

HER DERDE DEVA HAZİNEMİZ

BOR

ESKİŞEHİR'in Seyitgazi ilçesinden Kırka bucağına doğru ilerliyoruz. Amacımız Batı Anadolu'daki bu dünyanın en büyük boraks cevherini yakından görmek ve işletme tesislerini gezmek. Dünyadaki toplam boraks rezervinin büyük bir bölümünü içinde barındıran bu cevher, Eti Holding A.Ş.'nin bağlı ortaklıklarından Eti Bor A.Ş. tarafından işletiliyor. Bir tepeyi aştığımızda madenin etkileyici görüntüsü karşımıza çıkıyor. Madene yaklaşık 3 km uzaklıkta olmamıza karşın orada yoğun bir etkinliğin olduğunu hemen fark ediyor ve ne olup bittiğini yakından görebilmek için sabırsızlanıyoruz... Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'ne vardığımızda, işletmenin teknik şefi Hacı Ali Kanberlioğlu bizi bir jiple ilk olarak cevherin çıkarıldığı açık ocak alanına götürüyor. Burası gerçekten de uzaktan görüldüğü kadar etkileyici. Açık ocak yöntemiyle çıkarılan bu dev boraks madeni, kirli beyaz renkte dev bir çukuru (tepenin içine açılmış olan açık renkte dev bir oyugu) andırıyor. Derinliği yaklaşık 70 metre olan

bu elips biçimindeki dev çukurun doğu-batı yönündeki çapı 750 metre, kuzey-güney yönündeki çapıysa 2,5 km dolayında. Sonra, boraks cevherini yakından görebilmek için jiple açık ocağın en derin bölümüne gidiyoruz. Yoğun yağış olmasından dolayı ocağın bu en derin kısmının ortasında ufak bir gölet oluşmuş; ancak göletin kenarında zemin yumuşak ve ıslak da olsa yürüebiliyoruz. Açık, kirli beyaz renkteki boraks çamuruna bata çıka ekskavatörlerin kepçeleriyle, delme-patlatmayla gevşetilen boraks cevherini alıp dev kamyonlara boşalttıkları ocağın duvar kısmına doğru ilerliyoruz. Boraks cevherinin üç değişik tipte; camsı, bileşik (kil, kum gibi başka malzemelerle karışık) ve tabakalı (çoğunluk kil tabakalarıyla ardalanmalı) yapıda bulunduğunu öğreniyoruz, ancak yine gördüklerimiz karşısında heyecanlanıyoruz, çünkü adım attığımız her nokta irili ufaklı boraks kristalleriyle dolu. Bunların bir kısmı buz görünüşünde, renksiz, saydam, camsı parlaklıkta ve kırılımı düzgün olmayan bir yapıda. Kristallerin bir bölümüyse, kil içerdiğinden sarımsı, so-

luk gri, soluk mavi, yeşilimsi ve hatta koyu kahve-siyah renkte. Ocağın duvarının önüne geldiğimizde gerçekten de çok şanslı olduğumuzu düşünüyoruz. Tam önümüzde, boyumuzu aşan yükseklikte yerdeki kristallerin kaynağı olan, ortalama 2 metre çapa sahip, tümüyle saydam boraks kristallerinin oluşturduğu bir damarın kesitini görebiliyoruz. Bizi buraya, açık ocağın kalbine getiren "rehberimiz" Hacı Ali Bey'den izin alarak, Ankara'ya götürmek üzere, damardan kopup yere düşmüş olan, beğendiğimiz birkaç boraks kristalini büyük bir heyecanla toplama başlıyoruz. Kristalleri elimize aldığımızda dikkatimizi çeken ilk olgu, bunların çok kolay ve düzensiz bir biçimde kırılması, nemli ve sabun gibi kaygan yapıda olmaları. Kristaller, ayrıca, sanayi için önemli olan B_2O_3 oranı açısından, bileşik ve tabakalı yapıdaki boraks cevherine oranla daha zengin, yani daha yüksek bir tenöre sahip. Topladığımız boraks kristallerini jipe koyduktan sonra, cevherin nasıl işlendiğini ve rafine ürün haline geldiğini görmek üzere açık ocağın yanbaşındaki üretim tesis-

lerine doğru yola koyuluyor, bir yandan da sayısız sanayi dalının başlıca hammaddelerinden olan bor minerallerinin hem dünya hem ülkemiz için ne kadar büyük önem taşıdığını düşünmeye başlıyoruz...

Bir Element: Bor

Bor minerallerinin bu denli önemli olmasının nedeni hiç kuşkusuz içerdikleri bor elementinin kimi özellikleriyle ilişkili. Bor elementi, periyodik tabloda "B" simgesiyle gösteriliyor; atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81, yoğunluğu 2,84 gr/cm³, ergime noktası 2200°C ve kaynama noktası 2250°C, siyah renkte, metalle ametal arası özelliklere sahip, metalik bir iletken değil, yarıiletken. Borun, yerkabuğunun ve sularının başlıca elementlerinden olduğu söylenemez; ortalama olarak 3-20 ppm değerinde. Ancak pek çok kayaç ve sıvının ikincil önemli bileşeni.

Aslında bor, oldukça ilginç bir element. Doğada tek başına bulunmuyor. Oksijenle bağ kurmaya yatkın olduğundan pek çok değişik oksijen bileşimi oluşturuyor. Basitten karmaşığa, sonsuz sayıda değişik molekül yapılarına sahip olabilen bu bor-oksijen bileşimlerine bilim dünyasında "borat" deniyor. Borun bu özelliğinden dolayı doğada pek çok, yaklaşık olarak 230 değişik bor minerali bulunuyor. Bu sayı, yerbilimcilerin günümüze kadar saptayabildikleri farklı bileşimli bor minerallerini yansıtır. Gelecekte, bu sayının, ölçüm aygıtlarının duyarlılığının artması, bilgisayar donanımının gelişmesi, dolayısıyla minerallerin kristal yapılarının daha büyük bir kesinlikle ayırt edilebilmesiyle daha da artması bekleniyor.

Ondokuzuncu yüzyılın başlarında, Fransız bilimadamları Joseph Louis Gay-Lussac ve Louis Jacques Thenard ile İngiliz bilimadamı Sir Humphrey Davy, yaklaşık aynı tarihlerde bor elementini ayırtırmayı başardılar, dolayısıyla bor elementini keşfetmiş oldular. Ancak %99 saflıktaki ilk kristalize bor, 1909 yılında elde edilebildi.

Doğada pek çok değişik bor minerali bulunduğunu belirtmiştik. Ne var ki bunların büyük, ekonomik değere sahip rezervler oluşturdukları yerler sayılı. Bir borat rezervinin ekonomik değere sahip olması, bor oksit içeriği-



Kırka'daki açık boraks madeni



Madenin içerisinde görülen bir boraks damarı

ne bağlı. Bu nedenle, ticari açıdan yaklaşıldığında özellikle şu bor mineralleri önem kazanıyor: bir sodyum borat olan boraks ve kernit, bir sodyum-kalsiyum borat olan üleksit ve probertit, bir kalsiyum borat olan kolemanit ve pandermit bir kalsiyum-magnezyum borat olan hidroborasit ve doğal bir borik asit ürünü olan sassolit.

Ülkemizin Batı Anadolu bölgesi, bor minerallerinin büyük ve ekonomik

değere sahip yataklar oluşturduğu yerlerden birisi. Dahası, bu yataklar, yukarıda saydığımız önemli bor minerallerinden kolemanit, boraks ve üleksit minerallerini içeriyor. Önemli borat yataklarının bulunduğu başka yerlerde ABD; Güney Amerika'da Arjantin, Bolivya, Peru ve Şili; Çin ve Rusya. Ancak, bu ülkelerdeki borat rezervlerine bakıldığında ülkemizin açık bir farkla başı çektiği açıkça görülüyor. Türkiye, dünyadaki borat rezervlerinin yaklaşık olarak yüzde 64'üne sahip.



Saf bor

Boratların Kökeni Volkanizma

Yeryüzündeki önemli borat yataklarının nasıl oluştuğuna gelince, yerbilimciler, bunların yer hareketlerinin sıkça görüldüğü, gezegenimizi bir ka-



Kırka açık boraks madeninin iç kısmı

© Serpil Yıldız

buk gibi saran levhaların birbirleriyle sınır oluşturdukları levha sınırları boyunca yer aldıklarını ve günümüzden yaklaşık 24-2 milyon yıl öncesi (neojen) dönemde oluştuğunu saptamışlar.

