

Bor Endüstrisine Genel Bakış

A General View to Boron Industry

Yazar İPEKOĞLU(*)
Mehmet POLAT(**)

ÖZET

Türkiye sahip olduğu bor rezervleri ve cevherlerinin kalitesi ile dünyanın en önde gelen ülkesidir. Buna rağmen üretim seviyesi ürünlerinin çeşitliliği ve yapılan dış satışlar sahip olunan potansiyel yanında çok düşük ve büyük oranda cevher üzerinedir.

Bu çalışmada bor mineralleri, bileşikleri, yatakları ve oluşumları anlatılmış, dünyada ve özellikle Türkiye'deki üretim teknolojisinden kısaca bahsedilmiş ve tesislerden örnekler verilmiştir. Borat üretimi, tüketimi ve kullanım alanlarına değinilerek borun önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

ABSTRACT

Turkey is one of the leading countries in the world as regards to boron reserves. However, the production level and variety of products are very low compared with potential owned. As the consumption in domestic market is limited, the greatest part of boron minerals and chemicals produced in Turkey have to be exported creating marketing problems.

The aim of this study is to give a fairly complete outlook to boron industry in the world. To achieve this, first the history, minerals and chemicals of boron have been outlined. Important boron deposits worldwide and their occurrences have then been mentioned. The producers in different countries and production and consumption of boron have been given to emphasize the importance of boron world-wide as well as Turkey.

(*) Doç.Dr., Maden Y.Mühendisi, Dokuz Eylül Univ., Maden müh. Bölümü, Bornova/İZMİR

(**) Maden Y.Mühendisi, Dokuz Eylül Univ., Maden Müh. Bölümü, Bornova/İZMİR

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Borun Tanımı

Elementer bor, amorf formda iken koyu kahverengi bir tozdur. Kristal formda ise sert ve gevrek bir yapıdadır. Ergime derecesi çok yüksek (2300 C) ve Atom Ağırlığı 10,81'dir.

Bor tuzları alkali metal tuzlarıdır ve asit kökünün yerini boratlar almıştır. Bir bor asfidi olan H_3BO_3 kökünün Na, Ca, Mg gibi bir veya birkaç baz katyonu ile birleşmesi sonucu bor tuzları oluşur (Boraks: $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ veya Uleksit: $NaCaB_5O_{10} \cdot 8H_2O$ gibi). Yerkabuğunun yüzbinde birini oluşturan bor elementi doğada serbest halde bulunmaz. Kristal veya amorf formdaki bor, laboratuvarlarda sentetik olarak elde edilebilir.

Borun elektrik iletkenliği oda sıcaklığında çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça süratle artar. Bu, metallere has bir özellik değildir. Diğer metalik özelliklerinin de çok az olmasından dolayı bor bir ametaldir.

Ergimiş iken soğutulduğunda çok sert ve kırılgan bir madde halini alır. Havada ısıtıldığında yeşil bir alevle yanar. Araştırmacılar borun bu özelliğinden, onu tayin etmekte yararlanmışlardır^{1,2,3}.

1.2. Tarihçe

İnsanlar element borla bu yüzyılın başlarında tanışmış olmalarına rağmen bileşiklerinden binlerce yıldır yararlanmaktadır. Mısırlıların, Babillilerin, Mezopotamya uygarlıklarının ve Çinlilerin boraks kullandıklarına dair kayıtlar vardır. Avrupa'ya 13. yüzyılda Marko Polo tarafından getirilmiş, Avrupa'daki ilk bor oluşumuna ise 1827 yılında İtalya'da rastlanmıştır. Güney Amerika'da bor minerallerinin keşfi 1850'li yıllara rastlamaktadır. Türk bor yatakları ise ilk çağlardan bu yana bilinmektedir. Borun ilk olarak 19. yüzyılın ortalarından sonra ciddi olarak ele alınmışlardır.

Fakat bu yataklar çok uzun yıllar yabancı şirketler tarafından işletilmiş ve ancak 1935 yılında MTA ve Etibank'ın kurulmasından sonra kıymetleri ve büyüklükleri anlaşılmaya başlanmıştır. Daha sonraları 1950'de Bigadiç'de ve 1956'da Emet'de kolemanit yatakları bulunmuş, 1958'de Emet'deki, 1968'de de eskiden beri bilinen Kırka-Sankaya'daki yataklar Etibank'a devredilmiştir. 1979'daki devletleştirme ile tüm bor yataklarının işletme imtiyazı Etibank'a verilmiştir. ABD'nde bor mineral-

leri ilk olarak 1864'de San Fransisko'daki kuru göllerden üretilmeye başlanmış, ilk tıncal oluşumuna 1872'de Nevada'da rastlanmıştır. 1887'de Calico dağında kolemanit bulunmuş ve 1925'de Kaliforniya'nın Kern ilinde ABD'ndeki en büyük boraks oluşumu olan Kramer (Boron) yatağı keşfedilmiştir.

ABD ve Türkiye bugün bu yataklardan yaptıkları üretimlerle toplam dünya üretiminin % 90'ını karşılamakta ve dünya bor pazarında rekabet etmektedirler^(4,5,6,7,8).

1.3. Mineralleri ve Bileşikleri

Bor içeren birçok mineral olmasına rağmen, bunlardan ancak bir kısmı ticari değere sahiptir ve uluslararası pazarlarda işlem görür (Çizelge 1). Bir borat anyonu, metalik bir katyon ya da hidrojenle birleşerek bu mineralleri oluşturur ve mineraller birleştikleri metal katyonunun adıyla tanırlar (Sodyum borat, Kalsiyum borat gibi). İnorganik olan bu mineraller uluslararası pazarlarda B_2O_3 içerikleri gözönüne alınarak pazarlanırlar.

Çizelge 1. Ticari Değeri Olan Bor Mineralleri

Adı	Formülü	%B	% B_2O_3
Tıncal (Boraks)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	11,4	36,5
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	15,7	50,8
Uleksit	$NaCaB_5O_{10} \cdot 8H_2O$	13,3	42,9
Kernit (Razorit)	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$	15,8	50,9
Priseit (Pandermit)	$CaB_3P_3O_{13} \cdot 7H_2O$	15,4	49,8
Borasit	$Mg_3B_7O_{13} \cdot Cl$	19,3	62,2
Sasolit	H_3BO_3	17,5	56,4

Bor üretimi yapan ülkeler, bu ürünleri değişik işlemler sonucu belirli B_2O_3 tenöründe pazara sürebilirler. Örneğin ABD kolemanit cevherleri ya % 43 B_2O_3 içeren kalsine bir toz ya da % 35 B_2O_3 içeren bir flotasyon konsantresi halinde, uleksitler ise % 19 B_2O_3 içeren bir toz olarak satılırlar. Türk kolemanit cevherlerinin çoğu ise % 44-46 B_2O_3 içeren konsantre olarak pazara sunulur. Bu ürünler yıkama-eleme, flotasyon, kalsinasyon gibi zenginleştirme işlemlerinden geçirildikten sonra bir konsantre olarak satılabilirler gibi, daha ileri konsantrasyon işlemlerinden geçirildikten sonra da rafine ürünler olarak pazarlanabilirler. Bu ürünler çeşitli bor bileşiklerinden değişik yöntemlerle üretilirler. Örneğin borik asit Türkiye'de sülfürik asit-kolemanit reaksiyonuyla elde edilirken, ABD'nde yine bir rafine ürün olan boraks pentahidrat-sülfürik asit reaksiyonuyla elde edilir. Cevher üretimi olmayan ya da çok az olan Japon-

/a, Fransa gibi ülkeler boru konsantre ya da yarı mamul halde alarak ülke içinde mamul hale dönüştürürler. Bugün için dünyada bor piyasasında adı geçen başlıca rafine bileşikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Rafine Bor Bileşikleri

Adı	% B ₂ O ₃	Formülü
Borik asit	56,3	H ₃ BO ₃
Susuz borik asit	100,0	B ₂ O ₃
Rafine boraks dekahidrat	36,5	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O
Ham boraks pentahidrat (Razorit 46)	46,0	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O
Rafine boraks pentahidrat	47,8	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O
Ham susuz boraks (Razorit 65)	69,0	Na ₂ B ₄ O ₇
Rafine susuz boraks	69,2	Na ₂ B ₄ O ₇
Sodyum perborat	22,0	NaBO ₃ · 4H ₂ O

Yukarıda sayılan bu bileşikler ticareti yapılan ve büyük ölçüde tüketilen maddelerdir. Ancak bir rafinasyon işleminin çıktısı olan bu ürünler doğrudan doğruya son ürün olarak kullanılamazlar. Bir çok endüstri dalında bu bileşikler kullanılarak seramikten izolasyon malzemelerine, boya ve kozmetikten ilaçlara kadar bir çok ürün elde edilir (9, 10,11).

