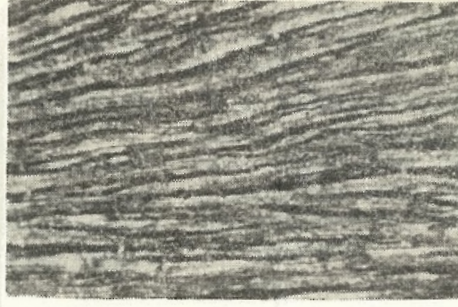


Şekil 5: Üzerinde ayrışma izleri görülen (a) ağaç kabuğu yapısı. Siyah bölümler kömür, beyaz bölümler minerallerdir. Büyütme: 150 X



Şekil 6: "Oltu Taşı"nın lifli yapısı. Siyah bölümler kömür, beyaz bölümler minerallerdir.

Büyütme: 150 X

KATKI BELİRTME

"Oltu Taşı"nın mikroskopik incelemesini yapmamı önermiş olan Prof. H.N. Pamir'i saygı ile anarım. İncelenen örneklerin alınmasında ve ocakların bulunmasında yardımcı olan General Sayın Hakkı Kaya ile, çalışmalarına bilimsel yönden katkıda bulunan Prof. Dr. Necmettin Çepel'e teşekkür ederim.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ketin, İ., 1967. Genel Jeoloji. Kısım II. İ.T.Ü. Maden Fakültesi
- Lahn, E, 1939. Havkaskış (Keçikhavkas), Müşevereh (Ortaçığmağlı) Akik ve Bayburt Taşkömür zuhuratı Hakkında Rapor. M.T.A.E. Derlemesi, Rapor No. 690. Yayımlanmamış Ankara.

Bor Bileşikleri

SALDIRAY İLERİ Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Bölümü, Ankara

GİRİŞ VE TARİHÇE:

Bor bileşikleri içinde ticari olarak en fazla önem taşıyanlar boratlardır. Bunlardan boraksın gerek doğada yaygın bulunuşu, gerekse endüstriyel kullanım alanının en çok oluşu nedeniyle, bor bileşikleri ile ilgili endüstri boraks endüstrisi; madenciliği de boraks madenciliği olarak bilinir. Boraks madenciliği ve endüstrisi, katı boratlar kadar tuzlu göl sularından ve volkan bacalarından çıkan gazlardan elde edilen bor ürünlerini de kapsar.

Bor ayrı bir element olarak ilk defa 1808 de Fransa'da Gay-Lussac, İngiltere'de Sir Humprey Davy tarafından aynı sıralarda varlığı ortaya konduğunda, bor bileşikleri bir çok uygarlıklar tarafından asırlardır kullanılıyordu. Örneğin, Mısırlılar'ın ve Mezopotamya uygarlıklarının, bazı hastalıkların tedavisinde ve ölümlerin mumyalanmasında boraks kullandıkları biliniyordu. M.Ö. 800 yıllarında Çinliler persolen cılası olarak, Himalayalar'da Babilonlar kıymetli metallerin eritilme-

sinde boraks kullanmışlardır. 2000 yıllık Arapça ve Farsça yazıtlarda borakstan söz edildiği, Sanskritçe yazıtlarda ise tinkale eş anlamda "tincana" kelimesinin kullanıldığı görülmüştür.

Modern boraks endüstrisi ise 13. Yüzyılda boraksın Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesi ile başlar. Her ne kadar kesinlikle bilinmese de bir çok kaynak boraksı Avrupa'ya getirenin Marko Polo olduğunu belirtir.

Borik asitin Tuscany (İtalya) yakınlarındaki sıcak kaynak suları içinde Franceska Lardoret tarafından varlığının saptanması 1828 de olmuştur. Daha sonra 1852 de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği Şil'de başlar, ve hemen hemen tüm dünya tüketimi bu kaynaktan karşılanır. 1864'de Kaliforniya'daki tuzlu göllerde borun varlığı saptanır ve aralıklı üretime geçilir. Her ne kadar Türkiye'deki, özellikle Sursuluk (Balıkesir) civarındaki, bor yataklarının ilkel olarak

işletildiğini kanıtlayan veriler varsa da, ilk madenciliğin 1865 de bir Fransız kuruluşunun Osmanlı Devleti'nden "İmtiyaz" almasıyla başladığı görülür. 1927 yılına kadar dünyanın çeşitli ülkelerinde dağılık ve küçük işletmeler şeklinde sürdürülen boraks madenciliği, Kaliforniya'daki boraks ve kernit yataklarının bulunması ile birden değişir ve dünya tüketiminin büyük bir kısmı bu yataklardan karşılanarak üretim denetimi ABD'nin eline geçer ve günümüze kadar sürdürülür.

Bugün bor ürünleri bir çok endüstri dalının ana hammaddesidir. Kullanım alanlarında tüketimin hızla artışı kadar, yeni kullanım alanlarının da günden güne artışı ve borun yakın gelecekte enerji üretim kaynağı olarak kullanılabilme olasılığı, bu hammaddeye diğerleri arasında bir ayrıcalık kazandırır. Bilinen dünya bor rezervlerinin %70 den daha fazlasının Türkiye'de bulunuşu, bu hammaddenin önemini bizim açımızdan daha da artırır.

MİNERALOJİ:

Tuzlu su göllerinden ve volkan gazlarından elde edilenler dışında, bor ürünleri genellikle sulu boratlardan kazanılır. Ticari önemi olan bor mineralleri şunlardır:

Boraks (tinkal):

Kimyasal bileşimi $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ olan boraks monoklinal sistemde kristallenir. Sertliği 2-2.5 arasında değişir. Özgül ağırlığı 1.7 dir. Bor içeriği %11.3, B_2O_3 içeriği %36.5 dir. Özbiçimli tek kristaller veya kristal kümeleri şeklinde, çamur ve şeyl içinde bulunabilir. Fakat, yüksek tenörlü tıknaz cevher kütlelerinde, özgül kristal yüzeylerini görme olasılığı çok azdır. Boraks taze kırılmış yüzeylerde saydamdır, fakat kısa

zamanda beş molekül suyunu kaybederek çok ince taneli, beyaz görümlü tinkalkonite dönüşür. Suda kolaylıkla çözülür ve çözülürlüğü çözeltilinin sıcaklığının artması ile artar.

Tinkalkonit:

Kimyasal bileşimi $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ olan tinkalkonit rombohedral sistemde kristallenir. Sertliği kesinlikle ölçülemez. Özgül ağırlığı 1.88 dir. Bor içeriği %14.8, B_2O_3 içeriği %47.8 dir. Tozlu tebeşir beyazı görünümündedir. Özbiçimli kristalleri bulunmaz. Kurak çöl ikliminin egemen olduğu bölgelerde, alkali su birikintilerinin kuruma yüzeylerinde yaygın olarak bulunan bir mineraldir. Boraksın suyunu kaybetmesi veya kernitin su alması ile oluşur.

Kernit (Razorit):

Kimyasal bileşimi $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ olan kernit monoklinal sistemde kristallenir. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1.95 dir. Bor içeriği %15.8, B_2O_3 içeriği %50.9 dur. Özbiçimli tek kristaller Kaliforniya'nın Kramer yataklarında gözlenmiştir. Kolay kırılan ve ince kılcal iğneciklere ayrılan saydam bir mineraldir. Soğuk suda yavaş da olsa çözülür. Kernit, Kramer yatakları için önemli bir mineral olmasına karşılık, diğer yataklarda çok az bulunur.

Üleksit:

Kimyasal bileşimi $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ olan üleksit monoklinal sistemde kristallenir. Sertliği 1, özgül ağırlığı 1.65 dir. Bor içeriği %13.8, B_2O_3 içeriği %42.9 dur. Tek ve büyük kristaller şeklinde bulunmaz. Daha çok ipek gibi ince kılcal iğnecik kümelerinden oluşmuş beyaz yumrular şeklinde bulu-

Çizelge 1: İşletilen Bor Yataklarından Bulunan Önemli Bor Mineralleri

Mineral	Kimyasal Bileşimi	B_2O_3 İçeriği %olarak
Sasolit	$\text{B}(\text{OH})_3$	54,4
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	36,5
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	47,8
Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	51,0
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	43,0
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	49,6
Priceit (Pandermit)	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	49,8
İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	37,6
Meyerhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	46,7
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	50,8
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50,5
Kurnakovit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	37,3
Szabelit	$\text{MgBO}_2 (\text{OH})$	41,6
Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13} \cdot \text{Cl}$	62,2

nur. Bu görünümünden dolayı "pamuk yumağı" veya "pamuk gülü" olarak adlandırılır.

Kolemanit:

Kimyasal bileşimi $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ olan kolemanit monoklinal sistemde kristallenir. Sertliği 4-4.5, özgül ağırlığı 2.42 dir. Bor içeriği %15,7, B_2O_3 içeriği %50.8 dir. Başka bor minerallerinin egemen olduğu yataklarda olduğu kadar, kolemanit yataklarında da killer içinde ve cevher boşluklarında iri, parlak ve saydam kristal kümeleri şeklinde bulunur. Tıkız yumrular şeklinde cevher oluşturduğunda, yumrular, çekirdekte dış doğru yayılan ışınal kristallerden oluşabilir veya düzensiz mineral kümelenmeleri şeklinde görülebilir. Suda çok yavaş, fakat sıcak HCl içinde oldukça hızlı çözülür, soğuyan çözeltide bor, borik asit (H_3BO_3) olarak ayrılır. Kolemanit ısıtıldığında suyunu kaybederek toz şekline dönüşür. Bu da kolemanitin, ısıtılıp elenmesi ile içindeki ısıdan etkilenmeyen yabancı maddelerden (özellikle killerden) temizlenmesine yardımcı olur.

Sasolit (Borik asit):

Kimyasal bileşimi H_3BO_3 olan sasolit (katı borik asit) trikonal sistemde kristallenir. Sertliği 1, Özgül ağırlığı 1.48 dir. Bor içeriği %17,5, B_2O_3 içeriği %56,4 dür. Küçük özbiçimli, beyaz ve yağlı parlak görünümüne kristaller şeklinde, doğal olarak amonyum tuzları ve kükürtle birlikte volkan bacalarında ve sıcak su kaynakları civarında bulunur. Endüstride genellikle yapay borik asit kolemanitten üretilir.

İşletilen bor yataklarında bulunan diğer önemli bor mineralleri Çizelge 1. de görülmektedir.

BORUN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ:

Element bor doğada serbest olarak bulunmaz. Yapay bor ise amorf ve kristal yapısında olmak üzere iki şekilde elde edilebilir. Amorf bor, siyah veya kahverengi toz şeklinde, kristal bor ise siyah, sert ve kırılındır.

Üç değerli bor, iyonik yarıçapının dört değerli silisten daha küçük olması, ve belki de daha önemlisi yük değerinin silikat kristalleri yapısında dengesizlik yaratması nedeniyle, mağmanın ilk kristallenmesi sırasında oluşan minerallerin kristal kafeslerinde yer alamaz. Bu nedenle de mağmanın kristallenmesinden sonraki kalıntı sıvı ve gazlar içinde zenginleşir. Böylece biz, turmalin, danburit, dumortiyerit gibi borosilikatları, granit pegmatitleri içinde ve granit dokanaklarında oluşan pnömatolitik cevherleşmelerde buluruz. Yine İskandinavya'daki alkali magmatiklerle ilgili pegmetitler içinde de borosilikatların varlığı, borun alkali mağmanın ilk kristallerinin kafes yapısında da yer alamadığını kanıtlar.

Volkanik gazlar içinde ve sıcak kaynak sularında bor miktarının yüksek olduğu, hatta bazı yerlerde ekonomik değerlere ulaştığı bilinir. Örneğin, Türkiye ve ABD'deki bor yataklarının bulunduğu bölgelerdeki sıcak kaynak sularında bor miktarı 100 ppm, in üzerindedir (İzdar ve Köktürk, 1975; Shih, 1960).

Bu gözlemler, araştırmacıları borun kaynağının mağmaya bağlı olduğu görüşünü savunmaya itmiştir. Buna karşılık, Goldschmidt (1958), sedimanter kayaların, magmatiklerden

daha çok bor içerdiğine değinerek (çizelge 2), borun mağmasal kökenli olabileceği gibi, magmatiklerle dokanak haline gelen tortullardan da türeyebileceğini ileri sürmüştür.

Borun çeşitli kayalardaki dağılımına dikkat edilecek olursa, denizel tortulların bor içeriğinin, magmatik kayalardankinden çok daha fazla olduğu görülür. Bundan çıkarılacak sonuç, denizel tortulların deniz suyundan aldıkları bor miktarının, denize karalardan taşınandan daha fazla olduğudur (Akarsularla taşınan bor miktarı çok düşüktür, Çizelge 2). Bu çelişki, denizlere karalardan taşınmanın dışında, bol miktarda başka kaynaklardan borun geldiğini kanıtlar. Bugün levha tektoniği ile ilgili çalışmalar, okyanus tabanları açılma zonlarından okyanuslara sürekli gaz ve çözeltilerin katıldığını ortaya koymuştur. Bu veri okyanuslara başka kaynaklardan gelen borun kaynağını açıklamada yardımcı olur.

BOR YATAKLARININ OLUŞUMU:

Çorak bölgelerde birikinti sularının kurumasıyla yüzeyde oluşanlar ve Sovyetler Birliğindeki tuz domu ile ilgili yataklar bir kenara bırakılacak olursa, Türkiye, ABD ve Arjantin'deki önemli bor yataklarının, Üçüncü Zaman volkanizmasının egemen olduğu kurak bölgelerdeki, kapalı akıntı sistemlerini: birikinti göllerinde yer aldığını görürüz.

Borun kolay çözülür bir element olması nedeniyle, Üçüncü Zaman'dan daha önceki volkanizmanın yaygın olduğu bölgelerde bor yataklarının günümüze kadar korunmuş olması beklenemez. Örneğin, Güney Afrika, Kuzeydoğu Amerika, İskandinavya ve Avustralya'da Paleozoik ve daha yaşlı çok yaygın volkanitler olmasına karşılık bor yataklarının bulunmaması bu olguyu kanıtlar. Diğer taraftan, günümüze kadar süren genç volkanizmanın egemen olduğu, fakat yine aynı ölçüde yağışların da bol olduğu Alaska, Japonya ve İtalya gibi ülkelerde de bor oluşumlarına rastlanmaz.

