

Batı Anadolu Borat Yataklarında izlenen Mineral Birliklerinin Yatak Evrimiyle ilişkileri

Relations of observed mineral assemblages to the evolution of borate deposits in Western Anatolia

Doç. Dr. IŞIK ÖZPEKER *İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul*
Dr. KEMAL İNAN *İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul*

ÖZ: Türkiye borat yatakları üçüncü zamanın sonlarına doğru Batı Anadolu'da gelişen göl ortamlarında kimyasal çökelimlerin ürünüdürler. Bulunan mineral birliklerinden yatakların gömülme sürecinde yüksek sıcaklık ve basınç etkisinde kalmadıkları anlaşılmıştır. Ancak ilk oluşan minerallerin gömülmeden sonra daha duraylı olabilen minerallere yerlerini bırakmışlardır. Bu yatakların gelişiminde B_2O_3 , Na_2O ve CaO esas bilegen olurken SrO , MgO ve As_2O_3 ise tali derecede önemli olmuştur.

ABSTRACT: Turkish borate deposits are products of lacustrine chemical precipitation which took place during the end of Tertiary in the Western Anatolia. In view of the existing mineral assemblages, it may be stated that those deposits were not subjected to any high temperature and pressure. It should be noted, however, that following the burial the primary minerals were replaced by more stable ones. B_2O_3 , Na_2O and CaO are by large the most important components in the developments of Turkish borate beds. SrO , MgO and As_2O_5 are of secondary importance.

GİRİŞ

Türkiye, dünya bor tuzu üretimine katkısı oldukça büyük olan bir ülkedir. A.B.D.'den sonra çoğaltanda ikinci sırayı alır. Gelişen Türk madenciliğinde borat yataklarının gelecekte önemi daha da artacaktır.

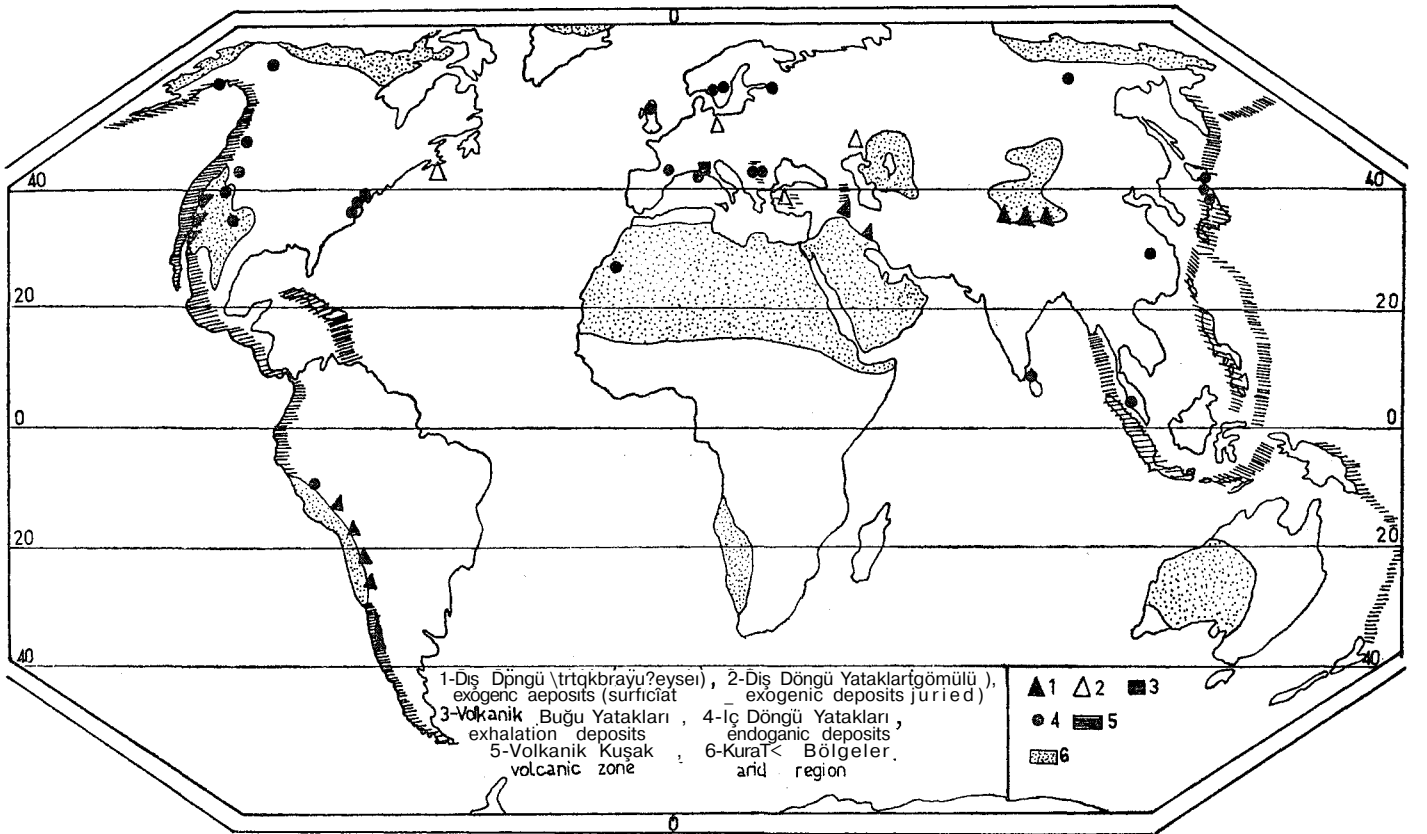
Çok uzun süreden beri Türkiye'de bor yataklarının varlığı bilinmektedir (Pandermit - Susurluk). Son 20 yıl içinde geniş bor yedekleri (rezervleri) ortaya çıkarılmış ve geliştirilmiştir. Bu arada çoğu kez tek tek veya yataklar topluluğu biçiminde ele alınmış ve özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır (Bekişoğlu 1962; Gavlik 1956; Özpeker 1968, 1973; İnan 1972, 1973; Baysal 1972, 1973). Bu yazıda dağılık olan verileri toplamak, bunların ışığında Türkiye borat yataklarının dünyanın diğer yatakları arasındaki yerini saptamak ve yatakların gelişim evrimine yeni bir yaklaşım getirme amacı güdülmüştür.

