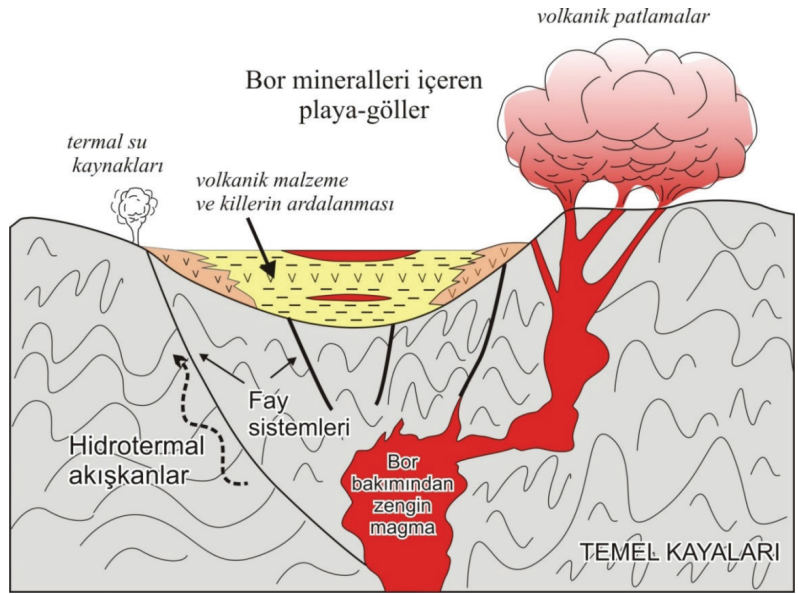
Yaklaşık iki yüzelli civarında mineralin değişik jeolojik ortamlarda bor içerdiği bilinmektedir. Kökenleri ve jeolojik ortamlarına göre bor minerallerinin oluşum yerleri genel olarak üç gruba ayrılabilir:

1. Silikat ve demir oksitlerden oluşan ve sokulumlar ile ilişkili skarn mineralleri,
2. Denizel tortullar ile ilişkili magnezyum oksitler,
3. Karasal tortullar ve volkanik aktivite ile ilişkili sulu sodyum ve kalsiyum boratlar (Şekil 1).

Bor yataklarını oluşturan playa-gölleri, hidrotermal ergiyikler, sıcak su kaynakları ve yüzey suları ile beslenmişlerdir. Bor minerallerinin oluştuğu kurak veya yarıkurak dönemlerde çok aşırı buharlaşmadan dolayı su seviyeleri azalarak playalar



Şekil 1. Bor elementinin devirselliği ve konsantrasyonu. Borun kayalarındaki bulunuşu, Goldshmidt, Landergren ve Harder’a göredir (Watanabe, 1964’den alınmıştır).