Yeryüzünde bilinen en yaygın bor yatakları, sodyum, kalsiyum ve magnezyum boratlardan oluşan tabakalı evaporitlerdir. Bugün bu tip yatakların kapalı göllerde biriken borca zengin suların buharlaşması sonucu oluştuğu bütün araştırmacılar tarafından benimsenmiştir. Bu ortamlarda evaporitlerin oluşması termodinamik koşulların gerektirdiği sırayı izler. Örneğin, karbonatlar ilk çökelenlerdir; bu nedenle tabanda yer alırlar ve çökme alanının dış sınırlarını belirleyen kesimlerde gözlenirler. Buharlaşma ilerledikçe, ortamdaki tuz derişimi artar ve gölün boyutları da küçülür, Bu nedenle en son çökelen sodyum ve potasyumlu tuzlar orta yerde birikir. Örneğin, Searles Gölü'nde bu dizilim bütün ayrıntıları ile gözlenebilir. Tabanda karbonatlar, daha üstte sülfatlar ve kloritler yer alır. Kristallenmiş tek bor minerali borakstır. Henüz evrimini tamamlamamış bir evaporit sistemi olan Searles Gölü'nün, kristallenmiş tuzları arasındaki boşlukları dolduran tuzlu suların zengin bor içermesi de boratların en son kristalenen tuzlar olduğunu kanıtlar.

Bor minerallerinin oluşum sırası, saha gözlemleri ve laboratuvar deneylerine dayanılarak ortaya konulmuştur. Sodyum boratlar içinde normal sıcaklıklarda ilk oluşan mineral borakstır. Boraks kuru havada kolaylıkla suyunu kaybederek tinkalkonite, tinkalkonit de nemli havada kolaylıkla su emerek boraksa dönüşebilir. Kernit daha yüksek sıcaklıklarda duraylıdır; Kaliforniya Boron madenlerinde boraksın metamorfizması ile oluşmuştur. Kernitin oluşabilmesi için

Çizelge 2. Borun doğadaki dağılımı

Borun bulunduğu ortam	Bor miktarı (ppm B ₂ O ₃)	Kaynak
Yer küresinde ortalama	10.	Mason (1966)
Okyanus sularında	4.6	Mason (1966)
Akarsularda (SSCB)	0.013	Konalov (1959)
Bor yatakları civarındaki sıcak kaynak sularında		
Türkiye	>100.0	İzdar ve Köktürk, (1975)
ABD (genel)	>100.0	Smith (1960)
Sulfur Bank (ABD)	720.0	White (1957)
Magmatik Kayaçlar		Goldschmidt (1958)
Granitler (14 örnek)	10.0	"
Gabro (11 örnek)	10.0	"
Bazalt	5.0	"
Bazalt	31.0	"
Liparit	100.0	"
Riyolit ve dasit (116 ör.)	32.0	"
Tortul Kayaçlar		Goldschmidt (1958)
Okyanus dibi çamurları	50-500	"
Siyah killer (14 örnek)	240	"
Sahil çamurları (130 örnek)	450	"
Şeyller (359 örnek)	320	"
Boksit (3 örnek)	5-10	"
Ateşli kili	10	"
Diğer killer	310	"
Deniz Organizma İskeletleri	50-1000	"
Kara bitkilerinin külleri	100-5000	"
Toprak (Granit + bazalt kökenli)	5-10	"
Toprak (Denizel tortul kökenli)	100	"

800 m. derine gömülmesi ve sıcaklığın 58°C'ı aşmasının yeterli olacağı hesaplanmıştır (Christ ve Garrels, 1959).

Üleksit yüzeysel koşullarda, borlu suların biriktiği bataklık veya birikintilerin ilk sodyum-kalsiyumlu mineralidir. Daha az su içeren probertit daha yüksek sıcaklık ve basınçla etkilenmiş yataklarda bulunur.

Kalsiyum boratlardan inyoit - meyer hofferit-kolemanit üçlüsü içinde en az su içeriği olmasına karşılık en yaygın bulunanı kolemanittir. Fakat normal yüzey koşullarında kolemanit oluşmaz. Güney Amerika'daki bazı yüzey birikintilerinde üleksit oluşturacak yeterli sodyum bulunmadığında ilkel olarak inyoitin oluştuğu fakat kolemanitin gözlenmediği

bilinmektedir. Bu nedenle, teorik olarak ikincil oluştuğu varsayılan kolemanitin kökeni karmaşıktır. Çoğu kez, kolemanitin üleksitin yerini aldığı gözlenmiştir. Bu olgudan giderek, üleksitin duraysız olduğu ortamlarda, kalsiyumca zengin suların üleksiti ornatması sonucu, iyon değişimi ile kolemanitin oluştuğu ileri sürülmektedir. Fakat kolemanitin egemen olduğu Bigadiç bölgesindeki geniş yatakların bu şekilde oluştuğunu varsaymak oldukça güçtür.

Bugün ekonomik olarak işletilen borat yataklarında aynı dizilimin görülmesi, yalnız taban karbonatlarının ve boratların gözlenmesi tartışmalıdır. Bazı araştırmacılar, zengin bor içeren suların dolaşımı sırasında koşulların, soğuma, diğer

sularla karışma gibi nedenlerle değişmesi, ya da borun ornatılabileceği elementlerle karşılaşması sonucu bor yataklarının oluştuğunu savunmaktadır. Bu görüş Sovyetler Birliği'ndeki ve diğer bazı yataklarda gözlenen damar tipi cevherleşmeler için geçerli olabilir. Üçüncü Zaman yaşlı yataklarda ilkel koşulların, yalnız boratların çökmesine uygun olduğunu kanıtlayan veriler vardır. Örneğin Kırka'da boraks kristallerinin içindeki arıdalanmalı kil minerali kapanımları, ve boraks katmanları ile killerin arıdalanmaları, boratların doğrudan göl sularından çökeldiğini kanıtlar (Baysal, 1972), Diğer taraftan Kramer yataklarında, kenarlarda kalsiyumlu, ortalarda ise sodyumlu boratların bulunuşu, önce kalsiyumlu daha sonra sodyumlu boratların çökeldiğinin somut bir örneğidir.

Bor yataklarının içinde bulunduğu kayaç birimlerinin hemen daima killi oluşu ilgi çekicidir. Bir görüş, ancak killere çevrilmiş boratların günümüze kadar korunabileceğini savunurken (Bates, 1969), diğer bir görüş de killerin, çökeltme ortamının volkaniklerle yakından ilişkili olduğunu belirleyici nitelik taşıdığını savunur.

Gerçekten de Kramer yataklarında pek belirgin olmakla birlikte, Kırka boraks yataklarında boratlı katmanlarla arakatlı killi tüf katmanları oldukça yaygındır (Baysal, 1974). Bu tüflerin yer yer ilkel konumlarını koruyan bozunmamış biyotitler içermesi yukarıdaki ikinci görüşün daha geçerli olduğunu kanıtlar. Görüldüğü gibi killer boratlarla kökensel ilişkilidir, fakat onların korunmasında da önemli bir yer tutmuş olmaları gerekir.

Oluşum ortamlarının volkanizma ile ilgili olduğunu kanıtlayan veriler yanında bor getirimlerinin de volkanizma ile ilişkili olduğu tartışılmayacak kadar açıktır. Searles Gölü'nü oluşturan Owens Nehri'ni besleyen sıcak su kaynaklarının volkanik bölgelerde olduğu ve zengin bor içerdiği, İtalya'daki volkan bacalarından çıkan gazlardan borik asit üretildiği bilinmektedir. Bunlara Batı Anadolu'daki sıcak su kaynaklarının çalışılması ile elde edilen veriler de eklenirse (İzdar ve Köktürk, 1975), sonuç daha belirgin bir şekilde ortaya konmuş olur.

İzdar ve Köktürk'ün (1975) Batı Anadolu sıcak su kaynakları üzerine yaptıkları çalışmalar, kaynak sularındaki bor derişiminin, kaynakların sıcaklığı ve pH ları ile değiştiğini belirgin bir şekilde kanıtlar. Kaynak sularındaki bor miktarı ile bilinen bor yatakları arasında herhangi bir ilişki gözlenmemiştir. Bu da sıcak suların borlu katmanlardan geçerken çevreden çözdüğü borlarla zenginleşebileceği görüşünü bir ölçüde geçersiz kılar. Borca zengin kaynaklar yakınında her zaman bor yataklarının bulunmayışı, boratların oluşabileceği ortamın her zaman gelişmeyeceği varsayılırsa, doğaldır. Bu nedenle borca zengin su kaynaklarının kökenini derindeki borat yataklarına bağlamak yerine, borat yataklarının oluşumunu, koşullar sağlandığında, borca zengin sulara bağlamak daha olağandır.

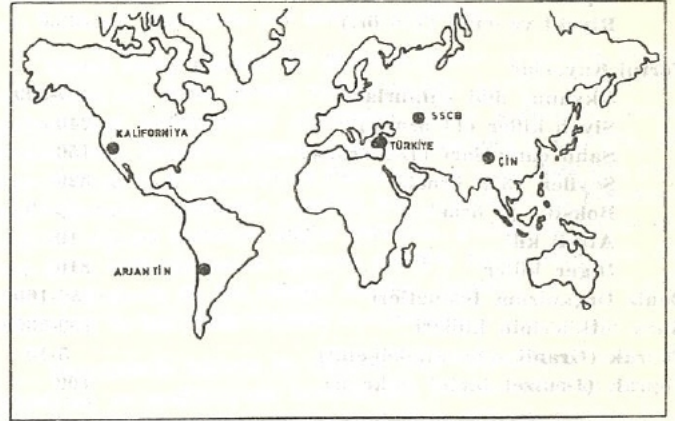
Bu verilerin ışığı altında, bor yataklarının oluşabileceği göllerin tümüyle kurumaması ve aşağıdaki koşullara uygun bir ortamda bulunması gerekir:

- 1 — Borca zengin sıcak sularla beslenmesi,
- 2 — Gölün, beslenen diğer sularla seyreltilmeyecek bo-yutlarda olması,

- 3 — Gölle taşınan sıcak suların sodyum boratlar, diğer yüzey sularının kalsiyum içermesi (Karışma boratların çökmesine yardımcı olacaktır),
- 4 — Gölün, borat yatağının oluşmasına uygun de-ğre, fakat boratların çökmesiyle diğer tuzlarca derişmiş göl suyunun taşarak akabileceği bir topoğrafyaya sahip olması,
- 5 — Uygun yerel iklim (Göl üzerindeki esintiler bile göl içindeki su dolaşımını etkiler. Bu da boratların veya diğer tuzların oluşmasına neden olabilir).

BOR YATAKLARININ DÜNYADAKİ DAĞILIMI:

Dünya borat yatakları, önem sırasına göre, Türkiye, ABD, Arjantin ve SSCB olmak üzere dört ülke üzerinde dağılmıştır (Şekil, 1). Bunların dışında, çorak bölgelerde mevsimlik birikinti göletlerinin kurumması ile, yüzeyde oluşan boratlar, Çin, Şili, Bolivya, Peru, İran gibi ülkelerde gözlenir.



Şekil 1: Bor yataklarının dünyadaki dağılımı.

Türkiye Borat Yatakları:

Türkiye'nin bilinen borat yatakları Batı Anadolu'daki karasal Neojen göl tortullarında bulunmaktadır. Bilinenlerin içinde en eskisi Sultancıyır (Balıkesir) pandemit yataklarıdır. Romalılar tarafından işletildiği bazı belgelerle ileri sürülmesine karşılık, ilk işletme 1865 yılında bir Fransız kuruluşu tarafından Aziziye ocağında başlatılmıştır. Bu yataklar 1954 yılında rezervleri tükendiği gerekçesi ile kapatılmıştır. 1950 yılında Bigadiç (Balıkesir) yöresindeki kolemanit yatakları bir maden çavuşu tarafından, Mustafa Kemal Paşa (Bursa) ilçesinin güneyindeki Kestelek yatakları da 1952 yılında köylüler tarafından bulunmuştur. Emet (Kütahya) bölgesindeki yatakları ortaya çıkışı, 1956 yılında M.T.A. için linyit aramaları yapan Gawlık'in Hisarcık kolemanitlerini rastlantı sonucu bulması ile başlar. Daha sonra yapılan araştırmalarla bugünkü yataklar ortaya konmuştur.

Türkiye'de bilinen ve işletilmekte olan borat yatakları Balıkesir (Bigadiç, Susurluk), Bursa (Kestelek), Kütahya (Emet), ve Eskişehir (Kırka) illerini içine alan dar bir böl-

gede toplanmıştır. Yataklar, mineraloji ve yerel jeoloji açısından büyük benzerlikler gösterirler. Borat yataklarını içine alan karasal Neojen hemen her yerde taban kireçtaşları ile başlar, tüflerle ara katkılı marnlı-killi boratlı serilere geçer ve üst kireçtaşları ile örtülüdür. Alt kireçtaşı serisi Miyosen, üst seriler Pliyosen yaşlıdır.

Balıkesir İli Borat Yatakları: Balıkesir il sınırları içinde iki ayrı Neojen göl ortamı, iki ayrı borat bölgesi oluşturur.