Bor Yataklarının Genel Bölümlenmesi

Dünya borat yataklarının dağılımına yakından bakılacak olursa bu yatakların tamamı yakın bir kısmı dağ oluşum sürecini izleyen kıtasal yanardağ etkinliğinin egemen olduğu görsel veya sıg iç denizel ortamları izlediği görür (Şekil 1). Bor içeren mineraller geniş evreler demeti aralığı içinde oluşmuşlardır. Bu nedenle borlu minerallerin oluşum evreleriyle ilişkin Meixner (1953a) ve Watanabee (1964)'nin önerdikleri bölümlenmelere göz atmada yarar vardır.

Meixner (1953a)'e göre bor mineralleşmeleri yedi ana kümeye ayrılır. Sırayla:

- 1 — Pegmatitlerde gözlenen bor mineralleri,
- 2 — • Dokanak başkalaşımı ve ornatması bor mineralleri,
- 3 — Volkanik buğu ürünleri (Toskani tipi),



Şekil I: Dünya bor yataklarının dağılık haritası. Watanabee, 1964'ten alınmıştır.

Figure 1: Distribution of borate deposits. After Watanabee, 1964

4 — Tuz yataklarında izlenen bor mineralleri (Stassfurt tipi),

- 5 — Gerçek borat yatakları (Kaliforniya tipi),
- 6 — Karışık tür (Kazakistan S.S.C.B.),
- 7 — Bunların dışında kalanlar.

Watanabee (1964) ise bor zenginleşmelerinde etkin olayları temel alarak bor yataklarını önce üç küme altında toplamış daha sonra bunları da kendi aralarında alt kümelere ayırmıştır. Önerilen bu bölümlenmeye göre bor mineralleşmeleri;

A) İç döngü (Endojenik yataklar):

- 1 — Turmalin taşıyan pegmatitler,
- 2 — Turmalinli aralıklar ve hidrotermal içirimler,
- 3 — Dokanak ornatması magnezyum borat yatakları,
- 4 — Başkalaşım ürünü turmalinli kayaçlar,

B) Volkanik buğu yatakları (Soffioni tipi),

C) Dış döngü (Ekzojenik yataklar):

- 1 — Yeni yüzeysel geçici göl (playa) yatakları,
- 2 — Tuzlu sular,
- 3 — Yeraltı playa yatakları,
- 4 — Bor taşıyan denizel tuz yatakları,
- 5 — Bor taşıyan tuz domları.

Yazarlar belirtilen bölümlenmelerden Watanabee'ninkine yakın düşünmekle beraber, bor üretiminin ana kaynağı dış döngü borat yataklarının daha ayrıntılı belirlenmesini gerekli saydıklarından aşağıdaki bölümlemenin daha uygun düşüğü kanısındadırlar.

I. İç döngü:

A) Pegmatitik evre bor mineralleri (Turmalin, dumontierit, vb.),

B) Hidrotermal evre bor mineralleri (Turmalin, aksinit, datolit, vb.),

C) Başkalaşım ürünü bor mineralleri,

1 — Getirimli dokanak ornatması ve başkalaşımı bor mineralleri (Ludvigit, floroborit, turmalin, vb.),

2 — Bölgesel başkalaşım bor mineralleri (Turmalin),

H. Sıcak su ve buğulardan çökelen bor mineralleri (Sassolit, larderellit),

m. Dış döngü:

A) Karasal tortul yataklar:

1 — Gölsel, volkanik buğu, kimyasal çökelek borat yatakları (sulu boratlar),

2 — Kapalı yöre, geçici veya sığ alkali göller borat yatakları (sulu boratlar),

3 — Yeraltı suyu borat yatakları,

4 — Kurak yöre yamaç veya bataklık borat yatakları,

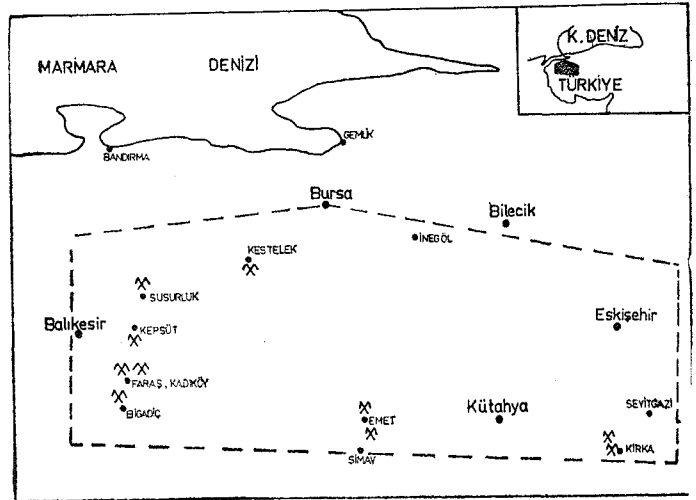
B) Denizel tortul borat yatakları (Stassfurt türü),

C) Bunların dışında kalanlar.