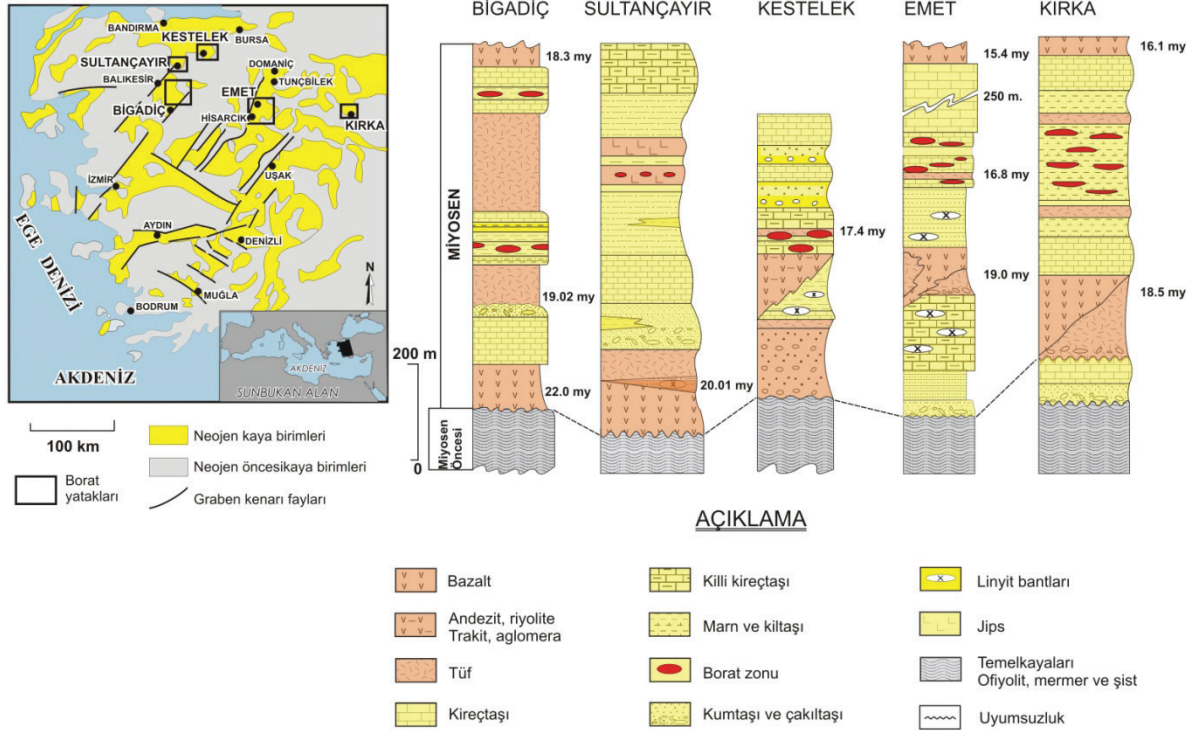


Şekil 2. Batı Anadolu’da Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren genelleştirilmiş playa gölü çökelim modeli.

oluşmuş ve sedimentasyon hızı minimum düzeye inmiştir. Bor çökelimini izleyen dönemlerde, playalardaki su seviyeleri aşamalı olarak artarak kalın kil, marn ve kireçtaşı oluşmasına neden olmuştur (Şekil 2).

Batı Anadolu’daki Miyosen yaşlı borat yatakları, geniş yayılım sunan K’lu kalk-alkalin ignimbiritik volkanizmayla birlikte bulunur. İgnimbiritik döküntü ve yeniden işlenmiş pümsü kırıntılı malzemeler, bor yataklarını barındıran göl sedimentleri ile yakından ilişkili ve ardalıdır. Bu volkanik ürünler, genel olarak yüksek silika içerikli ve yüksek oranda B, As, F, Li ve Pb kapsarlar. Bu kayalardaki ilksel B’nin kaynağı ise, dalma-batma zonundaki altere olmuş okyanusal kabuk ve pelajik sedimentlerin dehidrasyonu sonucu ortaya çıkan kitofil elenemterce zengin ergiyiklerdir. Dalma-batma ile ilişkili kalk-alkalin magmatizma sonucu B elementi yönünden zenginleşen kabukta, uygun tektonik ortam, iklim ve hidrotermal aktiviteye bağlı olarak yersel borat yatakları gelişmiştir (Floyd ve diğ., 1998).

Türkiye’nin bilinen borat yatakları, Bigadiç kolemanit ve üleksit yatakları (Balıkesir); Sultançayır pandermite yatağı (Balıkesir); Kestelek kolemanit ve probertit yatağı (Bursa); Emet kolemanit yatağı (Kütahya) ve Kırka boraks yatağı (Eskişehir) olup, Miyosen volkanizması sırasında playa-göl tortulları içinde depolanmışlardır. Dünyanın en büyük ve yüksek tenörlü (sırasıyla %30, 29 ve 25 B₂O₃) kolemanit, üleksit ve boraks (tinkal) Türkiye borat yatakları, dünya ihtiyacını uzun yıllar karşılayacak boyuttadır (Şekil 3). ▶



Şekil 3. Batı Anadolu Neojen havzalarında bor yataklarının dağılımı ve havzalara ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitler.