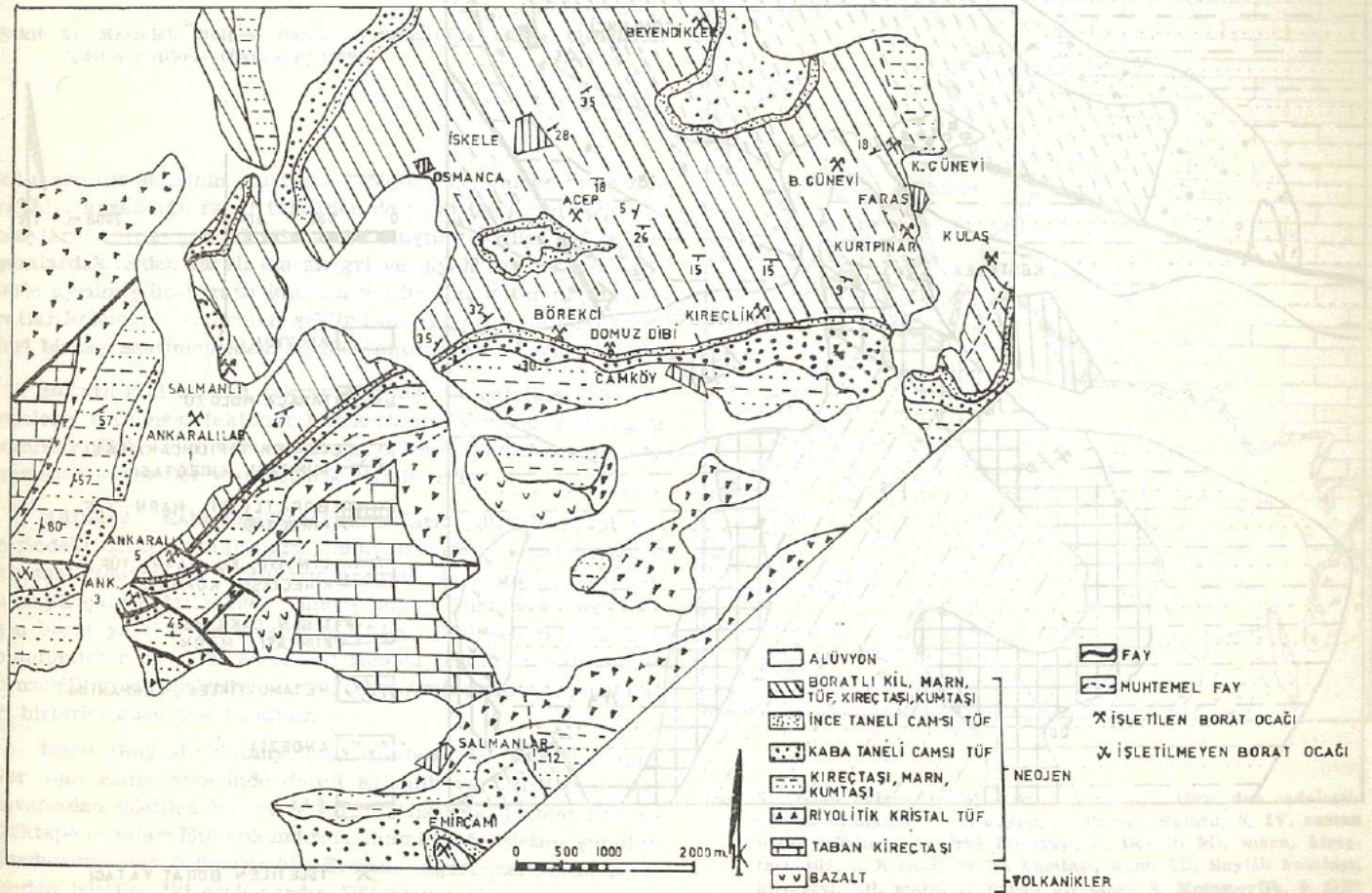
Sultançayır (Susurluk) Bölgesi: Türkiye'nin bilinen eski yataklardır. Cevher minerali adına Bandırma'dan alan pandermittir (priceit). Tabanda jips ile ara katkılı olan cevher kireçtaşı ve tüf içeren marnlar tarafından örtülmüştür. Cevherin yer altındaki en derin noktasına yüzeyden dik inilen 93 metrelik bir kuyu ile erişilmiştir. Yatak 1954 de rezerv bitti gerekçesiyle kapatılmıştır. Fakat daha yaygın rezervlerin bulunacağını kanıtlayan veriler ve özel kuruluşların açıklamadığı bazı yatakların bulunduğu bilinmesi, bu bölgenin yeniden önem kazanacağını kanıtlamaktadır.

Bigadiç Bölgesi: Balıkesir ilinin 40 Km. kadar güneyinde yer alan ve Bortaş, Yakal, Rasih - İnsan, Şayakçı kuruluşları tarafından işletilen 12 ocak bulunmaktadır. Bu ocaklar: Beğendikler, Tüllü, Salmanlar, Emirçamı, Kutuş, Büyük Günevi,

Küçük Günevi, Acep, Kurtpınarı, Kireçlik, Börekci ve Ankaralılar'dır. Yatakların toplam rezervi 8 milyon ton (% 40 B_2O_3) kadardır.

Bütün ocakları içine alan bölgenin jeolojik birimleri, Neojen göllerinde oluşan tortulların ortak özelliklerini taşır (Şekil 2). Tabandaki Paleozoik mermerler üzerine altı ayrı birimden oluşmuş Neojen tortulları uyumsuz olarak oturur (Şekil 3) (Özpeker, 1969). Şekilde de görüldüğü gibi, taban kireçtaşları ile başlayan tortul birimler, kristal tüfler, marn-kireçtaşı-kumtaşı, kaba taneli camsı tüfler, ince taneli camsı tüfler, boratlı kil-marn-kireçtaşı-tüf kumtaşından oluşmuşlardır. Bu birimler volkanitler ve damar taşları ile kesilmişler ve bütün hepsi genç alüvyonlarla örtülmüşlerdir. Bütün birimlerin toplam kalınlığı 500 m. kadardır. En üst birim olan boratlı kil-marn-kireçtaşı-tüf serisi 50-150 m. arasında değişir. Ardışıklı görülen ve boratları merccekler veya tabakalar şeklinde içlerinde bulunduran killer, gri veya yeşil renklidirler.

Merccekler veya tabakalar şeklinde olan boratların ana minerali kolemanittir. Kolemanitin yanında inyoit, üleksit, pandermit, havlit, hidroboraksit ve meyerhofferit mineralleri de gözlenmiştir. Kolemanit, yatakların çoğunda, içeriye doğru ışınal gelişmiş yumrular şeklinde kil içinde gömülmüş olarak bulunur. Kutuş, Salmanlar, Ankaralılar ve Beyendiler



Şekil 2: Bigadiç Bölgesi borat yatakları jeoloji haritası (Özpeker, 1969).

Kalınlık	Litoloji	Açıklama
140 m.		Boratlı kil, Marn, Tuf, Kireçtaşı, Kumtaşı
60 m. 30 m.		İnce taneli camlı tüfler Kaba taneli camlı tüfler
80 m.		Kumtaşı, Yumrulu kireçtaşı, Marn
100 m.		Riyolitik kristal tüfler
150 m.		Taban kireçtaşı (fosilli, yumrulu)
PALEOZOİK		Mermer

Sekil 3: Gıgaric Bölgesi borat yataklarında kaya birimlerini gösterir dikme (Özpeker, 1969).

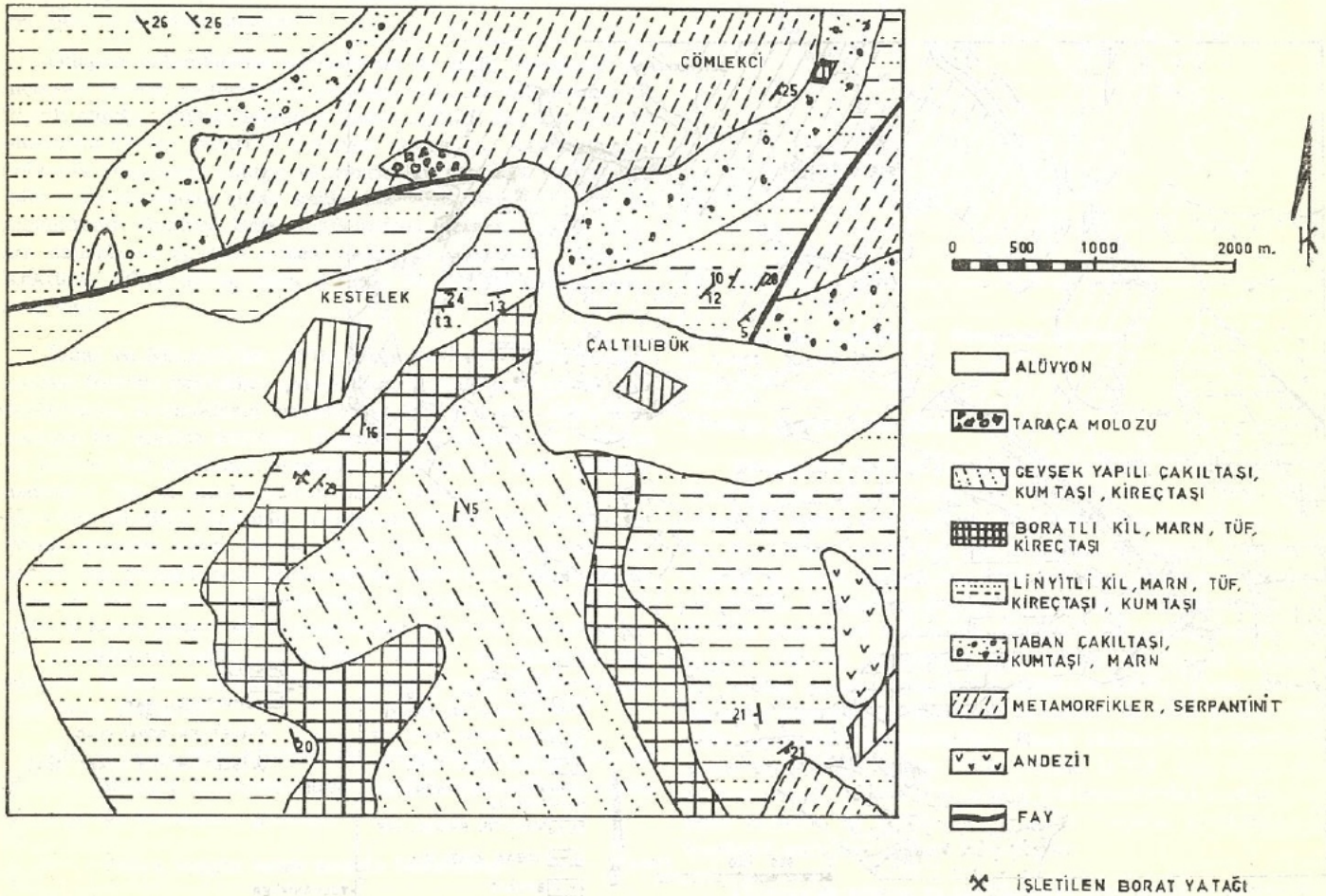
ocaklarında birbirlerinden killeri ayrılmış, üç cevherli katman bulunmaktadır. Bu katmanlarda kolemanit bantları arasında yer yer üleksit bantları gözlenmiştir. Diğer ocaklarda bir veya iki cevherli bant vardır. Cevher kalınlıkları 1-4 m. arasında değişmektedir.

Bursa İli Borat Yatakları: Bölgede bilinen ve işletilen tek yatak Çaltılıbük bucağının Kestelek köyü yakınlarındadır. Yaklaşık 100-150 bin ton %40 B₂O₃ içeren bir rezerv olduğu varsayılmaktadır.

Kestelek Yatakları: Bu bölgede de görsel Neojen tortulları Paleozoik kristalin kayaları üzerine uyumsuz olarak oturur (Şekil 4). Taban çakıltısı ile başlayan çökeller, linyitli kil-marn, boratlı-killi marnlı-tuf ve kireçtaşı karmaşık serisi ile devam eder ve yine çakıltısı-kumtaşı-kireçtaşı karmaşığı ile son bulur (Şekil 5).

Neojen tortullarının toplam kalınlığı yaklaşık 600 m. dir (Özpeker, 1969). Yer yer volkanitlerle kesilmişler ve genç alüvyonlarla örtülmüşlerdir.

Tabandaki çakıltısı ve bunun üzerine gelen seri içindeki, çakıltısı, kumtaşı ve dağınık linyit oluşumları, borat içeren killi seviyelerin oluşumundan önce, göl ve çevre ortamının çok duraysız olduğunu kanıtlar. Boratlı katmanların bulunduğu,



Sekil 4: Kestelek Bölgesi borat yatakları jeoloji haritası (Özpeker, 1969)

KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
200m.		ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI
		KİREÇTAŞI
100m.		BORATLI KİL, MARN KİREÇTAŞI, TÜF
200m.		LİNYİTLİ KİL, MARN, ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI, TÜF
		TABAN ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI MARN
100 m.		METAMORFİKLER
PALEOZOYİK		

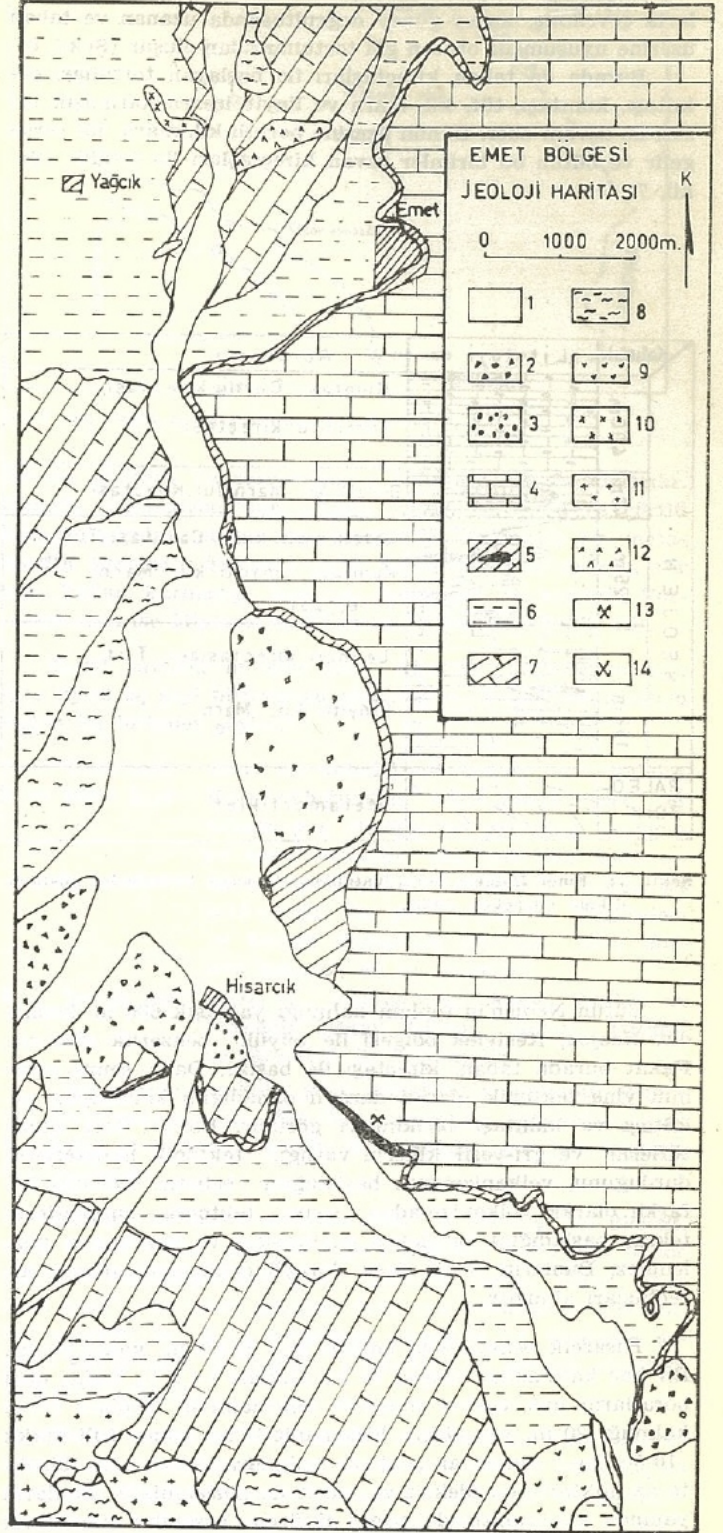
Şekil 5: Kestelek Bölgesi borat yataklarında kaya birimlerini gösterir dikme (Özpeker, 1969).

kil-marn-tüf serisinin oluştuğu süreçte, ortamın tektonik duraylılık kazandığı, fakat tüflerden de anlaşıldığı gibi volkanik olayların arttığı görülür. Bu seriyi oluşturan killeri, diğer oluşumlardakilerden farklı olarak gri ve siyah renklidirler. Killeri ayrılmış üç boratlı katman vardır. Bu katmanlarda boratlar kolemanit yumruları şeklindedir. Yumruların büyüklükleri birkaç santimetreden, 80-100 santimetreye kadar değişir.