1.4. Kullanım Alanları

Bir çok endüstri dalında yaygın bir kullanım alanı bulan boratların önemi gittikçe artmaktadır. Bir bor ürünü bazı durumlarda bir başka bor ürününün yerini tutabilmesine rağmen, bugün için bor bileşiklerinin görevini aynı kalitede ve ucuzlukta görebilecek diğer bir ikame malı yoktur. Bu da bor ürünlerinin kullanımını artıran en önemli hususlardan biridir ve bu artış sürekli olarak devam edecektir. Öyle ki; dünyada bol kullanımı ve bundan doğan talep 1983 yılında bor içeriği olarak 321 500 ton iken yılda ortalama % 2,4'lük bir artışla 1990'da 382 500 ton, 2000 yılında ise 485 000 ton olacaktı⁴).

Dünya bor piyasasında en büyük üretici ve tüketici ABD'dir. Üretimde ABD'den sonra Türkiye gelmesine rağmen, tüketimde ikinci sırayı Batı Avrupa Ülkeleri alır. ABD'de 1984 yılında tüketilen borun yaklaşık % 59'u cam sanayiine gitmiştir. Bor malzemeleri, cam ürünlerinin ağırlıkça % 3-50'sini ve değerçe % 50-75'ini karşılamaktadır. Cama giden bor malzemelerinin de yaklaşık %31'i izolasyon fibreglaslarında, % 19'u tekstil fibreglaslarında ve % 8,66'sı ateşe dayanıklı cam ürünlerinde harcanmıştır. Sabun ve deterjanlarda kullanılan

miktar ise tüm tüketimin % 7,7'si kadar olmuştur. Bunu % 4,0'lık bir dilimle tarım sektöründe yapılan tüketim izlemiştir. Flux malzemesi olarak kullanılan bor'un tüm tüketime oranı % 1 kadardır. Lavabo, fırın, buzdolabı gibi fabrika metal ürünlerinde ise % 1,5'lük bir dilim harcanmıştır. ABD'de 1979-1984 yılları arasında bor ürünlerinin dağıldığı kullanım alanları Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 3. 1982-1984 Yılları Arasında ABD Bor Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı (bin ton B₂O₃)

Kullanım alanı	1982	1983	1984	1984(%)
Cam ürünleri				
İzolasyon fibreglasları	57,8	91,4	117,4	31,40
Tekstil fibreglasları	31,6	58,8	69,9	18,68
Borosilikat camlar	30,6	34,6	32,4	8,66
Ateşe dayanıklı malzeme	32,9	3 15	31,0	8,29
Sabun ve deterjanlar	27,0	30,4	28,7	7,67
Seramik, emaye, porselen	11,4	11,2	11,2	2,99
Tarım	10,8	14,2	15,0	4,01
Metalürji	3,4	3,5	4,1	1,10
Nükleer uygulamalar	0,7	1,1	1,1	0,29
Çeşitli kullanımlar	21,9	24,2	20,1	5,37
Bilinmeyenler	38,0	39,5	43,2	11,54,
TOPLAM	266,1	340,7	374,2	100,00

1.5. Bor Yataklarının Oluşumu ve Jeolojisi

Bor yatakları genellikle genç volkanik hareketlerin egemen olduğu kurak yörelerde oluşmuşlardır. En sık rastlanan bor oluşumları evaporit tipi yataklardır ve fay hatları ve çatlaklar boyunca ilerleyen borca zengin magmatik getirimlerin kapalı bir göl sisteminde, mevcut Na, Ca ve Mg iyonlarıyla etkileşerek çökelmeleri sonucu oluşmuşlardır. ABD'nde olsun Türkiye'de olsun büyük ve önemli bütün bor yatakları bu genel kurala uygun olarak oluşmuşlardır.

Türk kolemanit ve tinkal yataklarının jeolojisi bölgeden bölgeye değişmektedir. Bununla birlikte genel olarak borat oluşumları için yan kayaçlar kil, marn, şeyl ve daha az oranda bentonit, tüfler, kireçtaşlarıdır.

Bigadiç yatağı tersiyer volkanik hareketleriyle birlikte borca zengin gazlar tarafından oluşturulmuş olabilir. Ayrıca Emet ve Kırka'daki yataklar, şeyllerle birlikte borca zengin doygun sular tarafından oluşturulmuş olabilirler.

Emet bölgesi kolemaniti için öne sürülen bir kuramda, önce üleksit ve boraksın çökelediği, yer derecede örtülüp ısı ve basınç gibi koşulların değişmesiyle ve tuzlu suların bu yataklarda dolaş-

ması sonucu üleksit ve boraksın kolemanite dönüştüğü savunulmaktadır. Fakat son araştırmalarda, üleksitle birlikte büyümüş ya da üleksitin yerini almış kolemanite hiç bir yerde rastlanmamıştır. Dolayısıyla Emet'deki yataklanmanın Death Walley'deki ile aynı olduğu ve üleksit ve tinkalin kolemanite dönüştüğünü savunan kuram reddedilmektedir. Ca-borat nodüllerinin (kolemanit), göller ve termal kaynaklarla yer üstü suları tarafından beslenen, sismik bakımdan aktif bölgelerde olduğu savunulmaktadır. Yatağın içerdiği bor, arsenik ve kürtün kaynağı tersiyer volkanik hareketlerine ait olan ayrışım ürünleridir ve bu alanlara akarsular tarafından taşınmışlardır(14,15,16).

ABD yatakları genellikle tuz bölgelerinde oluşmuşlardır. Bugün üretimde, çökelmiş bulunan cevher mostraları işlendiği gibi göllerdeki tuzlu suların kendileri de kullanılabilirlerdir.

Boron'daki masif kramer yatağı yüksek tenörlü kernit üzerini kaplayan kristal tinkal cevherinden ibarettir ve bunlar bir üleksit halesiyle çevrelenmişlerdir. Oluşum düzensiz yayılan 3,2 km uzunluğunda 0,8 km genişliğinde ve 24,4-76 m kalınlığında yassı bir küttedir. Yatak temel akıntılarla beslenen bir miosen gölünde oluşmuştur. Nispeten saf boraks ve alüvyon taşları ard arda çökelmişlerdir. Örtü tabakası şeyi, kumtaşı, konglomeralar ve tuf tabakalarından ibarettir.

Searles gölü yatakları Pleistosen zamanında oluşmuştur ve çamurlarla örtülü yüzeyde 106 km² alan kaplar. Çamur tabakasının altında 23 m üst tuz tabakası, 3,5 m su geçirmez çamur, 10,6 m alt tuz tabakası yer alır. Yatağın beşte ikisini tabakalara göre değişen oranlarda ve boşluklara nüfus etmiş doygun sular oluşturmuştur. Bu suların kimyasal analizi % 1-2 boraks, % 3-4 soda külü, % 3-4 sodyum sülfat ve % 16-17 sodyum klorittir.