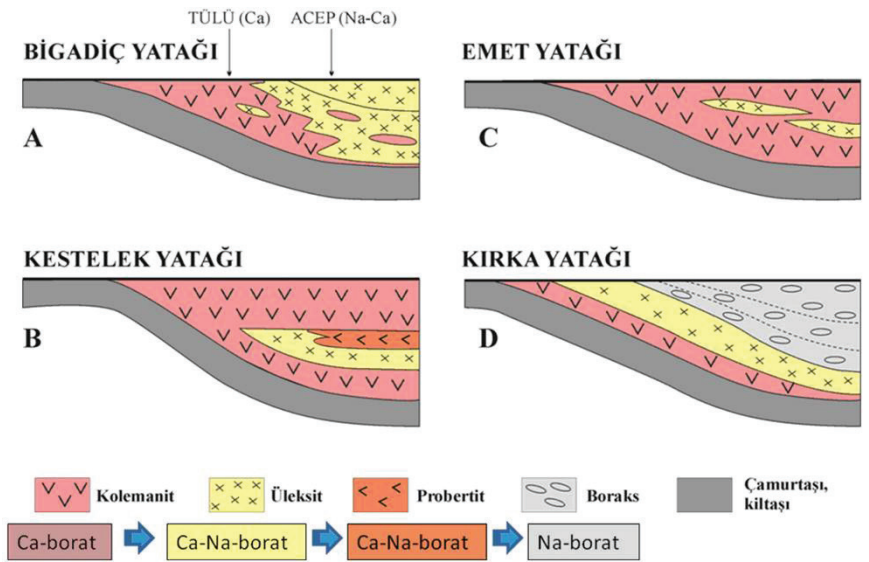
Bor Yataklarının Mineralojisi

Türkiye'deki borat yatakları, evaporitlere benzer koşullarda oluşur ve Türkiye'deki yataklarda gözlenen borat mineralleri, başlıca, Ca; Ca-Na; Na ve Mg boratlarıdır. Kırka'da nadir olarak Sr-borat ve Emet yöresinde ise Ca-As ve Sr bor minerallerinden oluşur. Çok yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka dışındaki tüm borat yataklarında egemen mineraldir. Diğer taraftan bor yataklarının mineralojisi önemli derecede farklılıklar gösterir (Çizelge 1).

Borların, yataklarda karbonatlı tortulların çökmesini izler ve kalsiyum içeren bor mineralleri ilk önce oluşur, yani tüm havzalardaki ilk çökelen bor mineralleri Ca-boratlarıdır. Çökeliimin ilerlemesi ve buharlaşmanın hızla devam etmesiyle, Na-Ca-boratlar çökmeye başlar. Ortamın ve Na konsantrasyonunun uygun olduğu bazı yataklarda, çözeltiler Na-Ca-borat alanından Na borat alanına, Kırka örneği gibi diğer yataklarda ise tersine dönerek tekrar Ca-borat çökeliimine neden olurlar. Havzalarda çökeliim sırasında, genel olarak fasiyes değişimleri gözlenir ve kalsiyum borat fasiyesi (kolemanit) havza kenarını, kalsiyum-sodyum borat fasiyesi havza içini ve sodyum borat fasiyesi havza ortasını temsil ederler (Şekil 4).

Türkiye'deki yataklarda gözlenen borat mineralleri, başlıca Ca, Na-Ca, Na ve Mg-boratlarıdır. Kırka, Emet ve Bigadiç'te ender olarak Sr-borat (tünellit) bulunmaktadır (İnan, 1972; Helvacı 1995, 2003, 2005;). Bunun yanı sıra Emet yöresinde Ca-As-boratların varlığı bilinmektedir (Helvacı, 1984; Helvacı and Orti, 1998; Kistler and Helvacı, 1994; Helvacı and Alonso, 2000). Genel anlamda tüm boratlar içinde kolemanit, üleksit ve boraks, başlıca ekonomik olan bor mineralleridir.

Evaporit yataklarında olduğu gibi, bor mineralleri de çabuk ayırmaya uğradıklarından yeryüzeyinde gözlenmesi oldukça



Şekil 4. Borat havzalarındaki bor minerallerinin dağılımının ölçeksiz olarak temsili şekilde bulunuşu.

zordur. Yüzeyleyen veya herhangi bir şekilde su ve hava ile teması geçen bor mineralleri çok kısa zamanda çözünürler ve ayrışır. Özellikle suyun ve atmosferik şartların bulunduğu ortamlarda su ile birleşen CO₂, karbonik asit oluşturarak bor minerallerini kolaylıkla çözer. Aynı şekilde CO₂'ce zengin yer altı suyu da teması geçtiği borları rahatlıkla çözerek ayrıştırır.

Kimyasal çökeltim ürünü olan borat yataklarında saptanan mineral toplulukları, yatakların gömülme süreci boyunca yüksek sıcaklık ve basınç etkisinde kalmadıkları gözlenmiştir. Ancak ilk oluşan mineraller gömülmeden sonra ikincil minerallere dönüşebilirler.