Dünyanın en büyük borat yatakları, kimyasal çökme sonucu gölge ortamlarda meydana gelmiş. Bunlar genellikle kil, kiltası, volkanik kül (tüfler), kireçtaşı ve benzer gölge tortul tabakalarıyla arakatmanlı. Volkanik kül tabakalarının yer alması, bu borat yataklarının etkin volkanizmayla bağlantılı olarak oluştuğunun bir göstergesi. Volkanik etkinlikle eşzamanlı oluşan sıcaksu kaynakları ve hidrotermal çözeltiler, bor elementinin oluşması için en uygun ortamlar. Örneğin, halen Güney Amerika'nın volkanik olarak etkin bölgelerindeki bazı sıcaksu kaynaklarında borat çökelmekte. Ayrıca, ABD'de keşfedilen ilk boraks cevheri de yine volkanik olarak etkin bir bölge olan California eyaletindeki Clear Gölü yakınlarındaki sıcaksu kaynaklarının oluşturduğu çamurlarda bulun-

muştur. Bundan başka, 19. yüzyılın başlarında İtalya'nın Toskana bölgesinde keşfedilen boratların kökeninin de volkanik etkinlik olduğu saptanmıştır. Borat yataklarının kimyasal çökme sonucu gölge ortamlarda oluşabilmesi için, volkanik etkinliğin yanı sıra bo-

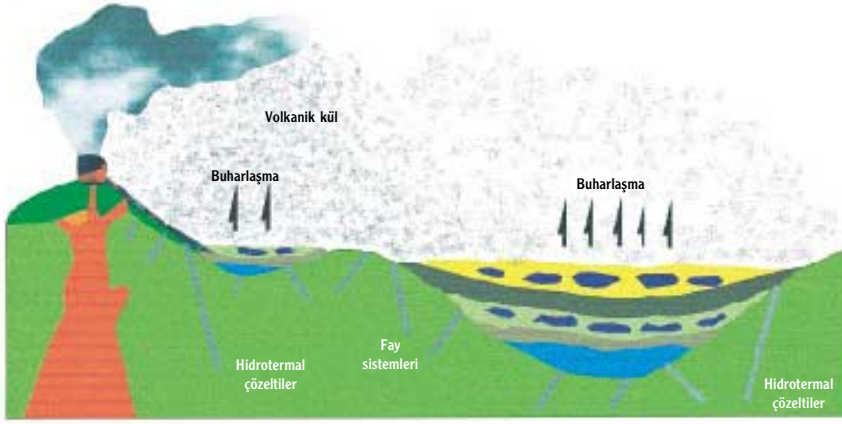
ratların birikim oluşturabilecekleri bir havza olması, ayrıca, bölgede kurak - yarı kurak bir iklimin hüküm sürmesi bir başka önemli koşul. Boratlar suda çözünabilir nitelikte olduğu için, bunların uzun süre (milyonlarca yıl) boyunca böyle bir tehlikeden korunabilmesi için üzerlerinin başka kayaç tabakaları tarafından örtülmesi gerekli. Ne var ki günümüze kadar tespit edilen en yaşlı bor yataklarının en fazla 30 milyon yaşında olması, bunların üzerlerinin başka kayaç tabakaları tarafından örtülmesinin yeterli olmadığını göstergesi.







Borat oluşumlarına, gölge ortamlar dışında, deniz ortamında oluşan tuz yatakları içinde de rastlanıyor. Ancak bu tür ortamlarda meydana gelen boratlar çoğunlukla ekonomik değere sahip değil. Deniz ortamında oluşmuş olup ekonomik değeri olan borat yataklarına bugüne kadar yalnızca Doğu Avrupa'da rastlanmıştır.

Bor mineralleri, bundan başka, yeraltındaki magmanın yeryüzüne doğru yükselirken kristalleşmesi sonucu da oluşabiliyor. Bu tür bir oluşum biçimi sırasında bor, kayacı oluşturan minerallerin kristal yapısına girmez; soğumakta olan magma kristalleşirken dışarı salınan suyla birlikte, oluşmakta olan sokulum kayacını terk eder. Bor minerallerinin bir başka oluşum biçimi ise magmanın yeraltından yükselirken sokulum yapması ve yüzeye yaklaşırken soğuması sırasında, çevredeki farklı kayaçların yüksek ısı ve basınçtan etkilenmesi ve bu değişimle birlikte bor elementinin oluşması. Bu tür



© Serpil Yıldız



 Alt tuf birimi	 Üst boratlı birim
 Kaynak kaya	 Üst tuf birimi
 Taban kaya	 Üst boratlı birim

Borat yatakları oluşum süreci

yollarla oluşmuş bor madenleri Doğu Rusya'da ve Çin'de bulunuyor.

Türkiye'deki Boratlar

Ülkemizdeki borat yatakları Batı Anadolu'da, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı yönünde yaklaşık olarak 300 km, kuzey-güney yönünde yaklaşık olarak 150 km'lik bir alan içinde, Balıkesir-Bigadiç, Bursa-Kestelek, Susurluk-Sultançayırı, Kütahya-Emet ve Eskişehir-Kırka yörelerinde bulunuyor. Bunlar, yaklaşık 65 milyon yıl önce başlayan ve 2 milyon yıl öncesine kadar süregelen volkanik etkinlik dönemleri sırasında, görsel ortamlarda oluşmuş. Yukarıda saydığımız, farklı yörelerimizdeki borat yatakları arasında yapısal açıdan farklılıklar bulunsa da, bunlar genel olarak çakıtaşı, kum-

taşı, volkanik kül (tuf), tüfit, kıltaşı ve kireçtaşı ile arakatmanlı. Genelde üzerleri kireçtaşı veya kıltaşıyla örtülü, ancak kimi yerlerde bu kayalar türlerine bir geçiş olduğu görülüyor. Borat yataklarının olduğu görsel ortamların yakınlarında volkanik kayaların yaygın olarak yer alması, bunların volkanizmaya bağlı olarak oluştuğunun göstergesi. Bigadiç'te kolemanit ve üleksit, Emet ve Kestelek yörelerinde ağırlıklı olarak kolemanit madenleri yer alırken, Kırka'da boraks yatakları bulunuyor.

Boratların Geçmişi

Ekonomik değere sahip olan bor mineralleri, çok yönlü kullanımları açısından belki de dünyanın en ilginç minerallerinden. Değişik yararları ve kul-

lanım alanları, uygarlığın ilk günlerinden bu yana biliniyor. O dönemlerde yaşayan gümüş ve altın kuyumcuları, akışkanlığı artırdığı için, özellikle boraks adlı bor mineralinden yararlanıyorlarmış. Boraks, kimi özelliklerinin zaman içinde keşfiyle, seramiklerde sırmalzesmesi olarak, tedavi amaçlı (mikrop öldürücü) ve temizlik maddesi olarak kullanılmaya başlanmış. Günümüzdeyse boraks, deterjan sanayiinin yanı sıra yaygın olarak yüksek performanslı camların üretiminde kullanılıyor.

Boraksın ilk kez, yaklaşık 4000 yıl önce, Babilliler tarafından kuyumculukta kullanıldığı tahmin ediliyor. Bunların, boraksı Uzakdoğu'dan getirttiklerine ilişkin bulgulara rastlanmıştır. O dönemlere ait yazılı kaynaklarda boraks minerali için "boorak", "bayrach" ve "borar" gibi sözcüklerin kullanıldığı saptanmıştır. Bundan başka, günümüz-



Boratlar, yüzyıllardan beri seramiklerin sırlanmasında kullanılıyor.

de, kimi kaynaklarda "boraks" yerine kullanılan "tinkal" sözcüğü de "Uzakdoğu" anlamına gelen "tinkar" sözcüğüyle eş anlamlı. Yine Mısırlıların mumyalama işlerinde, tedavi amaçlı ve değişik metalleri işlemede borakstan yararlandıkları, Eski Yunanlılarla Romalılarınsa boraksı temizlik maddesi olarak kullandıkları tahmin ediliyor. Görüldüğü üzere, boraks değişik uygarlıklar tarafından farklı amaçlarla kullanılmış. O dönemlerde, boraks daha çok alkali göllerden elde ediliyor ve ticareti yapılıyor. Ancak boraksın kullanım alanlarına ilişkin ilk yazılı metne, 762 yılında, Mekke, Medine ve Bağdat çevresindeki Arap yerleşimlerinde rastlanıyor. Boraks minerali, Çin'e bu tarihten kısa bir süre sonra girmiş. Avrupa'ysa, kimyaya ilişkin Arapça dilinde yazılan kaynakların çevrilmesi sonucu boraksı 12.-13. yüzyılda tanışmış. Onbeşinci yüzyıla gelindiğinde, boraks ticareti Venediklilerin elindeydi ve 200 yıl kadar da onlar tarafından sürdürü-



