

BOR MİNERALLERİ VE EKONOMİSİ

Boron Minerals and Its Economics

Nezahat EDİZ*
Hüseyin ÖZDAĞ **

ÖZET

Bor, modern teknolojiye gübre sanayiinden ilaç sanayiine, temizlik maddesinden nükleer endüstriye kadar çok çeşitli ve yaygın kullanıma sahiptir. Gelecekte de bor'un bu önemli ve vazgeçilmez konumu artarak devam edecektir. Türkiye sahip olduğu bor mineralleri rezervinin büyüklüğü ve nitelikleri itibarı ile dünya'da birinci sırada yer almaktadır. Konunun öneminden ötürü, 1978 yılında çıkarılan 2172 sayılı yasa ile, bor cevherlerinin değerlendirilmesinde bir kamu kuruluşu olan ETİBOR A.Ş. tek yetkili kılınmıştır. ETİBOR A.Ş.'nin uzun yıllardır yürüttüğü arama, üretim, zenginleştirme, pazarlama ve araştırma faaliyetleri ile bor ürünleri, ülkemizdeki toplam maden ihracatı içerisinde önemli bir paya sahip duruma gelmiştir.

Bu bildiri, Türkiye ve bir çok endüstri alanı için son derece önem taşıyan bor mineralleri jeolojisi, zenginleştirilmesi, kullanım alanları ve ekonomisi hakkında bilgi vermektedir.

ABSTRACT

Boron has a diverse and intensive usage in many fields of industry e.g. fertiliser, pharmacy, detergent and nuclear. The importance of boron is expected to rise in the future too. Türkiye has a leading position due to its large deposits and variety of boron minerals. Because of this, mining, processing and marketing of boron minerals in Türkiye was solely controlled by a state owned company, ETİBOR A.Ş.. With having such an advantage and the long term investment in mining, processing and in marketing fields, ETİBOR A.Ş. has now gained an important world market share.

This paper reviews the geology, processing, utilisation and economics of boron minerals which have a paramount importance in many field of industry.

Anahtar Kelimeler: Bor Mineralleri, Bor Mineralleri Ekonomisi, Etibor A.Ş.

Key Words: Boron Minerals, Boron Minerals Economics, Etibor A.Ş.

* Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kütahya-TÜRKİYE

** Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir-TÜRKİYE

1. GİRİŞ

Boratlar; önemli ölçüde B_2O_3 içeren borik asitlerin tuzları veya esterleri olarak tanımlanırlar ve endüstri tarafından borik asit sağlayan bileşikler olarak bilinir. Çok sayıda mineral bor-oksitler içerir, ancak ticari anlamda bunlardan ancak üç tanesi dünya’da önemli sayılmaktadır, bunlar; boraks (tinkal), üleksit ve kolemanit’tir. Bu mineraller ise çok sınırlı sayıda ülkelerde üretilmektedir (Şekil 1). Daha açık bir ifade ile, A.B.D. ile Türkiye dünya bor üretiminin yaklaşık %90’ını gerçekleştirmektedir (Lyday, 1991). A.B.D.’deki üretim Kaliforniya’daki Mojave Çölündeki yataktan gelmektedir. Burada boraks ve kernit, U.S. Borax Şirketi tarafından, Boron’daki büyük yataktan üretilmektedir. Bor içeren Searles Gölü suları, North American Chemical Co. tarafından pompalanmakta, sınırlı miktarda kolemanit ise, Newport Mineral Ventures Şirketi tarafından Death Vadisinden üretilmektedir. Türkiye’de bor üretimi ise tamamen, bir kamu kuruluşu olan ETİBOR A.Ş. tarafından kontrol edilmektedir. ETİBOR A.Ş.; Bigadiç ve Emet’teki yataklarından üleksit ve kolemanit’i, Kırka yatağından ise boraks’ı üretmektedir.

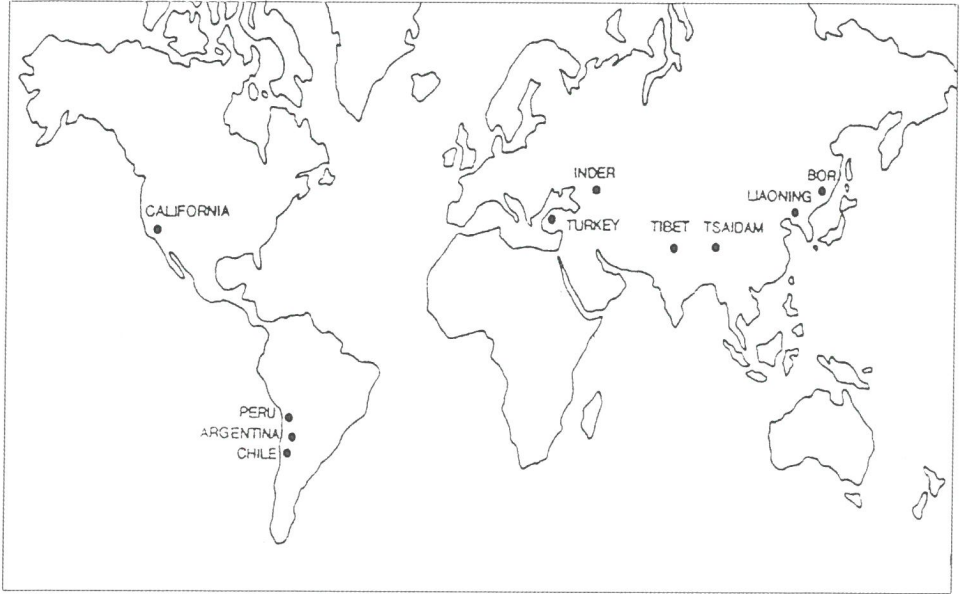
Bor mineralleri yüzyıllardır bir çok alanda kullanım imkanı bulmuştur. Örneğin, 8. yüzyılda bor mineralleri altın ve gümüş rafinasyonunda ergitici olarak kullanılıyordu. Bor minerallerinin bu değerli özellikleri ve nadir bulunmaları, dünya ticaretini de etkilemiş ve *Marco Polo*’nun Tibet’ten Avrupa’ya Çin boratlarını taşıdığı belirlenmiştir. Tüm orta çağ boyunca, Venedik bor ticaretinde ana liman görevi yapmıştır. 19. yüzyılın sonlarına kadar bor mineralleri, çok özel uygulamalar için ve oldukça yüksek fiyatlarla kullanılmışlardır. Bu dönemlerde bor mineralleri başlıca; ilaç yapımında, yiyecek saklanması, seramik sırları ve metal flux’ları için kullanılıyordu (Kistler ve Helvacı, 1994). Yine bu dönemlerde, Clear Gölü, C.A. ve daha önemlisi Batı Nevada’da Playa Yatağında bor bulunmuştur. Smith Şirketi tarafından yapılan araştırmalar sonucunda, bor minerallerinin çok kısıtlı alanlarda ve yüksek fiyatlarla kullanımından, bugün tonlarla ifade edilen, çok çeşitli ve nisbeten ucuz kullanımına geçilmiştir.

Boratlar, genelde içerdikleri B_2O_3 içeriğine göre tanımlanmakta ve satılmaktadır. Diğerleri içinde en fazla ticareti yapılan bor ürünleri “boraks pentahidrat” ve “borik asit” olmaktadır. Bu nedenle, hemen tüm bor üreticileri, bünyelerinde bir borik asit tesisi bulundurmaktadır. A.B.D.’de, bor ürünlerinin en önemli kullanım alanı izolasyon fiberleri üretimi olup, bunu tekstil fiberleri üretimi, borosilikat cam, deterjan ve seramik sanayii takip etmektedir. Avrupa’da, deterjan sanayii en önemli bor kullanım alanı olmaya devam etmektedir. Japonyada ise tekstil fiberleri bor bileşikleri kullanımının başında gelmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Bor Elementinin Tanımı ve Tarihiçesi

Yerkabuğunda 51. yaygın element olarak boratlar ve borosilikatlar halinde yeralan bor elementi, yaklaşık 3 ppm’lik konsantrasyon değerine sahiptir. Kimyasal sembolü “B” olup, periyodik cetvelde IIIA grubunun metal olmayan tek elementidir. Bor, tabiiatta serbest halde bulunmayıp, her zaman oksijene bağlı olarak bulunmaktadır. Bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81, özgül ağırlığı 2.30-2.46 ve ergime noktası yaklaşık $2300^{\circ}C$ ’dir. Bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu-kahverengi’dir. Ancak çok gevrek ve sert yapıları monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı-kahverengidir. Bor elementi elmasın sonra en sert elementtir (Smith A.R., 1995; Baudis ve Fichte, 1995).



Şekil 1. Mevcut Dünya Borat Kaynakları (Kistler ve Helvacı, 1994)

Bor, periyodik cetveldeki IIIA grubunda karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla ve oksijene karşı afinitesi çok yüksek olan bir elementtir. Bor elementi; doğada sırasıyla %19.10-20.31 ve %79.69-80.90 oranında, B¹⁰ ve B¹¹ ile gösterilen 2 adet dengeli izotopa sahiptir. Bor izotoplarının doğadaki oranları bölgelere göre farklılıklar göstermektedir, bilinen yataklarındaki B¹⁰ miktarı; A.B.D.-Kaliforniya’da düşük, Türkiye’de ise yüksektir (Özkan vd., 1997; Kistler ve Helvacı, 1994)

Elementel bor; 1808 yılında Fransız Kimyacı *Gay Lussac* ve İngiliz Kimyacı *Sir Humphry Davy* tarafından aynı zamanda elde edilmiştir. Bu bilim adamları saflığı %50’den fazla olmayan koyu renkli ve yanıcı özellik gösteren bor elementini elde etmeyi başarmışlardır. 1895 yılında, *Henri Moissan* borik asit ve magnezyum’u indirgeme işlemine tabi tutarak yaklaşık %86 saflıkta ve yüksek miktarda elementel bor elde edebilmiştir. Moissan Prosesi günümüzde de ticari olarak düşük saflıkta amorf bor elementi eldesinin temelini oluşturmaktadır (Baudis ve Fichte, 1995).