Death Walley'deki Furnace Creek yatağı birincil mineral olarak sodyum ve kalsiyum borat içeren üleksit-probertit cevherinden oluşmuştur. Sodyumun çözündürülmesi sonucu geride kalan kalsiyum borat kolemaniti oluşturmuştur. Bu da yataktaki ikincil mineraldir. Çok sayıda fay olmasından dolayı madenin durumu kompleksleşmektedir. Yatağın dalımı 10-70° arasındadır ve 450 m'ye kadar olan derinliklerde cevhere rastlanabilir (1,16).

SSCB'ndeki Inder yatakları mozaik ve sedimanter kayalarla oluşturulan basınçla itilen 259 km²'lik permiyen tuz kubbesi üzerinde yataklanmıştır ve jips ile kumun yerini almıştır. Ülke aynı

zamanda volkaniklerle birlikte oluşmuş olan göl ve skarn tip yataklara da sahiptir.

Güney Amerika'da Arjantin, Şili, Bolivya ve Peru'nun ortak sınırlarının 885 km'lik bölümü boyunca 40'dan fazla borat yatağı oluşmuştur. "Salares" olarak da bilinen playalarla (tuz tabakaları) doldurulan kütetlerden oluşturulan bu yataklar üleksit ve az miktarda çamurlar, şiltler ve halitle jipslerle birlikte oluşmuş tinkal mineralinden ibarettir. Hala sıcak gazlarla suların çıktığı volkanik bacalar, bor kaynakları olarak göze çarparlar(4).

1.6. Rezervler

Dünya bor rezervlerine ilişkin kesin veriler elde etmek son derece güçtür. Yapılan her yeni arama ve her yeni sondaj rezerv değerlerini biraz daha artırmaktadır. Dolayısıyla yayınlanan her yeni veri bir öncekini tutmamaktadır. Bunun yanı sıra her ülke kendi rezervleri için oldukça iyimser rakamlar ileri sürerken diğerlerinin için tutucu davranmaktadır. Bu nedenle farklı kaynaklardan alınan veriler karşılaştırılmış ve gerçeğe yakın bir rezerv çizelgesi oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Mineral Facts and Problems, Industrial Minerals and Rocks ve Etibank kayıtları incelenmiş ve düzeltilmiş rezerv değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Bu arada Türkiye bor rezervlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 5'de görülmektedir(4,10,11,17,18).

Çizelge 4. Düzenlenmiş Dünya Bor Rezervleri Tablosu (milyon ton B₂O₃)

Ülke	Türkiye	ABD	G.Amr.	SSCB	Çin	Toplm.
Rezerv	515,5	230	100	150	40	1035
%	49,8	22,2	9,7	14,5	3,8	100,0

Çizelge 5. Türkiye Bor Rezervleri (milyon ton)

Bölge	Rezerv (TL ivönan)	%	Tenor (% B ₂ O ₃)	Rezerv (B ₂ O ₃)
Bigadiç-Balıkesir	65,7	36,4	30-40	197 -263
Kırka-Eskişehir	520	28,8	25-26	130 -135
Emet-Kütahya	620	34,4	30-40	186 -248
Kestelek-Bursa	8	0,4	30-35	2,5- 2,8
Toplam	1805	100,0		515,5-648,8

2. ÜRETİM VE TEKNOLOJİ

Dünya bor piyasasında bugün için adı geçen ülkeler, ABD, Türkiye, SSCB, Arjantin, Çin, Şili ve Peru'dur. Bu ülkeler dünya bor mineralleri üretimi-

nin hemen hemen tümünü gerçekleştirmektedirler (Çizelge 6). Ayrıca görülmektedir ki, ABD ve Türkiye'nin üretimlerinin toplamı dünya üretiminin % 92'si kadardır. Bundan dolayı dünya bor piyasası bu iki ülkenin egemenliği altındadır. Diğer ülkeler genel olarak kendi ihtiyaçları kadarını üretmektedirler. Buna rağmen cevher satışı yapsalar dahi satışlar çok düşük seviyelerde gerçekleşmektedir.

Çizelge 6. Dünya Bor Mineralleri Üretimi (bin ton B_2O_3) (4,12,13,22)

Ülke	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1985
	W						(%)
Türkiye	318	346	281	321	390	417	36,87
ABD	783	740	607	637	680	630	55,70
SSCB	40	40	40	44	44	44	3,89
Çin	6	6	6	6	6	6	0,53
Arjantin	33	26	29	22	26	30	2,65
Şili		1	1	1	1	1	0,09
Peru	4	3	3	3	3	3	0,27
Toplam	1186	1162	968	1034	1150	1131	100,00

(t): Tahmini

2.1. ABD'nde Üretim ve Teknoloji

ABD'nde bor bileşikleri üretim teknolojisi son derece modern yöntemlerle yapılmaktadır. ABD bor madenciliğinin Türkiye bor madenciliğinden en büyük farkı borun elde edildiği kaynaklarda yatmaktadır. Türkiye'de sadece cevherden üretim yapılırken ABD'nde cevherlerin yanısıra tuzlu göl sularından da üretim yapılmaktadır. Bu şekilde üretime en iyi örnek ABD San Bernardo'daki Searles gölü sularından üretim yapan Kerr-Mc Gee Chem. Corp.'a ait Trona tesisidir. Bu tesiste bor bileşikleri üretmek için 3 ayrı proses uygulanmaktadır. Daha alt ve daha üst katmanlardan tesise alınan tuzlu sularla zayıf göl suları ayrı ayrı işlenmesine rağmen, temel proses kimyasal faz kanunlarına dayanan kristalizasyon işlemidir. Bu işlem sayesinde ürünler birbiri ardına ve zincirleme olarak alınır. Tesiste üretim kesiksizdir ve ürünler her gün bu işlemin tekrarlanmasıyla sürekli olarak üretilir. Trona tesisinde uygulanmakta olan 3 prosesden ilki, üst kısımlardaki tuzlu sulardan potas, soda külü ve sodyum sülfatın elde edildiği buharlaştırma veya "Trona" prosesidir. Trona prosesi oldukça karmaşık bir işlemdir ve bir çok ürün arka arkaya belirli kimyasal fazların oluşturulması sonucu aşamalı olarak kristalleştirilmektedirler. İkinci işlem ise karbonasyon işlemidir ve daha aşağı katmanlardan alınan tuzlu sulardan soda külü ve boraks elde etmekte kullanılır. Son proses ise solvent ekstraksiyondur ve bu yöntemle zayıf göl tuzlu sularından

borik asit, sodyum sülfat ve potasyum sülfat kazanılır. Sodyum klorit ve artık tuzlu sular göle geri verilirler.

Kerr-Mc Gee'nin Westend Tesisinde de karbonasyon prosesi kullanılır. Bu yöntemle kireçtaşı kalsine edilerek CO_2 elde edilir. Bu gaz daha sonra karışık tuzlu sulardan soda külünü çöktirmede kullanılır. Reaksiyona uğramış olan sular tükenerlerden ve ısı değiştiricilerden geçerler. Sonuçta boraks, soğuk tuzlu suların girişiyle nötralizasyona uğrar ve kristalleştirilir. Daha fazla soğutulduğunda, tuzlu sulardan sodyum sülfat kristallenir. Buradan elde edilen boraks, borik asit üretimi için kullanılmaktadır. Trona tesisinde işlemler için gerekli olan su 175 kaynaktan dakikada 37 850 lt olarak pompalanırken Westend tesisinde 23 kaynaktan 15 140 litre/dak'lık bir debiyle pompalanan su kullanılmaktadır.

US Borakx Chemical Corp. ise 1957'de yeraltı işletmeciliğinden açık ocak üretimine geçen Boron'daki Kramer yatağını işletmektedir. Ocak 1609 m uzunluğunda, 800 m genişliğinde 152 m derinliğindedir. Çıkarılan tinkal cevheri konveyörle komşu rafinasyon tesisine nakledilmektedir. Cevherin rafinasyonu için boraks likörü suyun kaynama noktasına kadar ısıtılır ve tesiste dolaştırılır. Daha sonra artıkların uzaklaştırılması amacıyla tükenerleme ve yıkama işlemi yapılır. Elde edilen temiz solüsyon vakumda kristalleştirilir. Bu işlemlerde ham ve rafine pentahidrat, susuz boraks ve rafine boraks dekahidrat kesiksiz olarak üretilir.