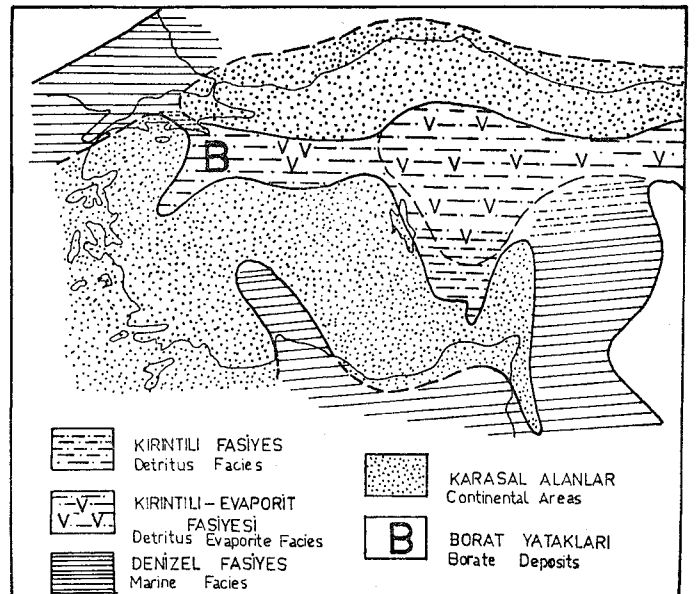
Türkiye borat yataklarının bu ana bölümlenmeler içindeki yerini Meixner'in 5., Watanabee'nin C kümesinin 1 ve 2 alt kümeleri ve önermekte olduğumuz bölümlemenin IÜ kümesinin A1 alt kümesi kapsamında düşünmek gerekmektedir. Türkiye borat yatakları ayrıca kendi aralarında, çökeltim durumuna göre; a) tam bir borat çökeltimi vermiş (Kırka tipi), b) çökeltme evresini tamamlayamamış yataklar olarak ikiye ayrılabilir (İnan, 1975a). Böyle bir ayrıma gitmek borat yataklarımızda çökeltme üst sınırını vermesi yönünden yararlıdır.

Borat Yataklarının Dağılımı ve Batı Anadolu Jeolojisi

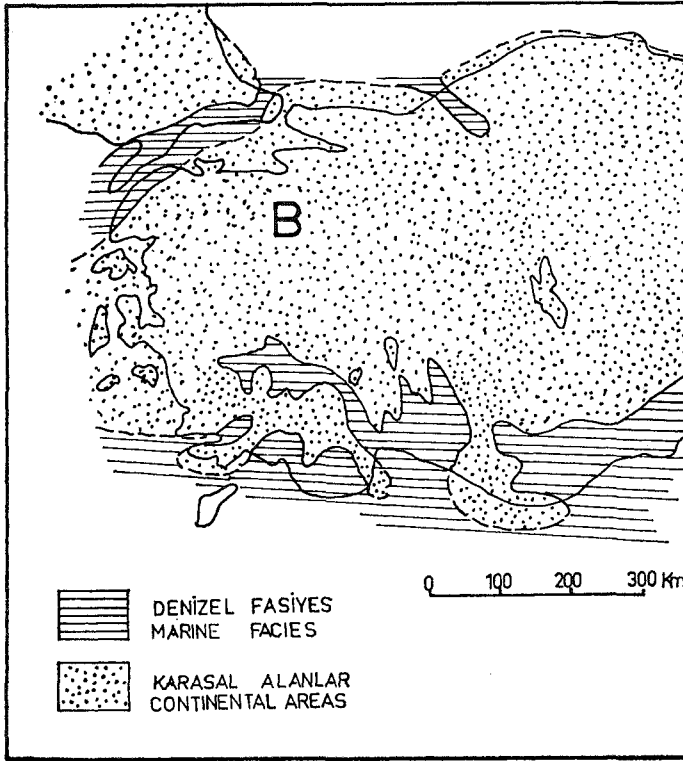
Bilinen borat yataklarımız Batı Anadolu'nun Bursa, Balıkesir, Kütahya ve Eskişehir il sınırları içinde üst Tersiyer katmanları arasında yer alır (Şekil 2). Borat yataklarının bulunduğu alanlar Eosen derin denizini izleyen Miosen ve Oligosen deniz çekilmelerinin sonucunda gelişen göl bölgeleridir. Brinkmann (1971)'e göre oldukça nemli olan Batı Anadolu iklimi üst Miosende önemli değişimler göstermiş ve bugün izlerini kömür yatakları olarak gözlediğimiz ormanlık ve bataklıklar steplere dönüşmüştür. İklimin kuraklaşması, denizel alanların gölsel bölgelere dönüşümüne ilâve olarak, tersiyer başından beri tam olarak durmamış olan volkanizmanın yoğunluk kazanması, borat yataklarının gelişimi için gerekli ortamı hazırlamıştır. Şekil (3-4) Oligosen ve Miosende Batı Anadolu paleoğrafyasını vermektedir.



