

Bor Madeninin Türkiye Aksından Önemi ve Gelecekteki Yeri Importance of Boron Mine for Turkey and Place in the Future

A.M. Kılıç

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Böl., 01330 Balcalı, Adana.

ÖZET: Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'dadır. Dünya bor rezervleri B₂O₃ bazında 363 milyar ton görünür, 522 milyar ton muhtemel olmak üzere toplam 885 milyar tondur. Bu rezervde Türkiye'nin payı %64, görünür rezervde %62 olmaktadır. Türkiye'nin bor madenlerinin rezerv ömrü 412 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi ABD'in bor rezervleri 76 yıllık ömre sahiptir. Türkiye rezervlerinin % 37'si Bigadiç, % 34' ü Emet, % 28 'i Kırka ve %1 i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır. Bor mineralleri cam sanayinden deterjan sanayine, metalürji, ziraat ve nükleer alan gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Dünya bor piyasasının yıllık cirosu 1.2 milyar Amerikan dolarıdır. Bor üç ürünlerinin pazar büyüklüğü ise 80-90 milyar Amerikan dolarını üzerindedir. Eti Holding A.Ş., dünya bor pazarında US Borax Inc. Şirketi ile birlikte stratejik bir konumda bulunmaktadır. ABD ve Türkiye dünya bor sektöründe %75 paya sahiptir. 2001 yılı itibariyle, B₂O₃ bazında en büyük üretici 650.000 ton ile ABD'dir, ikincisi ise 517.000 ton ile Türkiye'dir. Toplam üretimde (1.546.000 ton) ABD ve Türkiye'nin payları sırasıyla %42, %33.4'dir. Bugün bor madeni Türkiye'nin elinde bulundurduğu önemli, stratejik ve geleceğinde çok önemli bir rol oynayacak olan bir madendir. Bu çalışma kapsamında bu kadar öneme sahip olan bor madeni ile ilgili değerlendirmeler yapılmış, ülke ekonomisi ve geleceği açısından önemi vurgulanmıştır.

ABSTRACT: Important boron reserves of the world are in Turkey, USA and Russia. The world boron reserve is 885 billion tones, proven reserve, probable + possible reserve are 363 billion tone, 522 billion tone, respectively. In these reserves, share of Turkey is 64 % and for proven reserve 62 %. Turkey's boron mines reserves life-span is 412 years, however boron reserves of the USA, which is the second big reserves country, has 76 years life-span. Of Turkey reserves, 37% is in Bigadiç, 34 % Emet, 28 % Kırka and 1 % Kestelek regions. Boron minerals are widely used from glass to detergent industry and in metallurgical, agricultural and nuclear applications. Annual endorsement of the world boron market is 1.2 milliards S. Market bigness of boron final products is above 80-90 billion US S. ETİ Holding Co. is in strategic position with US Borax Inc. Company. USA and Turkey has % 75 share in the world boron sector. In respect to 2001, as B₂O₃ the biggest producer is USA with 650.000 tones and the second are is Turkey with 517.000 tones. In the total production (1.546.000 tones), share of USA and Turkey in order 42 %, 33,4 %. Today, boron mine which Turkey has is an important, strategic mine which acts very important role. In this study, boron mine which has such an important role in a country's economy and future has been studied and evaluated.

1.GİRİŞ

Anadolu'nun her tarafında, madencilik ilk olarak burada başladığını gösteren belirtiler bulunmaktadır. Türkiye'de bulunan bazı

kaynakların. Cumhuriyet öncesi dönemlerde verilen tavizler, bazen de istenmeyen bir şekilde, ban ülkelerine taşınıp tüketildiği bilinmektedir. Bugün ülkemizin Dünyada daha fazla söz sahibi olabileceği, belli başlı bir kaç kaynağı kalmıştır.

Bunların en önemlilerinden birisi de "bor"dur [1]. Bor, ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac ve Jacques Thenard ile Sir Humphry Davy tarafından bor oksidin potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir. Daha saf bor, ancak bromit veya klorit formlarının tantalyum filamentleri vasıtasıyla hidrojen ile reaksiyona sokulmalarıyla elde edilmektedir. Kimyasal olarak ametal bir element olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve hidroklorik/hidroflorik asitler ile soy davranış göstermektedir. Öte yandan yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek, bor oksit (B_2O_3), aynı koşullarda nitrojen ile bor nitrit (BN), bazı metaller ile magnezyum borit (Mg_3B_2) ve titanyum diborit (TiB_2) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşturabilmektedir.

Ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri halinde daha çok Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve Şili'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır [1].

Ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri halinde daha çok Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve Şili'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır. Türkiye'de devlete ait olan Eti holding A.Ş. aracılığı ile bor madenleri, Burhaniye'den Savaştepe'ye, Susurluk'tan Dursunbey'e, Bigadiç'ten Sultançay'ına, Bursa Kestelek'ten Sındırğa'ya, Kütahya Emet'den Eskişehir Kırka'ya kadar 1 milyon 700 bin hektarlık bir bor maden rezervleri alanı kamulaştırılmış durumdadır. Bu alanlardaki bor rezervleri yaklaşık 2.5 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin ülkesi Türkiye'dir. Bu Bor'un ülkemiz için ekonomik değer olarak 1 trilyon dolardan daha fazla zenginliğe sahiptir. Türkiye bor madenlerinin ihracatının %50'sini ham madde halinde, %50'sini işlenmiş olarak satmaktadır [2].