Amerikan Borate Corp.'a ait Death Valley'deki Billie Madeninden elde edilen kolemanit cevheri, Nevada-Lathrop Wells yakınlarındaki flotasyon ve kalsinasyon tesisine gönderilir. Kırılmış kolemanit cevheri çevredeki kuyulardan alınan suyla yıkanır ve daha sonra kil ve şeyi partiküllerinden flotasyonla ayrılarak B_2O_3 tenörü % 20'den % 37'ye çıkarılır. Daha sonra uygulanan kalsinasyon işlemiyle de kil taneleri şişerek ufalanırlar ve bir hava siklonuyla cevherden ayrılırlar. Kalsinasyon sonucu % 43 B_2O_3 içeren bir kolemanit konsantresi elde edilir(16,19,20,21).

2.2. Diğer Ülkelerde Üretim ve Teknoloji

ABD ve Türkiye dışındaki diğer ülkeler için elimizde şu an için yeterli veri bulunmamaktadır. Bundan dolayı buralarda yapılan madencilik ve üretim teknolojisi hakkındaki bilgilerimiz çok sınırlıdır.

SSCB'ndeki borat rezervleri başlıca magnezyum borat cevherlerinden ibarettir. En önemli cevherleşmeler Inder yataklarıdır. Bunun yanısıra Baykal gölü yakınlarında da yeni yataklar keşfedilmiştir. SSCB üretimi ülke içi tüketimi karşılayabildiği gibi bir miktar da Japonya'ya ihracat yapmaktadır.

Üç Güney Amerika ülkesi, And Dağlarındaki yataklardan borat üretimi yapmaktadırlar. Fakat bu üç ülkenin üretimleri toplamı çok küçüktür. Arjantin'de iki şirket tinkal ve üleksit yataklarını işletmektedir. Bu şirketler Boroquimica Limitada (Rio Tinto Zinc) ve Cia Productora de Borates' dir. Şili'de Jorge Pareschi'nin sahip olduğu VTinera Ascotan ülkede şu anda üretim yapan tek kaynaktır. Boraks ve borik asit üretimi için üleksit kullanılır. Peru'da ise ülkenin güneyinde Arequipa'da iki şirket tarafından (Borates del Peru SA ve Boroquimica S.A) üleksit üretilmektedir. Elde edilen cevher ülke içinde cam üretiminde kullanılmaktadır.

Merkezi Güney Çin, Kuzey Tibet ve Çin'deki Tsinhai borat içeren yarı kuru playa göllerine sahiptirler. Tsinhai bölgesindeki Tsaidan küveti ve Iksaydam gölü önemli örneklerdir. Ancak Çin'de üretilen borat cevheri ülke tüketimi için yetersizdir. Bu, Çin'in ABD'nden yaptığı dışalımındaki artıştan da açıkça anlaşılmaktadır(4,17).

2.3. Türkiye'de Üretim ve Teknoloji

Türkiye rezervler yönünden dünyanın en zengin ülkesi olmasına rağmen Çizelge 6'dan da görülebileceği gibi üretimde ABD'nden sonra gelmektedir. Bunun nedeni ABD'nin aynı zamanda dünyanın en büyük tüketicisi olmasıdır. Öyle ki, bu ülke ürettiği boratların yaklaşık % 55'ini kendisi tüketmektedir. Kendi içinde bu kadar tüketim yapan bir ülkenin bir de dışsattım yaptığı miktar düşünülürse, üretimde önde gelmesi doğal karşılanmalıdır.

Oysa Türkiye için durum farklıdır. Türkiye'nin teknolojisinin çok ileri olmaması nedeniyle tüketimi azdır ve üretim doğal olarak dışsattıma yöneliktir. Fakat burada da pazarlama sorunları çıktığı için üretim nispeten düşük bir seviyede kalmaktadır.

Bu gibi faktörlere rağmen Türkiye'nin borat üretimi giderek artmaktadır ve 1970'lerde 600 bin ton olan üretim 1985'de 1,5 milyon ton seviyesine çıkmıştır (Çizelge 7).

Çizelge 7'den de görüldüğü gibibu gelişme hiç de küçük değildir. 15 yıllık bir sürede üretim % 240'

Çizelge 7. Türkiye'nin Bor Mineralleri Üretimi(*)
(bin ton)

Yıllar	Devlet	Özel	Toplam
1971	258	351	609
1972	295	328	622
1973	187	339	526
1974	601	479	1081
1975	652	313	964
1976	640	272	912
1977	652	498	1101
1978	857	462	1320
1979	1048	124	1172
1980	1334	—	1334
1981	1529	—	1529
1982	1375	—	1375
1983	1199	—	1199
1984	1412	—	1412
1985	1537	—	1537

(*) DİE Maden İstatistikleri 1971-1985

dan fazla artmıştır ve pazarlama olanakları sağlandığında daha da artırılabilir. Etibank bu üretimi 4 bölgeden gerçekleştirmektedir. Bu bölgeler, zenginleştirme ve rafinasyon tesisleri ile kapasiteleri Çizelge 8'de verilmiştir. Şekil 1'de de Türkiye'deki bor dolaşımı özetlenmiştir.

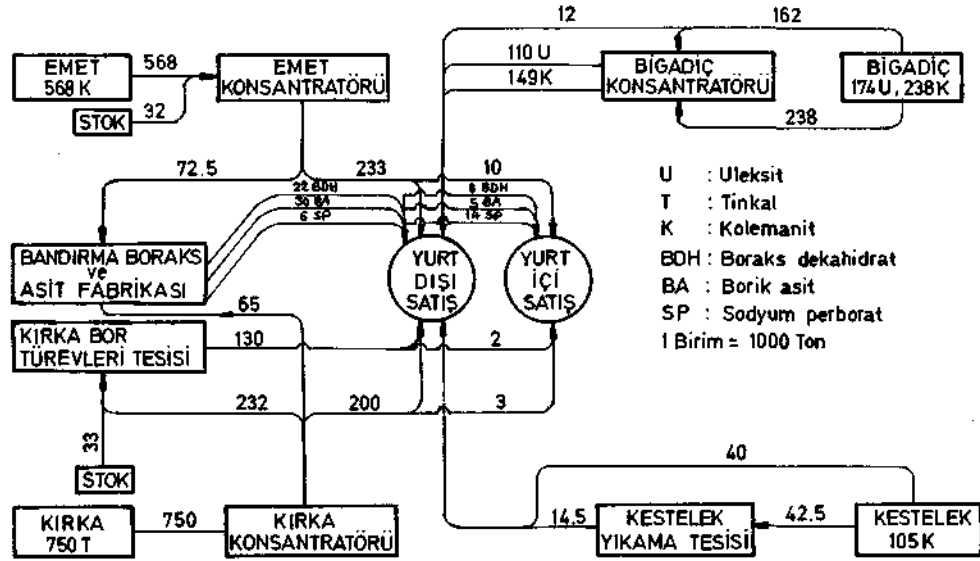
2.3.1. Maden İşletme Tesisleri

2.3.1.1. Emet Kolemanit işletmesi

Kütahya ilinin Emet ilçesinde bulunan sahalar 1958 yılında Etibank tarafından devralınmıştır. Şu anda müesseseye bağlı olarak çalışan iki yeraltı bir açık ocak vardır. Yeraltı ocakları Emet yakınlarında Espey'de, açık ocak ise Emet'e 12 km uzaklıktaki Hisarcık yakınındadır. Yeraltı işletmesindeki iki ocakta, ilerletimli, kısmi rambelli göçertmeli uzun ayak yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Ocaklarda kısmen mekanizasyona gidilmiştir. Cevher Eski Espey ocağından bantlı konveyörle dışarı alınmaktadır. Yeni Espey ocağından ise dışarıya vagonlarla taşınmaktadır. Yeraltı ocaklarından yılda 75 bin ton kadar cevher üretilmektedir ve bu cevherin tenörü % 40 B₂O₃ dolayındadır. Hisarcık Açık İşletmesinde ise yılda 500-600 bin ton cevher üretimi yapılmaktadır ve cevherin tenörü % 27 B₂O₃ kadardır. Cevher delme-patlatma yöntemiyle gevşetilmekte ve daha sonra ekskavatörle kamyonlara yüklenmektedir. Ocakta örtükazı ve üretim aynı anda olmaktadır. Örtükazıda iki, üretimde ise