	Neojen yaşlı kayalar
	Neojen öncesi kayalar
	Kestelek kolemanit yatağı
	Sultançayırı pandemit yatağı
	Bigadiç kolemanit+üleksit yatağı
	Emet kolemanit yatağı
	Kırka boraks yatağı
	Grabenleri sınırlandıran büyüme fayları

Ülkemizdeki borat yatakları

Ekonomik Açıdan Önemli Bor Mineralleri

Mineral	Kimyasal Formülü	B ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)	Bulunduğu Yerler
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	36,5	47,2	Türkiye (Kırka), ABD, Arjantin
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ · 4H ₂ O	51,0	26,4	ABD, Arjantin
Kolemanit	CaB ₆ O ₁₁ · 5H ₂ O	50,8	21,9	Türkiye (Emet, Bigadiç, Kestelek), ABD, Meksika
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ · 8H ₂ O	43,0	35,6	Türkiye (Bigadiç), ABD, Şili
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ · 5H ₂ O	49,6	25,6	ABD
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41,4	10,7	Kazakistan, Çin
Datolit	Ca ₂ B ₄ Si ₂ O ₁₂ · 2H ₂ O	26,7	5,6	Doğu Rusya ve Kazakistan
Sasolit	H ₃ BO ₃	56,3	43,7	İtalya

lecekti. O dönemin Venedikli tüccarları, boraksın nerelerden getirildiğini ve nasıl işlendiğini büyük bir sır olarak saklamışlar. Ancak ham boraksın Tibet'in göllerinden elde edildiği ve torbalar içinde koyunlarla Himalayalar üzerinden Hindistan'a taşındığı biliniyor. Onyedinci yüzyıla gelindiğindeyse Hollandalılar boraks ticaretini üstlenmiş, hatta işlenmesi konusunda önemli bilgi birikimine kavuşmuşlar.

1840 yılında, İtalya'nın Toskana bölgesindeki sıcaksu kaynaklarında keşfedilen doğal borik asit (sassolit adlı bir bor minerali) ondokuzuncu yüzyılda Avrupa pazarlarının borik asit ve boraks gereksinimini büyük oranda karşılamış. Ondokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru dünyanın farklı bölgelerinde borat yatakları keşfedildi. Sanayideki hızlı gelişmelere paralel biçimde rafine bor ürünlerinin geliştirilmesinde ve

bunların pek çok alandaki kullanımında önemli adımlar atıldı.

Borun ve Bileşiklerinin Önemi

Geçmişte pek çok değişik uygarlık her ne kadar ağırlıklı olarak ham bor minerallerinden (çoğunlukla da borakstan) yararlandıysa da bu son yüzyılda, sanayileşmenin ve teknolojiye hızlı gelişmelerin etkisiyle artan ürün yelpazesine paralel olarak değişime uğradı. Günümüzde sanayinin pek çok dalında ham, rafine ve özel bor ürünleri kullanılıyor, çünkü bor elementi kendine özgü özelliklerinden dolayı çok sayıda bileşik veya alaşım oluşturabiliyor. Cevher zenginleştirme yöntemiyle ham bor; ham borun fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilmesiyle rafine bor ürünleri elde ediliyor. Özel

Bor Süperiletkenlikte Yeni Ufuklar Açıyor

Geçtiğimiz yılın Şubat ayında bir grup Japon bilimadamı, bir bor bileşiği olan magnezyum diboridin (MgB₂), 39K gibi yüksek bir kritik sıcaklığa sahip olması nedeniyle, geleceğin süperiletken malzemesi olabileceğini keşfettiler. Süperiletkenlik, sıcaklığın belli bir noktanın (kritik sıcaklık) altına düşürülmesiyle her türlü elektriksel direncin kaybolması durumu; genel olarak -273°C olan "mutlak sıfır" noktasına yakın sıcaklıklarda gerçekleşen bir olgu. Bu derece düşük bir sıcaklığı oluşturabilmek oldukça pahalı malzeme ve teknoloji gerektirdiğinden, örneğin büyük fizik deneyleri için gerekli süperiletkenleri görece yüksek sıcaklıklarda üretmeye yönelik yoğun araştırmalar yürütülüyor.

Süperiletkenler, çok yüksek akım yoğunluklarını (santimetrekare başına 1 milyon amper gibi) hiç bir enerji kaybına neden olmadan taşıyabildikleri için santrallerden şehirlere verimli enerji iletimi, güçlü mıknatıs isteyen uygulamalar (manyetik rezonans, maglev trenleri vs.), büyük miktarlarda enerjinin manyetik alan depolanması ya da mikroelektronikte istenmeyen ısının önlenmesi gibi birçok uygulama alanları var. Ne var ki bilinen süperiletkenlerin çok düşük olan kritik sıcaklıkları, bu tür önemli uygulamaları gerçekleştirmeye engel oluyordu. Magnezyum diboridin bir süperiletken olarak keşfi, bu tür çalışmalara yeni ufuklar açacağı benziyor.

Japon araştırmacılar, yıllarca kullanılagelen bakıroksit süperiletkenlerinin kritik sıcaklığının yükseltilmesi konusunda kaydedilen önemli aşamaları göz önüne alarak, kritik sıcaklığının başka malzemelerde ne ölçüde yükseltilebileceğini merak etmişlerdi. Bakıroksit olmayan malzemelerdeki süperiletkenlik için o güne kadar saptanan en yüksek değer 33K olmuştu. Oysa magnezyum diborid üzerinde yapılan izotop etkisi ölçümleri, çoğunlukla 11B biçiminde bulunan bor atomları 10B atomları ile değiştirildiği zaman kritik sıcaklığın 39K'den 40K'e çıktığını göstermişti. Böylece araştırmacılar, bakıroksit olmayan bir süperiletkende saptanan en yüksek kritik sıcaklık olan 39K değerini elde etmişlerdi. Bu derece yüksek bir kritik sıcaklık, magnezyum diboridin süperiletkenlik teknolojisi için çok uygun bir malzeme olduğunu gösteriyor.

Japon bilim adamlarının bu buluşu, süperiletkenlik konusuyla uğraşan bilim dünyasına, evrendeki pek çok başka malzemenin keşfedilmeyi beklediğini ve gelecekte büyük olasılıkla başka yeni süperiletken malzemelerin bulunacağını göstermişti.

Magnezyum diboridin bir süperiletken malzemesi olarak kullanılmasındaki tek sorun, oldukça kırılgan yapıda bir arametallik bileşik olması; çünkü süperiletkenler kablo biçiminde üretiliyor. Bu nedenle araştırmacılar, önümüzdeki yıllarda, süperiletken boritlerden dayanıklı kablolar geliştirme ve bunları düşük maliyetle üretme konusuna ağırlık verecekler. Malzemenin gerçekten de sorunsuz ve kullanışlı olması halinde bu tür kabloların 5-10 yıl sonra pazara sürüleceği tahmin ediliyor.



Solda, bir süperiletken kablo içerisinde geçen akım; alatta, tantalyumdan yapılmış tüpten çıkarılan magnezyum diborid kabloları; sağdaysa süperiletkenlik teknolojisiyle geliştirilen Maglev treni prototipi görülüyor.



Süper Kaygan Yüzeyler

Bir bor bileşiğinin (borik asit) özelliklerinden yararlanılarak yapılan, son yılların önemli buluşlarından biri de "sürtünmeyi neredeyse ortadan kaldıran karbon film kaplaması" (near-frictionless carbon film coating). Buluşun sahibi yıllardır ABD'nin Illinois eyaletindeki Argonne Ulusal Laboratuvarı'nda malzeme bilimi konusunda araştırmalarını sürdüren bir Türk bilimadamı: Ali Erdemir. Buluşu, 1998 yılında Argonne Ulusal Laboratuvarı'nın önemli ödülleri arasında "R&D 100 Award" (Ar&Ge 100 Ödülü) ile ünlü popüler bilim dergisi *Discover*'in "Discover Magazine Award" ödülünü almış. Erdemir'in geliştirdiği karbon film kaplamasının en önemli özelliği 0,001 gibi olağanüstü düşük bir sürtünme katsayısına sahip olması. Hava-sız (kuru azot atmosferinde) ortamda ölçülen bu değer, bu alanda bir önceki rekoru elinde tutan molibden disülfid malzemesinden 20 kez daha düşük. Aynı koşullar altında, teflon adlı kaplama malzemesinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,04. Yağla kaplı çelik yüzeylerle kıyaslandığında ise Erdemir'in kaplama malzemesi daha da büyük fark atıyor. Geliştirdiği yeni malzeme, bu tür geleneksel uygulamalardan 100 kez daha düşük bir sürtünme sağlıyor.