Yüksek tenördeki bor cevheri çok kolay ve ekonomik olarak çıkarılmakta ve işletilmektedir. Öyle ki; atık barajlardaki mevcut sulu atıkların B_2O_3 tenörü bile borun lokomotif konumundaki ülkelerin işlettikleri cevher ve göl sularındaki B_2O_3 tenöründen çok daha yüksektir. Bu bakımdan, bor cevherleri ülkemiz açısından daha verimli

değerlendirilmesi gereken önemli bir potansiyeldir (3).

Ülkemizde işletilmekte olan başlıca bor minerallerinden Tinkal Eskişehir Kırka, Kolemanit Kütahya Emet, Balıkesir Bigadiç ve Bursa Kestelek, Üleksit ise Balıkesir Bigadiç'de bulunmaktadır. Bu ürünler dışında, genellikle yüksek teknoloji gerektiren yöntemler ile dünyada ticari olarak üretilen ve değişik kullanım alanları olan özel bor kimyasalları mevcuttur. 250 civarında sektörde nihai ürün olarak kullanılan bu ürünlerden en yaygın kullanım alanlarına sahip olanları; susuz borik asit, elementer bor, çinko borat, ferro bor, borazon, bor karbür, bor hidrit, bor karbit ve bor nitrid olarak sıralanabilir [4].

Dünya bor rezervinin %64'üne ve mevcut rezervlerle (görünür, ekonomik rezerv) 240 yıllık ömre sahip Türkiye'nin borlardan elde ettiği yıllık gelir, ortalama 225 milyon ABD dolandır. Halbuki, cam, elyaf, tekstil tipi cam elyaf, keçeler, kompozit malzemeler, fiber optikler, iletişim malzemeleri, roket yakıtı, PVC sanayi, zımpara, kozmetik, çelik ve nükleer endüstrisi gibi pek çok sektörde kullanılan bor kimyasalları ve uç ürünlerin Pazar büyüklüğü bu gün için 40 milyar ABD dolarının üstündedir [5].

Yüzlerce bilim adamının "21.yüzyılın petrolü" diye tanımladığı ve uzay teknolojilerinden, bilişim sektörüne, nükleer teknolojiden savaş sanayine kadar pek çok alanın vazgeçilmez hammadde durumuna gelen bor madeni ülkemizin ve çocuklarımızın geleceği konumundadır. Bu zenginliğin stratejik ve ekonomik önemini farkına varmamız, bugünümüzü ve yarınımızı daha iyi değerlendirmemizi sağlayacaktır. Deterjan sanayinden uzay teknolojisine kadar yüzlerce değişik alanda kullanılan bor minerali, petrol ve doğalgaz kadar büyük bir stratejik öneme sahiptir.

2. BOR ELEMENTİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER VE OLUŞUMU

Bor, kelime kökeni olarak Arapça buraq/baurach ve Farsça'da burah kelimelerinden gelen bir elementtir [6]. Periyodik sistemin üçüncü grubun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı

izotopundan oluşur. Kimyasal sembolü (B) olup, periyodik cetvelin III A grubunun metal olmayan tek elementidir [7]. Bor madeni ilk bakışta beyaz bir kaya şeklinde olup, çok sert ve ısıya dayanıklı, doğada serbest bir element olarak değil. Tuz bileşikleri şeklinde bulunmaktadır. Bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu kahverengidir. Ancak çok gevrek ve sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmastan sonra en sert elementtir [8].

Yeryüzünün 51. yaygın elementi olan bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm, deniz suyunda 0.5 - 9.6 ppm, tatlı sularda ise 0.001-1.5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijenle bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve Amerikanın kurak volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır [7]. Çizelge 1'de bor elementinin fiziksel özellikleri verilmiştir. Borun, karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla olan ve oksijene karşı afinitesi çok yüksek olan bir elementtir. Bor suda çözülen, renksiz ve billursuz bir maden olan boraks, ısı etkisiyle önce ısı kaybetmekte, sonra erime özelliğine sahip bir elementtir [9,10].

Çizelge 1. Bor elementinin fiziksel özellikleri, [9,10]

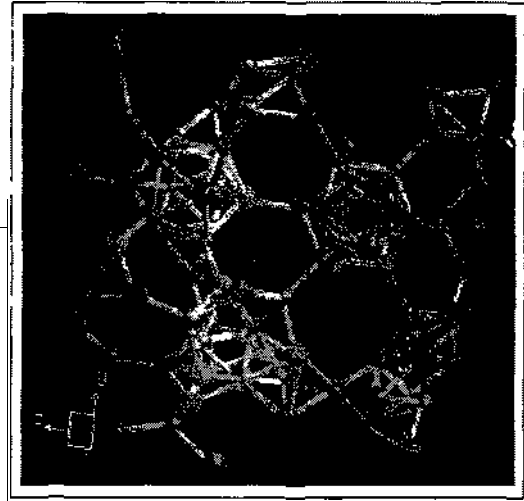
Özellik	Değeri
Atom ağırlığı	10.81+0.005 veya 0.007
Ergime noktası	2190±20°C
Kaynama noktası	3660 °C
Isıl genleşme katsayısı (25-1050 °C için)	5x10 ⁻⁶ -7x10 ⁻⁶
Knoop sertliği	2100-2580ITK
Buharlaşma ısısı	128 kcal/gatom
Fusion ısısı	5.3 k cal/g atom
Mohs sertliği	11
Vickers sertliği	5000 HV
Oksidasyon sayısı	3
Elektronegatifliği	2
İyonlaşma derecesi	191 kcal/gatom