1909 yılında, *Weintraub* BCl₃ bileşiğini bir elektrik ark ocağında dekompoze ederek %99 saflıkta bor elementi elde etmiştir. Bu tarihten sonra da yüksek saflıkta bor elementi eldesi için yeni yöntemler geliştirilmiştir (Baudis ve Fichte, 1995).

Bor içeren doğal minerallere genel olarak boratlar denilmekte ve boratlar insanoğlu tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır. Arapça’da boraks anlamına gelen “*baurach*” sözcüğüne 2000 yıl öncesinden kalan eski İran ve Arabistan’daki el yazmalarında rastlanmaktadır. Boraks dekahidrat kimyasal bileşiğinin doğal hali olan tinal ise, Sanskritçe’de boraks anlamına gelen “*tinacana*” dan türemiştir. Boratların M.Ö. 300 yıllarından kalan Çin seramiklerinde ve Babil Uygarlığı zamanından önce altın dökümü için ergitici olarak kullanıldığı bilinmektedir. *Marco Polo* 13. yüzyılın sonlarında boraks’ı

Tibet'ten Avrupa'ya getirmiş ve bu tarihlerde boraks, lehimleme ve sırlama malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Özkan vd., 1997). Tüm orta çağ boyunca, Venedik şehrinin bor ticaretinde ana liman görevi yaptığı bilinmektedir (Kistler ve Helvacı, 1994).

Türkiye'deki boratlar ise 13. yüzyıldan bu yana bilinmesine rağmen son zamanlara kadar çok az miktarda kullanılmıştır. 1772 yılında İtalya'nın Tuscany Bölgesindeki sıcak su kaynaklarında doğal borik asit olan "sasolit" minerali keşfedilmiştir. 1836 yılında ise Şili ve Arjantin'deki boratlar bulunmuş ve bu yataklar 19. yüzyılın sonlarına kadar dünya'da bor elde edilen en büyük kaynaklar haline gelmiştir. 1864 yılında A.B.D.'nin Kaliforniya ve Nevada Eyaletlerindeki bor yatakları keşfedilmiştir (Özkan vd., 1997).

2.2 Bor Kullanım Alanları

Endüstride çok yaygın ve çeşitli kullanım alanlarına sahip bor bileşiklerinin, önemi ve kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Ticari anlamda borlar, genelde içerdikleri B_2O_3 içeriğine göre tanımlanmakta ve satılmaktadır. Diğerleri içinde en fazla ticareti yapılan bor ürünleri "boraks pentahidrat" ve "borik asit" olmaktadır. Kullanım alanları bölgelere göre değişiklikler göstermektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletlerinde, bor ürünlerinin en önemli kullanım alanı izolasyon fiberleri olup, bunu tekstil fiberleri, borosilikat cam üretimi, deterjan ve seramik sanayii takip etmektedir. Avrupa'da deterjan sanayii en önemli kullanım alanı olmaya devam etmekte, Japonya'da ise tekstil fiberleri ilk sırada yer almaktadır (Kistler ve Helvacı, 1994; Poslu, 1995). Bor bileşiklerinin kullanım alanlarını aşağıdaki gruplara ayırmak mümkündür (Poslu, 1995; Sürücü, 1995; Sariz ve Nuhoglu, 1992; Şarda, 1994):

i. Cam sanayii: Borun en önemli kullanım alanıdır. Cam fiberleri özellikle binaların ısıya karşı yalıtılmasında kullanılmaktadır. Cam elyafı aynı zamanda PVC gibi polyester ve naylonların dirençlerinin artırılmasında kullanılmaktadır. Bor bileşiklerinin bir diğer önemli kullanım alanı da, borosilikat camları üretimidir. Bor katılmasıyla, camın ısıl genleşme katsayısı düşer ve cam ısıya dayanıklı duruma gelir. Bor, işlem sırasında ergimeyi ve camlaştırmayı kolaylaştırdığı gibi, katılaşmış camda rengi duraylaştırır, parlaklığı, yansımaya ve çizilmeye karşı dayanımı artırır. Bu tip camlar fırınlarda, masa kaplamalarında, laboratuvar ve endüstriyel cam ürünleri üretiminde kullanılmaktadır. Ecza sanayiinde de kan plazması gibi hassas maddeler, daha dengeli olan borosilikat cam kaplarında korunmaktadır.

ii. Seramik sanayii: Bu sanayiide, sır için çok kullanılan bir katkı malzemesidir. Bor, seramik malzemelerin sırlanmasında kullanıldığında, özellikle silisin kolay ergimesini ve seramik yüzeyinde çabuk yayılmasını sağlar. Sır için kullanılan karışımda silis miktarı azaltılır, bor miktarı artırılırsa; sır daha sert, daha dayanıklı ve parlak bir görünüm alır. Ayrıca bor, emaye sanayiinde emayelerin parlaklığını, sertliğini ve dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılır.

iii. Temizleme ve beyazlatma sanayii (Deterjan): Bor bileşikleri; bakteri öldürücü ve su yumuşatıcı özellikleri nedeniyle deterjan sanayiinde çok kullanılır.

iv. Yanmayı geciktirici maddeler: Borik asit ve boratlar selülozik maddelere, ateşe karşı dayanıklılık sağlarlar. Alev alma noktasına gelmeden, boratlar selülozdaki su moleküllerini uzaklaştırırlar, oluşan alevin yüzeyini kaplayarak, daha ileri bir yanmayı engellerler. Bor

bileşikleri plastiklerde yanmayı önleyici olarak gittikçe artan oranlarda kullanılmaktadır. Bu amaç için kullanılan bor bileşiklerinin başında, çinko borat, baryum metaborat, bor fosfatlar ve amonyum fluoborat gelmektedir (Tolun, 1988).

v. Tarım: Bütün bitkilerin büyümeleri için bir miktar bor'a ihtiyaçları vardır. Daha başka bir ifade ile; toprakta 2-4 ppm'den fazla bor bulunması bitkiler için öldürücü etki yaparken, 0.5-1 ppm'in altında bulunması bor eksikliği yaratmaktadır. Bitkilerde borun fonksiyonları incelenmiş ve borun çiçek açmaya, polen döllemesine, aktif tuz absorpsiyonuna, hücre döllemesine, hormon hareket ve etkinliğine etki yaptığı anlaşılmıştır. Bitkilerde bor noksanlığı olduğunda, yaprakları kıvrılır, sararır, tepe tomurcuk ve sürgünü ölür, çiçek açmaz ve kök gelişmez. Bor fazlalığında ise, yapraklarda sararmalar, yanmalar oluşur, kenarlar kurur böylece büyüme durur ve verim düşer (Tolun, 1988).

vi. Metalurji sanayii: Boratlar; yüksek sıcaklıkta düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle, özellikle demir dışı metal sanayiinde curuf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılır. Bor bileşikleri; elektrolitik kaplama sanayiinde, banyo bileşimlerinde kullanılmaktadır. Borik asit nikel kaplamada, fluoboratlar ve fluoborik asitler ise kalay, kurşun, bakır, nikel gibi demir dışı metal banyo bileşimlerinde kullanılmaktadır. Çelik endüstrisinde çeliğin sertleştirilmesinde bor kullanılır. 50 ppm'e kadar bor çeliğe gerekli sertliği verebilir. Özel amaçlar için, çeliğin dış yüzü bor ile sertleştirilebilir. Bu işlemde bor yüzeyden içeriye doğru işleyerek karbon veya nitrürlü çelikten daha dayanımlı Fe₂B ve FeB'yi oluşturur. Bu tip çelik, su ile temas eden hareketli parçaların imalinde kullanılır.