Şekil 2: Batı Anadolu borat yataklarının dağılımı
Figure 2: Distribution of borate deposits of Western Anatolia



Şekil 3: Oligosende batı Anadolu paleoğrafyası (Brinkmann, 1971'den alınmıştır)
Figure 3: Oligocene paleogeography of western Anatolia (after Brinkmann, 1971)



Şekil 4: Miosende batı Anadolu paleocoğrafyası (Brinkmann, 1971 den alınmıştır)

Figure 4: Miocene paleogeography of western Anatolia (after Brinkmann, 1971)

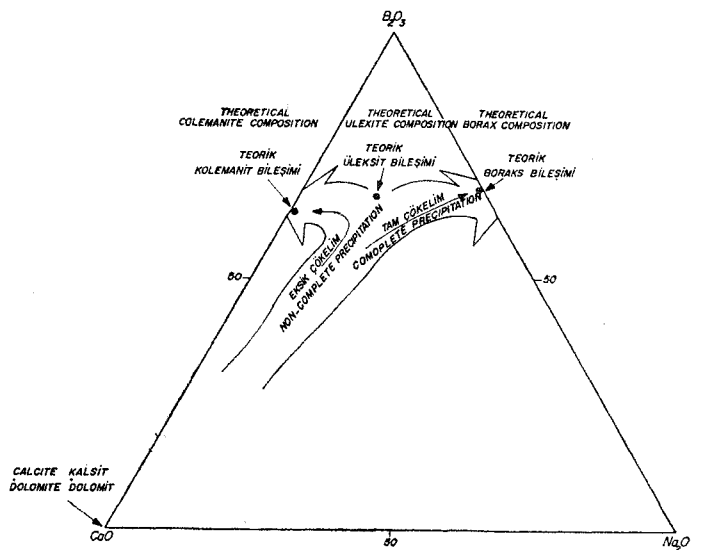
Karasal alanlarda göl fasiyesleri içinde gelişen yataklar konum olarak birbirine son derece yakın özellikler göstermektedir. Bu nedenle, borat yataklarımız tüm Batı Anadolu'da gözlenen çakıltası, kireçtaşı, tuf, kil ve killi kireçtaşı içinde yer alır. Yatakların bulunduğu seviyeler genel bir kural olarak iki kireçtaşı (dolomitik) katı arasında kalan killer içinde gözlenir. Yataklar içinde ekonomik değerde, halen işletilmekte olan borat mineralleri Ca, Na-Ca ve Na-borat kümesi mineralleridir. Bunlara ek olarak ikincil derecede önemli Ca-Mg, Mg ve Sr-boratlara göstermek olasıdır. Bu minerallerin ve bunlara eşlik eden diğer minerallerin yataklardaki dağılımı Çizelge I'de verilmiştir.

Çizelgeden görüleceği üzere bazı minerallerin son derece yaygın olmalarına karşın, diğer bazıları ise sadece bir yatakta gözlenebilmektedir, örneğin Na-boratlara yalnız Kırka yatağında bulunmasına karşılık, üleksit ve kolemanitin hemen tüm borat yataklarında gözlenebilmesi. Ayrıca, diğer önemli bir noktada, minerallerin kendine öz oluşum sıraları göstermesidir. Dikkat edilecek olursa tali minerallerin tümü ikincil özellikte olduğu görülür. Bu da yatakların gelişiminde Sr, As ve kısmen bile olsa Mg'un önemli rol oynamadığını kanıtlamaktadır. Fakat diğer öğelerden Na ve Ca, yataklardaki minerallerin oluşmasında vazgeçilmez önemdedir. O halde B_2O_3 'le beraber borat yataklarının genel bileşimini üçlü bir sistemde incelemeye çalışırsak seçilecek en iyi üç yapıcının $CaO - Na_2O - B_2O_3$ olacağı açıktır.

Türkiye borat yataklarında izlenen ana bor minerallerinin bileşimleri gözetilerek çizilen üçlü diyagram şekil 5'te verilmektedir.

Bütün yataklarımızda boratların, kalsiyum karbonat tortulların çökmesini izlediği bilindiğine göre, borat geliştirecek olan çözeltilerin bileşimi, bu diyagramdan da görüleceği gibi, CaO köşesine yakın bir yerden başlaması ve buharlaşmanın ilerlemesi ile yavaş yavaş B_2O_3 yönünde gelişmesi beklenir. Böylece yatakta ilk çökecek olan mineraller bileşim bakımından $CaO-B_2O_3$ kenarına yakın olur ve çökelen ilk boratların Ca-borat olması gerekir. Bu aşamada Ca-borat çökerken, çözeltide bir miktar magnezyum ve sodyum artması olacaktır. Magnezyum ilk çökme evresi içinde ya birincil minerallerle beraber çöker veya gömülmeden sonra onları ornatır. Bir kısım magnezyum da ilk çökelen karbonatların dolomite dönüşümünde kullanılır. Doğada yaptığımız gözlemler bu durumu kanıtlamaktadır.

Çökeliimin ilerlemesi ve buharlaşmanın hızla devamı ile çözeltiler $CaO - Na_2O - B_2O_3$ bileşim diyagramının orta üst kısmına yani Na-Câ borat alanına doğru ilerlerler. Bu bölgede çözeltiler temas ettikleri ilk çöküm ürünleri ile tepkimeye girerler. Borat çökeliimi ile birlikte gelişen kil tortullaşması nedeni ile ilk ürünle, çözeltinin ilişkisinin kesilmesi sonucunda tepkimelerin tamamlanmadığı yani gerçek bir denge tepkimesinin oluşmadığını belirtmekte yarar vardır. Buna en iyi tanıt Na-boratlarda kalsiyum borat bulunduran yataklarda dahi korunmuş olmaları gösterilebilir (Kırka yatağı). Bu çöküm aşamasından itibaren, birbiriyle hemen hemen aynı özellikler gösteren Batı Anadolu yataklarını geliştiren çözeltiler önemli ayrıcalıklar göstermeye başlar. Şöyle ki: Ortamın uygun olduğu bazı yataklarda çözeltiler Na-Ca borat alanından, Na-borat alanı olan $Na_2O-B_2O_3$ eksenine doğru ilerlerken, diğer yataklarda ise tersine dönerek tekrar Ca-borat çökeliimi verirler. Çökeliimin iki ayrı yol izliyebilmesi için birkaç nedenin varlığı söz konusu edi-