Bor elmastan sonra ametaller arasında elektropozitifliği en yüksek olan elementtir. Oda sıcaklığında elektrik iletkenliği zayıftır fakat

yüksek sıcaklıklarda çok yüksektir. Jroton ve elektron sayısı 5, nötron sayısı 6, atom çapı 1.78 Å'dır. Bor'un nükleon başına bağlama enerjisi mega elektron volt cinsinden 6,9' dur. Bor atomlarının yer kabuğunda çok fazla bulunmamasının yararı özellikle canlı hayat için çok önemli elementler olan karbon, azot ve oksijenin bolluk oranlarından daha az olması çok faydalı olmaktadır şöyle ki nükleon başına bağlama enerjisi düşük olan atomlar hidrojen ve helyumla daha kolay birleşme reaksiyonlarına girerler. Bor atom çekirdekleri yıldız kütlelerinde bu tür reaksiyonlarla C, N ve oksijenin sentezlerine yol açarlar [11]. Bor 2.33gr/cm³ yoğunluklu kristal ve 2.3 gr/cm³ yoğunluklu amorf olmak üzere iki şekilde bulunur. Kristal borun yapısı ve kafes parametreleri Çizelge 2'de [12], görünümü ise Şekil 1'de [10] verilmektedir.

Çizelge 2. Kristalin borun yapısı ve kafes parametreleri, [12]

Kristal şekli	Kafes parametreleri	
	\sqrt{a}	\sqrt{b}
Tetragonal	8.13	8.57
Hegzegonal	9.54	11.98



Şekil 1. Bor'un kristal yapısı [10]

Bor, yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olmasından dolayı, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir

özelliğe sahip olduğundan katı yakıt hücresi olarakta kullanılmaktadır. Bor mineralleri yapılarında bulunan Ca, Na ve Mg elementlerine göre sınıflandırılırlar. Na kökenli olanlara tinkal (boraks), Ca kökenli olanlara kolemanit ve Na-Ca kökenli olanlara üleksit denir [13].

Kimyasal olarak ametal olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve hidroklorik/hidroflorik asitler ile soy davranışlar göstermekte, sadece yüksek konsantrasyonlu nitrik asit ile sıcak ortamda borik asite dönüşebilmektedir. Öte yandan yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek bor oksit (B₂O₃), aynı koşullarda nitrojen ile bor nitrat (BN) ve titanyum diyorit (TiB₂) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşabilmektedir. Bor elementi doğada değişik oranlarda bor oksit ile 150'den fazla mineralin içerisinde yer almasına rağmen ekonomik anlamda bor mineralleri Cad, Nah ve MGK elementleri ile hitrat bileşikler halinde teşekkül etmiş olarak bulunur [14].

Bor elementinin kimyasal özellikleri marfolojisinc ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyona girmez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlama şeklinde olabilir ve anarün olarak borik asit oluşur [4]. Bor doğada serbest olarak bulunmamaktadır. Doğada 250 'den fazla mineralle bileşik halinde bulunmaktadır. Bu oluşan bor minerallerinden en

önemlileri yapılarında (bünyelerinde) değişik oranlarda bor oksit (B₂O₃) içeren bor minerallerinin en önemlileri tinkal, kalemonit ve üleksittir. Bor cevherinin yapısındaki kil bileşiklerinden arındırılması için uygulanan zenginleştirme işlemi ile elde edilen ürün, hamlar olarak tanımlanmaktadır. Bor mineralleri piyasaya ham bor veya öğütülmüş ham bor olarak da sunulmakta, genel olarak ise rafine bor bileşiklerine dönüştürülerek kullanılabilir [15].

3. DÜNYA VE TÜRKİYE BOR REZERVLERİ VE ÜRETİMİ

3.1 Dünya ve Türkiye Bor Rezervleri

Dünya'daki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'da bulunmaktadır. Rezervler açısından incelendiğinde boroksit (B₂O₃) bazında 363 milyon ton görünür, 522 milyon ton muhtemel+mümkün olmak üzere toplam dünya bor rezervi 885 milyon tondur. Türkiye'nin bor rezervi 224 milyon ton görünür, 339 milyon ton muhtemel+mümkün olmak üzere toplam 563 milyon tondur. ABD ise 40 milyon ton görünür, 40 milyon ton görünür+mümkün rezerve dünya toplam bor rezervinin %9'una, görünür rezervin %11'ine sahiptir. Dünya bor rezervleri ve ömürleri Çizelge 3'de verilmektedir [16,17].

Çizelge 3. Dünya bor rezervleri ve kaynakları (Milyon ton, B₂O₃ bazında), [16,17]

	Görünür Ekonomik Rezerv	Muhtemel Mümkün Rezerv	Toplam Rezerv	Toplam Rezervdeki Payı (%)	Rezerv Ömrü (Yıl)
Türkiye	224.000	339.000	563.000	64	389
ABD	40.000	40.000	80.000	9	55
Rusya	40.000	60.000	100.000	11	69
Çin	27.000	9.000	36.000	4	25
Şili	8.000	33.000	41.000	5	28
Bolivya	4.000	15.000	19.000	2	13
Peru	4.000	18.000	22.000	2	15
Arjantin	2.000	7.000	9.000	1	6
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	2	10
TOPLAM	363.000	522.000	885.000	100	610

Çizelge 3 incelendiğinde Türkiye'nin bor madenlerinin rezerv ömrü 389 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi Rusya'nın bor rezervleri 69 ve ABD'nin ise 55 yıllık ömre sahiptir. Dünya rezervleri ve bu rezervlerin tüketim artış hızları göz önünde bulundurulduğunda 50-80 yıl sonra ülkemiz bor yataklarının dünyadaki tek bor kaynağı olma ihtimali yüksektir.

Türkiye'de bilinen başlıca borat yatakları Batı Anadolu'da yer almaktadır. Türkiye rezervlerinin % 37'si Bigadiç, % 34'ü Emet, % 28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır [16,17].