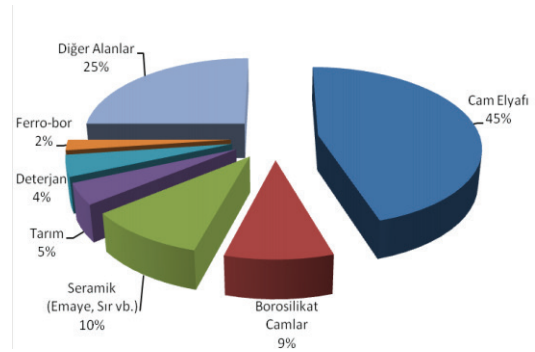
Bor Minerallerinin Ekonomik Önemi

Yaşam standartlarının hızla yükselmesi ve bilimsel teknolojik keşiflerin gelişimi, bu mükemmel bor bileşiklerine duyulan talep ve ihtiyacın daha büyük oranda artmasına yol açacaktır. Askeri piroteknik, nükleer silahlar, havacılık için kompozitler, fotoğrafçılık kimyasalları, deterjan ve beyazlatıcılar, kağıt hamuru beyazlatıcıları ve nükleer güç reaktörlerinde muhafaza elemanları gibi yaklaşık 250'ye yakın sanayi ürününde bor elementi kullanılmaktadır (Şekil 5 ve Çizelge 2).

Endüstride ise borlar, borik asit içeren veya temin eden herhangi bir bileşik olarak tanımlanırlar. Çok sayıda mineral borik asit içerir, fakat dünyada ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır: boraks, üleksit ve kolemanit. Bu üç mineral, dünya bor ihtiyacının yaklaşık %90'ını karşılayan başta Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere çok sınırlı sayıda ülkelerde üretilmektedir. Ekonomik ve ticari boyuttaki üleksit ve kolemanitin büyük bir kesimi Bigadiç ve Emet bölgelerinden ve bunlara ek olarak boraks, Kırka'daki büyük boyuttaki yataktan üretilmektedir. ▶

			Türkiye'deki Bor Yatakları				
	Mineral	Formül	Bigadiç	Sultançayır	Kestelek	Emet	Kırka
Ca-boratlar	İnyoit	Ca ₃ B ₆ O ₁₁ ·13H ₂ O	+	-	-	-	+
	Meyerhöfferit	Ca ₂ B ₅ O ₁₁ ·7H ₂ O	+	-	-	+	+
	Kolemanit	Ca ₂ B ₅ O ₁₁ ·5H ₂ O	+	+	+	+	+
	Terşit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ ·20H ₂ O	+	-	-	-	-
	Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ ·7H ₂ O	+	+	-	-	+
Boratlar Ca / Na	Üleksit	NaCaB ₄ O ₇ ·8H ₂ O	+	-	+	+	+
	Probertit	NaCaB ₄ O ₇ ·5H ₂ O	+	-	+	-	-
Na-boratlar	Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	-	-	-	-	+
	Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	-	-	-	-	+
	Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ ·4H ₂ O	-	-	-	-	+
Diğer borlar							
(Mg)	Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ ·6H ₂ O	+	-	+	+	+
(Mg)	İnderborit	CaMgB ₆ O ₁₁ ·11H ₂ O	-	-	-	-	+
(Mg)	İnderit	Mg ₂ B ₄ O ₁₁ ·15H ₂ O	-	-	-	-	+
(Mg)	Kurnakovit	Mg ₂ B ₄ O ₁₁ ·15H ₂ O	-	-	-	-	+
(Mg)	Rivadavit	Na ₃ MgB ₂ O ₆ ·22H ₂ O	+	-	-	-	-
(Sr)	Tünellit	rB ₂ O ₆ ·4H ₂ O	+	-	-	+	+
(Sr)	Viçit-A	Sr ₂ B ₂₂ O ₃₇ ·7H ₂ O	-	-	-	+	-
(As)	Terrujit	Ca ₂ MgAs ₂ B ₁₂ O ₂₈ ·20H ₂ O	-	-	-	+	-
(As)	Kahnit	Ca ₂ BA ₂ O ₆ ·2H ₂ O	-	-	-	+	-
(Si)	Havlit	Ca ₂ Si ₂ B ₁₀ O ₃₃ ·5H ₂ O	+	+	-	-	-
(Si)	Bakerit	Ca ₂ B ₁₀ Si ₂ O ₃₅ ·5H ₂ O	-	+	-	-	-

Çizelge 1. Türkiye'deki beş ana borat yatağında bulunan bor mineralleri (+ var, - yok).