Metal oksitlerin yüksek sıcaklıkta bor içinde kolaylıkla eriyebilmesi, çelik endüstrisinde flüorit yerine bor'un daha uygun olarak kullanılmasını sağlar. Yüksek fırınlarda boratlar asitliğin azalmasını ve refrakterlerin daha uzun ömürlü olmasını sağlarlar. Ayrıca "stabor seramiği" diye bilinen bir bor bileşiği, metal ergitmede kullanılan potaların yapılmasında, daha dayanıklı olması nedeniyle zirkon potaların yerini almıştır. Bor bileşiklerinin düşük özgül ağırlıklı ve yüksek dayanımlı olmaları, bu bileşiklerden elde edilen fiberlerle desteklenmiş plastik ve metallerin çeşitli endüstri dallarında kullanılmalarını artırmaktadır. Örneğin; uçak kanatları, helikopter pervaneleri, dar temel üzerine oturtulmuş yüksek binalar, asma köprüler ve benzeri yapılar bu tip bor fiberleri ile desteklenmiş plastik ve metallerden yararlanılarak yapılabilmektedir.

vii. Nükleer uygulamalar: Bor karbür 2450°C'de ergiyen, kimyasal reaksiyonlara ve radyasyona duysuz, oldukça sert bir malzemedir. Özgül ağırlığının 2.4 olması yanında, elmas ve bor nitrür'den sonra en sert ve dayanımlı malzeme olması, uçak ve diğer askeri araçların yapımında kullanılmasını sağlar. Yine bor karbür nükleer enerji santrallerinde, nötron emici özelliği nedeniyle denetim çubukları yapımında kullanılan önemli bir maddedir. Ayrıca, 26 Nisan 1986'da Chernobil nükleer santral faciasında, yeni patlamaların önlenmesi için, ana ergimiş kütle üzerine askeri helikopterler ile 5,000 ton bor içerikli karışımlar atılmış ve reaktörün üstü borlu çimento ile kaplanmıştır (Bulutçu, 1996).

viii. Diğer kullanım alanları: Bu kullanım alanları dışında bor bileşikleri; fotoğrafçılıkta, ilaç endüstrisinde, dokumacılıkta, döküm ve kaynakçılıkta, boya ve kağıt endüstrisinde, alçı ve benzeri maddelerin katılaşmasının geciktirilmesinde, plastik yapımında, dericilikte, sondaj çamurunda katkı malzemesi olarak, lastik ve lateks endüstrisinde, pH kontrolünde ve daha bir çok alanda kullanılmaktadır.

2.3 Önemli Bor Mineralleri ve Doğada Bulunuş Şekilleri

Oksijene olan yüksek afinitesinden dolayı bor elementi yer kabuğunda serbest halde bulunmaz. Doğada 150'den daha fazla mineralin bor elementi içerdiği bilinmektedir. Bu mineraller, orijin ve jeolojik ortamlarına göre 3'e ayrılabilir (Kistler ve Helvacı, 1994): Bor mineralleri özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir (Kistler ve Helvacı, 1994; Poslu, 1995).

1. Sokulum kayaçlarına bağlı skarn mineralleri (başlıca silikatlar ve demir oksitlerdir).
2. Denizel çökellere bağlı magnezyum oksitler.
3. Kıtasal çökellere ve volkanik aktivitelere bağlı hidrate sodyum ve kalsiyum boratlar.

1. ve 2. grupta yeralan mineraller Rusya üretiminin temelini, Çin'in ise önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (datolit ve aşarit olarak). 3. grupta yeralan mineraller ise başlıca boraks, kernit, kolemanit ve üleksit olup, dünyada üretimleri başlıca Türkiye, bazı Güney Amerika Ülkeleri ve A.B.D. tarafından yapılmaktadır.

Boraks, bor endüstrisi için diğerlerine göre çok daha önemli bir mineraldir. En belirgin özelliği suda çok kolay çözünmesidir. Çözünürlük ve çözünme hızı, su sıcaklığı ile artar. Genellikle renksiz ve saydam olmasına rağmen, bünyesindeki diğer bileşenlere göre pembe veya sarımsı gri renkler de taşıyabilmektedir. Sertliği 2-2,5 olup, dilinimi nadiren iyi, gevrek ve konkoidal kırınımlıdır. Monoklinal ve kristal yapısı kısa prizma şeklindedir. Özgül ağırlığı 1,72 olup, maden yataklarında killerle ara katlı, üleksit ve tinkalkonit ile birlikte bulunur. Boraks minerali başlıca Boron-CA-ABD, Kırka-Türkiye ve Tincalayu-Arjantin'de bulunmaktadır (Kistler ve Helvacı, 1994).

Kolemanit minerali monoklinaldır. Bir çok yataкта parlak kristaller halinde ve oyuklar içinde yeralır. Beyaz-gri ve yeşilimsi-gri gibi tipik renkleri vardır. Sertliği 4-4.5 ve özgül ağırlığı 2.52'dir. Kolemanit, başlıca sodyumsuz fiberglas endüstrisi tarafından tercih edilen kalsiyum içerikli bir borattır. Suda çok düşük bir çözünürlüğe sahip olup, asitte çok kolay çözünmektedir. 400°C'nin üzerinde ısıtıldığı zaman çatırdayarak, pudra halinde kavrulur (dekrepatasyon). Avrupa'daki bazı kimya tesisleri, ucuz olması nedeniyle, Türkiye'den aldıkları kolemanitten borik asit üretmektedirler. Türkiye, yüksek tenörlü kolemanitin en önemli kaynağı durumundadır (Özkan vd., 1997; Kistler ve Helvacı, 1994).

Üleksit, Playa tipi göllerde veya yakın-kuaterner yaşlı bataklıkların yakınlarında bulunan en yaygın bor mineralidir. Bu tip üleksitler, yumuşak, nem içeriği yüksek ve lifsi kristaller şeklinde bulunurlar. Bu tip üleksitlere Güney Amerika ve Çin'de rastlanmaktadır. Türkiye'de üretilen ile Boron ve Death Valley'de (A.B.D.) bulunan neojen yaşlı üleksitler ise daha sert, yoğun ve iyi tabakalanmıştır. Beyaza çalan hafif şeffaf görünüşünden dolayı üleksit, "pamuk gülü" olarak da adlandırılır. Sertliği 2.5 ve özgül ağırlığı 1.96'dır. Soğuk suda az, sıcak suda ve asit içersinde kolayca çözünür.

Boraksın metamorfik fazı olan kernit ise, az miktarda Kırka ve Tincalayu'da, fakat toplam rezervin 1/3'ü oranında Boron'da yataklanmıştır. Kernit boraksa göre daha fazla B₂O₃ içermektedir, fakat yapısal özellikleri nedeniyle proseste tıkanmalara yol açmakta ve suda daha yavaş çözünmektedir. Kernit monoklinal kristal yapısında, renksiz, saydam ve uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 2,5-3 ve özgül ağırlığı 1,91'dir (Kistler ve Helvacı, 1994).

Aşarit, Rus ve Çin bor yataklarının önemli bir kısmını oluşturur. Aşarit bir magnezyum borat olup, kolemanit gibi suda çok az çözünür. Magnezyum içeriği nedeniyle kullanımı tatminkar olmayıp, daha ziyade Doğu Avrupa ülkeleri ve Rusya'da yaygındır. Önemli boyutta uluslararası bir ticareti yoktur.

Rusya'da ayrıca önemli miktarda skarn borosilikatlar kullanılarak, başlıca datolit ve az miktarlarda danburit, ludvigit ve turmalin üretilmektedir. Bu mineralleri endüstride kullanıma uygun hale getirmek için, zararlı bileşiklerden ayırmak amacıyla zenginleştirme ve asitte çözündürme işlemlerine gerek vardır.

Çizelge 1. Başlıca Bor Mineralleri ve Özellikleri

Mineral Adı	Formülü	B ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)	Dünyada Bulunduğu Yer
Tinkal (Boraks)	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5	47.2	Türkiye (Kırka), ABD (Boron, Kaliforniya), Arjantin
Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47.8	30.9	ABD (Kaliforniya), Türkiye, Arjantin
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	50.9	26.4	ABD (Boron, Kaliforniya), Arjantin
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0	35.6	ABD (Kaliforniya, Nevada), Arjantin, Şili, Peru, Tibet, Türkiye (Bigadiç)
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8	21.9	Türkiye (Emet, Bigadiç, Kestelek), ABD (Kaliforniya, Nevada), Meksika
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49.8	18.1	Türkiye
İnyoit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .13H ₂ O	37.6	42.2	Kazakistan, Arjantin
Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50.5	26.2	Rusya (Kafkaslar), Arjantin
Aşarit	Mg ₂ B ₂ O ₅ .H ₂ O	41.4	10.7	Rusya ve Çin
Datolit	Ca ₂ B ₂ Si ₂ O ₉ .H ₂ O	21.8	5.6	Kazakistan
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6	25.6	ABD (Kaliforniya)
Sasolit	H ₃ BO ₃	56.3	43.7	İtalya (Tuscany)
Göl suları				ABD, Şili, Bolivya

3. BOR REZERVLERİ

Yayınlanmış bor rezervleri ile ilgili bilgiler arasında önemli farklılıklar olmakla birlikte, Amerikan Maden Bürosu ve ETİBOR A.Ş. tarafından verilen bilgiler dikkate alındığında, toplam dünya görünür rezervlerinin 489 milyon ton B₂O₃ içeren 1,140 milyon ton cevher içerdiği tahmin edilmektedir (Poslu, 1995). Bu değerlere mümkün ve muhtemel rezervler de ilave edildiğinde toplam rezerv; 1,303 milyon ton B₂O₃ içeren 3,199 milyon ton cevher olmaktadır. Çizelge 2'den de görüleceği gibi, bu rezervlerin yaklaşık %62'si Türkiye'de, %16'sı A.B.D.'dedir. Yani dünya rezervlerinin 4/5'i bu iki ülkede toplanmıştır.

Ülkemiz dünya rezervlerinin çoğunluğuna sahip olmasının yanısıra, mineral çeşitliliği ve cevher tenörü bakımından da doğal bir üstünlüğe sahiptir. B.D.T. ve Çin'de bulunduğu tahmin edilen bor yatakları hakkında literatürde fazlaca bilgi bulunmamaktadır. Güney Amerika'daki toplam rezervin ise 100 milyon ton B₂O₃ içeren cevher olduğu tahmin edilmektedir (Poslu, 1995).