Şekil 5: Türkiye borat yataklarının $B_2O_3 - CaO - Na_2O$ sistemindeki gelişmesi

Figure 5: Evolution of Turkish borate deposits in the system $B_2O_3 - CaO - Na_2O$

Çizelge 1
Table 1

Mineral adı	Kimyasal bileşimi	Bulunduğu yataklar	Yatak içi düzeyi	Yandaş mineraller	Oluşum** sırası	Kaynaklar
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	A	Orta	Üleksit, ikincil	Birincil	1, 10
Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	A	Yerel olarak	Kernit, boraks	İkincil	3 ve yazarların gözlemi
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	A, B, C, D, E, F, G, K	Taban, orta, tavan	Boraks, inyoit, kolemanit, hidroborasit, kurnakovit	Birincil ve ikincil	1, 8, 10, 13, 16
İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	A, B, C, D, G	Tavan, orta	Meyrhofferit, üleksit	Birincil	1, 8, 10, 16
Meyrhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	A, B, C, D, G	Orta, tavan	İnyoit	İkincil	1, 10, 13, 16
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	A, B, C, D, E, F, G, K	Tavan, taban bazan orta	Üleksit, hidroborasit	İkincil	1, 8, 10, 13, 16
Kurnakovit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	A	Tavan	Üleksit, inderit	İkincil	1, 10
İnderit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	A	Tavan	Üleksit, kurnakovit	İkincil	1
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	A, B, C, D, F, G	Taban	Kolemanit, meyrhofferit, üleksit	Birincil ve ikincil	1, 8, 10, 13, 16
İnderborit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	A	Tavan	Kurnakovit	İkincil	1
Tunellit	$\text{SrB}_5\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	A	Tavan	Üleksit	İkincil	1, 10
Emet veaçit*	$\text{SrB}_5\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	B, C	Serpili	Üleksit, kolemanit, hidroborasit	İkincil	Yazarların gözlemi
Terugit	$\text{Ca}_4\text{MgAs}_2\text{B}_{12}\text{O}_{28} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	B	Serpili	Kolemanit, üleksit	İkincil	15
Terçit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	D	Serpili	Kolemanit	İkincil	16
Pandermit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	H, I, K	Düzensiz Yumrular	Kolemanit	Birincil ve ikincil	16
Kahnit	$\text{Ca}_4\text{As}_2\text{B}_2\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	B, C	Yumrular	Kolemanit	İkincil	7
Havlit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{Si}_2\text{O}_{23} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	E	Düzensiz	Kolemanit	İkincil	16
Sölestin	SrSO_4	B, C, D	Düzensiz	Kolemanit	İkincil	Yazarların gözlemi
Jips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	B, C, D, F, E	Taban	Kolemanit	Birincil	Yazarların gözlemi
Orpiment	As_2S_3	D, C, E, G	Serpili	Kolemanit	İkincil	Yazarların gözlemi
Realgar	AsS	D, C, E, G	Serpili	Kolemanit	İkincil	Yazarların gözlemi

(A) Kırka, (B) Hisarcık (Emet), (C) Esbey (Emet), (D) Esbey (Emet - Türk boraks), (E) Kestelek, (F) Faraş (Bigadiç), (E) Kurtbogazi (Bigadiç), (F) Muharrem ocakları (Bigadiç), (G) Sayakçı ocakları (Bigadiç), (H) Susurluk, (I) Basih İhsanlar (Bigadiç), (K) Kutag (Bigadiç)

(*) Prof. Dr. I. Kumbasar'dan özel bilgi.

(**) Yazarların görüşü esas alınmıştır.

lebilir: (i) Yatak geliştirecek sıvıların başlangıç bileşimi Na-borat çökelişi için yeterli sodyum taşımamaktadır, veya İnan (1975a)'e göre $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ oranı 11 aşmamıştır, (ii) başlangıçta yeterli sodyum bulunmasına rağmen havza derinliğinin azlığı sellenmeyi etkin kılabilmıştır, veya (iii) yeterli buharlaşmanın olmayışı nedeni ile borat çökeltecek çözeltiler istenilen derişikliğe erişmemiştir. Bu nedenlerin tek tek veya birlikte etkinleşmeleri bazı yatakların eksik denebilecek bir çökeliş, buna karşın diğer bazı yataklarda da beklenen tam bir borat mineralleri dizilimi vermesini sağlar. İşte Batı Anadolu borat yataklarının çökelişini göz önüne alınarak onları ikiye ayırmanın nedeni buna dayanmaktadır.

Bu çökeliş modelinden yararlanılarak borat yataklarında hangi tür minerallerin bulunacağını kestirmek olasıdır.

Göl içi çökeltilerin genellikle sınırlı sıcaklık ve basınç koşulları altında gelişeceği bilindiğine göre, herhangi bir çökeliş aralığında oluşacak mineralin çökecek olan mineral kümesinin en fazla su taşıyan üyesi olur. Yani Ca-boratlardan İnyoit, Na, Ca-boratlardan üleksit ve Na-boratlardan ise boraksın birincil olarak çökmesi gerekir. Buna dayanarak inyoit-üleksit-boraks sıralanmasının tam bir çökeliş veren yatakta görülmesi beklenir. İlk çökelen minerallerin yerlerini, yatak örtülüp gömüldükten sonra gelişen yeni koşulların etkisiyle, daha duraylı olabilen minerallere bırakması Türkiye ve dünyanın diğer yataklarında bu durumu tam olarak izlemeye olanak vermemektedir. İnyoitin, meyrhofferit ve kolemanite, üleksitin probertite, boraksın tinkalkonit ve kernite dönüşümü başta olmak üzere, üleksitin kolemanite, kolemanitin hidroborasite dönüşümleri bu değişim olaylarına örnek verilebilir.