Şekil 5. Bor tüketiminin nihai kullanım alanlarına göre dağılımı (Kaynak: The Economics of Boron, 2010)

Endüstride satılan ürünlerden en önemli boraks pentahidrat ve borik asit olup pazarlanan en önemli ürünlerdir. Bor ve bor ürünlerinin katma değerleri çok yüksektir. Kullanım alanları bakımından stratejik öneme sahiptirler. Endüstrinin çeşitli dallarında kullanılan bor mineralleri ve ürünleri, fibreglas, tıp uygulamaları ve eczacılık maddeleri, nükleer reaktörlerde koruyucu olarak, suni gübre yapımı, fotoğrafçılık, cam ve emaye gibi geleneksel kullanım endüstrilerinin de başlıca temel hammaddelerini oluşturmaktadır. Boraks ve borik asit gibi, birçok bileşik formlarında kullanılabilen bor, çok yönlü ve yararlı bileşikler oluşturmaktadır. Söz konusu bileşiklerin özellikleri kuvvetli lehimlemede, kaynak işlerinde, sürtünmelerin azaltılmasında ve arıtma işlemlerinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Boraks ve borik asit, bakterileri öldürücü niteliği, su içinde kolay erirliği ve mükemmel su yumuşatıcı özellikleriyle sabunlarda, temizleyicilerde, deterjanlarda, çok çeşitli ilaçların yapımında, tekstil boyamalarında, çeşitli malzemelerin uzun süre korunmasında ve tarım sanayinde çok yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Kimi bor ürünleri, mükemmel ergime maddeleri olmaları nedeniyle, metal arıtma ve çelik üretiminde; atomik reaktörlerde, geç ateşlemeli sigortalarda, radyo lambalarında ve güneş bataryalarında sıkça kullanılan vazgeçilmez maddelerdendir. Temel hammaddeleri bor bileşikleri olan "kübik boryum nitrid", elmadan daha sert olan "borazon" ticari adıyla bilinen maddenin yapımında; "boryum nitrid" termik izolatör olarak; "bor karboit" dayanıklı malzemelerin yapımında; "bor triklorit", "bor triflorür" ve bor esterleri ise çeşitli dayanıklı sanayi üretimlerinde örneğin petrol rafinerilerinde katalizör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, diboran (B_2H_6), pentaboran (B_5H_9), dekaboran ($B_{10}H_{14}$) ve alkali boronlar gibi bor bileşikleri geleceğin potansiyel jet ve roket yakıtları olarak görülmektedir.

Bor Mineralleri ve Türkiye'nin Konumu

Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren Neojen havzaları önemli boyutlarda linyit, bitümlü şeyl, uranyum, borat yatakları ve birçok diğer endüstriyel hammadde içermektedir. Dünya ölçeğinde, bu saydığımız madenlerden yalnızca boratın dünya rezervlerinin yaklaşık %80'ini içerdiği düşünülürse, bölge jeolojisinin, tüm diğer madenler ile birlikte hesap edildiğinde, ülkenin gelecekteki politik-stratejik bağlantısıyla ne denli ilişkili ve önemli olduğu anlaşılır. Bu nedenle Türkiye'nin bor politikası ve stratejisinin tek boyutlu olmadığı, aksine birbirini etkileyen çoklu değişkenlerin kesin ve uzmanca hesaba katılması gerekliliği ortaya çıkar.

Kırka bölgesinden yapılan "boraks (tinkal)"; Emet, Bigadiç ve Kestelek bölgelerinden yapılan "kolemanit" ve "üleksit"

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor	Askeri Piroteknik
Kristalin Bor	Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza
Bor Flamentleri	Havacılık için Kompozitler, Spor malzemeleri için Kompozitler
Bor Halidleri(tuzları)	İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil "Finishing" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zırai Araçlar
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Trimetil Borat	Sodyum Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler (Sodyum Borohidrat)	Özel Kimyasalları Safılaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil kalite cam elyafı, bor alaşımları, metalurjik curuf yapıcı, nükleer atık depolama
Sodyum Bor Cevherleri	Yalıtım cam elyafı,
Üleksit ve Probertit	borosilikat camlar, gübre
Tinkal	Rafine borların üretimi (deka-penta), sodyum perborat, susuz boraks, disodyum oktaborat, pentaborat, metaborat,
Borik Asit	Antiseptikler, bor alaşımları, nükleer uygulamalar, yangın geciktiriciler, naylon, fotoğrafçılık, tekstil, gübre, katalistler, cam, cam elyaf, emaye, sır, antiseptikler, kozmetik
Susuz Boraks	Gübreler, cam elyaf, cam, metalurjik curuf yapıcı, emaye- sır, yangın geciktirici, kaynak-lehimcilik,
Sodyum Perborat	Deterjan ve beyazlatıcılar, tekstil, dezenfektan ve bazı diş macunları
Disodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjanlar, zirai ilaçlama, fotoğrafçılık, tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın geciktiriciler, gübreler
Rafine Boraks Dekahidrat	Yapıştırıcılar
Rafine Boraks Pentahidrat	Çimento, ilaç ve kozmetikleri, korozyon önleyici, böcek ve mantar zehirleri, elektrolitik rafinasyon, gübreler, yangın geciktiriciler, cam, cam elyafı, böcek ve bitki öldürücü, deri ve tekstil
Disodyum Oktaborat Tetrahidrat	Yangın söndürücüler, gübreler , tarım ilaçları ve ağaç koruyucular