Çizelge 2. Dünya Bor Mineralleri Rezervleri (milyon ton)

Ülke Adı	Görünür Rezerv		Muhtemel Rezerv		Toplam Rezerv	
	Cevher	B ₂ O ₃	Cevher	B ₂ O ₃	Cevher	B ₂ O ₃
Türkiye	780	263	1664	540	2444	803
A.B.D.	325	105	325	105	650	210
B.D.T.	-	60	-	90	-	150
Bolivya	12	8	65	36	77	44
Çin	-	30	-	10	-	40
Şili	20	5	-	-	20	5
Arjantin	3	0.5	5	0.9	8	1.4
Diğer	-	17	-	33	-	50
Toplam	1140	488.5	2059	814.9	3199	1330.4

3.1 Dünya’da Önemli Bor Yatakları

Daha önce de belirtildiği gibi, dünyanın en önemli bor yatakları Türkiye ve A.B.D.’de bulunmaktadır. A.B.D.’deki bor yatakları ülkenin batısındaki Kaliforniya ve Nevada Eyaletleri sınırları içerisinde oluşmuştur. Yataklar buharlaşma yolu ile oluşmuşlardır ve halen başlıca 3 bölgeden üretim yapılmaktadır (Sönmez, 1991):

1. Boron CA (Kramer) bor yatağı: US Borax C.C. tarafından açık işletme olarak işletilen bu bor yatağında tinkal ve kernit cevheri üretilmektedir. Bu cevherler civardaki rafinasyon tesislerinde işlenerek, borik asit ve diğer bor türevleri üretilmektedir. Boron bölgesinde ilk çalışmalar 1913 yılında kolemanit mineralinin bulunması ile başlamıştır. 1925 yılında bölgede zengin tinkal ve kernit oluşumları tesbit edilmiştir. 1927’den itibaren cevher çıkarılmaya ve işlenmeye başlanmıştır. Daha sonra 1957 yılında yeni rafinasyon tesisleri kurulmuştur. Boron yatağı, termal akıntılarla beslenen bir Miosen gölünde oluşmuştur. Derinliklerdeki kernit cevherinin üzerinde tinkal yataklanmış ve bunların etrafı, bir üleksit-kolemanit oluşumu ile çevrilmiştir. Yüzeyde kalınlıkları 15 m’ye varan alüvyonlar bulunmaktadır. Alüvyonların altında 60-70 m kalınlığında kum taşı, bunun altında yaklaşık 35 m kalınlığında şeyl tabakaları bulunmaktadır. Bu tabakaların içerisinde düzensiz olarak dağılmış üleksit-kolemanit oluşumları vardır. Tinkal ve kernit, boratlı tabakaların ortasında kil katmanları ile aralanmalı olarak bulunmaktadır. Kalınlıkları 80 m civarındadır. Tabakaların tamamı bir bazalt kütlesi üzerindedir. Boron’da cevher üretimi 2 km uzunluğunda, 1 km genişliğinde ve 200 m derinliğindeki bir açık ocaktan yapılmaktadır. Örtü tabakasının kalınlığı 60-150 m arasında değişmektedir. Basamaklar delme-patlatma yöntemi ile gevşetilmekte ve kazı ekskavatör ile yapılmaktadır. Çıkarılan cevher ocakta 20 mm’nin altına kırıldıktan sonra, konveyör ile stok sahasının altına taşınmaktadır. Bölgede bor türevleri ve borik asit tesisleri bulunmaktadır (Kendall, 1997).

2. Death Valley (Vadisi) bor yatakları: Kaliforniya’nın kuzeyinde Nevada yakınındadır. Yatak, devam etmekte olan aktif çökelmeler ile deniz seviyesinin 80-90 m altına inmiştir. Death Valley Bölgesinde başlıca bor cevherleri olan kolemanit ve üleksit, kalınlıkları 70 m’ye ulaşan mercerlerde çamur taşı, kalker ve konglomeralarla aralanmışlardır. Yatakta ayrıca probertit oluşumu da vardır. Üleksit, probertit oluşumunun çevresinde yataklanmış, bu iki mineralizasyonun çevresini de kolemanit sarmıştır. Üleksit ve probertit birincil minerallerdir. Kolemanit sodyumun çözünmesi sonucunda ikincil olarak oluşmuştur.

3. Searles Lake (Gölü) bor yatakları: Bu bor yatakları Mojave Çölünün doğusundadır. Genellikle kuru çamurlar ile kaplı göl yüzeyi 100 km²'lik bir alan kaplamaktadır. Gölü besleyen Owens Nehri yılda yaklaşık 800 ton B₂O₃ taşımaktadır. Yatağın %40'ını tabakalara göre değişen oranlarda ve kristallenmiş tuzların arasındaki boşluklara girmiş doygun tuzlar oluşturur. Üst ve alt tuz tabakaları olarak adlandırılan katmanları geçirgen olmayan bir çamur tabakası ayırır. Bu tuz tabakaları farklı B₂O₃ içeriğine sahiptirler.

Bağımsız Devletler Topluluğu'ndaki (eski S.S.C.B.) bor yatakları Hazar Denizi ile Ural Nehri arasında kalan bölgede yoğunlaşmışlardır. Yataklar, 2. ve 3. zaman kayaçlarının bindirme ile örttüğü, 250 km²'lik bir alan kaplayan Permien tuz domundaki kırık bir zon boyunca oluşmuştur. Borat oluşumları genellikle magnezyum boratlardan (hidroborasit ve aşarit) oluşarak, çatlakları doldurmuşlardır. Inder Gölünün yapısı ise, Searles Gölüne benzemektedir. Göl yüzeyi kuru bir tuz tabakası ile örtülmüştür ve altında 36 m kalınlığında boşluklu bir tuz kütlesi vardır. Kristaller arası boşluklar potasyum klorit, bromit ve bor'ca zengin sularla doldurulmuşlardır (Alexeev ve Chernyshov, 1997).

Arjantin bor yatakları genellikle Tincalayu bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bor cevheri Pliosen tortullar içersinde olup, 30 m kalınlığında, 100 m çapında, çok ince kristalli bir mercek şeklindedir. Boraks masif bir halit kütlesi üzerine oturmuş, kısmen ince üleksit, inyonit, kurnakovit tabakaları içeren sedimanlar üzerinde yataklanmıştır (Kendall, 1997).

Şili, üleksit içeren bor yataklarına sahiptir. 1950'lerden önce dünya bor pazarına büyük miktarlarda üleksit sunan Şili'de üretim artık çok az miktarda yapılmaktadır. En önemli yatak olan "Salar de Ascotan"da üleksit yüzeyin hemen altındadır ve düzensiz kütleler halinde oluşmuştur. Tabakalar bazı yerlerde 1 m kalınlığa ulaşmasına rağmen, ortalama kalınlık 30 cm'dir.

Peru'da yataklar Arequipa Bölgesinin doğusundaki büyük bir havza olan "Laguna de Salinas"da bulunmaktadır. Her yıl göl sularının buharlaşması sonucu, yüzeyde halit ve sülfatlardan bir tabaka oluşmaktadır. Üleksit cevheri bu tabakanın altında ve 10 cm'den 1 m'ye kadar değişen kalınlıklarda, mercekler halinde düzensiz bir kütle olarak yayılmaktadır.

Çin ve Tibet'teki bor yatakları çok küçüktür ve haklarında çok az bilgi bulunmaktadır. Tibet'teki boratlar termal kaynaklar çevresinde koni veya kabuklar şeklinde oluşmuş yataklardır. En iyi bilinen yatak Keşmir yakınlarındaki Puga Vadisi yatağıdır. Boratlar kükürt ile birlikte yataklanmıştır. Çin'deki yataklar Tsaidan Çanağı, Iksaydam Gölü yöresinde oluşmuşlardır. Çin bu yataklardan iç tüketimine yetecek kadar bor üretmektedir.

3.2 Türkiye'deki Önemli Bor Yatakları

1. Eskişehir-Kırka tinkal yatağı: Eskişehir ilinin 60 km güneybatısında yer almaktadır. Havzada Miosen sonunda oluşan fay çatlaklarından gelen borik asit, sodyum ve magnezyum içeren eksolasyonlar, volkanik çamur ve küller neojen göl sularına karışarak çökelmişlerdir. Derin kesimlerde boraks kristallenirken, sıg kesimlerde üleksit primer olarak çökelmiştir. Dünya bor rezervinin yaklaşık %65'ne sahip olan ülkemizde yeralan, dünyanın en büyük tinkal yatağı olan Kırka boraks sahası yaklaşık 520 milyon ton rezerve sahiptir (Köse vd., 1993).