Sürtünme, pek çok alanda olduğu gibi özellikle de otomotiv sanayiinde pek de istenmeyen bir durum. Otomobillerin çalışması sırasında enerji kayıplarına, dolayısıyla da daha düşük verimle çalışmalarına yol açıyor. Bir başka sorunsal parçaların sürtünmeden dolayı aşınmaya uğrayarak hızla yıpranmaları ve bunun doğuracağı bakım masrafları. Geliştirilen yeni karbon film kaplaması, sürtünme sorununu ortadan kaldırdığı gibi, aynı zamanda çok sert bir malzeme olması nedeniyle aşınma tehlikesini de büyük ölçüde gideyor.

Malzeme, alüminyum ve çelik gibi metallerin yanı sıra plastik ve seramik gibi daha farklı özel-



likteki malzemelere de kolaylıkla tutunabiliyor, bunların yüzeylerini herhangi bir yağla kaplı oldukları zamankinden çok daha kaygan hale getiriyor. Bu kayganlık borik asitin kendine özgü yapısından kaynaklanıyor. Bileşik, atomların birbirlerine sıkı sıkı tutundukları ince tabakalar halinde kristalleşiyor. Tek tek tabakalar arasındaki bağlar daha zayıf; gerilme anında birbirleri üzerinde kolaylıkla kayıyorlar. Böylece de sürtünme düşük düzeyde kalıyor.

Günümüzde, Ali Erdemir ve ekibinin bu önemli buluşu, elektronik, ziraat, uzay ve havacılık, tıp gibi pek çok değişik alanda yaygın olarak kullanılıyor. Bundan başka, bu oldukça yeni sayılabilecek kaplama malzemesinin önemli yararlar getireceği alanlardan biri otomotiv sanayii, özellikle de geleceğin otomotiv teknolojileri. Kaplama malzemesi, 2004 yılına kadar bir "temiz araba" prototipi

geliştirmeyi amaçlayan ve bir ABD devlet-sanayi işbirliği projesi olan "Yeni Kuşak Otomobilleri Ortaklığı" (Partnership for a New Generation of Vehicles - PNGV) çerçevesinde yakıt hücreleri sistemiyle çalışan kompresörlerde ve gelişmiş dizel motorları yakıt enjeksiyon sistemlerinde deneniyor. Her iki teknoloji, projenin gelecek vadededen otomotiv teknolojileri olarak kabul ediliyor.



bor ürünlerine gelince, bunlar ham bor ya da rafine bor ürünlerinden elde ediliyor. Teknik açıdan büyük miktarlarda üretilebilen ve pek çok sanayi dalının vazgeçilmez hammaddelerinden olan dört ana rafine bor bileşiği vardır: Boraks Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Boraks Pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Susuz Boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ve Borik Asit (H_3BO_3). Bunların dışında, ayrıca, Sodyum Perborat ($\text{NaBO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ve Susuz Borik Asit (B_2O_3) sanayinin önem taşıyan rafine bor bileşiklerinden. Özel bor ürünlerineyse çinko borat (yangın geciktirici özellikte), disodyum oktaborat tetrahidrat (ağaç işlemede kullanılır),

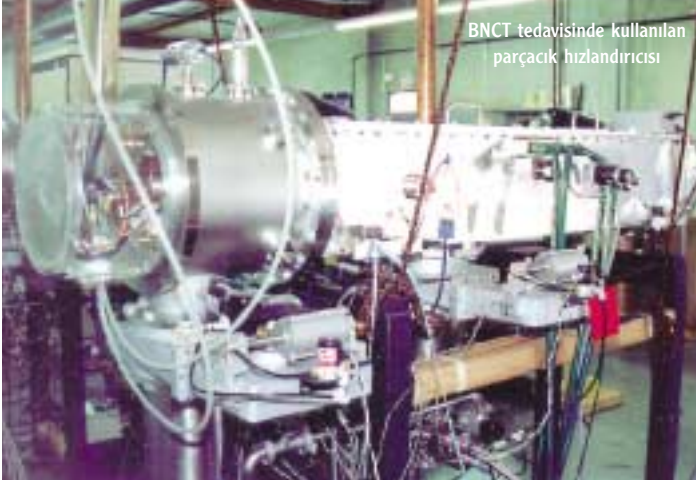
bor karbür (zırhlar gibi dayanıklı malzemelerde), magnezyum bor gibi boritler ve solibor gibi borlu gübreler örnek gösterilebilir.

Binlerce yıldan beri giderek daha fazla sayıda alanda kullanılan bor kendine özgü yapısı ve özellik-



leriyle sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden. Son yüzyıllarda, bilim ve teknolojiadaki başdöndürücü gelişmelerle birlikte borun ileri teknolojilerde çok büyük avantajlar sağladığı keşfedildi. Bor ürünleri cam, kimya ve deterjan, seramik ve polimerik malzemeler, metalurji ve inşaat, gıda ve tarım gibi alanlara ek olarak uzay ve hava araçları, askeri araçlar, füzeler, radarlar, iletişim teknolojileri, nanoteknolojiler, otomotiv sanayii ve enerji olmak üzere birçok alanda kullanılmaya başlandı. Bor, özellikle ileri teknoloji ürünlerinde önemli teknolojik yeniliklerin yapılmasını ve geliştirilmesini sağlayan anahtar element rolünü üstlendi ve üstlenmeyi sürdürüyor. Halen, özellikle bilgi (iletişim) teknolojileri, otomotiv sanayii ve enerji alanlarında bor ve bileşiklerinin çok önemli rol oynadığı araştırmalar yapılmaya devam ediyor, yeni üstün özellikli ürünler geliştiriliyor. Örneğin, son yıllarda, bir bor bileşiği olan sodyum borhidürün suyla tepkimeye girerek katalizör aracılığıyla hidrojen gazı açığa çıkarma özelliğinden yararlanılarak, bu bor bileşiği, elektrokimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren düzenekler olan yakıt pillerinde kullanılmaya başlandı. Otomobillerde yakıt ve çevre kirliliği sorununu ortadan kaldıracak olan bu teknolojinin pazara girmesiyle, gelecekte bor ve bileşiklerine olan talebin önemli ölçüde artacağı varsayılıyor. Bundan başka, bor ve kimi özel bileşiklerinden yararlanılarak, bilgi teknolojilerinde kullanılan süperiletkenler ve mikroçipler gibi ürünler daha da geliştirilerek bunların verimi ve kullanılabilirliği önemli ölçüde artırıldı. Günümüzde, teknoloji üreten ülkelerde borla ilgili araştırmalar tüm hızıyla devam ediyor ve öyle görünüyor ki bu element ikibinli yıllarda yaşamımıza pek çok alanda girerek kolaylık sağlayacak.

Bor ve bileşikleri, farklı sanayi dallarında üretilen değişik ürünlere üstün özellikler katıyor. Örneğin, en yaygın olarak kullanıldığı cam sanayiinde camın ısıyla genişmesini önemli ölçüde indiriyor; titreşim, yüksek ısı ve ısı şokuna karşı dayanıklılık sağlıyor; böylelikle camın genel olarak



Kanser Tedavisinde Bor: Son yıllarda borun özelliklerinden yararlanılarak geliştirilen yeni bir kanser tedavi yöntemi "bor nötron yakalama tedavisi". BNCT, tek başına uygulandıklarında hücreler üzerinde önemsiz sayılabilecek etkileri olan iki unsuru bir araya getiren bir tür ikili radyasyon tedavi yöntemi. Birinci unsur, ¹⁰B tümör hücrelerinde biriktirebilen kararlı bir izotop. İkinci unsursa düşük enerjili nötronlardan oluşan bir ışın. Tümör hücrelerinin içinde ya da bunların yanında bulunan ¹⁰B, bir nötron yakaladıktan sonra parçalanır ve üretilen yüksek enerjili ve ağır yüklü parçacıklar yalnızca yakın konumdaki tümör hücrelerini yok ederler, ancak yanlarındaki sağlıklı hücrelere büyük oranda zarar vermezler.

tekstil (örneğin kurşun geçirmez kumaşlar), izolasyon, otomotiv sanayii gibi pek çok alanda kullanılıyor. İleri bor kompozitleri, askeri amaçlı uzay ve hava taşıtlarının daha sağlam ve aynı zamanda da hafif olmasına yönelik araştırmalar sonucunda keşfedilmiştir.

Daha çok boraksa özgü bir özellikse, düşük bazik düzeyi sayesinde yağları ikinci bir tabaka haline getirebilmesi ve suyun yüzey gerilimini azaltarak kir

dayanıklılığını artırıyor. Bundan başka, camın üretimi sırasında, daha ergimiş haldeyken eriyiğinin daha akışkan olmasını sağlıyor. Borun bu özellikleri, onu elektronik ve uzay araştırmaları gibi alanlarda kullanılmak üzere, üstün nitelikli camların üretiminde vazgeçilmez kılıyor.