Çizelge 8. Etibank'a Bağlı Müesseseler ve Bunlara Bağlı Tesisler

Müessese	Tesisler	Ürün	Kapasite (ton/yıl)
Emet Kolemanit İşletmesi	Yeraltı ve açık ocaklar, Konsantratör	Kolemanit cevheri Kolemanit konsantresi	450.000
Bigadiç Madenleri İşletmesi	Yeraltı ve açık ocaklar, Konsantratör	Kolemanit ve üleksit cevheri Kolemanit ve üleksit konsantresi	400.000
Kırka Boraks İşletmesi	Açık ocak Konsantratör Bor türevleri tesisi	Tinkal cevheri Tinkal konsantresi Boraks dekahidrat Boraks pentahidrat Susuz boraks	400.000 17.000 160.000 60.000
Bandırma Boraks ve Asit Fabrikaları	Borik asit tesisi Boraks tesisi Sodyum perborat tesisi Sülfürik asit tesisi	Borik asit Boraks dekahidrat Sodyum perborat Sülfürik asit	25.000 55.000 20.000 120.000
Kestelek Bor Madenleri İşletmesi	Yeraltı ve açık ocaklar	Kolemanit ve probertit cevheri	



Şekil 1. Türkiye'de bor dolaşımı.

bir ekskavatör kullanılmaktadır. Aslında ocak daha fazla üretim yapabilecek kapasitede olmasına rağmen, konsantratörün kapasitesinin düşük olması nedeniyle üretim sınırlanmaktadır.

2.3.1.2. Kırka Boraks İşletmesi

Eskişehir'in Seyitgazi ilçeki Kırka bucağında bulunan işletme sahaları 1968 yılında Etibank tarafından, İngiliz Boraks Consolidated Ltd. şirkete-

tinden devralınmıştır. Sahadaki tinkal cevherinin çıkarılması ve işlenmesi amacıyla 1969 yıllarında proje çalışmalarına başlanmıştır. 1970 yılında da bir konsantratör kurulması için faaliyete geçirilmiştir. Kırka Boraks işletmesinin maden ve konsantratör tesislerinin yapımı 1974 yılında tamamlanmıştır. Kırka maden işletmesinin cevher üretim kapasitesi yılda % 26-27 B₂O₃ tenörlü 600 000 ton cevherdir. Üretim esnasında ekskavatör kamyon kombinasyonu kullanılmaktadır.

2.3.1.3. Bigadiç Kolemanit İşletmesi

Balıkesir Bigadiç ilçesinin 15 km kadar kuzeyinde Yeniköy yakınlarında bulunan işletme 1976 yılında faaliyete geçmiştir.

Bigadiç havzasındaki kolemanitin arsenik içeriği çok düşük, hatta eser haldedir. Bu özelliği nedeniyle cevherin kalitesi ve önemi artmakta ve bor piyasasında aranır hale gelmektedir. 1976 yılında, eskiden özel sektörce işletilmekte olan yeraltı ocağından cevher istihsaline başlanmıştır. Daha sonra 1977'de yapılan etüt sonucunda en rantabl işletme yönteminin açık ocak işletmeciliği olduğu anlaşılmıştır. Bunun üzerine 1977 yılı ortalarında örtükazı işlemlerine başlanmıştır. Bugün çalışan 6 yeraltı ve 1 açık ocak vardır ve ocaklardan yılda ortalama 450 000 ton tuvönan cevher üretilmektedir.

2.3.1.4. Kestelek Kolemanit İşletmesi

Bu işletmede diğer işletmelere nazaran çok küçük seviyede bir üretim söz konusudur (Şekil 1). Üretilen cevher yataklanma durumuna göre kolemanit, üleksit ve probertit olabilmektedir.

2.3.2. Konsantratör Tesisleri

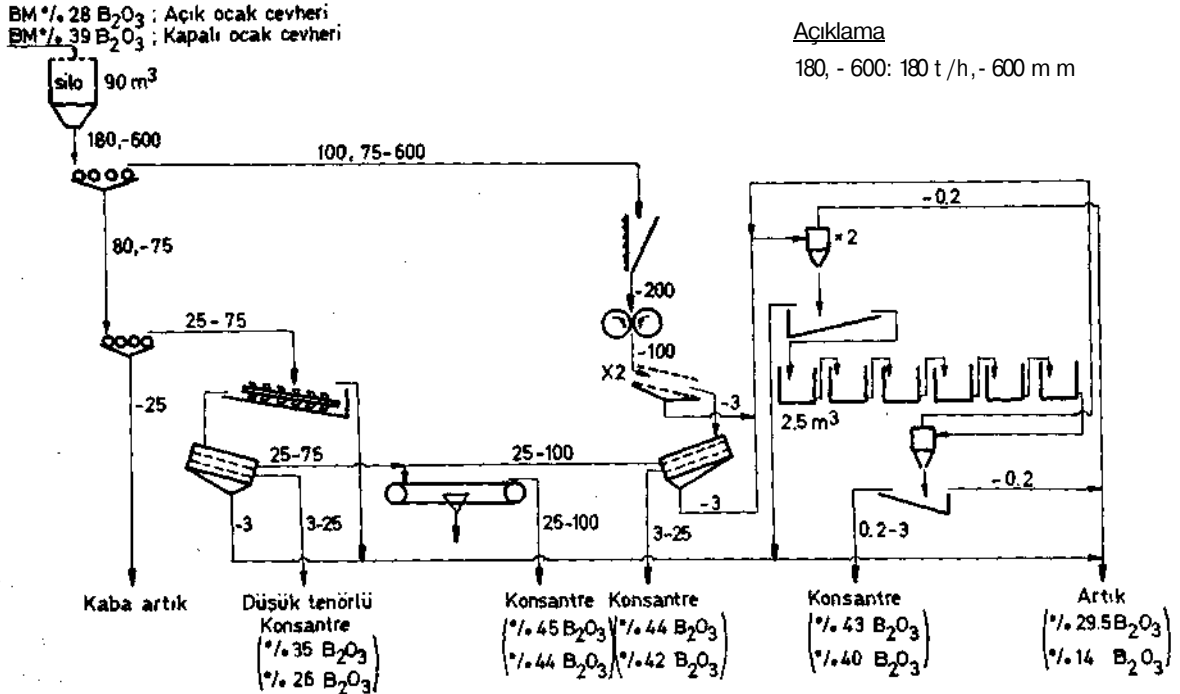
2.3.2.1. Emet-Hisarçık Konsantratörü

Yeraltı ve açık ocaklardan gelen % 40 ve % 27 B_2O_3 tenörlü kolemanit cevheri tesisde ayrı ayrı iş-