Alüvyonlar ve bazaltın altında bir kalker tabakası, bu tabakanın altında ise 60 m kalınlığında kil-marn serisi bulunmaktadır. Bu seriyi borat serisi takip etmektedir. Boratlar başlıca tinkal cevherinden ibarettir. Bunun yanısıra kolemanit, kernit, üleksit gibi mineraller ile indernit, inderborit gibi sulu magnezyum boratlar da vardır. Ancak, bu mineraller yataktaki boratların %10-15'i kadardır. Boratlı tabakanın kalınlığı 2-130 m arasında değişmekte, ortalama kalınlık ise 70-80 m olmaktadır. Boratlı tabakanın altında az miktarda ve ince borat tabakaları içeren kil-marn serisi bulunmaktadır. Bu serinin kalınlığı 40 m kadardır. Bu tabakayı 80 m kalınlığındaki alt kireç taşı serisi takip etmektedir (Sönmez, 1991). Yataklarda boraks kristalleri ile killerin değişimine göre sınıflandırılan 3 tip cevherleşme belirlenmiştir (Sönmez, 1991; İpekoğlu ve Polat, 1987; Çebi vd., 1997).

i. Camsı cevher: Rekristalizasyona uğrayarak, saflaşmış cevher cinsi olup, suda çözünmeyen madde içeriği çok azdır. Ancak, bu cins cevher çok az olup, gelişigüzel dağılım göstermektedir.

ii. Tabakalı cevher: Yatağın yaklaşık %10'unu oluşturan bu cevher, tinkal ve suda çözünmeyen maddelerin katmanlar halinde dizilmesi ile oluşmuştur. Camsı cevher hariç tutulursa yatağın en kaliteli kısmını oluşturup, %27-29 B₂O₃ içermektedir.

iii. Breşik cevher: Yatağın yaklaşık %90'unu oluşturan bu cevher daha düşük tenörlü olup, genelde %23-25 B₂O₃ içermektedir. Ancak, taban zonunda tenör %20 B₂O₃'e kadar düşmektedir. Taban cevheri bazen ayrı bir cevher cinsi olarak nitelendirilmesine rağmen, tenör düşüklüğü haricinde genel yapısı aynıdır. Breşik cevherde, tinkal minerali ile gang minerali iyice karışmış olup, suda çözünmeyen maddeler genelde yüksek silikatlı yapıdaki kil esaslı kısımlardır.

2. Kütahya-Emet bölgesi bor yatakları: Bor yatakları Kütahya ilinin 60 km batısında yer almaktadır. Cevherleşme kolemanit ağırlıkta olup yatakta %1'e varan oranlarda arsenik bulunmaktadır. Arsenik, orpiment ve realgar minerallerine bağlı olarak kolemanit içerisinde kırmızılıklar olarak ortaya çıkmaktadır. Bölgede 2 farklı alanda üretim yapılmaktadır. Espey bölgesinde 2 ocakta yeraltı işletmeciliği yapılırken, Hisarcık bölgesinde açık işletme yöntemi uygulanmaktadır. Hisarcık cevher yatağında 2 tip cevherleşme vardır. Üst kısımda, birinci kalite denilen ve ortalama kalınlığı 15 m, tenörü %29 B₂O₃ olan cevher bulunmaktadır. İkinci kalite kolemanit cevheri ise, hemen bu zonun altında bulunup, ortalama kalınlığı 5-6 m, tenörü %17 B₂O₃ civarındadır (Sönmez, 1991).

3. Balıkesir-Bigadiç bölgesi bor yatakları: Bor yatakları Balıkesir ilinin 40 km kadar güneyinde yer almaktadır. Bölgedeki yataklanma, diğer Batı Anadolu borat yataklarında olduğu gibi, neojen göl tortulları içerisinde oluşmuştur. Alttan ve üstten kalker tabakaları ile çevrelenen boratlı zonun ortasında, zayıf bir tinkal oluşumu vardır. Bu tinkalin çevresi ise kolemanit ile sarılmıştır. Boratlar 1-3 m'lik tabakalar halinde killerin içerisinde yer almaktadır. Arsenik içeriğinin düşük olması nedeniyle, pazarda tercih edilmektedir. Bölgede halen 6 adet yeraltı işletmesi ve 1 açık ocak ile kolemanit ve üleksit cevheri üretilmektedir (Sönmez, 1991).

4. Bursa-Kestelek bölgesi bor yatakları: Bu bölge cevher yatağı, Emet bölgesi yatağına benzerlik göstermektedir. Yatak neojen göl tortulları içerisinde oluşmuş ve paleozoik kristalin kayalar üzerine oturmuştur. Boratlar, killer arasında oluşmuş yumrular halindedir.

4. BOR ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

4.1 Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Yöntemleri

Bor minerallerinin her biri için uygulanan cevher hazırlama ve zenginleştirme yöntemi, üretilecek bor ürünü için piyasada oluşan genel eğilime ve talebe bağlı olarak değişebilir. Bor cevherlerine uygulanan, cevher hazırlama yöntemleri genel olarak; kırma, öğütme, eleme ve sınıflandırma işlemlerini kapsar ve diğer endüstriyel hammaddeler için uygulanan yöntemlerle benzerlikler gösterir. Örneğin; iri kırma işlemleri için çeneli kırıcılar kullanılırken, ince kırma işlemleri için çekiçli ve şoklu kırıcılar tercih edilmektedir. Tüvenan bor cevherleri genellikle yüksek tenörlü olduğundan sadece kırma, eleme ve sınıflandırma işlemleri yoluyla da kolayca zenginleştirilebilmektedirler.

Bor cevherleri için uygulanan en eski ve önemli cevher zenginleştirme yöntemi triyaj yöntemidir. Trijaj yönteminde; tüvenan bor cevherleri 100 mm tane boyunun altına kırıldıktan sonra, 25 mm'lik elekte elenir ve (-100 +25) mm tane sınıfı bir bant üzerinden geçirilir. Bantın çevresindeki işçiler tarafından ayırımı yapılan faydalı bor minerali ile yantaş arasındaki renk, özgül ağırlık vs. gibi özelliklerden yararlanılarak zenginleştirme işlemi gerçekleştirilir. Yüksek B_2O_3 içerikli ve iri taneli bor cevherleri için, triyaj işlemi halen Türkiye'deki bir çok tesiste uygulanmaktadır.

(-100 +25) mm boyutlu cevher triyaj ile zenginleştirilir. (-25) mm cevher için kullanılan en yaygın yöntem ise aşındırarak yıkama ve boyuta göre sınıflandırma işlemleridir. Bu işlemler genellikle orta boyuttaki tane sınıfı için etkin olmakta, ancak taneler inceldikçe verim ve tenör değerlerinde istenilen değerlere ulaşamamaktadır. Bor mineralleri, maden yataklarında genellikle killerle birlikte bulunduğu için, karmaşık tabakalı yapı gösteren bu yataklarda selektif madencilik uygulanamamaktadır. Tüvenan bor cevherleri iri boyutta yantaşlarından kolayca arındırılmasına rağmen, tane boyutu inceldikçe, killerin bor mineralleri üzerine daha fazla yapışması yüzünden, ancak aşındırarak mekanik dağıtma ile cevher, yantaşları olan killerden ayrılabilir.

Ayırma işlemi için aktarma tanburu, spiral klasifikatör, pervaneli aşındırma hücreleri ve hidrosiklon gibi cihazlar kullanılmaktadır. Bor mineralleri genellikle yantaşla benzer özgül ağırlığa sahip olmakla birlikte, eğer maden yatağında faydalı bor mineralinden daha hafif veya ağır mineraller varsa, özgül ağırlık farkına dayalı ağır ortam zenginleştirme işlemi de bu cevherlere uygulanabilmektedir. Jig ve ağır ortam tamburu gibi aygıtların kullanıldığı gravite işlemleri, genellikle iri tane sınıflarında verimli olabilmektedir. Klasik cevher hazırlama ve zenginleştirme yöntemleri ile çok ince tane boyutundaki bor cevherlerinin değerlendirilmesi pek mümkün olmamaktadır. Triyaj, aşındırma yıkama ve sınıflandırma işlemlerinde çok ince tane boyutunda ve B_2O_3 içeriği yüksek malzeme "atık" olarak nitelendirilmektedir. Tesislerin verimlerini büyük ölçüde düşüren bu ince taneli bor cevherlerinin değerlendirilmesi için flotasyon, elektrostatik ve manyetik ayırma yöntemlerinin uygulanabilirliği konusunda araştırmalara halen devam edilmektedir (Yaşar vd., 1994; Gür vd., 1994; Özdağ vd., 1988; Sönmez vd., 1996; Sönmez vd., 1997).

4.2 Metalurjik ve Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

Bor cevherlerinin bazı sanayii kollarında rafine bor bileşiklerine dönüştürülmesi gerekmekte ve bu da metalurjik ve kimyasal işlemlerden geçirilmesini gerektirmektedir.

Bu yöntemler; genellikle ön metalurjik işlemler olan kalsinasyon ve kavurma veya hidrometalurjik süreçler olan çözündürme, katı-sıvı ayırma, kristalizasyon, evaporasyon, solvent ekstraksiyon ve ergitme gibi işlemleri içermektedir.

Kolemanit cevherinden borik asit eldesinde, kolemanitin ısıtılması sırasında çatırdarak patlaması olayı olan “dekrepitasyon” yada “kalsinasyon” işlemi uygulanmaktadır (Akdağ vd., 1996). Konsantre kolemanitin direkt olarak sülfirik asit ile çözündürülmesi yerine dekrepite edildikten sonra çözündürülmesi yoluyla daha verimli sonuçlar alınabilmektedir. Kolemanitin dekrepitasyon işlemi için, genellikle 450-500°C’lik sıcaklıklar kullanılmakta, kristal suyu bu yolla ayrılan ve toz haline gelen malzeme belli tane boyutunda elenerek kalsine ürün elde edilmektedir.

Tinkal cevherlerinden rafine boraks; deka ve pentahidrat eldesi için ise, tinkalin sıcak suda kolayca çözünmesinden yararlanılmaktadır. Konsantre tinkal önce yaklaşık 90-100°C’deki sıcak su içinde çözündürülmekte, daha sonra kristalizatör aracılığı ile kontrollü soğutma yapılarak isteğe bağlı olarak, boraks deka yada pentahidrat elde edilmektedir.