Plastik, seramik ya da metallerle bir arada kullanılan özel bor bileşikleri

(örneğin; bor kompozitleri veya borid fiberleri) yüksek direnç ve malzemeye yüksek bir esneklik sağlıyor. Özellikle plastiklerde kullanılan bor fiberleri sağladığı sertlik/yoğunluk oranı, alüminyum ve titanyuma oranla altı kat daha fazla. Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı, esnek, hafif ve kolay üretilebilir olan borlu malzemeler, bugün spor malzemeleri (raketler, kayaklar, vb.),

parçacıklarının kopmasını kolaylaştırması. Bu borat, ayrıca kimi organiklerle tepkimeye girerek esterler oluşturur ve düşük de olsa mikrop öldürücü özelliğe sahiptir. Tüm bu özelliklerinin bileşimi, boraksı güçlü fakat uyguladığı nesnelere zarar vermeyen bir temizlik malzemesi durumuna getirir. Boraks kimi aşındırıcılarla birlikte aşındırıcı özelliğe sahip toz halindeki

Enerji Taşımada Yeni Bir Olanak: Sodyum Borhidrür

Günümüzde enerji gereksiniminin %80'i fosil yakıtlardan (petrol, doğal gaz ve kömür) karşılanıyor. Ancak fosil yakıtların giderek artan miktarlarda kullanımı yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerde çevre kirliliğine neden oluyor. Fosil yakıtlar çıkarılmalarından taşınmalarına, işlenmelerine ve son kullanımlarına kadar geçen tüm süreçlerde çevre üzerinde pek çok olumsuz etkiye sahiptir. En önemli etkiye yanma şeklinde olan son kullanım sırasında görülüyor. Bunlar yanma ürünü olan CO₂, SO₂, NO₂, hidrokarbonlar, kül, katran vb. bileşikler. Ayrıca atmosferik tepkimelerle fotokimyasal oksidanlar, asit aerosoller gibi ikincil kirlenmelerin de oluşumuna neden olur.

Fosil yakıtlarla ilgili bir diğer darboğaz da, gittikçe azalıyor olmaları. Petrol ve doğal gazın bilinen rezervleri 8x10²¹J ve bugünkü tüketim hızıyla 40 yıl sonra bitmesi bekleniyor. Kömür rezervleri daha çok (20x10²¹J bilinen 150x10²¹J olası) ama bunların da çevresel etkileri daha olumsuz. Bu nedenlerle bol bulunan ve çevreye olumsuz etkileri daha az olan yeni enerji kaynaklarına yönelmek zorunlu hale geliyor. Yeni enerji kaynakları,

- doğrudan güneş radyasyonu
- dolaylı güneş radyasyonu (rüzgar, dalgalar, biyokütle, hidrojen, okyanusların ısı enerjisi)
- jeotermal enerji
- gel-git enerjisi

gibi çok bulunan, yenilenebilir ve "temiz" enerji kaynakları. Ancak bu kaynaklar son kullanım için uygun değil. Bir "ara enerji taşıyıcıya" gereksinim var. Elektrik, enerji taşıyıcı olarak bir

seçenek ama kolayca depolanmadığı, çok uzaklara taşınması uygun olmadığı ve taşıtlarda olduğu gibi bazı durumlarda kullanılmadığı için her türlü kullanım alanı için uygun bir seçenek değil. Diğer seçenek ise hidrojen. Taşıdığı özelliklerle tek olan hidrojen, ara enerji taşıyıcı olarak kullanıldığında aşağıdaki avantajlara da sahip:

- enerji üretimindeki son ürünün su olması
- boru hattı veya tankerlerle çok uzak mesafelere taşınabilmesi
- alevli yanma, katalitik yanma, elektrokimyasal dönüşüm ve hidrür oluşumu gibi pek çok yöntemle etkin bir şekilde enerji üretiminde kullanılabilmesi
- yenilenebilir kaynaklardan üretildiğinde çevreye herhangi bir emisyonu olmayışı, çevre dostu olması.

Ancak bir enerji taşıyıcısı olarak hidrojen kullanımının henüz çözülmemiş sorunları da var:

- pahalı oluşu

- yaygın kullanım için yeterli üretim ve taşıma alt yapısının olmayışı
- taşıma, depolama ve kullanımda emniyeti sorunları oluşu.

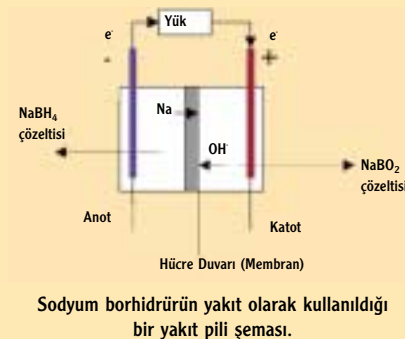
Hidrojen, çelik tanklarda basınçlı gaz, kriyojenik koşullarda sıvı, ısı bozunmayla hidrojen veren kimyasal bileşikler (metanol, hidrokarbonlar vb.) ve metal hidrürler halinde ya da karbon nanotüplerde soğutulmuş halde depolanabilir ve taşınabilir. Ancak bu ortamlarda depolanabilen hidrojen, kullanılan malzemenin ağırlıkça en fazla % 10'u kadar ve kullanılabilen hidrojen miktarını artırmak için tüm dünyada yoğun araştırmalar devam etmekte.

Kuvvetli indirgen özelliğe sahip bir bor bileşiği olan sodyum borhidrür (NaBH₄), günümüzde kağıt hamurunun ağartılması, çözültülerden değerli metallerin (altın, gümüş vb.) geri kazanılması, atık sulardan ağır metallerin (kadmiyum, cıva vb.) giderilmesi, vitamin, antibiyotik vb. bazı organik kimyasalların üretilmesi gibi pek çok alanda ticari olarak kullanılıyor. Sodyum borhidrür, bir katalizör varlığında su ile tepkimeye girerek hidrojen gazı üretilme özelliğine sahip.

Sodyum borhidrürün alkali çözeltisine, oda sıcaklığında bile bir katalizör eklendiğinde (örneğin, kobalt, rutenyum, asit) yukarıdaki tepkimeye göre hidrojen gazı açığa çıkar.

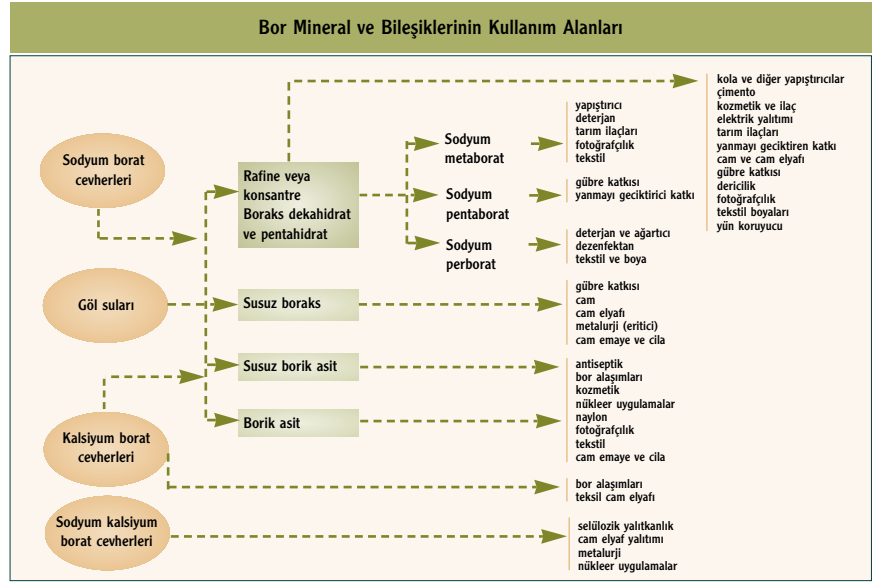
Hidrojen üretiminde sodyum borhidrür kullanımının avantajları,

- sodyum borhidrür ve sodyum metaborat çözültülerinin yanıcı olmaması
- tepkimenin kolayca kontrol edilebiliyor olması



temizlik maddelerinde, sabunlarda ve pek çok başka temizlik maddesinde kullanılır. Çamaşır deterjanlarına katılan sodyum perborat adlı bor bileşiği aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcı; bu nedenle de çamaşır beyazlatıcısı olarak biliniyor.