Çizelge 4. Türkiye bor rezervleri ve Eti Holding A.Ş.' ye bağlı işletmeler, [16,17]

Üretim Yeri	Cevher	Rezerv	Rezerv (B ₂ O ₃ , bazında)	Tenor (%B ₂ O ₃ >
Kırka Bor İşletmesi	Tinkal	604	156	26-26.7
Bigadiç Bor İşletmesi	Üleksit	49	14	28-30
	Kolemanit	5	167	28-30
Emet Bor İşletmesi	Kolemanit	835	225	26-28
<u>Kestelek Bor İşletmesi</u>	<u>Kolemanit</u>	<u>7.5</u>	<u>2</u>	<u>29-31</u>
<u>Toplam</u>		<u>2071.5</u>	<u>564</u>	

3.2 Bor Üretimi

Dünyada az sayıda bor minerali üreticisi ülke bulunmaktadır. En büyük üreticiler Türkiye (Eti Bor A.Ş.) ve ABD (Rio Tinto Borax)'dir. Bor ürünleri sanayileri ise Batı Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'daki az sayıda firmada yoğunlaşmıştır. Çin buna istisna teşkil etmektedir. Çin'de çok sayıda küçük firma kısıtlı çeşitte ürün üretmektedir. Dünyadaki başlıca bor üretici firmaların 2000 yılı üretim ve üretim yüzdeleri Çizelge 5 "de verilmektedir [19].

2001 yılı itibarıyla, B₂O₃ bazında en büyük üretici 650.000 ton ile ABD'dir. Onu 517.000 ton ile Türkiye izlemektedir. Toplam üretimde (1.546.000 ton) ABD ve Türkiye'nin payları sırasıyla %42, %33.4'dir. Dünya bor üretiminde Türkiye'nin ve ABD'nin yeri ölçümün brüt ton veya (B₂O₃) bazında yapılmasına göre değişiklik göstermektedir. Brüt ağırlık olarak 1992 yılından beri Türkiye, ABD'yi geçerek ' r nmerallerinin dünyadaki en büyük üreticisi olmuştur. 2001 yılında ABD'nin bor mineralleri üretimi brüt ağırlık olarak 1.300.000 ton iken, Türkiye'ninki 1.476.000 tondur. Ancak, bor oksit (B₂O₃) içeriği açısından değerlendirildiğinde, ABD'nin üretimi TürMye'ninkini geçmektedir.

Türkiye'de ham cevher ve konsantre bor prosesleri, başlıca 4 işletme tarafından yürütülmektedir. Türkiye bor rezervleri ve Eti Holding A.Ş.'ye bağlı işletmeler Çizelge 4'de detaylı olarak verilmektedir.

Türkiye'deki bor madenlerinin yerlerini ve miktarlarını belirleyen kapsamlı bir araştırma henüz tam anlamıyla yapılmadığından, Türkiye'nin aslında dünya rezervlerinin daha da büyük bir kısmını elinde tutuyor olabileceği düşünülmektedir. Yeni arama çalışmalarının yapılmasıyla Türkiye bor rezervlerinin iki katına bile çıkabileceği iddia edilmektedir.

Çizelge 5. Dünyada başlıca bor üretici firmaları ve ülkeleri (2000 yılı, B₂O₃, bazında, [19].

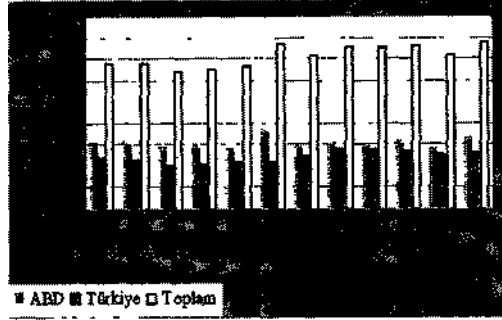
Firma Adı	Ülke	Miktar (1000 ton)	Pay (%)
US Borax	ABD	570.000	37
Borax Argentina	Argantin	20.000	4
Eti Holding A.Ş.	Türkiye	400.000	28
Kamu Kuruluşları	Çin	140.000	9
JSCbor	Rusya	73.000	5
NACC	ABD	27.000	4
Quiborax	Şili	44.000	4
Sucersal Argentina	Arjantin	50.000	2
SQM Salar	Şili	16.000	1
IncaBor	Peru	13.000	1
<u>Diğerleri</u>		<u>67.000</u>	<u>5</u>
<u>Toplam</u>		<u>1.420.000</u>	<u>100</u>

Parasal bazda ise Eti Holding pazarın %20-23'üne sahipken, US Borax %65-70'ine sahip durumdadır. Bu durum büyük ölçüde Eti Bor A.Ş.'in pazarı yeterince kontrol edememesinden ve US Borax pazarda sadece katma değeri yüksek rafine bor ürünleri satarken Eti Bor A.Ş.'nin ürün portföyünde katma değeri düşük ham bor'un önemli yer tutmasından kaynaklanmaktadır [16,18].

A. M. Kılıç

Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri'nin bor mineralleri üretimlerinin (B₂O₃ bazında) 1990-2001 yılları arasında izlediği eğilim Şekil 2'de görülmektedir.

Grafikten de açıkça görüldüğü gibi Türkiye'deki üretimin artış eğilimi ABD'ninkinin çok üstündedir. Son otuz iki yılda Türkiye'nin üretimi ortalama yıllık %6.47 oranında artarken, aynı rakam ABD'nde %1.3'te kalmıştır.



Şekil 2. Türkiye ve ABD'nin bor mineralleri üretimi (1000 ton B₂O₃)

4. BOR ÜRÜNLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Bugün dünyada ve Türkiye'de kullanım alanı bulan bor ürün çeşitleri, üretim aşamaları ve prosesleri dikkate alınarak; ham bor, rafine bor ürünleri ve son olarak ta uç ürünler şeklinde olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [1].