Çizelge 2. Bor'un kullanım alanları

üretimleri ile Türkiye dünya pazarlarında önemli paya sahiptir. 1980-2008 yılları arasında ise Türkiye, dünyanın en büyük kolemanit üreticisi durumuna gelmiştir. Ancak ülkemizin sahip olduğu görünür ve olası rezervler, mevcut üretime oranla çok daha büyüktür. ►



Keskin bir ekonomik savaşın yoğunlaştığı ve tüm araştırmaların doğal kaynaklar üzerinde toplandığı günümüzde, büyük bir bor rezervi potansiyelinin oluşu, Türkiye için son derece önemli bir fırsattır. Bu potansiyelin ulusal ekonomimizde ve uluslar arası alanda etkin olabilmemiz yönünden kullanılması gereklidir. Bu amaçla, ulusal çıkarlarımız göz önünde bulundurularak arama, üretim, değerlendirme, işletme ve pazarlama birimlerini kapsayan ulusal bor politikasının uygulanması zorunludur. Bor tuzlarının hammadde yerine işlenmiş ürünler olarak dış satımını sağlamak ve iç tüketimin artması için gerekli yatırımların yapılması kaçınılmazdır. Üretim politikası, ayrıntılı ve sağlıklı bir pazar araştırmasına dayandırılmalıdır. Bütün bu olumlu ve olumsuz yönleriyle anlatılanlar ayrıntılı incelendiğinde, Türkiye'nin bir ulusal bor politikası oluşturmasının gerekliliği ortaya çıkar.

Ulusal Bor Politikası Ne Olmalıdır?

2172 sayılı Devletleştirme Yasası'nın uygulanmaya başladığı 1979 yılından bugüne dek çeşitli bor yataklarında yapılan araştırmalar sonucunda Türkiye'deki bor yataklarının dünyadaki konumu ve önemi net bir şekilde ortaya konmuştur.

1979 yılında gerçekleştirilen devletleştirme yasasının öncesinde ve sonrasında yaşanan özel sektör-kamu sektörü çekişmesi yerine, Etibor A.Ş. ve özel sektörün bor minerallerinden sanayiye yönelik uç ürünler üretmek için işbirliği yapmaları ve böylece, ortak ulusal üretim, pazarlama ve sanayiye yönelik araştırma politikaları izlemeleri gerekir. Ülke kaynakları,

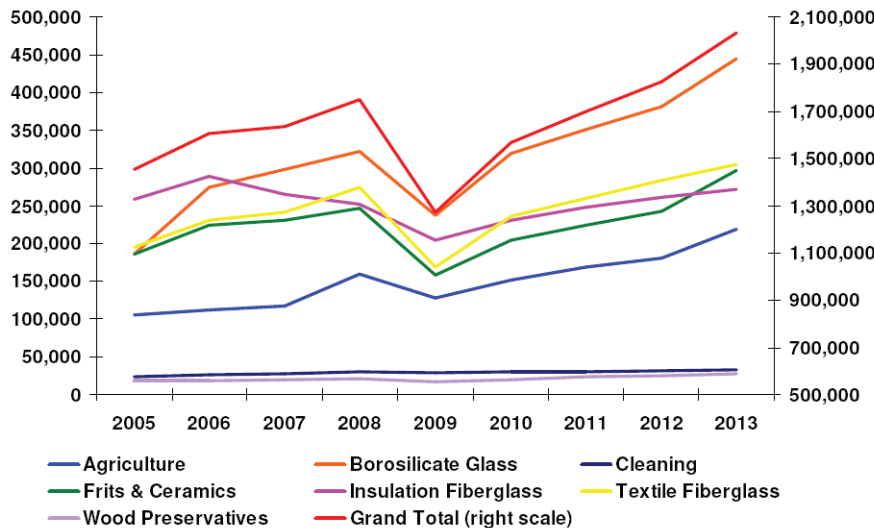
Ülke Adı	Görünür Ekonomik Rezerv (Bin Ton B ₂ O ₃)	Toplam Rezerv (Gör.+Muht.+Mümk.) (Bin Ton B ₂ O ₃)	Görünür Ekonomik Rezerv Ömrü (Yıl)	Toplam Rezerv Ömrü (Yıl)
Türkiye	224.000	563.000	155	389
ABD	40.000	80.000	28	55
Rusya	40.000	60.000	28	69
Çin	27.000	36.000	19	25
Şili	8.000	41.000	6	28
Bolivya	4.000	19.000	3	13
Peru	4.000	22.000	3	15
Arjantin	2.000	9.000	1	6
Kazakistan	14.000	15.000	10	10
TOPLAM	363.000	885.000	253	610