Son yıllarda borik asit, boraks ve pentahidrat gibi bor bileşikleri, yangın geciktirici etkileri gibi önemli özellikleri nedeniyle, düşük maliyetli selülozik yalıtım malzemesi yapımında kullanılmaya başlandılar. İnce şeritler halinde kesilmiş ve tavanarasına ya da duvarlara sıkıştırılmış olan gazete kağıdı, işlem görmeden kullanıldığında, zamanla sıkışma nedeniyle bir süre sonra etkisini yitiriyor. Oysa selülozdan yapılmış bu malzeme, bir borat solüsyonuyla (örneğin borik asit) işlem gördüğünde ve kullanılmadan kurutulduğunda, bu sorun önemli ölçüde ortadan kalkıyor; malzeme yangına karşı dayanıklılık, bakterilere karşı zehirleyici, ayrıca sıçanların, farelerin ve böceklerin iş-tahlarını kapatıcı bir nitelik kazanıyor.



Bor elementini tek kılan bir başka özelliği ise, küçük bir atoma sahip olmasına bağlı olarak, nötron emme gücünün yüksekliği. Nükleer santrallerde, radyoaktif maddenin bölünmesi ısının açığa çıkmasına, alfa ve beta parçacıkları, gama ışınları ve nötronların oluş-

masına yol açar. Nötronlara karşı kalın görevi görecektir malzemeler arasında en etkili olanları bor (özellikle de ¹⁰B izotopu), hidrojen, lityum, polietilen, ve sudur. Ancak bunların çoğu ikincil gama ışınlarının oluşmasına neden olurken nötronları emme özelliğiyle bor, çok hafif bir gama ışını ve kolay emilebilen bir alfa ışını üretir.

Bor bileşikleriyle ilgili bir başka önemli noktaysa, bor ile bir metalin bir araya gelmesiyle oluşan boritlerin, oldukça sert (Mohs'un sertlik ölçeğine göre yaklaşık 9, oysa elmasınki 10), bu nedenle de aşındırıcı ve refraktör (ışık-kıran) olarak kullanılmaya oldukça elverişli olmaları. Sınırlı sayıdaki bu tür bileşikler, yüksek bir ısı ve elektriksel iletkenliğe sahip.

Ülkemizdeki Boratların Dünü Bugünü

Anadolu'daki bor cevherlerinin ilk olarak Romalılar tarafından keşfedildiği tahmin ediliyor. Büyük bir bor yatağının yer aldığı Eskişehir-Kırka yakınlarında Romalılara ait olduğu saptanan kalıntılar ve o dönemlerde bu bor yatağının yüzeyinden bor cevheri elde edildiğine dair izler, bunun göstergesi. Ancak ülkemizde gerçek anlamda bor madenciliği 1861 yılında Balıkesir-Susurluk ilçesinin Sultançayırı bölgesinde bir yabancı firma tarafından başlatılmış ve daha sonraki yıllarda da, Osmanlı Devleti'nin son yılları ile Cumhuriyetin çeyreğinde ya-

- hidrojenin yarısının sodyum borhidrürden, diğer yarısınınsa sudan gelmesi (100 g sodyum borhidrürden ~21 g H₂)
- heterojen katalizörlerin pek çok kez kullanılabilir olması



- sodyum metaboratın yeniden sodyum borhidrür üretiminde kullanılabilmesi
- sodyum borhidrürde ağırlık/enerji oranının benzindeki orana yakın oluşu
- mevcut benzin dağıtım altyapısının sodyum borhidrür çözeltisi taşımada kullanılabilir ya da katkı olarak kolayca taşınabilir oluşu
- içten yanmalı motorlarda yapılacak bazı ufak değişikliklerle bu şekilde üretilen hidrojen gazının araçlarda yakıt olarak kullanılabilmesi.

Millenium Cell şirketi, sodyum borhidrürün bu özelliğine dayanan taşınabilir hidrojen depolama sistemleri geliştirmiş (Hydrogen on Demand) bulunuyor.

Sodyum borhidrürün elektrokimyasal tepkimesiyle sodyum borata oksidasyonu, bir pil içinde de gerçekleştirilebilir. Ancak pilin içindeki borhidrür bitince enerji üretimi, yani pil de biter. Diğer taraftan bir yakıt pilinde sodyum borhidrür beslemesi sürdükçe elektrik enerjisi üretimi de sürer, çözeltide sodyum borhidrür bitse bile elektrolizör, oluşan sodyum metaborat boşaltılıp yeniden sodyum borhidrür çözeltisi doldurulup çalıştırılabilir.

Yakıt pilleri, elektrokimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren düzenekler. Güç üretim santrallerinden cep telefonlarına kadar çok değişik kapasitede geniş uygulama alanı ve farklı türleri var. Böyle bir yakıt pilinde sodyum borhidrürün

% 44'lük (ağırlıkça) çözeltisi kullanılsa, bir litre çözeltiden 5,11 KW/saat enerji elde edilebilir ki bu değer 1 litre benzinden teorik olarak elde edilebilecek enerjinin % 56'sına eşit. Ancak yakıt pili-elektrik motorundaki enerji dönüşüm verimi, içten yanmalı motora kıyasla 2,5-3 kat daha fazla. Dolayısıyla mevcut yakıt tanklarıyla katedilen yol sodyum borhidrür kullanımı için de geçerli.

Sodyum borhidrürden üretilen hidrojen, içten yanmalı motorda yakılarak bir Ford Crown Victoria takside, akülü sistemde Ford Explorer'da, yakıt pili olarak ise Ford Mercury Sable'da, prototip olarak uygulanmış. Millenium Cell aynı zamanda fotovoltaik enerjiyle kullanılmış metaboratı elektrolizle borhidrüre çeviren bir prototip de yapmış.

Türkiye, dünya bor cevheri rezervinin %65'ine sahip. Bor için çok yaygın bir kullanım olanağı açan sodyum borhidrürün hidrojen taşıyıcı olarak kullanımını ülkemizin de zenginliğini değerlendirmede yeni ufuklar açacaktır.

E. Kalafatoğlu, N. Örs, G Behmenyar
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, MKTAE
Süreç Mühendisliği ve Tasarım İş Birimi

Kaynaklar

- S. Suda, EP1067091, Jan. 1, 2001, "Hydrogen-generating agent and method for generation of hydrogen using the same"
- S. Amendola, 5 804 329, Sep. 8, 1998, "Electroconversion Cell"
- T. N. Veziroğlu, "Quarter century of hydrogen movement 1974-2000", International Journal of Hydrogen Energy 25 (2000) 1143-1150
- S. Kocakuşak, E. Kalafatoğlu, N. Yalaz(Örs), "Sodyum borhidrür", TÜBİTAK-MBAE, Kim.Müh. Ar. Böl. Yayın No: 178, 1986

Dünya Toplam Bor Rezervleri (x1000 ton B₂O₃)

Ülke	Görünür Rezerv*	%	Görünür Rezerv**	%	Muhtemel + Mümkün Rezerv	%	Toplam Rezerv	%
ABD	209000	16,4	45000	9,2	60000	11,5	105000	10,3
Arjantin	9000	0,7	2000	0,4	7000	1,3	9000	1,0
Rusya+BDT	136000	10,7	28000	5,6	112000	21,4	140000	13,7
Bolivya	19000	1,5	4000	0,8	15000	2,9	19000	2,0
Çin	36000	2,8	27000	5,4	9000	1,7	36000	3,5
İran	--	--	1000	0,2	1000	0,2	2000	0,2
Peru	22000	1,7	4000	0,8	18000	3,4	22000	2,0
Sırbistan	--	--	3000	0,6	--	--	3000	0,3
Şili	41000	3,2	8000	1,6	33000	6,3	41000	4,0
Türkiye	803000	63,0	375000	75,4	269000	51,3	644000	63,0
Toplam	1275000	100,0	497000	100,0	524000	100,0	1021000	100,0

Kaynaklar: KIGEM*; Roskill**, 1999

bancı firmalar tarafından sürdürülmüş. Ülkemizde doğal kaynaklarımızın tespitine yönelik bilimsel çalışmaların yapılması için 1935 yılında maden aramalarını yapmak üzere Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA),

madencilik, enerji üretimi ve dağıtımını yapmak üzere de ETİBANK kuruldu. MTA, ekonomik değeri olan alanları ilgili bakanlık kanalıyla ETİBANK'a devretmeye, ETİBANK da bu kaynakları işletmekle görevlendiril-

miş. 1950 yılında Bigadiç'te, 1954'de Mustafa Kemal Paşa bölgesinde ve 1956'da da Emet dolaylarında kolemanit yatakları, yine aynı dönemlerde, Kırka'daki boraks yatağı ortaya çıkarılmış. ETİBANK, ilk kez 1958 yılında Emet'te bor madeni işletmeciliğine adım atmış. 1964 yılında Bandırma'da ilk rafine bor tesislerinin temeli atılmış. 1960lı yılların sonlarına doğru Kırka'daki bor yataklarını da devralan ETİBANK, 1970lerde Kırka'da bor rafine ürün üretim tesislerinin kurulması çalışmalarına başlamış. Böylece ülkemizde bor hammaddesi üretiminde ve dünya talebini karşılamada önemli bir ilerleme sağlanmış. Tüm bu gelişmelere karşın, ülkemizde bor cevherlerinin üretim ve ihracatı, 1978 yılına kadar, büyük oranda yabancı ve yerli özel şirketlerin teke-

Kırka Boraks Madeni'ni Gezdik Gördük

Dünyanın en büyük boraks yataklarından birinin yer aldığı, Eskişehir il sınırları içerisindeki Kırka Bor İşletmesi'ndeyiz. Maden, 1970'lerin başından bu yana, daha önceleri ETİBANK olan Eti Holding A.Ş.'nin bağlı ortaklıklarından Eti Bor A.Ş. tarafından işletiliyor. Üretim, daha önceki yıllardaysa bir özel firma tarafından yapılmış.