4.3 Bor Ürünleri

1. Boraks dekahidrat: Teknolojik olarak alkali metal boratların en önemlilerinden biri, disodyum tetraborat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) olarak da adlandırılan boraks dekahidrattır ve tabiatta tinkal minerali olarak bulunur. Molekül ağırlığı 381,4 gr/mol, özgül ağırlığı 1,71 (20°C), özgül ısısı 0,385 kcal/gr/°C (25-50°C), oluşum ısısı -1497,2 kcal/mol’dür. Renksiz, monoklinik kristal yapısında bir tuzdur. Sulu çözeltileri yaklaşık, konsantrasyondan bağımsız olarak hafif alkali reaksiyon gösterir (pH=9,2). Doymuş boraks çözeltisi 105°C’de kaynar.

2. Boraks pentahidrat: Disodyum tetraborat pentahidratın ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) molekül ağırlığı 291,35 gr/mol, özgül ağırlığı 1,88, özgül ısısı 0,316 kcal/gr/°C ve oluşum ısısı -1143,5 kcal/mol’dür. Mineral adı tinkalkonit olan pentahidrat boraksın dehidrasyonundan oluşan birikintiler halinde bulunur. Doymuş boraks çözeltisinin 60°C’nin üzerinde kristallenmesi ile oluşur.

3. Susuz boraks: Disodyum tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) molekül ağırlığı 201,27 gr/mol, özgül ağırlığı 2,3, oluşum ısısı -783,2 kcal/mol olan renksiz ve çok sert bir kristal’dır. Kolay öğütülebilir kristalin bir kütle olarak bulunur. Ergime derecesi 741°C’dir. Higroskopiktir, boraks hidratların 600-700°C’de dehidrasyonu ile stabil yapıda susuz boraks üretimi sağlanabilmektedir.

4. Borik asit: Borik asit (H_3BO_3), molekül ağırlığı 61,83 gr/mol, B_2O_3 içeriği %56,3, ergime noktası 169°C, özgül ağırlığı 1,44, oluşum ısısı -1089 kJ/mol, çözünme ısısı 22,2 kJ/mol olan kristal yapı bir maddedir. Oda sıcaklığında sudaki çözünürlüğü az olmasına rağmen, sıcaklık yükseldikçe çözünürlüğü de önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle sanayide borik asidi kristallendirmek için genellikle doymuş çözeltiyi 80°C’den 40°C’ye soğutmak yeterli olmaktadır. Bor minerallerinden geniş ölçüde üretilen borik asit başlıca; cam, seramik ve cam yünü sanayiinde kullanılmakta olup, kullanım alanları çok çeşitlidir. Borik asit, bor minerallerinin genel olarak sülfirik asit ile asitlendirilmesi ile elde edilmektedir. Türkiye’de borik asit üretimi başlıca; Bandırma’daki ETİBOR A.Ş. Boraks ve Asit Fabrikaları İşletmeleri tarafından yapılmaktadır.

5. Bor oksit (susuz borik asit): Ticari bor oksit, B_2O_3 'tür ve genellikle %1 su içerir. Genellikle borik asitten uygun sıcaklıkta su kaybettirilerek elde edilir. Renksiz cam görünüşlüdür. Oda sıcaklığında higroskopiktir. Bor oksit ve susuz boraks cam sanayiinde çok kullanılır. Yüksek sıcaklıkta borik asitten su buharlaşırken B_2O_3 kaybı artmaktadır. Cam üretim prosesinde, borik asit yerine, bor oksit kullanılması enerji ve hammadde avantajı sağlamaktadır (Kocakuşak, 1986). Bor oksit porselen sırlarının hazırlanmasında, çeşitli camlarda, ergitme işlemlerinde, seramik kaplamalarda kullanılır. Ayrıca pek çok organik reaksiyonun katalizörüdür. Pek çok bor bileşiğinde başlangıç maddesidir.

6. Sodyum perborat: Sodyum perborat ($NaBO_2 \cdot H_2O_2 \cdot 3H_2O$) genellikle tetrahidrat yapısındadır. Perborat üretiminde %33 B_2O_3 içeren boraks minerali kullanılmaktadır. Sodyum perborat, Bandırma'daki ETİBOR A.Ş. Boraks ve Asit Fabrikaları İşletmeleri tarafından üretilmektedir (Kocakuşak, 1986). Sodyum perborat, ağartıcı etkisi dolayısıyla yaygın olarak sabun ve deterjan sanayiinde kullanılmaktadır. Ayrıca kozmetik maddelerin yapımında, tekstil endüstrisinde, mum, reçine, tutkal ve sünger sanayiinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Sönmez, 1991).

7. Diğer bor bileşikleri: Yukarıda açıklanan bor ürünleri dışında sanayiide yaygın olarak kullanılan diğer bor bileşikleri aşağıda özet olarak verilmiştir:

i. Boridler: Metalik karaktere sahip bor bileşikleridir. Metallerle veya metaloksitler ile borun reaksiyonu sonucu elde edilirler. Ticari olarak metalik karışımların ve borun; alüminyum, magnezyum veya karbon ile indirgenmesiyle elde edilirler. Boridler yüksek ergime noktasına, yüksek sertliğe ve iyi bir kimyasal stabiliteye sahiptirler. Oksidasyona karşı dirençlidirler. Bu nedenle, metal yüzeylerinin kaplanmasında, ısıya dayanıklı kazan ve buhar kazanları yapımında, korozyona dayanıklı malzeme üretiminde ve elektronik sanayiinde kullanılırlar.

ii. Bor karbür: Bor-karbon sistemindeki tek bileşik olan bor karbür, genellikle granül katı olarak elde edilir. Masif ürün olarak elde edilmek istendiğinde, $1800-2000^\circ C$ 'de grafit kalıplarda preslenir. Saf bor karbür kristalleri hafif parlak görünümündedir. Yoğunluğu $2,52 \text{ gr/cm}^3$, ergime sıcaklığı $2450^\circ C$ 'dir. Sıcak preslenmiş bor karbür, aşındırıcı parçalarda, contalarda, seramik zırlı yüzeylerin yapılmasında kullanılır. $2000^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıkların ölçülmesinde termoçift olarak kullanılır. Sertliği nedeniyle, abrasiv malzeme yapımında kullanılır, ayrıca nükleer reaktörlerde nötron yakalama kapasitesi, kimyasal inertliği ve radyasyon stabilitesi gibi özelliklerinden yararlanır (Sönmez, 1991).

iii. Bor nitrit: Bor nitrit genellikle hegzagonal yapıda oluşur. Hegzagonal sistemde iken beyaz, talk'a benzeyen, $2,27 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda bir tozdur. Kübik sistemde ise oldukça serttir. Teorik yoğunluğu $3,45 \text{ gr/cm}^3$ 'tür ve iyi bir elektrik izolatörüdür. Ergitilerek masifleştirilmiş bor nitrit büyük bir kimyasal dirence sahiptir. Kübik yapıdaki bor nitrit çok iyi bir abrasiv malzemedir. Bu özelliğinden dolayı, kesici aletlerin yapımında ve sert alaşımların işlenmesinde kullanılır (Sönmez, 1991).

iv. Bor halojenürler: Borun flor, klor, brom, iyot gibi halojenlerle yaptığı bileşiklerdir. Bor oksitin derişik sülfürik asit ve florit, klorit, bromit, iyodit gibi halojenlerle ısıtılmasıyla elde edilir. Bor klorür, düşük viskoziteli, renksiz, ışığı kıran bir sıvıdır ve %95'i bor-fiber üretiminde kullanılır. Bor florür ise, renksiz, boğucu kokulu, yanıcı olmayan bir gazdır. Bor iyodür katıdır ve kuvvetli nem çekicidir, oksijen akımında yanar (Sönmez, 1991).

5. BOR EKONOMİSİ

Dünya bor mineralleri üretiminde Türkiye ve A.B.D. lider konumundadır. Önemli miktarlarda üretim yapan diğer ülkeler ise; Arjantin, Kazakistan, Rusya, Şili, Çin, Peru ve Bolivya'dır. Bu ülkeler ve yaptıkları üretim Çizelge 3'de verilmişti. Çizelge 3'den anlaşılacağı gibi, 1970 yılında %21 olan ülkemizin payı, 1980 yılında %31'e, 1992 yılında ise %41'e yükselmiş ve Türkiye dünyanın en büyük bor minerali üreticisi konumuna gelmiştir. Aynı yıllarda A.B.D.'nin dünya üretimindeki payı ise sırasıyla %65, %54 ve %39 olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 3 ve 4'de dünya bor cevheri üretimi verilmiştir (Poslu, 1995; Sivrioğlu, 1996).