4.1 Ham Bor Ürünleri

Dünyada üretilen bor cevherlerinin hemen hemen tamamı zenginleştirme işleminden sonra, parça ya da öğütülmüş konsantre halinde pazarlanır ve kullanılır. Bu tür ürünler *ham bor* olarak tanımlanır. Ham bor ürünlerinin (konsantreler) mineral yapısı ve ürettikleri yerler Çizelge 6'da verilmiştir.

Ham bor ürünleri, % 90 kadar borik asit, boraks penta ve dekahidrat gibi rafine bor ürünleri üretiminde kullanılır [16]. Bunun birlikte, çeşitli amaçlara yönelik cam elyafı (fiberglas), borosilikat cam, nükleer uygulamalar ve metalürjide kullanılmaktadır [20],

3.2 Rafine Bor Ürünleri

Ticari boyutta dünyada üretilen rafine bor ürünleri Çizelge 7'de verilmiştir. Rafine bor ürünlerinin temel kullanım alanları olarak, cam. ve cam elyafı, sabun ve deterjan, seramik, yangın geciktirici gereçler, tarım, nükleer uygulamalar, metalürji, ilaç ve kozmetik, elektronik ve bilgisayar sanayi dalları bulunmaktadır [16].

Çizelge 6. Ham bor ürünleri, [16]

Ürünün Adı	Formülü	Bulunduğu Yer
Tinkal konsantre	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	Türkiye, ABD, Arjantin
Tinkal konsantre	NaCaB ₃ O ₆ ·5H ₂ O	Türkiye, ABD, Arjantin
Kolemanit konsantre	Ca ⁶ O _n ·5H ₂ O	Türkiye, ABD, Arjantin, Sili
Öğütülmüş kolemanit		
Hidroborasit konsantre	CaMgB ₆ O ₁₁ ·6H ₂ O	Türkiye, Arjantin
Szaybelit Konsantre	MgB ₂ (OH)	Kazakistan, Çin

Çizelge 7. Rafine bor ürünleri, [16]

Ürünün Adı	Formülü	B ₂ O ₃ (%)
Boraks Pentahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	47.8
Boraks Dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	36.5
Susuz Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	69.3
Borik Asit	H ₃ BO ₃	56.5
Susuz Borik asit	B ₂ O ₃	100.0
Sodyum Perborat	NaB ₃ O ₆ ·4H ₂ O	22.0
Sodyum Metaborat	Na ₂ B ₂ O ₄ ·4H ₂ O	64.2
Sodyum Oktaborat	Na ₂ B ₈ O ₁₃	81.8

Rafine bor ürünleri borun en çok tüketilen türevlerini oluşturmaktadır. Hem ham bor. hem de rafine bor ürünlerinin kullanım alanları daha detaylı bir şekilde Çizelge 8'de verilmektedir [21,22].

4.3 Uç Ürünler

Uç ürünler, ham ve rafine ürünlerden üretilirler. En önemli özelliklerini ileri teknoloji gerektiren yöntemler ile üretilmeleridir. Ham ve rafine bor ürünlerine göre üretilen uç ürün sayısı daha fazladır. Belli başlı uç ürünler arasında elementer bor, bor karbür, bor nitrür ve bor alaşımları (demirli, nikelli ve kobalth) sayılabilir [20,23].

Elementel bor, günümüzde askeri faaliyetler sırasında, aydınlatma amacıyla kullanılmaktadır. *Bor karbür*, uç ürünler içinde en çok kullanılanlardan biridir. Bu malzemenin en önemli özelliklerinden biri, elmasın sonra ikinci en yüksek sertliğe sahip olmasıdır. Yükselt sıcaklığa dayanıklıdır ve nötron absorpsiyon yeteneği vardır. Bu özellikleri sayesinde askeri araçları zırhlanmasında ve nükleer reaktörlerde kullanılır.

Çizelge 8. Bor cevheri ve ürünlerinin kullanım alanları, [21,22]

Kalsiyum Borat Cevherleri	Kalsiyum Sodyum Borat Cevherleri	Sodyum Borat Cevheri	Borlu Göl Suları
Cam Metalürji Nükleer Tekstil türü Fiberglas	Selülozik izolasyon Fiberglas Metalürji Nükleer Cam	Rafine boraks pentahidrat ve boraks dehidrat Susuz boraks	
Boraks Penta ve Deka Hidrat, Susuz Boraks	Susuz Borik Asit	Sodyum Perborat	Borik Asit
Gübre Fiberglas İzolasyon Metalürji Cam ağartıcılar Cam Yapıştırıcılar Kozm. ve ilaç Fotoğraf Tekstil boyalan Dericilik Yün koruyucu Emaye, frit, sir	Antiseptik Kozmetik Yangın sönd. Deri Böcek mücade. Metalürji Nayl ve teks. san. Sabun ve deter. Sır kaplama Fotoğraf	Det. ve ağırt. Dezekfektan Tekstil boy. Cam ve boy.	Cam Zirai mücadele Böcek mücadelesi Fotoğraf Sabun ve deterjan Naylon Tekstil boyalan Balmumu yumuşatıcı Ağaç koruyucu Sır kaplama
			Antiseptik Kozmetik Yangın söndürücü Sır kaplama Metalürji Nükleer Sabun ve deterjan Tekstil Tekstil-fiberglas

Bor nitrür, hegzagonal ve kübik sistemde kristalleşen bir bileşiktir. Hegzagonal bor nitrür, beyaz grafit olarak da tanımlanır. Oksidasyon direnci olan ve yüksek ısıya dayanan bir bor türüdür. Toz halindeki hegzagonal bor nitrür yüksek sıcaklıklarda yağlama malzemesi olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kübik bor nitrür ise elmas sertliğinde bir üründür. Suni elmas diye tanımlanabilmektedir. 1320°C'ye kadar özelliklerini korur [24]. Çeşitli tür aşındırıcılarda elmasın yerini almaya başlamıştır.