Boratlı-killi serinin tekrar kumtaşı ve çakıltası gibi birimlerle örtülmesi tektonik hareketlerin yeniden başladığını kanıtlar. Bölgedeki volkanizmanın yüzey kalıntıları yer yer gözlenen andezitler ve porfiritik riyolitlerdir.

Kütahya - Eskişehir Borat yatakları: 1956'da Emet yöresindeki borat yataklarının bulunmasından sonra, bölgede karasal Neojen göl tortullarının kapladığı alanlarda yapılan jeolojik çalışmalarla 1961 yılında bugün Türkiye'nin en zengin borat yataklarını oluşturan Kırka (Eskişehir) yatakları bulunmuştur. Her iki bölgedeki Neojen tortulları birbirlerine benzerlik göstermelerine karşın, cevher mineralleri toplulukları birbirlerinden çok farklıdır.

Emet Bölgesi: Kütahya'nın yaklaşık 60 Km. batısında yer alan Emet yöresinde dördü Etibank ve biri özel sektör tarafından işletilen beş ocak vardır. Hisarcık, Hamamköy ve Göktepe ocakları Etibank'ındır. Hamamköy'de işletme şimdilik durdurulmuştur. Esbey'de biri Etibank diğeri özel sektör tarafından işletilen iki ocak vardır. Bölgenin toplam rezervi yaklaşık 40 milyon ton (%40 B₂O₃) kadardır.



Şekil 6: Emet bölgesi jeoloji haritası Özpeker (1969) dan sadeleştirilerek alınmıştır. 1. Alüvyon, 2. Taraça Molozu, 3. IV. zaman nehir çakıltası, 4. Örtü kireçtaşı, 5. Boratlı kil, marn, kireçtaşı, tüf, 6. Kırmızı renkli kumtaşı, kum, kil, linyitli kumtaşı, kireçtaşı, kil, marn, 7. Taban kireçtaşı, 8. Metamorfik, 9. Ojit andezit, 10. Genç riyoit, 11. Pembe renkli dasit, 12. Andezit, 13. İşletilen borat yatağı, 14. İşletilmeyen borat ocağı.

Bölgedeki Neojen, eski metamorfik ve mağmatik kayalarla çevrilmiş, kuzey-güney doğrultusunda uzanan ve taban üzerine uyumsuz oturan göl tortularından oluşur (Şekil, 6).

Burada da taban kireçtaşları ile başlayan tortullar, çakıltı, kumtaşı, tuf, kil, marn ve linyit içeren karmaşık bir seri ile devam eder. Bunun üzerine boratlı kil, marn, tuf serisi gelir ve bütün bu birimler tavan kireçtaşları ile örtülür (Şekil, 7).

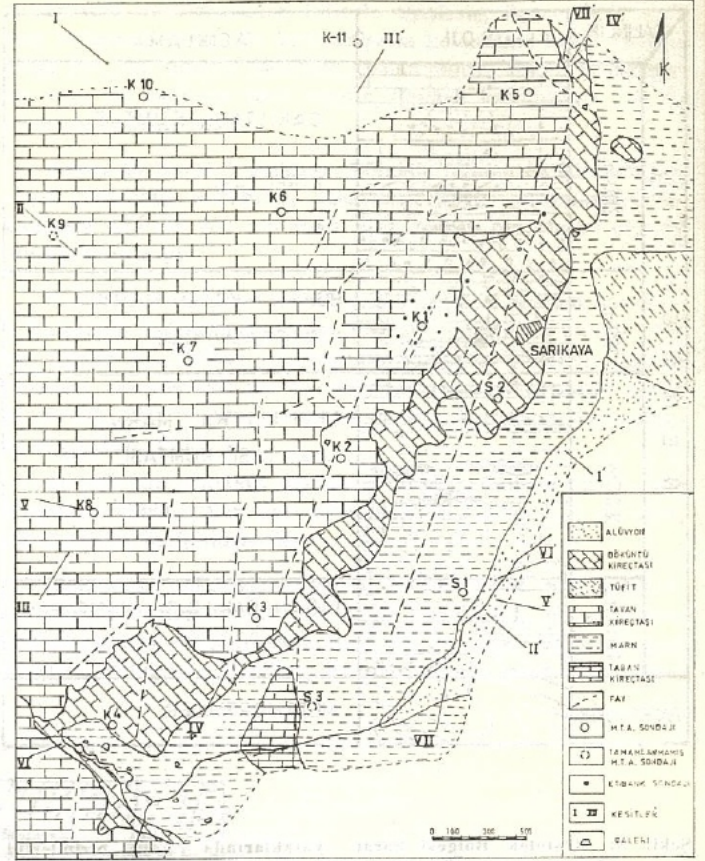
Kalınlık	Litoloji	Acıklama
400 m.		Kumtaşı, Çörtlü kireçtaşı, Yumrulu kireçtaşı
40 m.		Boratlı kil, Marn, Tuf, Kireçtaşı
125 m.		Gevsek yapıli kum, Çakıltı, Tuf, Kumtaşı, Linyitli kil, Marn, Kireçtaşı
150 m.		Levhalı kireçtaşları, Tuf, Linyitli kil, Marn
PALEO-ZOİK		Metamorfikler

Şekil 7: Emet Bölgesi borat yataklarında kaya birimlerini gösterir dikme (Özpeker, 1969).

Bütün Neojen'in toplam kalınlığı yaklaşık 600 m. kadardır. Neojen, Kestelek bölgesi ile büyük benzerlik gösterir. Fakat burada taban, kireçtaşı ile başlar. Daha sonra ortamın yine tektonik olarak duraylı olmadığını kanıtlayan çakıltı ve kumtaşı birikimleri görülür. Boratlı seri içinde tüflerin ve gri-yeşil killerin varlığı, tektonik hareketlerin durduğunu, volkanizmanın başladığını belirtir. Kestelek'ten farklı olarak volkanizmadan sonra tektonik hareketlerin tekrar başladığını belirleyen çakıltı ve kumtaşı gözlenmez. Bunların yerini daha duraylı ortamlarda oluşan kireçtaşları almıştır.

Hisarcık ocaklarında boratlı seri 30-40 m. kalınlıktadır. Bir kaç katmandan oluşan ve kalınlıkları 1-1,5 m. kadar olan boratların ana cevher minerali kolemanittir. Toplam borat kalınlığı 20 m. ye ulaşır. Kolemanit killer içinde irili ufaklı (10-50 Cm.) yumrular şeklinde bulunur. Kolemanitle birlikte az miktarlarda üleksit ve kalsit de gözlenmiştir. Bunların yanında kolemanitin değerini düşüren arsenik mineralleri (realgar ve orpiment), kolemanit yumrularının dışı yakın kısımlarında, bütün yumruyu çevreleyen bir zar zeklinde bulunur.

Hamamköy, Esbey ve Göktepe'de de tek cevher minerali kolemanittir. Killer içine gömülü yumrular şeklinde bulunurlar. Hamamköy'de boratlı serinin kalınlığı 20 m. dir. Kolemanit bantları ise yaklaşık 7 m. ye ulaşır. Esbey'de kil



Şekil 8: Sarıkaya (Kırka) Bölgesi borat yatakları jeoloji haritası (Arda, 1969, Baysal, 1972 den sadeleştirilmiştir).

lerle ara katkılı, toplam kalınlığı 20 m. ye ulaşan 4 kolemanit katmanı vardır.

Sarıkaya (Kırka) Bölgesi: Eskişehir'in güney-batısında yer alan Kırka borat yatakları Türkiye'de bilinen tek sodyumlu borat yataklarıdır. Etibank tarafından işletilirler. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda %30 B₂O₃ içeren 400 milyon tonun üzerinde cevherin varlığı saptanmıştır.

Neojen burada da metamorfikler üzerine uyumsuz oturan taban kireçtaşları ile başlar (Şekil, 8 - 9). Beş tortul seriden oluşan dizilim şöyledir (Baysal, 1972):

- 5 — Üst kireçtaşı serisi
- 4 — Kil-marn serisi
- 3 — Borat serisi
- 2 — Marn-kil serisi
- 1 — Alt kireçtaşı serisi

Bütün tortulların toplam kalınlığı 500-600 m. kadardır. Bunlar içinde boratlı serinin kalınlığının 160 m. ye ulaştığı yerler vardır. Tek egemen borat minerali tinkaldir (borakstır.) Bunun yanında az miktarlarda kernit, üleksit, kurnakovit ve diğer bazı Na, Ca, Mg, Sr lu bor mineralleri gözlenmiştir (Baysal, 1972). Bunlardan boraks, yatakların yaklaşık %80 ini oluşturur. Boraks ince ve kalın bantlar şeklinde düzenli olarak kil ve marnlarla ara katkılıdır. Borat serisinin

?	Döküntü
?	Bazalt
?	Çörtlü kireçtaşı
60m.	Kil, Marn, Tüf, Linyit
70m.	Boraks, Kolemanit, Kil, Kireçtaşı
40m.	Kil, Marn, Tüf, Çakıltaşı
80m.	Kireçtaşı
80m.	Tüf

Şekil 9: Sarıkaya (Kırka) Bölgesi borat yataklarında kaya birimlerini gösterir genelleştirilmiş dikme (Kistler ve Smith, 1975).

taban ve tavanında daha ince ve seyrek borat katmanları içeren killi ve marnlı birimler yer alırlar. Bu birimler içinde yer yer tüf arakatlıkları gözlenir. Serinin orta kısımlarındaki borakslar ise oldukça tıksız kütleler şeklinde olup yabancı madde içermezler.

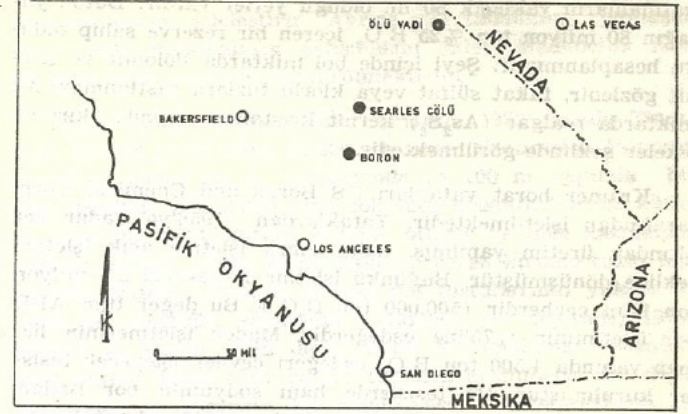
Yer yer faylarla kesilen yataklarda, faylar boyunca doluşım yapan suların oluşturduğu fiziko-kimyasal koşullar, ilkel bor minerallerinden ikincil bor minerallerinin türemesine neden olmuştur.

ABD Borat Yatakları:

ABD'nin bilinen bütün borat yatakları Kaliforniya, Oregon ve Nevada eyaletlerindedir. Bunlardan bugün işletilenler yalnız Kaliforniya'daki Boron* (Kramer), Ölü Vadi (Death Valley) yatakları ile Searles Gölü tuzlu sularındır (Şekil, 10).

Boron Borat Yatakları: Boron yatakları 1913 yılında Mojave Çölü'nün batı kısmında su sondajı yapılırken rastlantı sonucu bulunmuştur. 120 m. derinde kesilen kolemanite erişilmek için inilen kuyularla yatak geliştirilerek işletmeye açılmıştır. Fakat daha sonra, 1925 yılında açılan başka bir sondaj kuyusunda, ticari olarak daha fazla değer taşıyan boraks ve kernit** bulunması ile işletme bugünkü yerine kaydırılmıştır.

Borat içeren tortullar yaklaşık 7x2 Km. lik bir alana yayılmışlardır (Şekil, 11). Haritada da görüldüğü gibi yüzeyin büyük bir kısmı, 100 m. kalınlığa erişen, genç alüvyonlarla kaplanmıştır. Genç alüvyonların hemen altında, Ricardo Formasyonu'nun üst üyesi olan çakıltaşları yer alır. Çakıltaşlarını üstteki alüvyonlardan ayıran tek özellik çimentolanmış olmalarıdır. Ricardo Formasyonu'nun orta üyesi borat yataklarını içine alan şeyllerdir, ve bu şeyller alt üneyi oluşturan Saddleback bazaltlarının üzerine oturur. Üç



Şekil 10: ABD borat yatakları dağılımı.

üyeden oluşmuş bu formasyonun kalınlığı 150 m. kadardır. Ricardo Formasyonu'nun altında arkoz, tüf, şeyl ve çörtlü kireçtaşlarından oluşan ve tabandaki mağmatik ve metamorfik karmaşık üzerine oturan Rosamond Formasyonu yer alır. Taban karmaşığı Kretase, Rosamond ve Ricardo Formasyonları ise Miyosen ve Pliyosen yaşlıdır (Şekil, 12).