Borat yataklarımızın hemen hepsinde kolemanit inyoite göre daha egemen olduğu bir gerçektir (özpeker 1968, İnan 1973). Bu durumu kolemanit duraylılık alanının inyoitinkinden çok geniş olmasına bağlamak mümkündür. Bu iki mineral arasındaki denge ilişkileri incelenmiş ve borat yataklarında inyoitin kolemanite dönüşümünün yüzeysel koşullarda (32 ip 2 C° de) olabileceği saptanmıştır (İnan, 1975b). Bu durum borat yataklarında birincil inyoit yerine, kolemanitin ikincil gelişmesi, ana çökelim modelinin geçerli olduğunu, fakat, bu iki mineral arasındaki denge ilişkisinden ötürü kolemanitin daha yaygın olabileceğini gösterir ki bu da doğada yapılan gözlemlere uymaktadır.

Üleksit ve boraks ise birincil olarak çökelişi ve bunların aynı kümedeki daha düşük sulu minerallerce ornatılmaları daha yüksek sıcaklıkları gerekli kıldığı için, üleksit yerine probertit ve boraks yerine kernitin çok sık oluşmasına engel olur.

Bu açıklamalarla, Türkiye borat yatakları gözönüne alınarak, kesintisiz bir borat çökelişi ana çizgilerle inyoit (yerine kolemanit) - üleksit (probertit gözlenmemiştir) - boraks dizilimi vermesi gerekir. Bu duruma en iyi örnek Kırka borat yatağıdır (İnan, 1972, 1973, 1975a). Diğer borat yataklarında ise genel anlamda, inyoit (yerine kolemanit) - üleksit dizilimi vermekte, bazen de alması olarak bu dizilim yinelenmektedir (Kütahya ve Balıkesir'deki tüm yataklar).

Bor mineralleri, denizel kökenli tuzlar gibi, gömülmeden sonra gelişecek olan yeni koşullardan çok kolay etkilenebilenler gözönünde bulundurulacak olursa, yeni koşulların neler olabileceği ve bu koşulların borat mineralleri üzerinde ne tür etkiler gösterebileceğine değinmek, yataklarda ikincil karakterde gözlenen minerallerin oluşumunu anlamak için gereklidir. Bu yeni koşullardan söz edilirken genel olarak, gömülme ile artan basıncı ve sıcaklığı anlaşılır. Borat yataklarının Neojen sonlarına doğru gelişip gömülmelelerinin birkaç yüz metreyi geçmediği bilindiğine göre, basıncın doğrudan etkisinin sınırlı kalabileceği hattâ tümüyle ihmal edilebileceği söylenebilir. Basıncın bu tür tuz yatağında gösterebileceği en önemli etki, killerin gözeneklerinde yerleşmiş oldukça derişik çözeltileri, çökelişmiş minerallerle tepkimeye sokması ve yeni minerallerin gelişmesine neden olmasıdır. Bu olay çok açık bir biçimde boraks kristalinin killere dokunduğu yüzeylerinde üleksitin gelişmesi, inderit, kurnakovit, tunellit, veaçit, terugit gibi azrak minerallerin killeri içinde oluşması ile kendini belli eder. Bu etmeden ayrı olarak, yatak içindeki ikincil özelliklerin doğmasında, genellikle kırıklı kuşakları izleyerek dolaşan yeraltı suları, gözenek çözeltilerinden daha seyreltik olup yatak içindeki devinimleri sürecinde, özellikle çözünürlüğü yüksek minerallerin çözünüp, ortamdan uzaklaşmasında ve onların yerine yeraltı sularının özelliğine bağlı olarak yeni minerallerin gelişmesinde etkindirler. Yatakların çoğunda çatlaklarda gözlenen ikincil üleksit böyle bir devininin ürünüdür.

Boratların yatakladığı alanların, hidrotermal olayların yaygın olduğu bölgeler içinde oluşu, minerallerin denge sınırlarını aşacak sıcaklıkları vereceğinden, daha yüksek sıcaklıklarda duraylı olabilen boratlara dönüşmelerine neden olur. Bu duruma en iyi örnek Kırka yatağında boraks kuşağı içinde birbirinden ayrı birkaç kernit yuvasının gelişmesi gösterilebilir. Türkiye borat yataklarında yapılan göz-

lemlerden, gömülme izleyen sıcaklık artışlarının birincil mineraller üzerinde yapması beklenen etkilerin geniş kapsamlı olmadığı anlaşılmıştır. En sık gözlenen üleksit-kolemanit, inyoit-meyerhofferit-kolemanit, kolemanit-hidroborasit geçişlerinin yüksek sıcaklıklar gereksindirmedikleri için yüzeysel koşullarda gerçekleşebileceği ileri sürülebilir. Boraks-kernit geçişinin ise çözeltilde NaCl bulunmadığı zamanlarda 58°C'den yüksek sıcaklığın gerekli olduğu deneysel olarak saptanmıştır (Bowser, 1964). Türkiye borat yataklarının oluşumu sürecinde bu sıcaklığa ulaşılmadığı anlaşılmaktadır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi hidrotermal çözeltilerin yerel olarak bu sıcaklığı verebileceği ve bu nedenle de son derece sınırlı bir alanda etkin olabileceği söylenebilir.