Çizelge 3. Dünya Bor Cevheri Üretimi (10³ ton)

Yıl	Türkiye	A.B.D.	Arjantin	B.D.T	Şili	Çin	Peru	Bolivya	Toplam
1970	304	947	32	141	-	31	-	-	1455
1980	801	1402	138	200	3	27	12	-	2583
1985	954	1151	158	200	5	27	10	-	2505
1990	1253	1094	260	180	132	27	15	3	2966
1991	1209	1240	250	160	130	27	15	14	3045
1992	1059	1140	250	160	130	27	15	15	2796
1993	1123	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	1206	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 4. Dünya Bor Cevherleri Üretimi (10³ ton)

Yıl	Etibor A.Ş.	ABD	Arjantin	BDT	Diğer	Toplam
1990	1253	1094	260	180	177	2966
1991	1150	1240	250	160	186	2988
1992	1200	1140	250	160	187	2937
1993	1124	1055	125	90	104	2624
1994	1250	1110	140	90	268	2858

Türkiye bor mineralleri üretiminde birinci sıraya yükselirken, rafine bor bileşiklerinde ikinci sırada yer almaktadır. Çünkü A.B.D.'nin ürettiği tüm ürünler, rafine olup, B₂O₃ oranları yüksektir. Türkiye'nin B₂O₃ üretimindeki payının 480,000 ton olmasına karşılık A.B.D.'nin payının 580,000 ton olduğu tahmin edilmektedir. B₂O₃ baz alındığında A.B.D. ve Türkiye'nin dünya üretimindeki payı sırasıyla %48 ve %39 olmaktadır. ETİBOR A.Ş.'nin bor mineralleri üretiminde birinci sıraya yerleşmesinin nedeni, gerek madencilik alanında, gerekse tesisler bazında yapmış olduğu önemli yatırımlardır. Çizelge 5 ETİBOR A.Ş. bor cevherleri ve rafine bor ürünleri üretimini vermektedir (Poslu, 1995).

1994 yılı dünya bor tüketim düzeyi dikkate alındığında sadece ülkemizdeki görünür rezerv, tüm dünya ihtiyacını tek başına 343 yıl karşılayacak düzeydedir. US Borax Şirketinin elindeki görünür rezerv ise söz konusu ihtiyacı 108 yıl karşılayacak düzeydedir (Sivrioğlu, 1996). Türkiye bor ürünlerinin büyük bir bölümünü ihraç etmektedir. Toplam maden ihracatının %45'ni bor ürünleri oluşturmaktadır. 1990 yılında ETİBOR A.Ş.'nin bor ihracatının %82'si konsantre cevher, %18'i rafine ürün olarak gerçekleşmiştir (Sönmez, 1991). ETİBOR A.Ş.'nin 1995 yılında bor ihracatı 216 milyon dolar olup, toplam ETİBOR A.Ş. ihracatı içerisinde bor'un payı %64'tür.

Çizelge 5. ETİBOR A.Ş. Bor Cevherleri ve Rafine Bor Ürünleri Üretimi (10³ ton)

Bor Cevheri veya Rafine Ürünleri Cinsi	YILLAR				
	1990	1991	1992	1993	1994
Kolemanit	571.0	503.0	334.0	414.0	450.0
Üleksit	129.0	129.0	135.0	149.0	198.0
Tinkal	552.0	577.0	590.0	560.0	558.0
Bor Cevherleri Toplamı	1,252.0	1,209.0	1,059.0	1,123.0	1,206.0
Boraks deka	16.1	14.2	18.1	30.6	30.1
Boraks penta	121.0	146.7	160.9	168.0	163.7
Borik asit	25.0	17.6	23.2	30.2	46.1
Sodyum perborat	18.9	13.5	13.9	17.7	15.1
Bor Ürünleri Toplamı	181.0	192.5	216.1	246.5	255.0

Bor bileşikleri sektöründe kurulu kapasite durumu Çizelge 6'da verilmiştir (Tolun, 1996). Dünya birincil bor ürünleri (penta, deka, susuz boraks, borik asit) üretim kapasiteleri 1992 yılı itibarı ile Çizelge 7'de verilmiştir (Sivrioğlu, 1996).

Çizelge 6. Bor Bileşikleri Sektöründe Kurulu kapasite Durumları

Kuruluş Adı	Ana Ürün	Kapasite (ton/yıl)
ETİBOR A.Ş.-Bandırma Borik Asit İşletmesi	Boraks (dekahidrat)	55,000
	1. Borik asit	25,000
	2. Borik asit	75,000
	Sodyum perborat	20,000
ETİBOR A.Ş.-Kırka Boraks İşletmesi	Boraks pentahidrat (Etibor 46)	160,000
	Boraks dekahidrat	17,000
	Susuz boraks (Etibor 65)	60,000

Çizelge 7. Dünya Birincil Bor Ürünleri Üretim Kapasiteleri

Ülke/Firma	Kapasite (ton)	Açıklama
ABD/		
US Borax (1996)	845,000	100,000 ton susuz, 112,000 ton borik asit
North American C.C.	90,000	48,000 ton susuz, 40,000 ton borik asit
In-Cide Technologies	23,000	Tamamı borik asit
Türkiye/Etibor A.Ş. (1996)	482,000	60,000 ton susuz, 50,000 ton borik asit
Rusya/Bor Primorsky	250,000	Tamamı borik asit
Fransa/Borax Francais	85,000	40,000 ton borik asit
İtalya/Harris Chemical Group	75,000	60,000 ton borik asit
Hindistan/Borax Morarji	19,000	3,000 ton borik asit
Southern Borax	16,000	Tamamı boraks
Şili/Qumica Industria	24,000	Tamamı borik asit
Arjantin/Boroquimica	16,000	3,200 ton susuz boraks
Diğer	20,000	8,000 ton borik asit
TOPLAM	1,900,000	610,000 ton borik asit, 1,290,000 ton boraks (penta+deka+susuz)

1940'lerde dünya borat üretimi B_2O_3 bazında 25,000 ton iken, 1960'da 310,000 ton'a, 1990 yılında yaklaşık 1,200,000 ton'a yükselmiştir. Talebin 2000'li yıllarda daha da artacağı beklenmektedir (Sönmez, 1991; Köse vd., 1993). Dünyadaki ticari bor ürünleri ve üreticileri Çizelge 8'de, arz/talep dengesi ise Çizelge 9'da özetlenmiştir (Sivrioğlu, 1996).

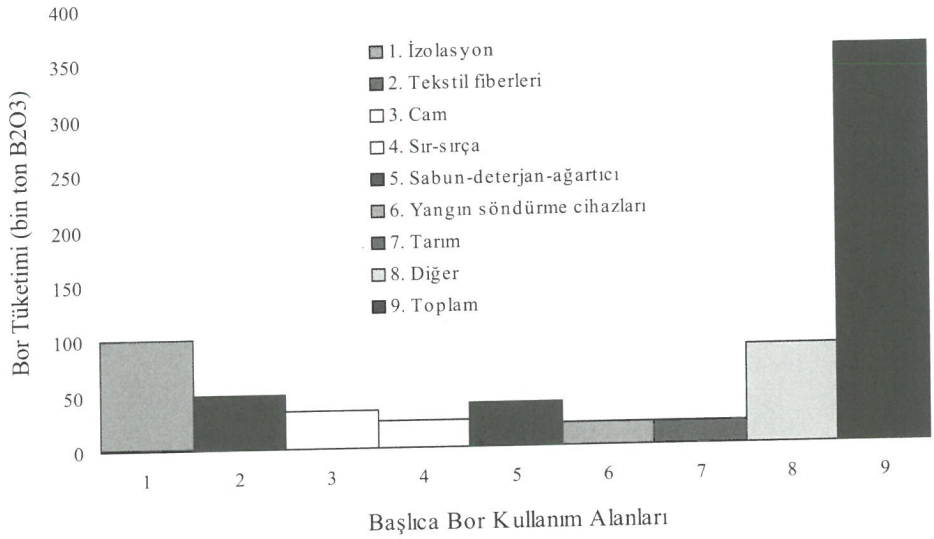
Çizelge 8. Ticari Bor Ürünleri ve Üreticileri

Ürünler	Üreticiler
I. Ham Bor Bileşikleri	
Kolemanit	Etibor A.Ş., American Borate Company
Tinkal	Etibor A.Ş., US Borax
Üleksit	Etibor A.Ş., ABC, G. Amerika
Probertit	American Borate Company
Göl Suları	North American Chemical Company
II. Birincil Bor Ürünleri	
Boraks dekahidrat	US Borax, Etibor A.Ş., N. American CC, Borax Francaise SA
Boraks pentahidrat	Harris Chemical Group
Susuz boraks	US Borax, North American CC, Etibor A.Ş.
Borik asit	US Borax, Bor Primorsky, Etibor A.Ş., Inderborskij, North American CC, In-Cide Tech., Borax Morarji, Southern Borax, Qumica e Industria del Borax, Nippon Denko
Susuz borik asit	US Borax
III. Bor Kimyasalları	
İnorganik bor bileşikleri (sodyum perborat vd.)	Solvay, Degussa, FMC, DuPont, Elf Atochem, Ausimont, Treibacher, Caffaro, Akzo, Kikuchi, Kishida, Toyama, Amax, Us Borax, Etibor A.Ş.
Elementer bor	SB Boron Corp., Kerr McGee, Eagle Picher, HC Starck
Bor halidler	Atotech, Kerr McGee, Texas Inst., Hashimoto C.C., Morita
Fluoboratlara	Atotach, Florida C. Stone, New H. Oak, Laport, Riedel de Haen, Guido Tazetti, Hashimoto, Morita, Seimi, Tohkem
Borikasit esterleri	Akzo, Anderson, DuPont, Eagle Picher, Morton Int., Voltaixe, Tokyo Kasei Kogyo
Borhidritler, organo-borlar, B-N bileşikleri	Akzo, Boulder, DuPont, Morton Int., Voltaixe, Kawaken, Nippon Al Alkyls
Refrakter bor bileşikleri	Advanced Ceramics, Advanced Refractories, BP Chemicals, St Gobain, Eagle Picher, Raytheon, Johnson Matthey, Elektroschmelzwerk, HC Starck, Denki Kagaku, Kawasaki Steel, Shin Etsu Chemical Co., Showa Denko