Borat yataklarını içine alan Ricardo Formasyonu'nun orta üyesi üç şeyl biriminden oluşmuştur. Yukarıdan aşağıya doğru bu birimler şöyledir:

- 1 — Yeşil şeyl: 10-15 m. kalınlığında kumlu ve mikalıdır.
- 2 — Mavi Şeyl: Kuru olduğundan hafif fakat sert, yer altında yaş olduğunda yumuşak kaygan ve koyu renklidir. Mavimsi ince katmanlar içerir. Boraks ve üleksit tabakalar şeklindedir. Yer yer kolemanit yumruları ve üleksit damarları gözlenir. Tüm birimin kalınlığı 60 m. kadardır.
- 3 — Taban şeyl: 10-15 m. kalınlığında, koyu yeşil-siyah renklidir. Bazalt üzerine oturur. Üleksit damarcıkları ile kesilmiştir.

İlkel çökeltme çukuru şekil değiştirerek bugünkü senklinal durumunu almıştır. Bu olay sırasında tabakalar açık kıvrımlar oluşturacak şekilde bükülmüşler, yer yer faylarla kesilmişlerdir.

Kalsiyumlu bor minerallerinden, kolemanit ve üleksit, uzun ekseni 7 Km. olan bir elips şeklindeki mavi şeyl içinde düzensiz dağılmışlardır. İlkel mineral olarak üleksit, "pamuk güllü" yumruları şeklinde daha çok kenarlarda gözlenir. Kolemanitin ise, daha derinlerde gömülme ile, üleksitin suyunu kaybetmesi ve yeniden kristallenmesi sonucu oluştuğu varsayılmaktadır.

Ticari olarak işletilen boraks ve kernit ise borat içeren tortulların orta yerinde yaklaşık 25 Km². lik bir alan kaplayan kaba bir üçgen içinde yer alırlar. Mavi kil içinde dağılmış olarak bulunan kernit ve boraks kümelenmeleri, 1 metreden 12 metreye kadar değişen kalınlıklarda, düzenli bir şekilde bütün alanı kaplarlar. Cevherli tabakalar, kil içinde %90'a kadar boraks + kernit kristalleri içerebilirler. Fakat çoğu kez cevherleşme bu düzeyin çok altındadır. Boratlı

(*) Bütün önceki tanımlamalarda Kramer adı kullanılmıştır. Yeni çalışmalarda borat yataklarına en yakın kent olan Boron adı kullanılır.

(**) Kernit, mineral olarak, ilk defa bu sondaj karotlarında tanımlanmış ve Kern County'den esinlenerek adlandırılmıştır.

katmanların yaklaşık 80 m. olduğu yerler vardır. Bütün ya-
tağın 80 milyon ton %25 B₂O₃ içeren bir rezerve sahip oldu-
ğu hesaplanmıştır. Şeyl içinde bol miktarda dolomit ve ker-
nit gözlenir, fakat sülfat veya klorlu tuzlara rastlanmaz. Az
miktarda realgar (As₂S₃) krenit kristalleri içinde kırmızı
lekeler şeklinde görülmektedir.

Kramer borat yatakları US Borax and Chemical Corp.
tarafından işletilmektedir. Yataklardan 1956'ya kadar yer
altından üretim yapılmış, daha sonra işletme açık işletme
şekline dönüşmüştür. Bugünkü işletme kapasitesi 2.0 milyon
ton ham cevherdir (500.000 ton B₂O₃). Bu değer tüm ABD
bor üretiminin %75'ine eşdeğerdir. Maden işletmesinin he-
men yanında 4.500 ton B₂O₃ eşdeğeri cevher işleyecek tesis-
ler kurulmuştur. Bu tesislerde ham sodyumlu bor tuzları
(boraks ve krenit) çözülüp, temizlenip, yeniden kristallendirilip,
kurutularak 10 sulu, 5 sulu veya kuru boraks elde edi-
lir. Bu işlemler için boraks, kernite oranla daha elverişlidir.
US Borax, 1963 de Kaliforniya'nın Wilmington, Hollanda'nın
Rotterdam şehirlerinde kurduğu liman tesisleriyle, ürettiği
bor ürünlerini Avrupa ve bütün dünyada pazarlama olanak-
larını sağlamıştır. Ayrıca Wilmington'da borik asit, potas-
yum ve amonyum borat gibi özel bor ürünleri de üretilmek-
tedir.

Ölü Vadi (Death Valley) Borat Yatakları: Kaliforniya
eyaletinin kuzey sınırı yakınlarında yer alan Ölü Vadi, doğu
ve batıdan sınırlanmış ve zaman zaman yinelenen çök-
melerle deniz düzeyinden 90 m. kadar aşağıya inmiştir. Üçün-
cü Zaman sonlarına doğru (Miyosen-Pliyosen), Furnace
Creek yakınlarında 2500 m. ye ulaşan göl tortulları birikmiş-
tir. Bugün işletilen ticari borat yatakları bu tortullar içinde
yer alırlar (Şekil, 13).

Ana cevheri kolemanit ve üleksit olan borat yatakları,
çakıtaşı ile başlayan Furnace Creek Formasyonu'nun alt
kesiminde, zaman zaman 70 m. kalınlığa ulaşan çamurtaşı,
kireçtaşı ve killi kayaların ardalanmasından oluşmuş mer-
cekler içinde bulunurlar (Şekil, 14). Yataklardaki işletilebi-
lir nitelikteki üç borat minerali, probertit, üleksit ve ko-
lemanittir. Probertit en derinde ve en içte; üleksit ortada;
kolemanit ise en dışta olmak üzere dizilirler. Bir mineral
zonundan diğer mineral zonuna geçiş çoğunlukla geçişimli-
dir. Fakat bir çok yerlerde kolemanit damarları üleksiti ke-
serler.

Ölü Vadi'deki Furnace Creek yatakları Tenneco Oil Co.
tarafından plânlanan 70.000 ton-yıl kapasitenin çok altında
çalıştırılarak, kalsine edilmiş kolemanit elde edilir ve cam
yünü üretimi için Güney Karolina ve Tennessee'ye gönderilir.

Searles Gölü: Searles Gölü, Mojave Çölü'nün doğusunda,
Owens Nehri'nin sularının ve yüzey akıntılarının kapalı bir
çukurda birikmesi ve devamlı buharlaşması sonucu oluşmuş-
tur. 110 Km² lik bir alan kaplayan gölde %60'ı karışık tuz-
lardan, %40'ı tuzlu sulardan oluşmuş ve birbirlerinden 3-4
m. kalınlığında geçirimsiz çamurlu bir tabaka ile ayrılmış
iki katman vardır. Üstteki tuz ve tuzlu sulardan oluşmuş
kat 25 m., alttaki ise 12 m. kalınlıktadır. Her iki katmandaki
B₂O₃ miktarları ve içerdikleri diğer tuzlar birbirlerinden fark-
lı oldukları için, üst ve alt katmanlardan ayrı ayrı pompala-
nan tuzlu sular karıştırılmadan işleme sokulurlar.

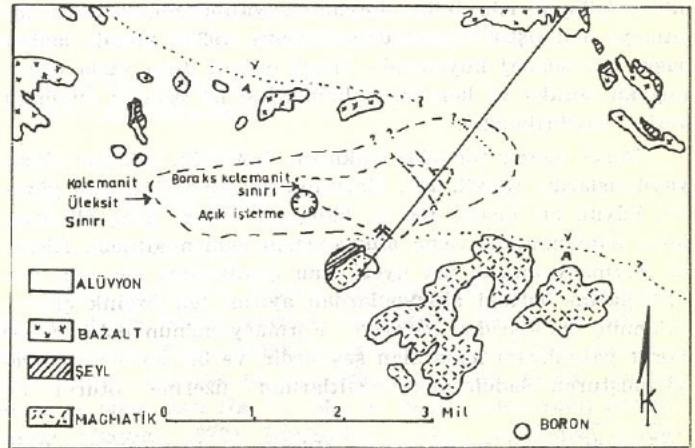
Çeşitli kristalin tuzlardan oluşmuş katmanların kristal
boşluklarını dolduran tuzlu suların kimyasal bileşimleri Çi-
zelge 3 de görülmektedir.

**Çizelge 3: Searles Gölü Kristal Katmanların Boşluklarındaki
Derişik Tuzlu Suların Kimyasal Bileşimi
(Industrial Minerals, 1974)**

	Üst katman	Alt katman
KCl	% 4,9	% 2,9
Na ₂ B ₄ O ₇ · H ₂ O	% 3,0 (%1,0B ₂ O ₃)	% 3,7 (%1,2B ₂ O ₃)
Na ₂ CO ₃	% 4,7	% 6,8
Na ₂ SO ₄	% 6,8	% 6,6
NaCl	%16,2	%16,5
Diğerleri	% 0,3	% 0,3
Toplam Çözölmüş tuzlar	%35,9	%36,0
Su	%64,1	%64,0

Göldeki iki katman arasındaki çamurlu tabakanın C-14
yöntemi ile oluşum yaşının yaklaşık 25.000 yıl olduğu sap-
tanmıştır. Göldeki tüm B₂O₃ miktarı ise 17.350.000 ton ola-
rak hesaplanmıştır. Bu kadar borun gölde birikebilmesi için
Owens Nehri tarafından göle her yıl 700 ton B₂O₃ taşınması
gereklidir. Owens Nehri ise yaklaşık 1 ppm. B₂O₃ içermek-
te ve bunun yıllık birikimi de yılda 800 tona ulaşmaktadır.
Owens Nehri'nin içerdiği 1 ppm. B₂O₃ miktarı diğer nehirler-
le karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Fakat nehri besle-
yen, genç riyolitik volkanitlerle ilgili çok sayıda sıcak su
kaynakları vardır. Bu sular ortalama 11 ppm. B₂O₃ içerir-
ler ve nehir suyundaki borun %80'i bu kaynaklardan sağla-
nır (Smith, 1960).

Searles Gölü'nden Kerr Mc Gee Chemical Corp. (KMCC)
ve Stauffer Chemical Corp. (SCC) üretim yapmaktadırlar.
KMCC Kaliforniya'nın Trona kentindeki tesislerinde, gölden



Şekil 11: Boron borat yatakları jeoloji haritası (Bates, 1969)

15m.		Alüvyon
+70m.		Arkozik kumtaşı
35m.		Kolemanit içeren kiltası, Kireçli kiltası
85m.		Kil katmanlı boraks Boraks ve üleksit
25m.		Üleksitli kiltası, bentonit, şeyl
+50m.		Bazalt

Şekil 12: Boron borat yataklarında kaya birimlerini gösterir dikme (Kistler ve Smith, 1975).

pompalanan tuzlu sulardan, buharlaştırma yöntemi ile, potas, boraks, lityum, soda külü ve sodyum sülfat elde etmektedir. Kuruluşun yıllık üretim kapasitesi 90.000 ton B_2O_3 eşdeğeridir. Bunun 50.000 tonu kuru boraks, 22.000 tonu borik asit olarak üretilir. Bunların yanında borontriklorit, borontribromit ve element boron elde edilir.

Güney Amerika Borat Yatakları::

Arjantin, Bolivya, Şili ve Peru'yu içine alan 1000 Km. uzunluğunda bir kuşak boyunca 40'a yakın borat yatağı bilinmektedir (Şekil, 15). Bu kurak, volkanik-tektonik kuşakta "salares" adı verilen bir çok tuz gölleri oluşmaktadır. Milyonlarca ton rezerv olduğu söylenmesine karşın, kesin veriler yoktur. Uzun yıllar, Güney Amerika'da, Şili borat üretiminde ön sırayı almış, fakat 1967'den sonra Arjantin'deki zengin yatakların işletmeye açılması ile Şili'deki işletmeler kapanmıştır. Bugün Güney Amerika'daki tek üretici Arjantin'dir. Üretimin %90'ı Salta bölgesindeki Salar del Hombre Muerto çukurunda (deniz düzeyinden 4100 m. yüksekte) yer alan Üçüncü Zaman göl tortulları içindeki yataklardan yapılmaktadır.

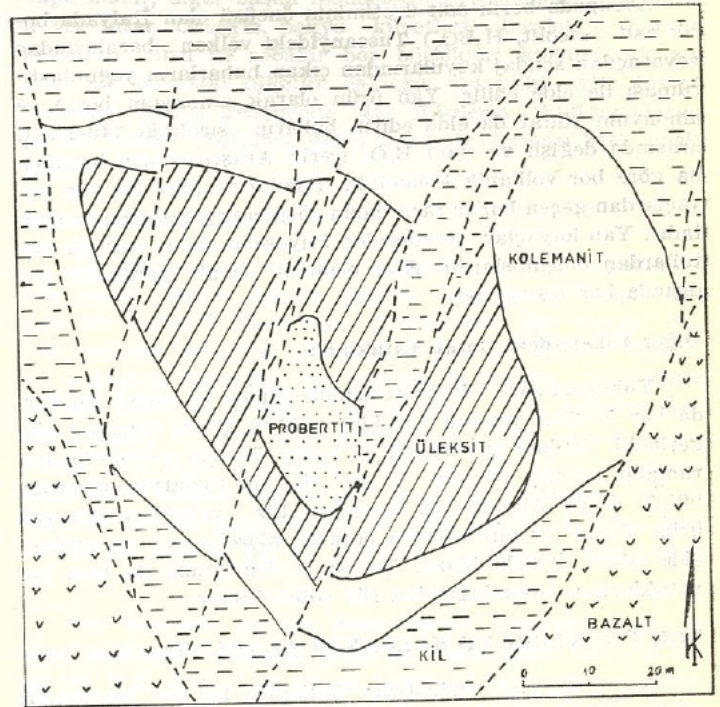
Borat yatakları çoğunlukla halen aktif olan sıcak su kaynaklarının çevresinde bulunmaktadır. Kaynak konileri ve koni saçakları, bir yerde boraks olması dışında, her yerde üleksitten oluşmuşlardır. Birçok yataklarda boratların üstüne daha sonra oluşmuş, kireçtaşı, tüf arakatlı tortullar gelir. Bazı yerlerde de tuz (halit) ve jips ile örtülmüşlerdir. Çevrede, yakın geçmişteki volkanik olayları simgeleyen bazaltik ve riyolitik lav akıntıları görülür. Güncel oluşan yatakların rezervleri bir kaç yüz tondan on bin tona kadar değişmekte ve %20 B_2O_3 içermektedirler (Muessing, 1966).