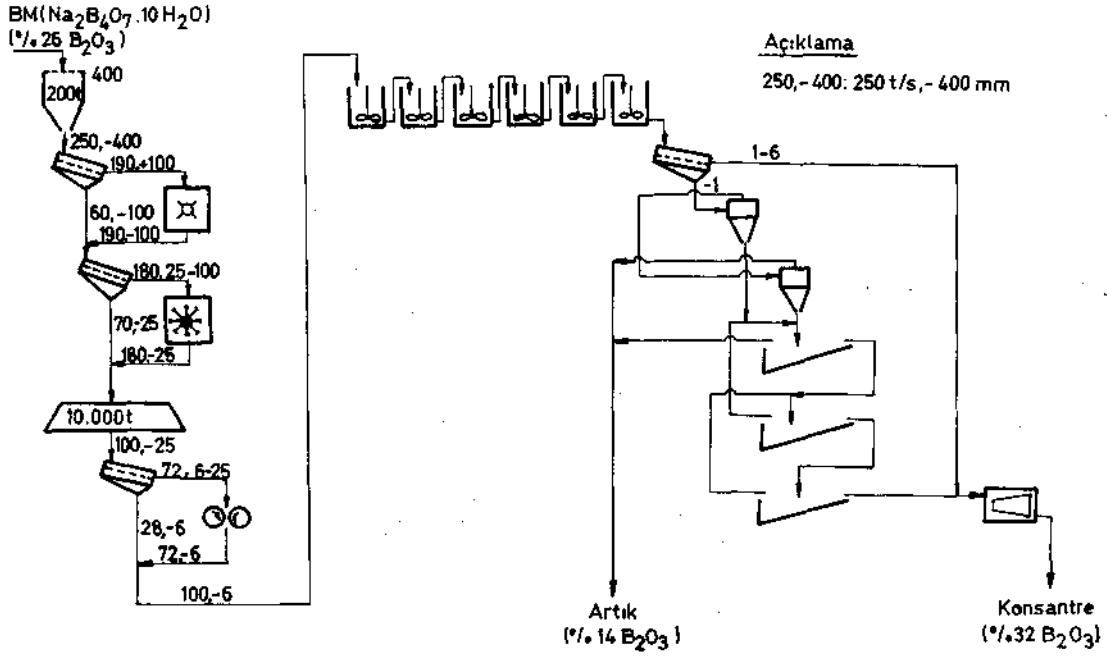
lenmektedir. Silodan alınan cevher 75 mm'lik bir kalibreli elekten geçirilerek ikiye ayrılmakta ve -75 mm'lik kısım 25 mm'lik ikinci bir kalibreli eleğe verilmektedir. Bu eleğin altı atılırken, üstü kütük yıkayıcıda yıkanarak çift katlı bir eleğe beslenmektedir. Bu elekten alınan 3-25 ve 25-75 mm'lik ürünler konsantre olarak depolanırken, -3 mm'lik kısım atılmaktadır. 75 mm'lik kalibreli eleğin üstü kırılarak -100 mm boyutuna indirilmekte ve iki adet tüplü yıkayıcıdan geçerek çift katlı bir titreşimli eleğe verilmektedir. Elekten alınan 25-100 ve 3-25 mm'lik ürünler konsantre olarak depolanırken elek altı olan -3 mm'lik kısım siklon-klasifikatör ve skrayberlerden oluşan yıkama devresine pompalanmaktadır. Burada -0,2 mm'lik kısmın uzaklaştırılması ile 0,2-3 mm'lik bir ince konsantre elde edilmektedir. Devrenin genel akışı Şekil 2'de görülmektedir. Tesisde yılda 300 bin ton % 40-50 tenörlü kolemanit konsantresi üretilmektedir.

2.3.2.2. Kırka Konsantratörü

Açık ocağın konsantratöre gelen % 26-27 B_2O_3 tenörlü tinkal cevheri kırıcılarda -25 mm'ye kadar kırılır. Daha sonra stok binasına taşınan cevher buradan bir titreşimli eleğe verilir. Elekte tikinerlerden alınan su ile yıkanır. Cevher içindeki manyetik parçalar tamburla tutulurlar. Titreşimli eleğin altı -6 mm boyutundadır ve alt kısımdaki havuzda toplanır. Elek üstü ise +6 -25 mm boyutlarındadır ve tekrar kırılmak üzere III.



Şekil 2. Etibank Emet konsantratör tesisi akım şeması.

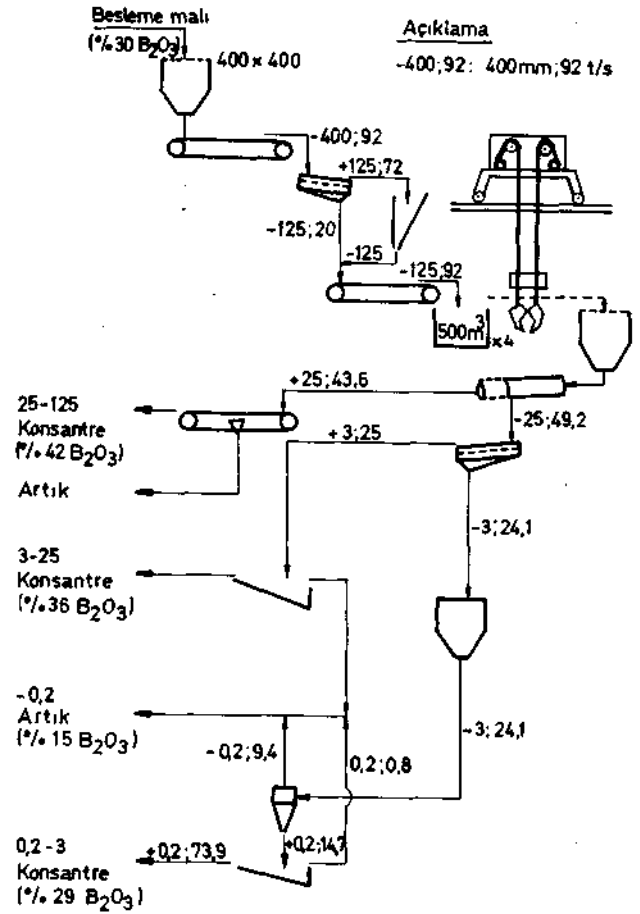


Şekil 3. Etibank Kırka Boraks İşletmesi Müessesesi konsantratör tesisi akım şeması.

kademe kırma devresine gönderilir. Burada kırılan cevher de -6 mm boyutundadır ve havuzda bulunan titreşimli elek altıyla birleştirilerek skraybere verilir. Burada cevherdeki kil ve diğer bir kısım empüriteler çözünerek ayrılırlar. Daha sonra vibrör eleğe gelen malzemeden -1 mm'lik parçalar ayrılarak alttaki havuzda toplanırlar. Elek üstü ise santrifüjlere verilir. Biri yedek olmak üzere üç santrifüj vardır. Sızıntı sular aşağıda bir havuzda toplanırlarken, sarsıntılı santrifüjde nemi % 4'e inen malzeme dona karşı izole edilmiş olan silolara verilir. Havuzda toplanan -1 mm'lik kısım ise klasifikatörlerde yıkandıktan sonra yine santrifüjlere verilir. Konsantratör tesisi yılda 400 000 ton % 34 B₂O₃ tenörlü tinkal cevheri üretecek kapasitededir. Tesisin genel akış şeması, Şekil 3'de görülmektedir.

2.3.2.3. Bigadiç Konsantratörü

Açık ocaktan gelen tuvönan cevher, konsantratörde kırılarak havuzlara verilmektedir. Burada, cevherin içindeki kil yumuşamakta ve havuz içindeki hareketli paletler vasıtasıyla cevherden ayrılmaktadır. Buradan alınan cevher bir kez de tromelde yıkılarak titreşimli eleğe verilmektedir. Titreşimli elekte -125 +25 ve -25 +3 mm ile -3 mm olarak sınıflandırılan cevherden ilk iki sınıf silolara verilirken, -3 mm klasifikatöre verilmektedir. Klasifikatörde -0,2 mm'lik kısmın uzaklaştırılmasıyla elde edilen -3 +0,2 mm'lik cevher de siloya nakledilmektedir. Tesis yılda 400 bin ton konsantre üretecek kapasitededir (Şekil 4).