Borat yataklarımızda gömülmeden sonra gelişen olayların etkilerini özetlemek gerekirse, bunların birincil olarak çökelişmiş mineral diziliminin genel olarak bozmalarına karşın, bu sıralanım içindeki minerallerin yeni koşullarda duraylı kalabilen minerallere dönüşmelerini sağlayacaktır. Bu süreçte çözeltiler (yeraltı suyu, boşluk suları veya hapis sular) etkisi de söz konusu edilirse, borat devininin yinelenmesi sonucu, karmaşık borat mineralleri gelişmesi, kırık ve çatlaklarda da o koşulların sınırladığı türde ikincil borat kristallenmeleri gerçekleşecektir.

Bu genel bakıştan sonra borat yataklarımızı daha yakından inceleyecek olursak şöyle bir görünümde karşılaşırız:

A — Kırka borat yatağı (Eskişehir):

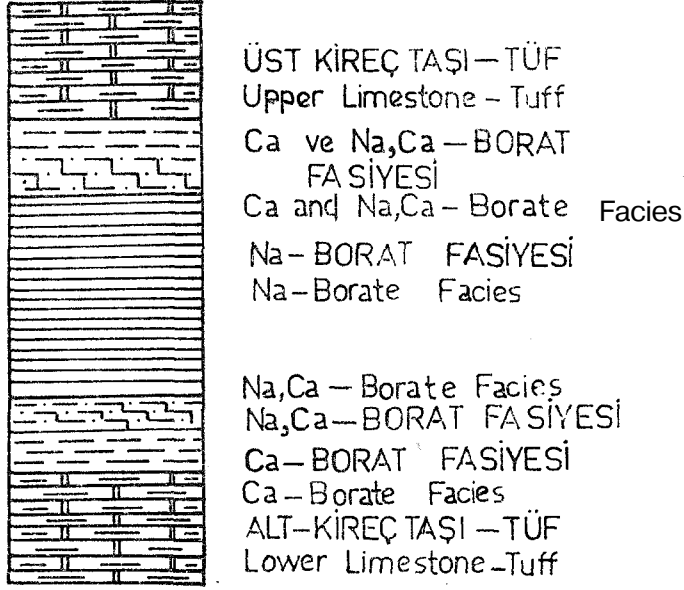
Kırka köyünün 5 km. batısında Sarıkaya yatağı başta olmak üzere üç ana yerde borat zuhuru vardır. Bunlardan iki tanesi tam olarak kolemanit yatağı olup tavanda birkaç cm'yi geçmeyen ince bir üleksit seviyesi ile son bulur. Bu yataklar Göcenoluk ve Salihiye köyleri yakınında yer alırlar ve halen işletmeleri durmuş haldedir. Sarıkaya yatağı ise Türkiye'de bilinen en büyük borat yatağı olup tam bir çökelim dizilimi verir. Yatak tabandan itibaren genelleştirilmiş bir şekilde kolemanit - hidroborasit - üleksit - boraks dizilimi vermekte ve en üstte üleksit, kolemanit, kurnakovit ve tunellit gibi çoğunlukla ikincil olan mineraller yer alır. Bu mineraller kısmen derişikliğini kaybetmiş ve Na/Ca oranının düşmesi sonucu Ca derişikliğini artmasına, kısmen de killeri arasında sıkışmış derişik çözeltilerin vermiş olduğu mineralleşmelere bağlanabilir. Yatak içinde ayrıca 100x40 cm. büyüklükte birkaç kernit yuvası vardır. Bu yuvaların ikincil olarak geliştiği kanısındayız (Baysal, et al 1975). Şekil 6 ve 7 Kırka ve civarında görülen borat yataklarının genelleştirilmiş kesitlerini vermektedir.

B — Kütahya ve Balıkesir yatakları:

a) Emet yatakları:

Hisarcık yatağı, tabanda kil, marn, tuf alması ile başlar, kolemanit ve onu en üst seviyelerde üleksitler izler. Yatak görünüşü olarak tek düze olmayıp birbirinden kâini bir kil ve taneli tortullarla ayrılan iki kat görünümündedir. Kolemanitler arasında yer yer pamuk yumağı biçiminde ikincil üleksitlere rastlanılmakla beraber yatağın genel görünümü üzerinde etkili olmazlar (Şekil 8).

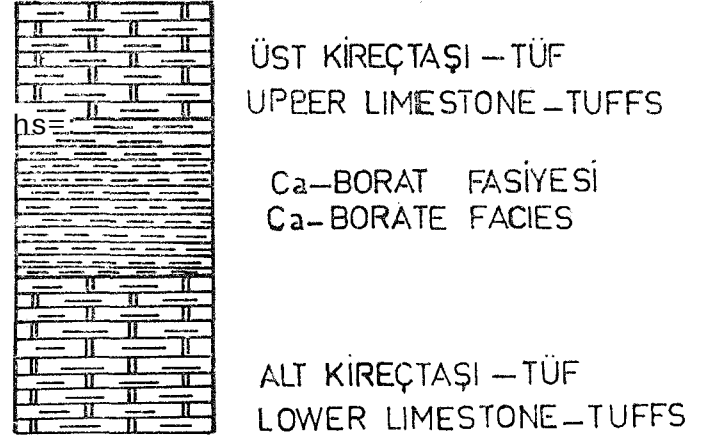
Bu yatak yaklaşık olarak kuzey - güney yönünde uzanan bir havzanın güney ucunda yerleşmiştir (özpeker, 1968).