Çizelge 3. Ülkeler bazında bor rezervleri ve ömürleri (2000 yılı Dünya üretimi olan 1.444.000 ton B₂O₃'ün tamamının tüketildiği kabul edilmiş ve rezerv ömürleri buna göre hesaplanmıştır).

gelecek nesiller düşünülerek plansız ve programsız bir şekilde harcanmamalıdır.

Ulusal çıkarlar doğrultusunda politikalar izlenebilmesi açısından, bor tuzlarının ilk üretimleri devlet eliyle yapılmalıdır. Dışa bağımlı özel kuruluşların bu işi başarabilmeleri bilimsel ve teknolojik veriler ışığında ülke ve toplum çıkarlarına ters düşebilir. Pek çok liberal ülkede bile stratejik önemi olan madenler devlet eliyle işletilmektedir. Güçlü dünya tekeli karşısında tutunabilmek ve onun bölücü etkilerinden korunabilmek için bor minerallerinin işletme ve üretiminin, planlı bir şekilde yönetilmesi zorunludur. Madencilik açısından, bor madenlerimizin işletilmesi, coğrafi, ulaşım, enerji vs. yönünden diğer ülkelere oranla (özellikle Latin Amerika ve ABD ile karşılaştırıldığında) daha elverişli ve pazarlamaya uygundur. Örneğin, bor yatakları Güney Amerika'da minimum 4000 metre yükseklikte, Kuzey Amerika'da ise çölün ortasında ya da milli parkların içinde olması büyük işletme zorlukları ve sorunları oluşturmaktadır.

Historical and future borate demand by key end use 2005 – 2013 (MT B₂O₃)



Şekil 6. Bor ve bor ürünlerine 2005-2013 yılları arasındaki talep değişimi.

Ülkemizin sahip olduğu bu önemli yeraltı kaynağını ülke ekonomisine en fazla getiri sağlayacak şekilde değerlendirebilmemiz için bor işletmeciliğinin yeniden yapılandırılması ve Türkiye'nin ulusal bir bor politikası oluşturması zorunludur.

Türkiye'deki bu önemli yer altı kaynağı ülke ekonomisine en fazla getiri sağlayacak şekilde yeniden yapılandırılmalı ve organize edilmelidir. Hiç kuşkusuz, ülkemizin sahip olduğu avantajların korunabilmesi için yeniden yapılandırmanın temelinde bor madenlerinin ham ve yarı mamul ürünler yerine uç ürünlere yönelik araştırma ve teknoloji geliştirme olmalıdır. ►

Kırka bölgesinden yapılan "boraks"; Emet, Bigadiç ve Kestelek bölgelerinden yapılan "kolemanit" ve "üleksit" üretimleri ile Türkiye dünya pazarlarına egemen duruma gelmiştir. 1980–2015 yılları arasında Türkiye, dünyanın en büyük kolemanit üreticisi durumuna gelmiştir, ancak ülkemizin sahip olduğu görünür ve olası rezervler, üretime oranla çok daha büyüktür. En karamsar gözlemciler bile, bu rezervlerin birkaç yüzyıl süre ile talepleri karşılayabileceğinde hemfikirdirler (Şekil 6; Çizelge 3).

Sonuçlar

Türkiye, dünyanın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit üretimi yönünden tamamen, üleksit üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır. Günümüzde çok değişik sanayi dalında kullanım alanı bulan bor ürünleri, teknolojinin gelişimine paralel olarak orantılı artış göstermektedir.