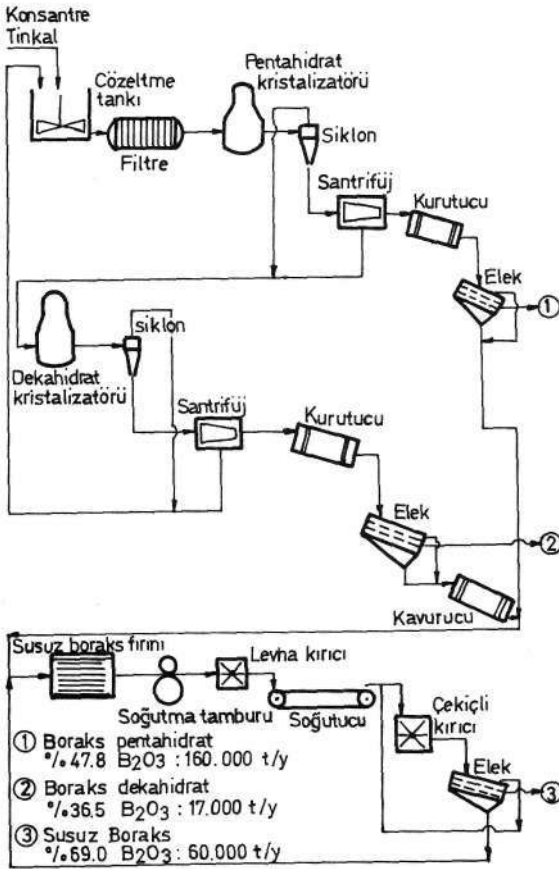


Şekil 4. Bigadiç konsantratör tesisi akım şeması.

2.3.3. Rafinasyon Tesisleri

2.3.3.1. Kırka Bor Türevleri Tesisi

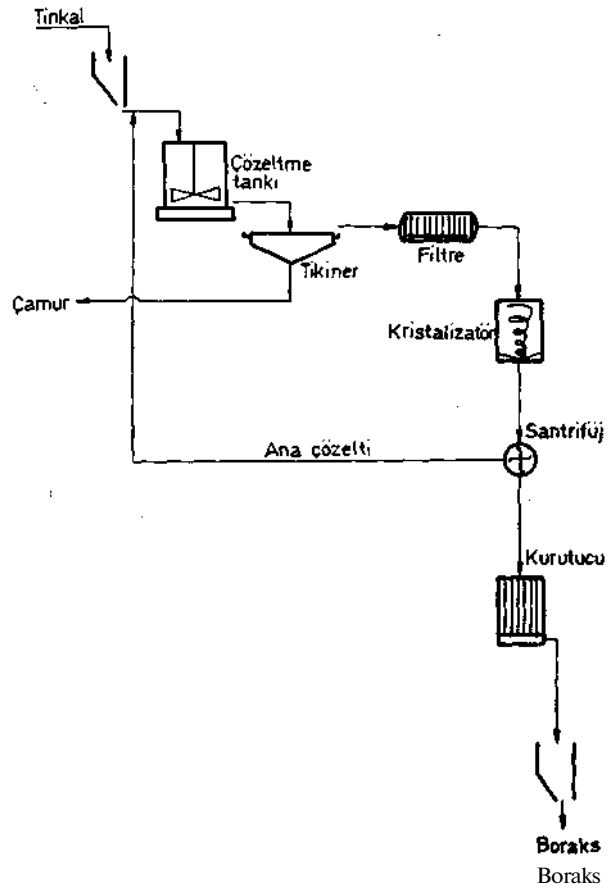
Proje çalışmalarına 1972 yılında başlanan tesisin açılışı 1984 yılında yapılmıştır. Projeye göre % 34,5 B₂O₃ tenörlü tinkal konsantresi işleyerek yılda 160 bin ton boraks pentahidrat, 17 bin ton boraks dekahidrat ve 60 bin ton susuz boraks üretmesi planlanmıştır. Tesiste üretim 98°C'de yapılan çözündürmeyi takiben uygulanan filtrasyon ve kristalizasyon ile bor türevleri elde edilmesine dayanmaktadır. Bu amaçla suda çözündürülen cevher önce filtrasyonla çözünmeyen artıklardan ayrılmakta, elde edilen temiz solüsyon pentahidrat ve dekahidrat kristallerinden geçirilerek boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat kristallendirilmektedir. Bu kristaller santrifüjlenip kurutulmakta ve elenerek satışa sunulmaktadır. Elek altından alınan ürünler susuz boraks fırınında ergitilmekte ve elde edilen camsı yapıdaki susuz boraks kırılıp elenerek satışa sunulmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Kırka bor türevleri tesisi akım şeması.

2.3.3.2. Bandırma Boraks Tesisi

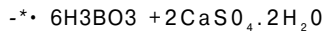
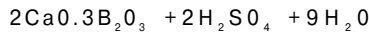
Kuruluş çalışmalarına 1964 yılında başlanmış ve 1968 yılında hizmete girmiştir. Kapasitesi 55 bin ton/yıl'dır. Uygulanan proses Kırka'dan gelen tinkal cevherinin 98 C'deki sıcak suda çözündürülmesi, çözünmeyenlerin tikiyelerde ve filtrelerde ayrılması ve elde edilen temiz çözeltiden 35°C'de boraksın kristalizasyonu olarak özetlenebilir. Elde edilen boraks kristalleri daha sonra santrifüjlenerek kurutulmakta ve 50 kg'lık torbalarda satışa sunulmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Bandırma boraks tesisi akım şeması.

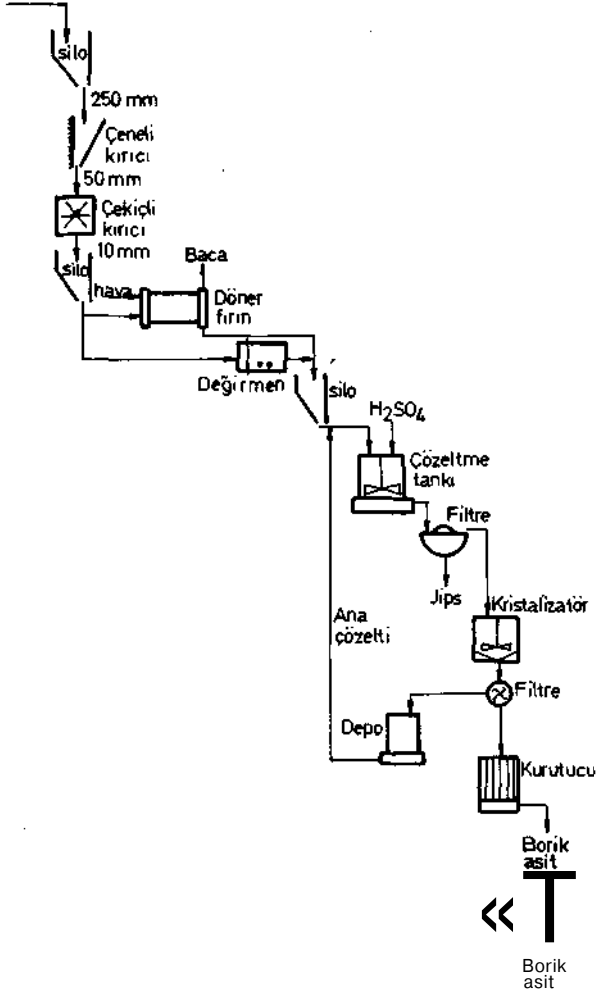
2.3.3.3. Bandırma Borik Asit Tesisi

Kuruluş çalışmalarına boraks tesisiyle başlanmış ve aynı yıl devreye girmiştir. Kapasitesi 35 000 ton/yıl olan tesiste kalsine kolemanit cevheri ile sülfürik asit birlikte reaksiyona sokularak aşağıdaki reaksiyona göre borik asit üretilmektedir.