Güney Amerika'nın Salar tipi yatakları tabaka ve yumrular şeklinde üleksit ve zaman zaman da boraks ve inyoiten oluşurlar. Çamur, silt, halit ve jipsden oluşmuş göl tortulları ile örtülürler. Göller bir kaç yüz Km. karelik alanlar kaplarlar ve boratların göle taşındığı küçük kaynak suları ile beslenirler. Arazinin yüksek, iklimin kurak oluşu çalış-

ma koşullarını güçleştirir. Ayrıca göl tabanının yumuşak oluşu ağır makinelerin çalışmasını önler. Madencilik ilkel ve pahalı yöntemlerle sürdürülmektedir.

Arjantin Borat Yatakları: Arjantin 1972 yılında Tinca-layu boraks yatağından 50.000 ton borat üretmiştir. Pliyosen tortulları içinde 30 m. kalınlığında ve 100 m. çapında bir dom şeklinde yükselmiş olan çok ince kristalli boraks kütle-si, tıknaz bir halit kütle-si üzerine oturur ve ince katmanlar halinde üleksit, inyoit ve kurnakovit içeren kırmızı tuzlu tortullarla örtülür. Domun, alttaki göl tortullarının yukarı itmesi ile oluştuğu savunulur (Hurlbut ve diğerleri, 1973: Kistler ve Smith, 1975 den). Yerel kıvrımlanma ile antiklinal şeklini almış olan yatak, faylarla kesilmiştir. Bu değişim sırasında boraksın bir kısmı yerel metamorfizma ile kernite dönüşmüştür. Yatağın bir kısmı açık, diğer kısmı ise kapalı olarak Boroquimica SAMICAF tarafından işletilir. Elde edilen ham cevher 400 Km. uzaklıktaki Ant Dağları eteğindeki, Campo Quijano tesislerine taşınarak işlenir. Üretim ancak LAFTA (Latin Amerika Serbest Ticaret Bölgesi) ülkelerinin tüketimini karşılar.

Diğer yataklardaki işletmeler küçük ve ilkeldir. Bunların içinde en büyüğü Salar de Pastos Grandes'tir, tabakalı kolemanit ve hidroborasit içerir.



Şekil 13: Ölü Vadi borat yatakları jeoloji haritası (Kistler ve Smith, 1975)

S.S.C.B. Borat yatakları:

1934 yılında Hazer Denizinin 250 Km. kuzeyindeki bor yataklarının bulunmasından sonra Sovyetler Birliği yılda yaklaşık 72.000 ton B_2O_3 üretmek kendi gereksinimini karşılamaya başlamıştır (Strishkov, 1972: Kistler ve Smith, 1975 den). Hazer Denizi ile Ural Nehri arasında kalan İnder böl-

gesindeki bu yataklar, İkinci ve Üçüncü Zaman tortul kayaların bindirme ile örttüğü 250 Km² lik alan kaplayan, Permian yaşlı bir tuz domunun etrafında yer almaktadır. Tabakalı ve çatlak dolguşu şeklinde bulunan bor oluşumları, çoğunlukla magnezyumlu boratlardan szabelit ve hidroborasit, kalsiyumlu boratlardan pandemit (priceit), inyoit ve kolemanit içerirler. Tabakalı yataklar, domun üzerindeki jipsli, karbonath ve kırmızı killi katmanlar içinde, bir kaç metre kalınlığında mercek ve cepler şeklindedir. Domun üst kısmında gelişen çatlaklar boyunca bulunan boratların, yer altı suları tarafından taşınarak jips ve karbonatların yerini alarak oluştuğu görüşü savunulur. Rezervler kesin olarak bilinmemekle birlikte, %20 B₂O₃ içeren 350.000 - 7,000,000 ton cevherin varlığı belirtilmektedir.

Bor yataklarının yakınındaki İnder Gölü, Searles Gölüne benzetilmektedir. Bir tuz kabuğu ile örtülmüş olan göl yüzeyinin altında 36 m. kalınlığında kristallerin düzensiz büyümesi sonucu oluşan (boşlukları korunmuş) bir tuz kütlesi yer alır. Boşluklar, %0,23 B₂O₃ içeren potasyum klorid, bromidler ve boraksca doymuş sularla doldurulur. Göl, borat yataklarının bulunduğu alandan gelen sularla beslendiği için, bor kaynağının İnder tuz domu olduğu sanılmaktadır. Üretimin belli bir kısmını gölden elde edilen boraks oluşturur.

İtalya Bor Kaynakları:

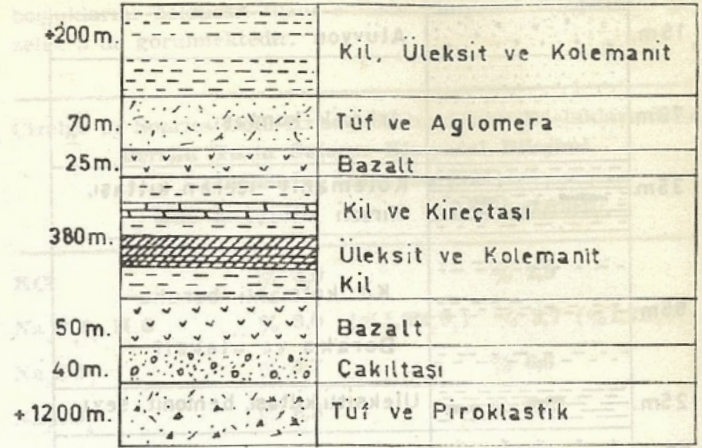
Avrupada borik asit üretiminin öncüsü olan İtalyada borik asit (sasolit, H₃BO₃) Tuscanyedeki volkan bacalarından veya açılan sondaj kuyularından çıkan buharların yoğunlaştırılması ile elde edilir. Yan ürün olarak amonyum borat ve amonyum sülfat da elde edilen buharın sıcaklığı 140-230°C arasında değişir ve %0,1 B₂O₃ içerir. Araştırmacıların bazılarına göre bor volkanik kökenlidir. Bazılarına göre ise yan kayalardan geçen buhar tarafından çözülerek yüzeye taşınmaktadır. Yan kayalar Kretaseden Pliyoseneye kadar değişik tortullardan oluşmuşlardır. Eser element olarak içerdikleri bor dışında bor içermeyizler.

Diğer Ülkelerdeki Borat Yatakları:

Yukarıda sözü edilenler dışında bilinen ve önemli miktarda bor üretimi yapılan yataklar yoktur. Çinin Şanghay bölgesindeki Taşdam çukurunda ve kuzey Tibette mevsimlik kurumalar sonucu, yüzeyde "playa" tipi bor tuzlarının oluştuğu bilinir. Doğu Almanya'da Stassfurt tuz yataklarından yan ürün olarak az miktarlarda borasit, hidroborasit ve szabelit elde edilir. İranda Hazer Denizinin doğusunda da bazı bor yataklarının bulunduğu söz edilmektedir.

BOR ÜRÜNLERİ VE KULLANIM ALANLARI:

Bor ürünlerinin endüstride kullanımı hiç bir hammadde ile karşılaştırılmayacak kadar yaygındır (Şekil, 16). Kullanış miktarı ve şekline göre de aynı kullanım alanında tam karşıt etkiler sağlanabilir. Örneğin, patlayıcı maddelerin yapımında kullanıldığı gibi, yanmayı önleyici olarak da kullanılabilir. Bir başka örnek de tarım alanında verilebilir; bir yandan gübreye bitkileri besleyici olarak katılırken diğer yandan tarım ilaçlarına yabancı otları kurutucu olarak katılır. Bor ürünlerinin en fazla tüketildiği alan cam endüstrisidir. ABD nin bu alandaki tüketim payı %34 dür. Diğer endüstri dallarındaki tüketim miktarları ise şöyledir: cam emaye %15; sabun ve diğer temizleyiciler %16; tarım ilaçları %14; diğer kullanım alanları %22.



Şekil 14 Ölü Vadi borat yataklarında kaya birimlerini gösterir dikme (Kistler ve Smith, 1975).

Cam ve Seramik Endüstrisi:

Bazı cam türlerinin üretimi sırasında, cam hamuruna %0.5 - 23 arasında B₂O₃ katılarak borosilikatların (prex) oluşması sağlanır ve istenilen özelliklerde özel camlar elde edilir. Borun katılmasıyla camın ısı ile genişleme katsayısı düşer ve cam ısıya dayanıklı duruma gelir. Bor işlem sırasında erimeyi ve camlaşmayı kolaylaştırdığı gibi katılaşmış camda rengi duraylaştırır, parlaklığı, yansımaya ve çizilmeye karşı dayanımı artırır. Camı asitlere karşı duyarsız duruma getirir.

Endüstriyel amaçlarla iki tip borosilikat cam üretilir:

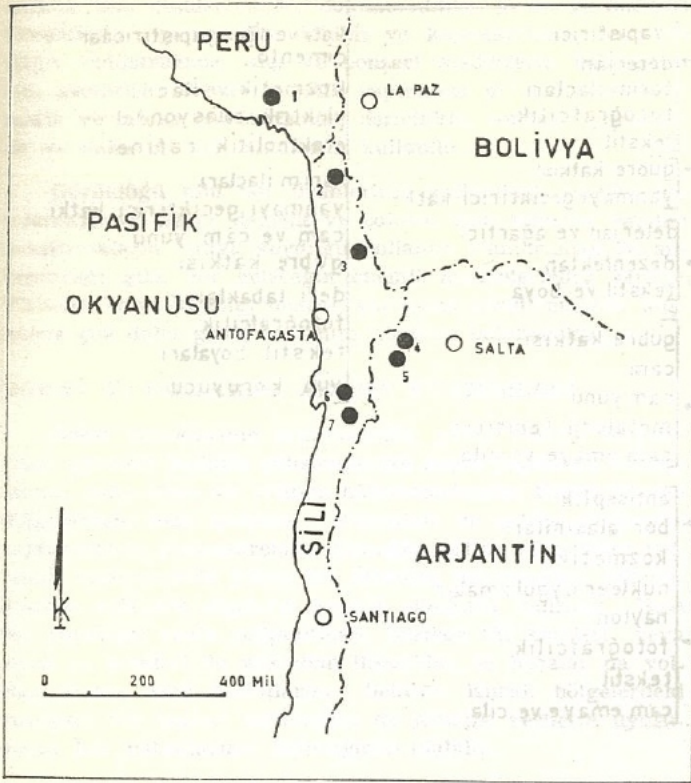
1) Saydam camlar; çamaşır makinalarının, mutfak fırınlarının ön camları, mutfak eşyaları (çaydanlıklar yemek kapları), laboratuvar araçları (deney tüpleri, flask, beher) yapımında kullanılır.

2) Opak borosilikat camları; daha çok opak ve kalın mutfak eşyaları yapılır.

Cam lifi yapımında %5-7 oranında normal cama katılan B₂O₃ çoğunlukla kolemanit bileşimindedir. Cam lifinin hafif ve geniş yüzey alanına sahip olması nedeniyle, yanmaya dayanıklı ve ısı koruyucu olarak kullanılmasıdır. Cam lifi üretiminde borun kullanılmasının nedeni, cam liflerinin bozulmasını önleyen diğer kimyasal maddelerin hava ve su ile çözülüp taşınmasını önleyici olmasındandır. Son yıllarda enerji bunalımı nedeniyle enerji bakımına yardımcı olması amacıyla izolasyon maddesi olarak cam lifinin kullanılması önem kazanmıştır.

Cam lifinin tüketildiği diğer bir alan da, plastiklerin, endüstriyel dokumaların, çeşitli lastiklerin ve endüstride kullanılan kalın kâğıtların dayanımını arttırmak için katkı olarak kullanılmasıdır. Bu amaçla kullanılan cam lifinin bozulmaya daha fazla dayanımlı olması için kullanılan bor miktarı da daha fazladır (%8-9 B₂O₃). Bu alanda tüketim diğer alanlardakilerden çok daha hızlı artmaktadır (yıllık artış oranı %14-16).

Boraks seramik malzemelerin sırlanmasında günden güne artan bir önemle kullanılmaktadır. Boraks, katıldığı di-



Sekil 15: Güney Amerika borat yatakları dağılımı,

ğer maddelerin, özellikle silisin, kolay erimesini ve eridikten sonra seramik yüzeyinde çabuk yayılmasını sağlar. Kullanılan boraks miktarı yansımayı etkilediği için seramiğin renk tonunu da katıldığı miktara bağlı olarak değiştirir. Sır için kullanılan karışımda silis miktarı azaltılır, boraks miktarı arttırılırsa, sır daha sert, daha dayanıklı ve daha parlak bir renk kazanır. Sırlamada kullanılan boraks miktarı istenilen amaca göre %20-40 arasında değiştirilir.

Sabun ve Diğer Temizleyiciler:

Perboratların çamaşır tozlarında temizleyici olarak kullanılması soğuk veya sıcak yıkamanın yaygınlığına bağlıdır. Perboratlar ancak 55°C üzerinde aktif duruma geçerler. Bugün dünyanın bir çok ülkesinde sıcak yıkama yaygın olmasına karşılık, Kuzey Amerika'da soğuk yıkama benimsenmiştir. Soğuk yıkama için daha çok klorlu temizleyiciler kullanılır. Yalnız sodyum perborat aktif oksijen kaynağı olması nedeniyle, yıkama öncesi kullanılan temizleyicilerin yapılmasında önemli yer tutar.

Sodyum tetraborat veya boraks bakteri öldürücü özellikleri nedeniyle suların temizlenmesinde kullanıldığı gibi, sıcak suda ani çözümleri ve geniş yüzey alanı oluşturmaları nedeniyle, sabun ve benzeri temizleyicilerde aranılan bir hammadde olarak kullanılırlar.

Tarım:

Bütün bitkilerin büyümeleri için bir miktar bora gereksinimleri vardır. Fakat diğer yandan fazla bor bitkiler üzerinde öldürücü etki yapar. Bu nedenle de bor hem gübrele-

mede hem de tarım ilaçlarının yapımında kullanılır. Borca fakir topraklara bor çeşitli yollarla katılabilir. En uygun bileşikler kuru boraks veya on sulu borakstır (boraks dehidrat). Diğer yandan çözünürlüğü fazla olan sodyum pentaborat ve disodyum oktaborat tetrahidrat bitkilere doğrudan püskürtülerek uygulanabilir. Uzun süre etkili olması istenilen gübrelemelerde ise katı ve yavaş çözülen borasilikatların uygulanması istenir. Bu uygulamada yavaş çözülen borun zehirleyici etki yapmaması da önemli bir etkidir.

Fazla kullanılan borun bitkilerde zehirleyici etki yapması nedeniyle, bitki büyümesi istenmeyen alanların ilaçlanmasında bor bileşikleri, özellikle boraks, önemli miktarlarda tüketilir. Örneğin, hava alanları, askerî alanlar, demiryolları ve benzeri alanlar, borlu ilaçlarla ilaçlandığında uzun süre otların büyümesi önlenir.