Ülkemizin tek boraks yatağı olan Kırka-Sarıka-ya boraks yatağında üretim açık ocak yöntemiyle yapılıyor. Açık ocağın büyüklüğü karşısında etkilenmemek elde değil. Elips biçiminde açılan ocağın doğu-batı yönündeki çapı yaklaşık 750 m, kuzey-güney yönündeki çapıysa 2,5 km, toplam rezerv miktarı yaklaşık 6 milyon ton. Ortalama kalınlığı 75 m olan boraks cevheri üç farklı biçimde olabilir: camsı ya da kristal (tenörü, yani B₂O₃ içeriği, madenedeki diğer boraks cevherlerinden daha yüksek), bileşik ve tabakalı yapıdaki boraks cevheri.

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, ham boraks cevherinin çıkarıldığı açık ocağın yanı sıra cevherin kırma, eleme ve yıkama işlemlerinden geçerek zenginleştirildiği bir konsantratör (zenginleştirme) tesisi, rafine bor ürünlerinin üretildiği üç adet bor türevleri tesisleri gibi ana üretim yerleri, fabrikanın gereksinimi olan buhar ve elektrik enerjisinin üretildiği buhar üretim ve turboalternatör Üniteleri gibi yan ve yardımcı tesisler ve tamir bakım atölyelerinden oluşuyor. İşletmenin şu anki yıllık ortalama üretim kapasitesi 1.650.000 ton ham boraks, 800.000 ton konsantre tinkal, 480.000 ton boraks pentahidrat ve 17.000 ton boraks dekahidrat. Halen etüd çalışmaları devam eden 4. Bor Türevi Tesisi'nin açılmasıyla boraks pentahidrat üretim kapasitesinin 240.000 ton artırılması düşünüyor.

Kırka boraks yatağının üzeri, ortalama 40 m kalınlığındaki kalker, marn (kil ve kalker karışımı gevşek bir malzeme) ve kil tabakalarıyla örtüldü. Delme-patlatmayla gevşetilen bu "dekapaj" malzemesi, açık ocağa 1 km uzaklıktaki tumba sahasına taşınıyor. Böylece cevherin üzeri açık hale getiriliyor. Yine delme-patlatma yöntemiyle gevşetilen cevher, elektrikli ekskavatörlerle ya da ağır tonajlı iş kamyonlarıyla kırma, eleme ve yıkama işlemleriyle zenginleştirileceği konsantratör (cevher zenginleştirme) tesisine götürülüyor. Konsantratör tesisinde uygulanan bu işlemlerdeki amaç, boraks cevherinin %26 olan ortalama tenörünü (B₂O₃ içeriğini) %32'ye çıkartmak (temiz, kil içermeyen boraks cevherinin tenörü %36,51'dir). Cevher, burada, daha küçük parçalara kırılarak, elek işlevi gören ve 40x40 cm'lik boşluklara sahip olan dev bir ızgaradan geçiriliyor. Bu aşamadan sonra cevher ikinci bir eleme işleminden geçirilerek tane büyüklükleri 25 mm'nin altına getiriliyor. Bu işlemden sonra malzeme bir ara stok binasında stoklanıyor. Buradan alınan malzemenin bir bölümü, konsantratör tesisinde yıkama yöntemiyle zenginleştiriliyor, bir kısmıysa boraks pentahidrat üretimini için çözüme ünitesine gönderiliyor.

Konsantre tinkal elde etmek amacıyla uygulanan zenginleştirme işlemi sırasında, cevher istenmeyen kilerden arındırılmak üzere skraber denen yıkama hücrelerinde aşındırılarak yıkıyor. Buradan çıkan malzeme 1 mm'lik sulu bir elekten eleniyor, elek üstü +1 mm'lik ürün, santrifüj su arındırıcılarından geçirilerek stoklanıyor ve yenden kırıcılarda kırılarak aynı işlemlerden geçiriliyor. Bir milimetre altındaki elek altı ürünün içerdiği tinkalse çok küçük taneli kilerden arındırılıp santrifüj yoluyla suyu uzaklaştırılıyor. Bu işlemler sonucunda elde edilen konsantre tinkalin tane boyutları maksimum 10 mm, minimum 38 mikron.

Madenden getirilen boraks cevheri, dev eleklerle dökülüyor.



© Serpil Yıldız

linde kalmış. 1978 yılında, ülkemizin bu açıdan dünya piyasasındaki gerçek değerine ulaştırılması ve borun ülke yararına işletmesi amacıyla, bor yatakları, 2172 sayılı Yasayla devletleştirildi. Böylece borla ilgili tüm etkinlikleri devlet adına ETİBANK üstlenmiş ve aynı zamanda dünyanın en büyük iki bor bileşikleri üreticilerinden biri konumuna geçmiş oldu. 1983 yılında yürürlüğe giren 2840 sayılı yasayla ise bor madenlerinin devlet eliyle ETİBANK tarafından işletilmesi kesinlik kazandı. ETİBANK, bankacılık kısmının özelleştirilmesi nedeniyle 1998 yılında yeniden yapılandırıldı ve ETİ Holding A.Ş. adını aldı.

O zamanki adıyla ETİBANK, sahip olduğu bor rezervlerinin katma değerini ve dünya bor pazarındaki gelir payını artırmak için, 1960'lı yıllardan itiba-



© Serpil Yıldız

ren önemli yatırımlara girişti. Bu çerçevede başlattığı yatırım faaliyetlerini yoğun bir biçimde sürdürerek bugün ham borda yıllık 1.800.000 ton, rafine bordaysa 717.000 tonluk kurulu bir kapasiteye ulaştı. Bu yıl içerisinde tamamlanacak olan 100.000 tonluk rafine

ne bor tesisi ile etüd ve planlama aşamasında olan yatırımlarla birlikte, rafine bor üretimi kapasitesinin 1.200.000 ton/yıl'a çıkarılması hedefleniyor. Bor madenlerinin ve rafinasyon tesislerinin işletmesini Eti Holding'in bağlı ortaklıklarından Eti Bor A.Ş. yürütüyor. Bor madenlerinin bulunduğu yerlerde Eti Bor'a bağlı bor işletmeleri yer alıyor. Ham ve rafine bor ürünlerinin üretildiği bu işletmeler Bandırma (Balıkesir), Kırka (Eskişehir), Emet (Kütahya), Bigadiç (Balıkesir) ve Kestelek (Bursa) bor işletmeleri.

Bugün Eti Holding, dünyada yılda yaklaşık 1,5 milyon ton olan B_2O_3 bazındaki bor üretiminin %32'sini gerçekleştiriyor. Eti Holding ile birlikte bir başka büyük ABD firması, dünyadaki bor gereksiniminin yaklaşık %70'ini karşılıyor.

Zenginleştirilen boraks cevherinin bir bölümü, boraks pentahidrat üretimi için bor türevi tesislerine hammadde olarak veriliyor, bir bölümüyse "konsantr tinkal" olarak yurtiçine ve yurtdışına satılıyor.

Boraks Pentahidrat Üretimi

Kırka Bor İşletmesi'nde 1984 yılından bu yana, 1. Bor Türevleri Tesisi'nin devreye girmesiyle birlikte, bir rafine ürün olan boraks pentahidrat üretiliyor. Dünya genelinde ürüne olan yoğun talep nedeniyle 1996 yılında 2. Bor Türevleri Tesisi ve bu yıl da 3. Bor Türevleri Tesisi devreye alınmış. Özellikle 3. Bor Türevleri Tesisi'nin yeniliği, teknolojsi ve temizliği karşısında etkileniyor, bu tesisi biraz hayranlık ve biraz da gururla dolaşıyoruz. Bir dördüncü bor türevleri tesisinin etüd çalışmalarını da halen sürdürüldüğünü öğreniyoruz. Bor türevleri tesislerindeki boraks pentahidrat üretimi, aralıksız, gece gündüz, üç vardiyada gerçekleştiriliyor. Rafine ürün üretiminde uygulanan ilk işlem, konsantratör tesisinde elde edilen ve %32 oranında B_2O_3 içeren konsantr tinkaldeki istenmeyen kalsiyum ve magnezyumun çöktürülerek karışımdan uzaklaştırılması. Bu amaçla konsantr tinkale %2,5 oranında soda ekleniyor.