Ferrobör, çeliği bor ile alaşımlandırma ve trafo çekirdeklerinde amorf malzeme olarak kullanılması en önemli kullanım alanını oluşturmaktadır. Nikelli ve kobalt bor alaşımları da yüksek frekanslı trafo çekirdeklerinde kullanılmaktadır. Bu alaşımlardan üretilen teller EKG gibi cihazların semerlerinin üretiminde tercih edilmektedir.

Sıcak preste üretilen TiB₂, BN, B₄C kompozitleri başka malzemelerin sert TiBCN kompozitiyle kaplanmasında kullanılmaktadır. Son zamanlarda borun otomobil yakıtlarında kullanılmasıyla ilgili olarak birçok duyum alınmaktadır. Bor hidrür ya da

A. M. Kılıç

sodyum bor hidrür ile yapılan yakıtların otomotiv endüstrisinde kullanılacağı ve bu araştırma projelerinin kısa zamanda yaşama geçeceği haberleri internet ortamında yer almaktadır.

Bor sektöründe tüketim verilerini bulmak oldukça güç olmaktadır. Bor sektöründe istatistüri bilgilerin eksikliği ve bu bilgilere erişimde görülen sıkıntılar nedeniyle bor ürünlerine olan talep düzeyini tahmin etmek üzere bazı kabullerin yapılması gerekli olmaktadır [24]. Nihai kullanım bazında bor tüketimi Çizelge 9'da verilmiştir [25].

Çizelge 9. Nihai kullanım bazında bor tüketimi, 1997 (B₂O₃, bazında), [25]

Kullanım Alanları	K. Amerika	B. Avrupa	Diğ.	Top.				
					Bin Ton Olarak	% Olarak		
Fiberglas	168	97	37	302	11	6	2	20
Deterjan	21	242	17	280	1	16	1	19
Borosilikat cam	51	55	73	179	3	4	5	12
Seramik	13	69	80	102	1	5	5	11
Tekstil tipi fibergals	67	7	87	161	4	0	6	11
Tarım	17	14	27	58	1	1	2	4
Diğerleri	84	208	77	369	6	14	5	24
Toplam	421	692	398	1.511	28	26	46	100

5. BOR VE BOR ÜRÜNLERİ TİCARETİNDE DURUM

Bugün dünyada yaklaşık 1.2 milyar ABD doları kadar B₂O₃ pazarı bulunmaktadır. Eti Holding A.Ş., dünya bor pazarında US Borax Inc. Şirketi ile birlikte stratejik bir konumda bulunmaktadır. ABD ve Türkiye dünya bor sektöründe %75 paya sahiptir. Türkiye ham bor ihracatında dünyada %95'in

üzerinde bir paya sahip olup bu özelliği ile ham bor ihracatçısı tek ülke konumundadır. Dünya bor ticaretine ilişkin veriler Çizelge 10'da verilmiştir [26].

Dünya bor pazarında en fazla paya sahip olan US Borax Inc. şirketi, dünyada birçok ayrı merkezde üretim, depolama, dağıtım ve pazarlama faaliyetlerini sürdürmekte ve tek organizasyon yapısı ile tüm faaliyetleri kontrol ederek sinerji sağlamaktadır.

Çizelge 10. Dünya bor ticareti (B₂O₃, bazında), [26]

Bölgeler	Üretim	İhracat	İthalat	Tophim	
				Bin Ton	%
Kuzey Amerika	619	218	20	421	28
Latin Amerika	198	21	0	177	12
Batı Avrupa	475	11	228	692	46
Doğu Avrupa	78	10	10	78	5
Asya/Pasifik	140	48	49	41	9
Afrika/Ortadoğu	1	0	1	2	0
Toplam	1.511	308	308	1.511	100

Bor tüketim pazarını gelişmiş ülkeler oluşturmaktadır. Dolayısıyla Türkiye ihracatının büyük çoğunluğunu bu ülkelere yapmaktadır. Ancak, ihraç edilen bor esaslı ürünlerin gelişmiş ya da daha az gelişmiş ülkelere olan dağılımına bakıldığında, gelişmiş ülkelere daha çok cevher ve konsantre (ham bor) ürünlerinin satıldığı ortaya çıkmaktadır. Bu ürünler katma değeri daha düşük olan ürünlerdir.

Diğer taraftan, örneğin Orta Doğu ve Afrika ülkelerine yapılan ihracatın hemen hemen tümü rafine bor ürünleridir. Bu durum gösteriyor ki, özellikle Avrupa ve Japonya'ya ihraç edilen ham borların büyük bir kısmı bu ülkelerde rafine ürüne dönüştürülerek kullanılmaktadır.

Türkiye'nin bor madeni (ham ürün olarak) ihracatı 2000 yılı için, 567.760 bin ton, 102.023.720 ABD doları, buna karşın ürün bazında ihracatı ise

341.309 bin ton, 106.578.614 ABD doları olarak gerçekleşmiştir.

6. BORUN ÖNEMİ VE GELECEKDEKİ YERİ

Bor ve borlu yakıtlar, 1950li yılların başında ABD Savunma Programında geleceğin yakıtı olarak adlandırılmış ve nükleer silahlanma dışında 2. önemli stratejik malzeme olarak nitelendirilmiştir [27]. 1958-1961 yılları arasında ABD ve NATO tarafından bor, stratejik bir maden olarak ilan edilmiş, pazarlaması kontrol altına alınmış ve COCOM olarak nitelendirilen tedbirler kapsamında Varşova Paketi ülkelerine ihracı yasaklanmıştır [28].