Türkiye bor üretimini elinde bulunduran Eti Maden A.Ş., ekonomik ve siyasal baskılardan ve etkilerden korunmak için bağımsız ve özerk bir yapıya acilen kavuşturulmalıdır. Böylece daha etkin üretim ve yapılanma içine girebilecek ve rekabet gücünü artıracaktır.

Borlardan sanayiye yönelik her türlü uç ürünleri geliştirmek, üretmek, disiplinler arası kısa ve uzun vadeli çalışmalar yapmak ve projeler oluşturmak üzere malzeme, makina, kimya ve elektrik-elektronik mühendislik alanlarında uzman



kişilerin görevlendirilmesi mutlaka gerçekleştirilmelidir. Böylece, kısa ve uzun vadeli planlamalar çerçevesinde araştırma ile uygulama arasındaki boşluklar da kapatılarak, gereksinimleri karşılayan, planlı ve ileriye yönelik araştırmalara hız verilmelidir. Bor madenlerinin üretimi ve pazarlanması, ham ve yarı mamul ürünlerin yerine mutlaka uç ürünlere doğru yönlendirilmeli ve bu amaç için gerekli yatırımlar acilen yapılmalıdır. Bu da ancak devlet ve özel sektör ortak gücü ile gerçekleştirilebilir.

Keskin bir ekonomik savaşın yoğunlaştığı ve tüm araştırmaların doğal kaynaklar üzerinde yoğunlaştığı günümüzde, büyük bir bor rezervi potansiyelinin varlığı, Türkiye için kazanılması son derece güç bir fırsattır.

Ülkemizin sahip olduğu bu kadar önemli yer altı kaynağını, ülke ekonomisine en fazla getiri sağlayacak şekilde değerlendirebilmemiz için, bor işletmeciliğinin yeniden yapılandırılması zorunludur. Yeniden yapılandırılan işletmeciler kuruluş Eti Maden A.Ş. ise :

- Pazar payını, ürün kalite ve çeşidini arttıracak,
- Kendi özkaynakları ile, uç ürünlere yönelik araştırma ve yatırımları finanse edebilecek,
- Pazar şartlarına göre hızlı ve sağlıklı kararlar alabilecek,
- Siyasi otoritenin etkilerinden korunabilecek
- Uluslararası şirketlerle rekabet edebilecek,
- Gerektiğinde uç ürünler konusunda, yerli ve yabancı şirketlerle ortaklıklar kurabilecek şekilde özerk bir yapıya kavuşturulmalıdır.

Sonuçta başta bor olmak üzere tüm önemli ve stratejik madenlerimize ilişkin politikaların ulusal ve bilimsel alanda odaklaşması gibi bir sorumluluk ve zorunlulukla karşı karşıya olduğumuz gerçeği açıktır. Aksi taktirde tüm ülke ve ulus olarak kaybetmek ya da zengin yeraltı kaynaklarının fakir bekçileri olarak yaşamak gibi olumsuz seçeneklerle karşı karşıya kalma olasılığı vardır. Burada esas amaç, bor konusunda ülkemizin avantajlı durumunun devam ettirilmesidir. Bu amaç, herkesin temel yurttaşlık görevlerinden biridir. ■

Kaynaklar

1. Helvacı, C., 1995, Stratigraphy, mineralogy and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey, Economic Geology, Vol. 90, 1237-1260.
2. Helvacı, C., 2005, Borates. In: Selley R.C., Cocks, L.R.M and Plimer, I.R. (editors) Encyclopedia of Geology, Elsevier, December 2004, vol.3, p. 510-522.
3. Helvacı, C., 2003, Türkiye borat yatakları: Jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları, Ankara, ISBN 975-395-582-0, No. 71, 34 s.
4. Helvacı, C., and Alonso, R.N., 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina; A summary and geological comparison. Turkish Journal of Earth Sciences, 9, 1-27.
5. Helvacı, C., and Orti, F., 1998. Sedimentology and diagenesis of Miocene colemanite-ulexite deposits (western Anatolia, Turkey). Journal of Sedimentary Research 68, 1021-1033.
6. Kistler, R.B., and Helvacı, 1994, Boron and Borates. In: Industrial Minerals and Rocks (Donald D. Carr editor) 6th Edition. Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 171-186.
7. İnan, K., 1972. Newborate district, Eskişehir-Kırka province Turkey: Trans. Inst. Mining and Metall., 81, B, 163-165.