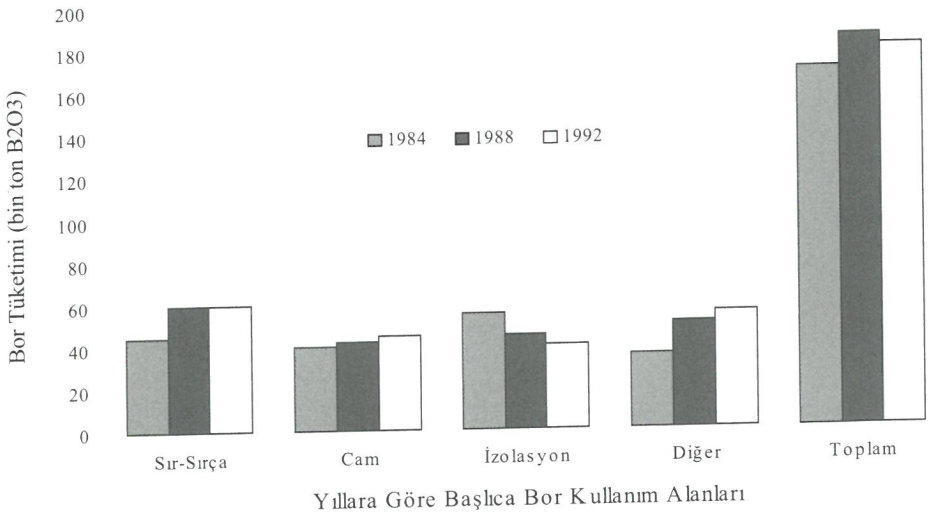
Çizelge 9. 1992 Yılı İtibarı ile Bor Ürünleri Dünya Arz/Talep Dengesi (ton B_2O_3)

Ülke	Üretim	Ticaret	Tüketim
A.B.D.	580,000	290,000	290,000
Batı Avrupa	-	-380,000	380,000
Türkiye	470,000	460,000	10,000
Japonya	-	-80,000	80,000
Diğer	160,000	-290,000	450,000
TOPLAM	1,210,000	0	1,210,000

Çizelge 9'dan görüldüğü gibi, dünya bor tüketiminin çok büyük bir kısmı, başta A.B.D. olmak üzere Batı Avrupa ülkeleri ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde gerçekleşmektedir. Türkiye ürettiği ürünlerin çok büyük bir kısmını ihraç etmekte olup, üretim politikası dış satıma yöneliktir. A.B.D. ise ürettiği ürünlerin yarısını ülke içinde tüketmekte, kalanını ihraç etmektedir. Bu iki ülke ürettikleri bor ürünlerini satmak için özellikle Avrupa'da rekabet etmektedirler. A.B.D. ve Japonya'da bor tüketiminin büyük bölümü cam ürünleri sektöründe olurken, Batı Avrupa ve Türkiye'de sabun ve deterjan sanayiinde olmaktadır. Şekil 2'de A.B.D., Şekil 3'de Batı Avrupa'da sanayii kollarına göre bor tüketimleri verilmektedir (Sivrioğlu, 1996).



Şekil 2. A.B.D. de 1997 yılı Tahmini Bor Tüketimi (bin ton B₂O₃)



Şekil 3. Batı Avrupa Birincil Bor Ürünleri Tüketimi (bin ton B₂O₃)

6. SONUÇLAR

Dünyada bor ürünleri ve kimyasallarına olan talep ve kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak da önemli bor rezervlerine sahip ülkeler, daha fazla ekonomik getiri sağlayacak şekilde teknolojik gizlilik ve üretimde monopolleşmeye gitmektedir.

Türkiye sahip olduğu önemli bor rezervleri ve mineral kalitesiyle, pazarda önemli bir paya sahip olabilmek için, bor madenciliği, üretim ve pazarlamasında bir devlet kuruluşu olan ETİBOR A.Ş.'yi tek yetkili kılmıştır. Önümüzdeki yıllarda ise Türkiye'nin yapılacak yatırımla bor ürünleri ve bor kimyasalları üretim ve pazarlamasında daha önemli bir konuma gelmesi beklenmektedir. Böylece bor minerallerinin milli ekonomiye daha fazla katkı sağlaması ve bor endüstrisinin gelişmesi gerçekleşebilecektir.

8. KAYNAKLAR

Akdağ M., Batar T., İpekoğlu Ü., Polat M., 1996, "Processing of Tincal and Colemanite Ores by Decrepitation Method and Comparison with Wet Method in terms of Production Cost", Proceedings of the 6th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası/Turkey, pp 389-393.

Alexeev V.P., Chernyshov A.V., 1997, "Boron in the C.I.S., An Overview of Deposits & Production", Industrial Minerals, No 359, pp 49-53.

Baudis U., Fichte R., 1995, "Boron and Boron Alloys", Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol A4, pp 281-293.

Bulutçu N., 1996, "Türkiye'de Bor Bileşikleri Üretim Teknolojisinin Dünü, Bugünü ve Geleceği", Bor Bileşikleri Üretim Teknolojileri Araştırmaları Danışma Toplantısı, TÜBİTAK-MAM, Gebze.

Çebi H., Özkan Ş.G., Demircan E., Mordoğan H., 1997, "Kırka'da Üretilen Tincal Kaba Konsantresinin İyileştirilmesi", Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Ankara, s. 311-318.

Gür G., Türkay S., Bulutçu A.N., 1994, "The Effects of the Process Conditions on the Flocculation of Tincal Slimes", Proceedings of the 5th International Mineral Processing Symposium, Cappadocia/Turkey, pp 501-503.

İpekoğlu Ü., Polat M., 1987, "Bor Endüstrisine Genel Bakış", Madencilik Dergisi, Cilt XXVI, No 1, s. 5-16.

Kendall T., 1997, "Borate Supply and Demand, More than a White Wash", Industrial Minerals, No 362, pp 51-69.

Kistler R.B., Helvacı C., 1994, "Boron and Borates", Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, Society of Mining, Metallurgy and Exploration Inc., pp 171-186.

Kocakuşak S., Yalaz N., Kalafatoğlu E., 1986, "Bor Mineralleri ve İnorganik Bor Bileşikleri", TÜBİTAK-MAE, Kimya Araştırma Bölümü Yayını, Yayın No 185, s. 7-13.

Köse H., Çalapkulu F., Onargan T., Konak G., 1993, "Kırka Boraks Sahasının Optimal Değerlendirme Koşullarının Araştırılması", 13. Madencilik Kongresi, İstanbul, s. 315-326.

Lyday P., 1991, "Boron-1990", Mineral Commodity Summaries, US Bureau of Mines, 9 p.

Özdağ H., Bozkurt R., Uçar A., 1988, "Kestelek Bor Yıkama Atıklarından Borun Kazanılması", 2. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir, s. 282-287.

Özkan Ş.G., Çebi H., Delice S., Doğan M., 1997, "Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciliği", 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir/Türkiye, s. 224-228.

Poslu K., Aslan İ.H., 1995, "Dünya Bor Mineralleri ve Bileşikleri Üretiminde Türkiye'nin Yeri", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir/Türkiye, s. 33-42.

Sarız K., Nuhoglu İ., 1992, "Endüstriyel Hammade Yatakları ve Madenciliği", Anadolu Üniversitesi, Yayın No 636, s. 58-86.

Sivrioğlu İ., 1996, "Bor Mineralleri ve Bor Bileşikleri Üretiminde Etibank'ın Çalışmaları ve İleriye Dönük Planları", Bor Bileşikleri Üretim Teknolojileri Araştırmaları Danışma Toplantısı, TÜBİTAK-MAM, Gebze, 9 s.

Smith R., 1995, "Boric Oxide, Boric Acid, and Borates", Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol A4, pp 263-280.

Sönmez E., Özdağ H., Savaş M., 1996, "Benificiation of Emet Tailing by Water Absorption+ Mechanical Attrition+Magnetic Separation", Proceedings of the 6th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası/Turkey, pp 143-148.

Sönmez E., Özdağ H., Savaş M., 1997, "Ses Ötesi Dalgaların Kolemanit Atıklarının Zenginleştirilmesinde Kullanımı", Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Ankara, s. 319-323.

Sönmez E., 1991, "Kırka Tinkal Cevheri ve Konsantresinin Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 108 s.

Sürücü A., 1995, "Kolemanitin Amonyum Sülfat Çözeltisi ile Çözünürleştirilmesi Kinetiği", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 55 s.

Şarda D., 1994, "Bor Minerallerinden Borik Asit Üretimi" Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tolun R., 1988, "Anorganik Bor Bileşikleri ve Üretim Teknolojisi", TÜBİTAK-MAE, Kimya Araştırma Bölümü Yayını, 65 s.

Tolun R., 1996, "Türkiye'de Bor Bileşikleri Üretim Teknolojilerinin Dünü, Bugünü ve Geleceği", Bor Bileşikleri Üretim Teknolojileri Araştırmaları Danışma Toplantısı, TÜBİTAK-MAM, Gebze, 16 s.

Yaşar E., Hançer M., Kaytaz Y., Çelik M.S., 1994, "Mechanism of Electrostatic Separation of Boron Minerals", Proceedings of the 5th International Mineral Processing Symposium.