Bor madeninin önemi, ülkeleri bu konuda çıkarlarını düşünmeye ve planlı davranmaya sevk etmektedir. Bor hakkında sürdürülen araştırmaların, bor bileşiklerinin yüksek teknoloji ürünlerdeki yeni kullanım alanlarını keşfetmesi, bu madeni gelecekte, petrol gibi üzerinde uluslararası mücadelelerinin yaşandığı bir ürün konumuna getirebilecektir.

Bor madeninin kullanım miktarındaki asıl önemli artış, bor'un yakıt taşıyıcısı olarak kullanılmasıyla sağlanabilecektir. Bir çok pil, akümülatör vs. enerji üretim aygıtında yakıt olarak kullanılan hidrojenin elde edilme, nakil ve depolama yöntemleri bu aygıtların verimliliğinin artırılması karşısındaki en önemli sorunlardır. Çünkü hidrojen çok düşük sıcaklıklarda sıvılaşmakta, (-252 santigrad derece), gaz halindeyken çok yer kaplamakta, patlayıcı bir gaz olması sebebiyle taşıma ve depolama işlemleri sırasında tehlike arz etmektedir. Bu sebeple, bor bileşiklerinin hidrojen taşıma kapasiteleri, bu bileşiklerin yakıt taşıyıcısı olarak yeni bir öneme kavuşabileceğine işaret etmektedir.

Dünya bor piyasasında büyük gelir sağlayan uluslararası şirketler, bu gelirini Türkiye'den bor olarak yapmaktadırlar. Türkiye sanayileşmesini tamamlayamadığından, ne yazık ki nihai ürünün eldesini sağlayacak teknolojileri de gerçekleştirememiştir. Gelecekte ihtiyacımız olacak cevherleri, bugün, hammadde olarak ihraç ettiğimiz bir gerçektir. Hammadde ihracı ile yeterli katma değer sağlanamamaktadır. Katma değer yurt içinde kalması için Ar-Ge'ye ve teknolojik yatırımlara önem verilmesi bir gerekliliktir.

Dünya bor üretimi %100 B₂O₃ bazında 1.5 milyon ton civarındadır. Bu üretimin %42'si ABD sermayeli US Borax (ya da diğer adıyla Rio Tinto), %33.4'ü Eti Holding A.Ş. tarafından gerçekleştirilmektedir. Değer olarak ise dünyada yaklaşık yıllık 1.2 milyar ABD doları kadar BAs pazarı bulunmaktadır. Eti Holding bu pazarın parasal olarak %20-23'üne, US Borax ise %65-70'ine sahiptir. Bor gibi 21. Yüzyılın petrolü olarak adlandırılan bir madenin en büyük rezerv kaynağı olan Türkiye'nin, bor ihracatından yılda yalnızca 102 milyon dolar, bor ürünleri ihracatından ise 106 milyon dolar kazanıyor olması, önemli bir kapasitenin israf edildiğine işaret etmektedir.

Türkiye bor madenini tam rafine işlenmiş olarak değil, ham veya yarı rafine halde satmasından dolayı çok önemli döviz kazandıran fırsatları kaçırmaktadır. Çınla [27] bunun çeşitli örnekleri verilmektedir. "Örneğin, ortalama FOB Bandırma 200 dolar/ton dan sattığımızı? %42 B₂O₃ tenörlü kolemanit cevherini (Türkiye bu cevherde dünyanın tek üreticisi ve ihracatçısı konumundadır) alan bir ihracatçı firma söz konusu ürünü öğüttükten sonra 600-650 ABD doları/ton fiyatla nihai kullanıcıya satmaktadır.

Dünya piyasası yıllık 80-90 milyar dolar civarında olan bor uç ürünlerinde Türkiye'nin pazar payı %1'i bile bulamamaktadır. Oysa Türkiye'de halihazırda bor'un sanayideki çeşitli kullanım alanlarına ilişkin teknolojik bilgi birikimi oluşmaktadır.

Türkiye en büyük rezerv sahibi olarak dünya piyasasını ve fiyatlarını belirleyebilecek konumda olma imkanına sahiptir. Ancak, dünyadaki örnekler maden zengini gelişmekte olan ülkelerin bu madenlerden yeterince yararlanamadığını, ham madene sahip olan ülkelere ziyade, bu madenle ilgili teknolojiye sahip olan gelişmiş ülkelerin piyasaları kontrol ettiğini göstermektedir.

7. SONUÇLAR

Yakın bir gelecekte şu anda motorlu araçlarda kullanılan petrolün (benzin, mazot) alternatifini "bor" madeni olacağı bilim adamları ifade etmektedir. Dünya bor rezervlerinin %64'ü Türkiye'dedir. Türkiye, yüzyılımızda petrol kadar önemli ve hatta petrolden bile daha önemli olacağı varsayılan bor madeninin dünyadaki en büyük rezervine sahip ülkesidir. Türkiye'nin bor madenlerinin rezerv ömrü

A. M. Kılıç

389 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi Rusya'nın bor rezervleri 69 ve ABD'nin ise 55 yıllık ömre sahiptir. Dünya rezervleri ve bu rezervlerin tüketim artış hızları göz önünde bulundurulduğunda 50-80 yıl sonra ülkemiz bor yataklarının dünyadaki tek bor kaynağı olma ihtimali yüksektir. Ancak bu konunun avantajlarını tam anlamıyla değerlendirememekte, gerek rafine bor ürünleri, gerekse bor uç ürünleri ihracatından potansiyelinin altında gelir elde etmektedir.