Kesikli yöntemle çalışan tesiste % 43 B₂O₃ tenörlü kolemanit konsantresi kırılıp öğütülmekte ve

kalsine edilerek reaktöre verilmektedir. Reaktörde 100°C'de %96'lık sülfürik asitle reaksiyona giren cevher borik asit oluşturarak çözelmektedir. Bula- maç filtrelenerek çözünmeyenlerden ayrılmakta ve kristalizatöre verilmektedir. Oluşan borik asit kristalleri santrifüjlerde çözültiden ayrılarak kuru- tılmakta ve 50 kg'lık torbalar halinde satışa sunul- maktadır (Şekil 7).

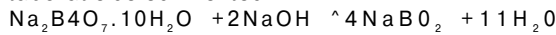


Şekil 7. Bandırma borik asit tesisi akım şeması.

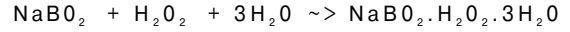
2.3.4.4. Bandırma Sodyum Perborat Tesisi

Sodyum perborat fabrikasının inşasına 1972 yı- lında başlanmış ve tesis 1975 yılında tamamlana- rak hizmete girmiştir. Yılda 20 bin ton sodyum perborat üretim kapasitesine sahiptir.

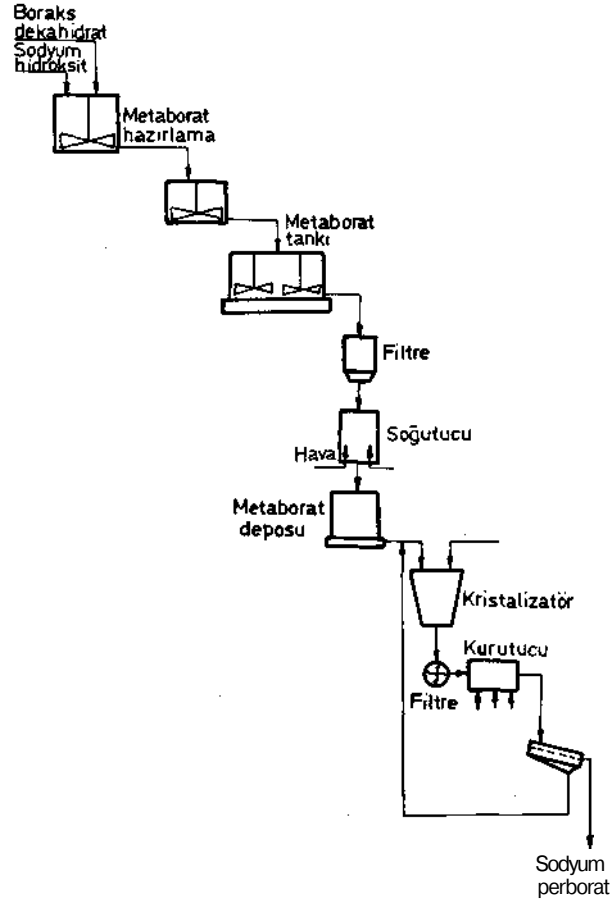
Uygulanan prosese göre boraks önce sodyum hidroksitle reaksiyona sokularak ilk aşamada me- taborat elde edilmektedir.



Daha sonra yapılan katıları uzaklaştırma işle- minin ardından metaborat çözeltisi kristalizatörde hidrojen peroksit ile reaksiyona sokularak sodyum perborat kristallendirilmektedir.



Kristalleri içeren çözelti santrifüjlenmekte, kris- tallar kurutucuya verilmekte ve daha sonra elene- rek 50 kg'lık torbalar halinde satışa sunulmakta- dır (Şekil 8).



Şekil 8. Bandırma sodyum perborat tesisi akım şeması.

3. ÖNERİLER

Türkiye, bor potansiyeli açısından çok güçlü bir ülke olmasına rağmen dünya bor pazarına tam ola- rak hakim olamamaktadır. Bunun çok çeşitli ve karmaşık sebepleri olmasına karşılık, hakkı olan yerini alabilmesi için ilk aşamada yapılması gerekli girişimler basit ve belirlidir. Daha uzun vadeli önlemler ise daha çok bir devlet politikası olmak- tır. Kısa vadede tesislerin verimleri artırılabilir, cevher ve türev satışı arasında bir denge kurulabilir, bor sektörü araştırmalarına daha çok kaynak ayrı- labilir, daha nitelikli ürün üretecek tesisler devreye sokulabilir. Bunların sağlıklı bir şekilde gerçekleş- mesi için de bor başlıbaşına bir konu olarak ele alınmalı ve pazarlama, üretim, teknoloji, tüketim

gibi konularda araştırma, geliştirme çalışmalarında bulunacak ve tahminler yapacak uzmanların yetiştirileceği bir ihtisas kurumu oluşturulmalıdır.

Gerekli önlemlerin alınmasıyla, büyük pazarlara yakınlığı, kalitesi, bolluğu ve bunların sonucu ucuzluğu sayesinde Türk bor cevherlerinin rekabeti dayanılmaz olacaktır.

KAYNAKLAR

1. SHARP, L.K., "Inorganic Chemistry", Bailliere Tindall-Cox Ltd., 7-8 Henrietta Str., WC 2, London, 1962.
2. HESLOP., R.B., ROBINSON, P.L., "Inorganic Chemistry", Elsevier Publishing CO., New York, 1967.
3. TANERİ, A., "Organik ve Anorganik Bor Bileşikleri", Etibank Bülteni, Sayı 74, s. 20-28, 1985.
4. LYDAY, P.A., "Boron", Mineral Facts and Problems, 1985.
5. U.S.BORAX-CHEM. CORP., "The Story of U.S.Borax" 1977.
6. U.S.BORAX-CHEM. CORP., "100 Years of U.S. Borax", Anniversary Booklet of 100th Year of U.S. Borax, 1972.
7. KİMYA MÜHENDİSLERİ ODASI, "Boraks", Kimya Mühendisliği Dergisi, Sayı 60, Cilt 6, 1973.
8. MTA, "Bor Mineralleri-10", MTA Yayınları, Sayı 187, Ankara, 1982.
9. DOONAN, D.J., BROTHERTON, R.J., WENTORF, R.H., RUDOLPH, R.W., DUNKS, G.B., SMITH, H.D., "Boron Compounds", Kirk-Othmer, s. 67-201, 1980.
10. FERGUSON, A., MITCHELL, Y., KAMATARI, O., "Boron Minerals and Chemicals", CEH Marketing Research Report, 1982.
11. KISTLER, R.B., WARD, CS., "Boron and Borates", Industrial Minerals and Rocks, S. 473-494, 1975.
12. LYDAY, P.A., "Boron", Minerals Yearbook, 1983.
13. LYDAY, P.A., "Boron", Minerals Yearbook, 1984.
14. İZDAR, E., KÖKTÜRK, U., "Türkiye Borat Yataklarının Jeolojisi ve Yeni Saha Potansiyelleri ile İlgili Bazı Görüşler", Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik IV. Kongresi, s. 411-434, Ankara, 1975.
15. HELVACI, C, FIRMAN, R.J., "Geological Setting and Mineralogy of Emet Borate Deposits, Turkey", Applied Earth Science, Cilt 85, s. 142-152, 1976.
16. İLERİ, S. "Bor Bileşikleri", Yeryuvarı ve İnsan, s.48-66, 1976.
17. ABSALOM, S., "Boron", Mineral Facts and Problems, 1980.
18. BOR İHTİSAS KOMİSYONU, "Bor İhtisas Komisyonu Raporu" TBTA-MAG, ANKARA, 1985.
19. U.S.BORAX-CHEM.CORP., "Boron Operation of U.S. Borax", Public Relation Dept. of U.S.Borax, 1979.
20. SMITH, P.R., WALTERS, R.A., "Production of Colemanite at American Borate Corp.'s Plant Near Lathrop Wells, Nevada", AIME Annua) Meeting, Denver, Colorado, 1978.
21. GARRET, D.E., "Borax Processing at Searles Lake", Industrial Minerals and Rocks, s. 119-122, 1960.
22. "International Mining" s. 163, Ağustos 1985.