Borun tarım alanında kullanılmasının en önemli özelliği, herhangi başka bir elementin borun yerini alabilmesinin şimdilik söz konusu olmamasıdır. Bu nedenle de bu alandaki kullanım nüfus artışı veya tarım ürünlerinin artışı ile paralel olarak artacaktır.

Emaye:

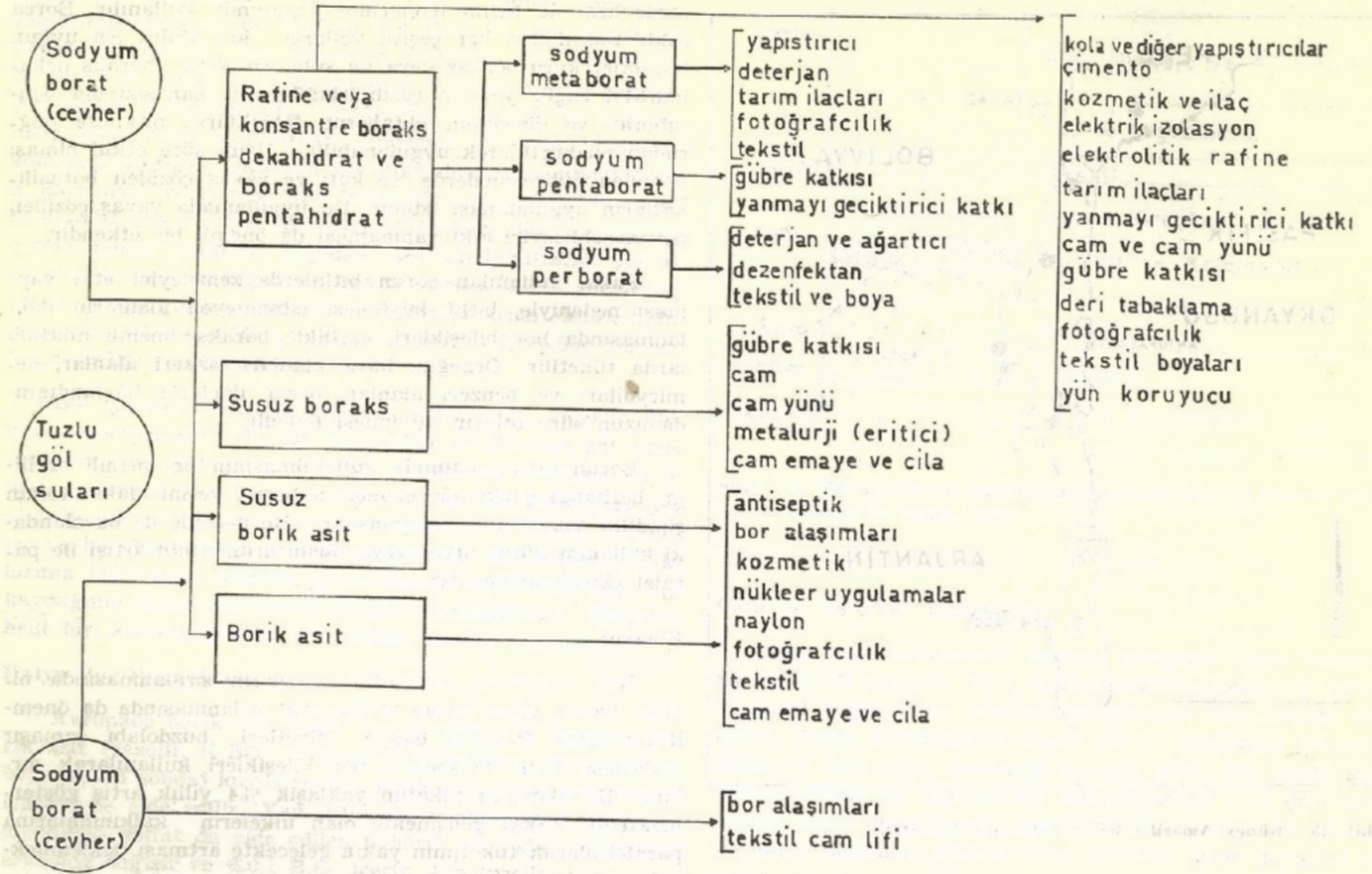
Bor bileşikleri seramik maddelerin sıralanmasında olduğu kadar, diğer başka maddelerin sırlanmasında da önemli yer tutar. Örneğin, banyo küvetleri, buzdolabı, çamaşır makinası, fırın ve sobalar bor bileşikleri kullanılarak sırlanır. Bu alandaki tüketim yaklaşık %4 yıllık artış göstermektedir. Fakat gelişmekte olan ülkelerin kalkınmalarına paralel olarak tüketimin yakın gelecekte artması beklenmektedir.

Diğer Kullanım Alanları:

Az miktarlarda borun kullanıldığı alanlar sayılamayacak kadar çoktur. Ayrıca, yapılan araştırmalarla her gün yeni bir kullanım alanı daha çıkmaktadır. Bir element olarak karbona benzediği için karbon gibi çok değişik bileşikler yapmaya uygundur. Bu nedenle de değişik bileşiklerin değişik kullanım alanları doğmaktadır. Bor ürünleri özel durumlarda, örneğin uzay araçlarında, yakıt olarak kullanıldığı gibi, diğer araçlarda kullanılan yakıtların yanmasını daha etkin kılmak için katkı olarak da kullanılır. 1957 de ABD de bordan yakıt üreten iki tesis kurulmuş, fakat 1959 da her iki tesis de hiç bir açıklama yapılmadan kapatılmıştır.

Bor üzerinde yapılan araştırmalar, özellikle savaş ve uzay endüstrisi açısından önem kazanmaktadır. Örneğin bor karbid, B_4C , 2450°C da eriyen, kimyasal tepkimelere ve radyasyona duyarız, oldukça sert bir maddedir. Özgül ağırlığının 2,4 gm/cm³ olması yanında, elmas ve bor nitridten sonra en sert ve en dayanımlı bir madde olması nedeniyle de uçak ve diğer askerî araç ve gereçlerin yapımında yeri tutulamaz. Yine bor karbid nükleer enerji santrallerinde, nötron emici özelliği nedeniyle, denetim çubukları yapımında da önemli bir maddedir.

Bor karbiden daha sert olan bor nitrid, hegzagonal (beyaz grafit) ve kübik (borazon) sistemlerde olmak üzere iki şekilde kristallenir. Beyaz grafit erimiş metallerin kimyasal tepkimelerine karşı duyarız olması nedeniyle yüksek sıcaklıklarda elektrik yalıtkanı-ısı iletkeni olarak kul-



Şekil 16: Bor ürünleri kullanım alanları (Watt, 1973).

lanılır. Borazon, beyaz grafitin yüksek basınç ve yüksek sıcakta katalizörlerle uzun süre tutulması ile elde edilir. Endüstriyel elmasın kullanıldığı her alanda kullanılır.

Bor bileşiklerinin düşük özgül ağırlığı ve çok dayanıklı olmaları nedeniyle, bu bileşiklerden elde edilen liflerle desteklenmiş plastik ve metallerin bazı endüstri dallarında kullanımları hızla artmaktadır. Örneğin, uçak kanatları, helikopter pervaneleri, dar temel üzerine oturtulmuş yüksek binalar, asma köprüleri ve benzeri yapılar bu tip bor lifleri ile desteklenmiş plastik ve metallerden yararlanılarak yapılabilmektedir.

Son yıllarda İngiltere'de "buhardan sandal" yapımında titanyum diborid ve bor nitrid kullanılmaya başlanmıştır. Çok ince plastik veya kâğıttan yapılmış sandal örneği havası boşaltılmış ve yüksek sıcaklıkta alüminyum, bor nitrid veya titanyum diborid buharı ile yoğunlaşmış bir odadan geçirilir. Kâğıt veya plastik, bor bileşikleriyle bozunmaya dayanıklı hale getirilmiş alüminyum ile kaplanarak, çok hafif ve sağlam tekneler yapılır. Daha sonra yine hafif maddelerden yapılan gereçlerle donatılan bu teknelerin yakın gelecekte bütün diğer deniz taşıtlarının yerini alacağı sanılmaktadır.

Çelik endüstrisinde çeliğin sertleştirilmesinde de bor kullanılır. 50 ppm (%0.005) kadar bor çeliğe gerekli sertliği verebilir. Bazı durumlarda çeliğe %5'e kadar bor yedirilebilir. Fakat çelik çok sert ve kırılabilir olur. Bazı amaçlar için, çeliğin dış yüzü bor ile sertleştirilebilir. Bu işlemde bor yüzeyden içeriye doğru işleyerek karbon veya nitrojenli çelikten daha dayanıklı Fe_2B ve FeB oluşturur. Bu tip çelik su ile dokanakta olan hareketli parçaların yapılmasında kullanılır.

Metal oksitlerin yüksek sıcaklıkta boraks içinde kolaylıkla eriyebilmesi, çelik endüstrisinde flüorit yerine boraksın daha uygun olarak kullanılabilen bir hammadde olmasına yardımcı olmuştur. Yüksek fırınlarda boratlar asitliğin azalmasını ve refrakterlerin daha uzun dayanmasını sağlarlar. Ayrıca ısıtma süresinin de kısalmasına yardımcı olurlar. Ancak boratların çelik endüstrisinde flüoritin yerini alabilmesi, flüorit ve boratlarla ilgili ekonomik ve politik koşullara bağlıdır.

"STABOR seramiği" diye bilinen diğer bir bor bileşiği, metal eritmede kullanılan potaların yapılmasında, daha uzun süre dayanıklı olması nedeniyle zirkon potaların yerini almıştır.

Bu kullanım alanlarının dışında bor ürünleri, fotoğrafçılıkta, ilaç endüstrisinde, dokumacılıkta, yanmayı önleyici bileşiklerin yapımında, döküm ve kaynakçılıkta, boya ve kâğıt endüstrisinde, alçı ve benzeri maddelerin katılmasını geciktirici olarak, plastik yapımında pH ı denetlemede, lastik ve lateks endüstrisinde, dericilikte, sondaj çamurunda ve daha bir çok alanlarda kullanılır.

Görüldüğü gibi bor ürünlerinin kullanıldığı alanlar sayılamayacak kadar değişik ve çoktur. Son yıllarda yapılan araştırmaların ortaya koyduğu kullanım alanlarından da anlaşılacağı gibi, bor geleceğin önemli maddelerinden biridir. Element borun özelliği nedeni, yapılacak araştırmalarla kuşkusuz çok daha geniş kullanım alanları bulunacaktır.

BORAT YATAKLARINI ARAMA YÖNTEMLERİ

Borat yataklarının aranmasında, görsel Neojen bölgelelerinde ayrıntılı jeolojik çalışmalardan sonra yapılacak sondajlardan daha etkin bir yöntem bilinmemektedir. Görsel Neojen bölgelerinde bazı ipuçları, aramaları ve sondaj yerlerinin saptanmasını yönlendirebilir. Örneğin, tüfler veya diğer volkanik malzemelerin görsel bir ortamda bulunmaları, göl yakınında volkanik olayların geçmiş olduğunu kanıtlar. Bazı bor yatakları bazik volkanitlerle, bazıları tüf konileri veya sıcak su konileri ile yakından ilişkilidir; ki buralar da volkanizmanın odak noktalarını belirler. Kurak bölgelerdeki yüzeysel bor tuzları birikimleri de jeolojik verilerle uyuyorsa bor yataklarının belirleyicisi olabilir.

Boron jeokimyasal yöntemlerle aranması yalnız Sovyetler Birliğinde uygulanmıştır. Bir çok element bor ile birlikte bulunur ve borun iz elementi olarak kullanılabilir. Fakat bor kendisi suda kolay çözülen bir element olduğu için doğrudan bor yataklarının belirleyicisi olarak değerlendirilebilir. Suda 0,5 ppm miktarında çözülmüş bor kimyasal analiz yöntemleri ile duyarlı bir şekilde saptanabilir. Bor oluşumu için umutlu bir bölgede yer altı suundaki bor miktarının dağılımının belirlenmesi ile jeokimyasal bir anomali ortaya konabilir, ve jeolojik yorumlama ile sondaj yerleri saptanabilir.

Bor yataklarının aranmasında bazı jeofizik yöntemler kullanılabilir. Fakat bu yöntemler doğrudan bor yatağının varlığını kanıtlamaktan daha çok göl tabanının şeklini ortaya koymaya veya killi tortullar içindeki yoğunluğu ve iletimi farklı oluşumları (boratlar, kireçtaşı, marn gibi) saptamaya yardımcı olur.

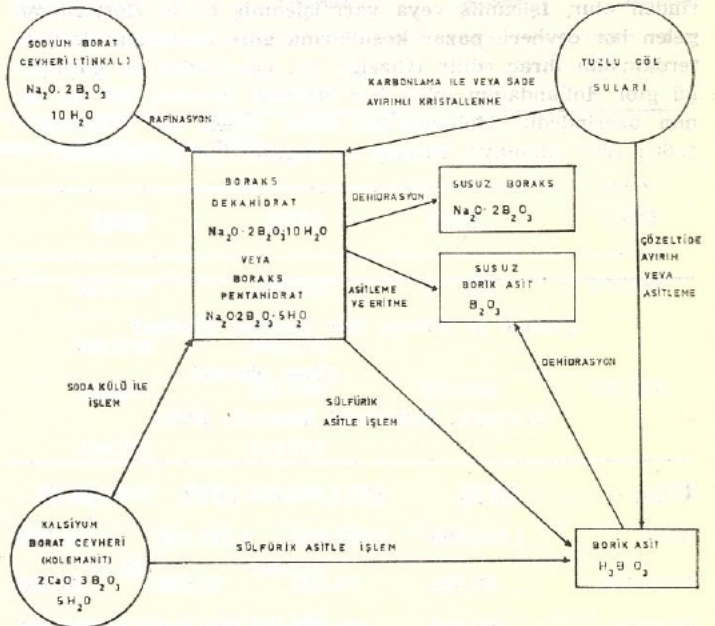
MADENCİLİK VE PAZARA HAZIRLAMA

Bugün bilinen büyük borat yatakları, Kırka, Emet, Boron ve Salta açık olarak işletilirler. Salta (SAMİCAF) ve Emet (Etibank) işletmelerinde açık işletmelerin yanında kapalı işletilen ocaklar da vardır. Bigadiç ve Ölü Vadi kolemanit yatakları ise kapalı olarak işletilirler.