Türkiye sanayileşmesini tamamlayamadığından, ne yazık ki nihai ürünün eldesini sağlayacak teknolojileri de gerçekleştirememiştir. Gelecekte ihtiyacımız olacak cevherleri, bugün, hammadde olarak ihraç ettiğimiz bir gerçektir. Hammadde ihracı ile yeterli katma değer sağlanamamaktadır. Katma değer yurt içinde kalması için Ar-Ge'ye ve teknolojik yatırımlara önem verilmesi bir gerekliliktir.

Dünya piyasası yıllık 80-90 milyar dolar civarında olan bor uç ürünlerinde Türkiye'nin pazar payı %1'i bile bulamamaktadır. Oysa Türkiye'de halihazırda bor'un sanayideki çeşitli kullanım alanlarına ilişkin teknolojik bilgi birikimi oluşmaktadır.

Türkiye en büyük rezerv sahibi olarak bor dünya piyasasını ve fiyatlarını belirleyebilecek konumda olma imkanına sahiptir. Ancak, dünyadaki örnekler maden zengini gelişmekte olan ülkelerin bu madenlerden yeterince yararlanamadığını, ham madene sahip olan ülkelere ziyade, bu madenle ilgili teknolojiye sahip olan gelişmiş ülkelerin piyasaları kontrol ettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak bor ülkemizin ve tonunlarımızın stratejik geleceğidir. Mustafa Kemal Atatürk'ün dediği gibi *"Memleketimizin ekonomik kaynakları bütün dünyanın hırslarını çekecek verim ve servete maliktir.* Bu nedenle maden varlıklarımızı koruyup kollamak ve çok iyi bir şekilde değerlendirmeliyiz.

KAYNAKLAR

Kılıç, A.M., "Bor Madenin Önemi ve Stratejik Geleceği". TMMOB Makine Mühendisleri Odası, IE. GAP ve Sanayi Kongresi, 18-19 Ekim 2003 Diyarbakır, Türkiye, sayfa 11-12. Etibank.

Çalık A., Kılıç, A.M., "Türkiye'nin Bor Madenleri ve Özellikleri". Mühendis ve Makine Dergisi, Mayıs 2002, Sayı 508.

Köse, H., Batar, T., Kahraman, B., "Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye için Önemi". 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 3-4 Ekim 2002, Kütahya-Türkiye, sayfa 275-283.

DPT, 8. 5 Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri Cilt II (Bor Tuzları, Trona, Sülfat; Stronsiyum Çalışma Grubu), DPT 2608, ÖİK 619,172 Sayfa, Ankara, 2001.

Arslan, İ.H., Etibank Eski Genel Müdürü Değerlendirme ve Açıklamaları, Ankara, 2001.

Bor Stratejik Bir Madendir" Bilim ve Ütopya Dergisi, Sayı, 94, Nisan 2002.

Ediz, N., Özday H., "Bor Mineralleri ve Ekonomisi". D.P.Ü. FBE Dergisi, Sayı, 2, Kütahya, 2001.

Bozkır, S. M., (Çeviri)"Bor Ekonomisi". Raskill Information Services LTD. 2 Clapham Road London SW9 0JA - England 145 Sayfa, Nisan 1995-Ekim 1995.

Topal, A., "Petrol Orada İse Bor'da Burada". Yeni Avrasya Dergisi Mart 2001/3.

Baykal E.D., "Hidrotermal ve Mikroalga Enerjiyle, Lityum İçeren Boratlı Fosfatlı Bileşiklerin Sentezlenmesi, Kristal Yapı ve Termokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi". Balıkesir Üniv. F.B JE, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir 2003.

Kocabaş, Ş., "Demirin İçindeki Güç" Eğitim Bilim Dergisi, Sayı, 42, Yıl,5, Mart 2002.

Taşçı, A., "Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları" İ.Ü. F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1993.

www.bath.ac.uk/boron .htm web sitesi
'Bor Raporu" TMMOB Maden Mühendisleri Odası Şubat 2002.

"Boron Properties" Handbook of Chemistry and Physics and ACM 1997.

Eti Bor A.Ş. 2000 yılı Aralık Ayı Rezerv Bilgileri. Ankara, 2000.

Minerals.March.2001, <http://minerals.usgs.gov> web sitesi.

Statistics (A. Buckingham ve Phyllis A. Lyday), Eti BorA.Ş.

Gayegüler T., Türkiye Bor Potansiyeli. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye sayfa8-27.

Özpeker, Ö., Bor Yataklarının Değerlendirilmesi Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi, 16.03.2001, Edt Kırkoğlu, S., Budakoğlu, M., Çelenkli, A., sayfa 57-68.

Absolom, T., Mineral Facts and Problems. 1980.

Ademdir O., İleri Teknoloji ve Malzemelerinde Bor Türevleri. Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi, 16.03.2001, Edt Kırkoğlu, S., Budakoğlu, M., Çelenkli, A., sayfa 43-46.

Sapmaz, A., Ülkemiz Bor Madenciliği ve Hukuki Durumu, Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi, 16.03.2001, Edt Kırkoğlu, S., Budakoğlu, M., Çelenkli, A., sayfa 69-79.

Roskill, Economics of Boron 9th Edition, 1999.

Eti Holding., Bor Sektörüne Genel Bakış., Eti Holding A.Ş., Genel Müdürlüğü, Ankara, Ocak 2002.

Çınkı, M, "Ulusal Maden Varlığımız ve Bor Gerçeği", Ankara Ticaret Odası, Ankara, 2001.

http://Avv^maden.org.tr/veniS/vavinlar/raporlar/bor_raporu.htm, (Türkiye Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği web sitesi)