Boraks pentahidrat üretimi dört aşamada gerçekleşiyor. Birinci aşama olan çözme işlemi sırasında konsantr tinkalin, tıpkı şekerin suda erimesi gibi, 98°C'lik çözme tankında çözünmesi sağlanıyor. Bu işlemden sonra, çözeltinin içerdiği kil parçacıkları öncelikle 3 mm'lik eleklerde eleniyor. Boyutları 3 mm'nin üzerinde olanlar atık olarak ayrıştırılıyor, daha küçük boyuttaki ise filtreleme işlemine tabi tutuluyor. Burada çözelti içerisindeki kil, tikner adı verilen özel tanklarda çöktürüldükten sonra elekten geçen küçük boyuttaki tanecikler basınçlı filtrelerle süzülüyor. Çözünmeyen katı kil, kum gibi atıklar ayrıştırılıyor ve atık olarak kil sahasına atılıyor. Daha sonraysa, çözeltinin çözünme işlemi kimyasallar yardımıyla sürdürülüyor ve çözelti içerisindeki kilin, çözme tankının huni biçimindeki haz-



Konsantr tinkal bantlarla stok sahasına taşınıyor.

nesinde çökmesi sağlanıyor. Üçüncü aşama olan kristallendirmedeyse, bu işlemler sonucunda el-



Boraks pentahidrat üretiminin son aşamasında döner kurutucularda kurutuluyor.

de edilen temiz çözelti kristalizatöre veriliyor. Burada, sıcaklık ani olarak 95°C'den 66°C'ye düşürülerek çözeltinin katılaşma yoluyla kristalleşmesi sağlanıyor. Kristalleşen malzeme, çözüldüğü hidrosiklon ve santrifüjlerle ayrıştırılıyor, daha sonra da son işlemden geçerek döner kurutucularda kurutuluyor.

Kırka'da boraks pentahidrat ve dekahidrat rafine bor ürünleri üretimi dışında susuz boraks (susuz boraks üretimi sırasında boraks pentahidrat'ın içerdiği beş su molekülü yüksek ısıda uçuruluyor) üretimi de gerçekleştirilebiliyor, bunun için gerekli olan üretim altyapısı mevcut.

Kırka Bor Türevleri Tesisi'nin önemli bir özelliği, enerji gereksinimini kendi olanaklarıyla karşılaması. Tesislerde kullanılacak buhar ve elektrik enerjisi için iki adet 20 ton/saat kapasiteli buhar kazanı bulunuyor. Basınçlı buhar önce türbinden geçirilerek elektrik enerjisi üretiliyor ve türbinlerden çıkan basınçlı buhar da bor türevleri tesisinde kullanılıyor. Tesisde, biri 3,5 MW, diğeri 5 MW olmak üzere elektrik türbini yer alıyor.



Eti Holding AR-GE Daire Başkanlığı'nda, bor işletmelerinde ortaya çıkan sorunlara çözümler getirmeye, yurtdışındaki alıcıların isteklerini karşılamaya, ayrıca kurumun portföyüne yeni ürünler katmaya yönelik çalışmalar yapıyor. Geliştirilen yeni ürünler arasında bor oksit, çinko borat ve borlu gübreler de bulunuyor.

Geleceğimizi Aydınlatabilecek Hazinemiz: Bor

Ülkemiz açık bir farkla dünyanın en zengin bor yataklarına sahip. Dünyadaki toplam bor rezervinin (görünür+muhtemel+mümkün) yaklaşık 1 milyar ton olduğu tahmin ediliyor. Bu rezervin yaklaşık %64'ü Türkiye'de, %11'i Rusya ve %9'u ABD'de. Bu da, yıllık tüketimler baz alındığında ve ül-

kelerin rezerv ömrü hesaplandığında, Türkiye'nin en uzun rezerv ömrüne sahip ülke olduğunu gösteriyor. Şanslı olduğumuz bir başka nokta da sahip olduğumuz bor rezervlerinin yüksek kalitede ve sanayide kullanım açısından çok elverişli ve çeşitli boratlar içermesi. Ekonomik açıdan en makbul boratlar; boraks, kolemanit ve üleksit ülkemizde büyük miktarlarda yer alıyor. Kısaca, ülkemiz çok önemli bir doğal kaynak avantajına sahip. Önemli olan

nokta, ekonomik büyümenin ve gelişmenin koşulu olan öğrenmenin ve yenilikçiliğin büyük önem kazandığı şu dönemde, doğal kaynak avantajımızı en iyi şekilde, ülkemizin bilimsel ve teknolojik açıdan gelişmesini, dolayısıyla ekonomik büyümeyi hızlandırmasını sağlayacak biçimde değerlendirmek.

Borun geniş kullanım yelpazesine ve bu elementle ilgili son yıllarda yapılan ileri teknolojilere yönelik araştırmalara ve yakıt malzemesi gibi yeni potansiyel kullanım alanlarına bakıldığında, bir bor hazinesine sahip olmamızın, ülke sanayisini canlandıran politikalar uygulandığında, ülkemize yeni ufuklar açacağı kesin. İleri teknolojilerin geliştirilmesinde borun oynadığı önemli rol, bu element ve bileşikleriyle ilgili araştırmalar yapılmasının ne derece önemli olduğunu gösteriyor. Burada önemli olan teknolojiyi izleyen konumundan sıyrılıp teknoloji üreten, yani yenilikler yaratan konumuna geçilmesi. Bu bağlamda, bor ve bileşiklerinin ileri teknoloji uygulamalarına yönelik bilimsel araştırmalara ağırlık verilmesi büyük önem kazanıyor.

Ayşegül Yılmaz

Bor ve Şarap

Bor elementi, bitkilerin büyümesi için gerekli en temel elementlerden. Dahası bitkilerin başlıca 16 besin maddesinden biri. Borun, bitki içerisindeki değişik organik bileşiklerin miktarını denetlediği sanılıyor. Ne var ki kimi bölgelerde toprak yeterli oranda bor içerirken kimi bölgelerde bu oran yetersiz kalır, bitki gelişimini sağlıklı sürdürmez. Şarap üretimi için yetiştirilen üzüm bağları söz konusu olduğunda, bunun nedeni kurak geçen bir sonbahar ve kış; ilkbahar mevsimi boyunca görülen soğuk havayla birlikte toprağın da bu dönemde soğuk ve nemli kalması; ya da geç sonbahar döneminde yapılan budama olabilir.

Özellikle ilkbahar aylarında asma üzüm bitkisinin filiz (sürgün) vermesi için bor elementinin ortamda yeterli miktarda bulunması çok önemli. Bor, daha sonraki tozlaşma ve meyve verme dönemlerinde de büyük rol oynuyor.

Bor eksikliği nedeniyle üzüm bitkisinde ortaya çıkan belirtiler, pek çok şarap üreticisinin korkulu rüyası. İlk belirtiler çiçek açma ve meyve verme sırasında görülüyor. Üzüm bitkisi daha meyve vermeden çiçeklerini kaybediyor; meyveler yeterince gelişmiyor; ya da bir üzüm salkımlında hem



gelişkin hem büyümelerini tamamlayamamış üzüm taneleri bir arada görülüyor. Kimi zaman da üzümlerin renginde bir anormallik gözlemleniyor. Önemli bor eksikliklerindeyse üzüm yaprakları benekli yapıda, ayrıca dokunaçları sağlıklı gelişim gösteremiyor. Bu tür sorunların görüldüğü üzüm bağlarında, borlu gübrenin uygulanmasıyla bir sonraki hasatta bu sorunların tümüyle ortadan kalktığı görülmüş, önemli sorunlar yaşanmasa bile üzüm tanelerinin daha sağlıklı ve eşit büyüklükte geliştiği gözlemlenmiş.

Kaynaklar:
Garrett, D. E., Borates, Academic Press, 1998
Kistler, R.B. ve Helvacı, C., "Boron and Borates", Industrial Minerals and Rocks, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, Colorado, 6. baskı.
<http://www.altboron.com>
<http://www.memagazine.org>
<http://www.anl.gov>
<http://borax.com>