Ocaklardan tesislere gelen sodyumlu cevherler çoğu kez kırılıp, elenir ve yıkanarak zenginleştirilirler. Kalsiyumlu cevherler (kolemanit) ise ya yıkanarak ya da kalsine edilerek zenginleştirilirler. Örneğin, Etibank, Kırka boraks zenginleştirme tesisinin yılda 400.000 ton cevher işlemek üzere kurulması planlanmıştır. Saatte 100 ton ham cevher işlenecek ve 67 ton zenginleştirilmiş cevher elde edilecektir. Bugün henüz tam kapasiteye ulaşmamış olan tesiste cevhe-

rin işleniş şekli basit olarak şöyledir: Siloda toplanmış 400 mm. den büyük olmayan cevher 100 mm. lik eleklerden elenir. Elek üstü impakt kırıcıdan geçirilerek 100 mm. nin altına indirilir. 100 mm. nin altındaki cevher manyetik tamburlu bantlarla taşınarak 25 mm. nin altına elenir, elek üstü ikinci impakt kırıcıya verilerek 25 mm. nin altına kırılır. 25 mm. nin altındaki cevher bantlarla 10.000 tonluk stokta toplandıktan sonra yine manyetik tamburlu bantlarla 6 mm. lik eleğe gönderilir. Elek üstü merdaneli kırıcı ile 6 mm. nin altına indirilir. 6 mm. nin altındaki cevher dört gözlü skrabere (oğarak yıkayıcı), oradan da ikinci iki gözlü skrabere gönderilir ve temiz su ile yıkanan cevher 1 mm. lik elekten geçirilir. Elek üstü tikinerlere gönderilir. Tikinerlerde zenginleştirilen cevher tekrar 6mm.lik elekten devreye girer. 1 mm.lik elek altı üç ayrı sınıflayıcıdan geçirilerek dağıtım için siloya gönderilir.

Boron sodyumlu borat işletmelerinde, 25 mm. nin altına kırılan cevher kapalı devre dolaşan seyreltik sıcak boraks çözeltisi ile çözülür. Çözülmüş cevherle derişmiş çözelti sallantılı eleklerden geçirilerek çözülmemiş iri parçalarından ayrılır. Elek altına geçen sıvı ve küçük parçacıklar ters akıntılı tikinerlere pompalanır. Tikinerlerde temizlenmiş boraks çözeltisi, süzülerek vakumlu kristalleştiricilere gönderilir. Kristalleştiricilerden otomatik santrifüjlere gelen çözelti ve kristal boraks karışımından, kristal boraks ayrılarak kurutulur. Kurutma işlemine göre boraks dekahidrat veya boraks pentahidrat elde edilir (Şekil, 17). Elde edilen ürünün bir kısmı, gazla ısıtılan fırınlarda ergitilerek susuz boraks veya susuz borik asit elde edilir.



Şekil 17: Sodyumlu boratların pazara hazırlanması (Watt, 1973).

Ölü Vadide kolemanit cevheri 25 mm. ye kırıldıktan sonra elenerek 1 mm. nin altı ayrılır. 1-25 mm. arasındaki cevher kalsine edilir. Kalsinasyon sırasında kil genişleyerek ko-

lemanitten ayrılır; suyunu kaybeden cevher de 325 meş civarında toz haline döngür. Daha sonra kili temizlenen cevher paketlenerek piyasaya sürölür.

Searles Gölü tuzlu sularından boraks elde edilmesi buharlaştırma veya karbonasyon işlemleri ile olur. Buharlaştırma işleminde, denetimli çabuk soğutma ile önce halit (NaCl), daha sonra sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve en sonunda da silvit (KCl) kristalleştirilerek ayrılır. Geriye kalan boraksca zengin çözelti, boraks çekirdek kristalleri içeren tanklara gönderilir. Kristallenme sürecinden sonra, siklonlarda ayrılan boraks kristalleri yıkanır, tekrar çözümlür ve vakumlu kristalleştiricilerde kristallendirilir. Elde edilen ürün kurutularak torbalanır.

Karbonasyon işleminde ise kireçtaşından kireç yapılıma işlemi sırasında açığa çıkan karbondioksit, tuzlu sular içinden geçirilerek sodyum bikarbonatın kristallenmesi sağlanır. Geriye kalan çözeltinin ön soğutulması ile boraksın, daha ileri soğutulması ile de sodyum sülfatın kristallenmesi sağlanır. Kristal boraks otomatik santrifüjlerle çözeltiden ayrıldıktan sonra fırınlanarak boraks dekahidrat veya boraks pentahidrat elde edilir.

ÜRETİM, TÜKETİM VE PAZARLAMA

Dünya ham borat üretimi yaklaşık iki milyon ton civarındadır (Çizelge, 4). Sovyetler Birliği dışındaki üç büyük üretici ABD, Türkiye ve Arjantin, ürettikleri cevherin büyük bir kısmını ihraç ederler. Arjantin'in ihraç ettiği ülkeler daha çok Güney Amerika ülkeleridir; ki bunların başında Brezilya gelir. ABD'nin ihracatı daha çok Rotterdam üzerinden olur. İşlenmiş veya yarı işlenmiş halde Rotterdama gelen bor cevheri, pazar koşullarına göre hazırlanarak Rotterdam'dan ihraç edilir (Çizelge, 5). Çizelgeden de görüldüğü gibi Hollanda'nın yıllık bor ürünleri ihracatı 300 bin tonun üzerindedir. Hollanda'dan ihraç edilen bor ürünlerinin %60'ı Batı Almanya, Fransa ve İngiltere'ye gitmektedir.

Çizelge 4: Dünya Bor Cevheri Üretimi

(Ton olarak)

(Kaynak: Industrial Minerals 1974)

Ülke	1970	1971	1972	1973
ABD	1.040.000	1.047.000	1.121.000	1.312.000
Arjantin	35.044	50.000	60.000	60.000t
Türkiye	428.000	629.000	680.000	700.000
SSCB	VY	200.000t	200.000t	200.000

I.M. Industrial Minerals; VY, veri yok; t, tahmini.

Çizelge 5: Hollanda'nın Ham Borat ve İşlenmiş Bor Ürünleri İhracatı (Ton olarak)

İhraç Edilen Ülkeler	1970	1971	1972
Fransa	52.045	59.103	62.919
Belçika-Lüksemburg	28.060	36.753	41.087
Batı Almanya	100.849	77.275	88.327
İtalya	13.697	14.519	21.173
İngiltere	56.910	62.007	54.406
İsveç	6.822	8.036	10.478
Avusturya	7.284	7.584	9.100
İspanya	23.146	29.752	29.210
Yugoslavya		4.885	10.625
Brezilya		1.520	4.250
Toplam	308.325	323.068	353.659

ABD'nin Hollanda üzerinden ihracatının dışında bor ürünleri sattığı ülkeler Kanada, Japonya ve Güney Amerika'dır (Çizelge, 6-7). Çizelgelerden de görüldüğü gibi Japonya, ABD borik asit ihracatının %30'unu, rafine boraks ihracatının da %25'ini ithal eder.

Çizelge 6: ABD Borik Asit İhracatı

(Ton olarak H_3BO_3 içeriği)

Ülkeler	1970	1971	1972
Kanada	4.552	4.236	3.796
Meksika	1.793	1.754	2.109
Brezilya	1.993	998	1.109
Hollanda	13.547	8.195	1.455
Batı Almanya	4.601	646	1.668
Japonya	13.862	13.367	9.516
Avustralya	2.797	2.647	2.446
İngiltere	3.140	—	353
Toplam	52.369	36.409	27.655

Türkiye'nin ihracatının büyük bir kısmı Etibank tarafından doğrudan tüketici kuruluşlara satılarak yapılır. Etibank kolemanitlerinin ve Bandırma boraks-borik asit ürünlerinin büyük bir kısmı Lozandaki (İsviçre) Borax SA. tarafından pazarlanır. Ayrıca özel kuruluşların ürettiği kolemanitin çoğu Philipp Brothers tarafından Avrupa pazarlarına satılır. Türkiye'nin üretimi, toplam dünya üretimindeki payı, yıllık üretim artışı ve bu değerlerin ABD ile karşılaştırılmaları Çizelge, 8'de görülmektedir.

SONUÇ

Bor ürünlerinin çok değişik alanlarda kullanılması ve bu kullanım alanlarının günlük yaşamımızla yakından ilişkili olması, tüketiminin sürekli bir şekilde artacağını belirtir. Bunun dışında, bir çok yeni kullanım alanında teknolojinin ilerlemesine paralel olarak gereksinimin artacağı da kaçınılmazdır. Son yıllarda enerji bunalımı nedeniyle, borun nükleer veya katı yakıt olarak kullanılabilmesi ile ilgili çalışmalar da hızlanmıştır.

Bütün bu veriler göz önünde bulundurulursa bor ürünlerinin her geçen gün önem kazanacağı anlaşılır. Ancak bu önem kazanmanın Türkiye açısından değerlendirilmesi için bazı etkenlerin de dikkate alınması gerekir. Türkiye dünya bor hammadde rezervlerinin %70'ine sahiptir; fakat dünya pazarlarında dünya tüketiminin ancak %25'ini pazarlayabilmektedir. Önemli güçlük rezerv, üretim veya teknolojik olanaksızlıklardan değil, pazarlama politikasının yanlışlığından gelmektedir. Ayrıca, Çizelge 8'deki değer/üretim oranları da ABD ile karşılaştırıldığında çok açık farkların olduğu görülür. Bu da birim B₂O₃ den elde edilen gelirin ancak işlenmiş ürünlerin satılması halinde yüksek olacağını gösterir. Ham cevher satmanın Türkiye için gelecekte bor ürünlerini değerlendirme açısından yararlı olamayacağı açıktır.

Çizelge 7: ABD Rafine Sodyum Borat İhracatı (Ton olarak)

Ülkeler	1970	1971	1972
Kanada	10.378	10.568	11.251
Meksika	8.928	7.608	8.494
Brezilya	1.220	2.321	2.221
Kolumbiya	1.493	851	—
İsveç	1.838	—	292
İngiltere	899	715	880
Hollanda	61.178	54.180	71.378
Fransa	8.949	8.022	1.956
Batı Almanya	1.325	—	737
İsviçre	1.497	735	—
İspanya	1.368	—	—
İtalya	6.719	—	—
Yugoslavya	5.203	2.122	618
Güney Vietnam	3.003	2.436	2.207
Güney Kore	1.260	2.521	2.410
Hong Kong	5.249	5.551	3.634
Çin	2.382	2.361	3.334
Japonya	40.848	47.343	34.422
Avustralya	5.306	6.525	4.341
Yeni Zelanda	3.101	3.261	2.486
Güney Afrika	758	601	1.271
Toplam	180.832	166.083	162.123

Çizelge 8: Boraks endüstrisinde Türkiye ve ABD

		1967	1968	1969	1970	1971	1972
Türkiye	Ham madde üretimi (ton)	287.606	362.936	432.475	523.650	571.031	622.444
ABD		686.362	930.772	925.329	944.415		
Türkiye	Üretim B ₂ O ₃ olarak (ton)	110.019	139.988	168.601	203.990	233.000	243.000
ABD		449.964	492.601	489.880	498.952		
Türkiye	Ham borat ihracatı	207.796	247.926	339.963	361.583		
Türkiye	Değer (1000 TL.)	45.448	56.691	78.381	106.207		
ABD		1.111.950	1.197.405	1.218.915	1.302.405		
Türkiye	Değer/Üretim	413	404	464	520		
ABD		2.471	2.430	2.488	2.610		
Türkiye	Dünya pazarlarında yeri	21.05	24.00	27.00	30.59		
ABD	(% olarak)	63.41	61.56	58.21	55.18		

Kaynak: Baysal, 1975'den sadeleştirilmiştir.

DEĞİNİLEN BELGELER:

Bates, R. L., 1969, Geology of the industrial rocks and minerals: Dover, New York, 459 s.

Baysal, O., 1972, Sarıkaya (Kırka) borat yataklarının mineralojisi ve jenetik incelenmesi: Doçentlik tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1957 s., yayınlanmamış.

Baysal, O., 1974, Kırka borat yataklarındaki kil mineralleri üzerinde ön çalışma: Türkiye Jeol. Kur. Bül., 17, 1-17.

Baysal, O., 1975, Türkiye Bor Hammadde Üretim Politikası; Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 4. Kongresi, M. M. Odası Yayınları 107 - 122.

Christ, C.L. ve Garrels, R.M., 1959, Relations among sodium borate Hydrates at the Kramer deposit, Boron California: American Journal of Science, 257, 516-528.

Goldschmidt, V.M., 1958, Geochemistry: Oxford University Press, 281-288

Industrial Minerals, 1974; Borates, Supplies still tight despite rising Capacity, Nisan, 11-29.

İzdar, E. ve Köktürk, U., 1975, Türkiye'de borat yataklarının jeolojisi ve yeni saha potansiyelleri ile ilgili bazı görüşler: Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 4. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası yayınları, 411-434.

Kistler, B.R. ve Smith, C.W., 1975, Boron and Borates; Industrial Minerals and Roc., 4. baskıda: A.I.M.E., New York, 473-496.

Mason, B., 1966, Principles of Geochemistry, 3. baskı: Wiley, 329 s.

Muessing, S., 1966, Recent South American borate deposits; Rau, J.L., ed., 2nd Symposium on Salt da: Northern Ohio Geol. Surv., Cleveland, I, 151-159.

Özpeker, I., 1969, Batı Anadolu borat yataklarının mukayeseli jenetik etüdü: Doktora tezi, İ.T.Ü., 116s.

Smith, W.V., 1960., Borax and borates, Industrial Minerals and Rocks, 3. baskı, A.I.M.E., New York, 103-118.

Watt, K.A.L.G., 1973, The borate industry; World Minerals and Metals da: British Sulphur Corp. Ltd., Londra, 12, 5-12.

White, D.E., 1957, Thermal waters of volcanic origin: Geol. Soc. Am. Bull., 68, 1637-1658.

Yıl	1971	1972	1973	1974	1975	1976
000.2+5						
1972						
1971						
1970						
1969						
1968						
1967						
1966						
1965						
1964						
1963						
1962						
1961						
1960						
1959						
1958						
1957						
1956						
1955						
1954						
1953						
1952						
1951						
1950						