Şekil 6: Kırka yatağının genelleştirilmiş kesiti

Figure 6: Generalized section from Kırka deposit

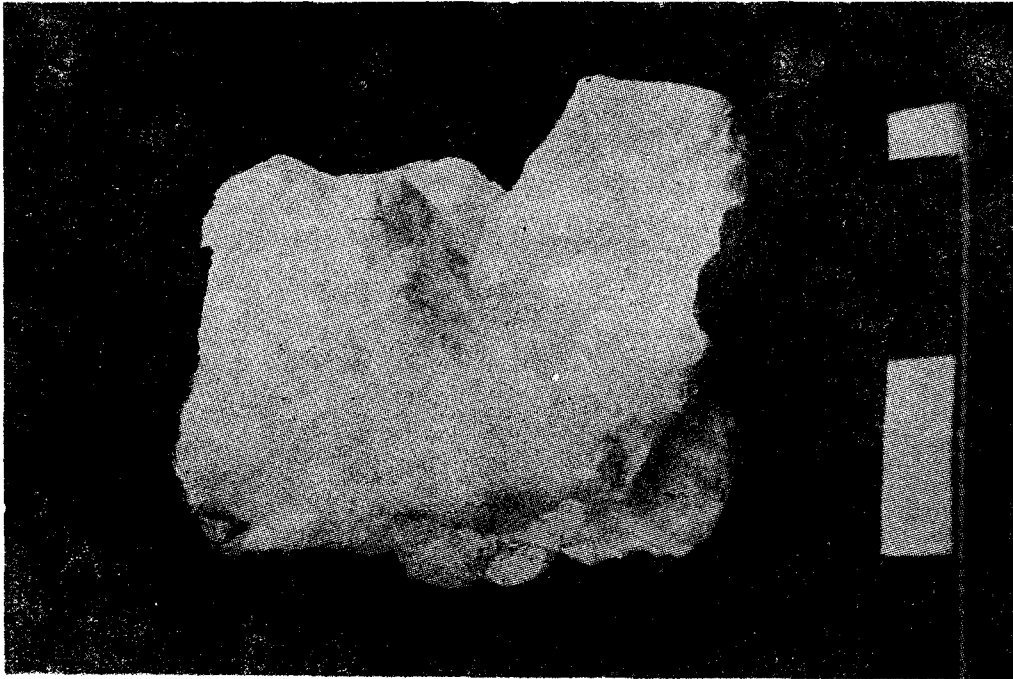
Hisarcık yatağında kolemanit ve uleksitten başka, hidroborasit, veaçit (Emet veaçiti*), terugit gibi borat minerallerine rastlanır. Bunlar genellikle bağımsız katmanlar yapmadan düzensiz bir biçimde, özellikle killeri içinde, serpili olarak bulunurlar. Gelişmeleri ise ikincildir. Emet borat çanağının kuzey kesiminde ise Etibank ve Emet Boraks şirketine ait iki yatak vardır. Bu yataklar gerek konum ve



Şekil 7: Kırka civarındaki Göcenoluk ve Salihye yataklarının genelleştirilmiş kesiti

Figure 7: Generalized section from Göcenoluk and Salihye deposits near Kırka

gerekse bulundurdıkları mineraller bakımından Hisarcık yatağının özelliklerini göstermektedirler. Kolemanit yine ege-men mineral olarak görülmekte, tavanda ise yer yer bir metreyi bulan uleksit kuşağı yer almaktadır (Şekil 9). Bu iki minerale ilâveten hidroborasit, veaçit ve meyerhofferite rastlanılır. Helvacı ve Firman (1976) aynı yatakta kahnit mineralinden söz etmekle beraber bu mineral yazarlarca gözlenememiştir.



Şekil 8: Pamuk yamağı (cotton ball) ikincil fileksit. Numune Hisarcık yatağından alınmıştır.

Figure 8: Secondary "Cotton Ball" nlexite. Sample taken from Hisarcık deposit.

(*) Çizelge I. deki dip nota bakınız.



Şekil 9: Rozet şeklinde üleksit. Numune Esbeyden alınmıştır.

Figure 9: Rosette type ulexite. Sample taken from Esbey deposit.

Şekil 9: Rozet gelinde üleksit. Numune Esbeyden alınmıştır.

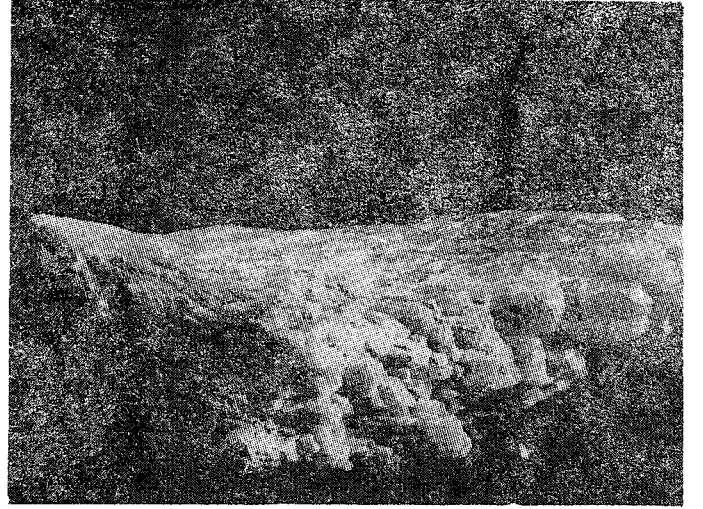
Figure 9: Rosette type ulexite. Sample taken from Esbey deposit.

b) Bigadiç Faraş Köyü Çevresi Ocakları:

Genel olarak yatak üleksit ve kolemanitten ibaret iki seviye halindedir. Bu yatağın en önemli özeliği başlangıç seviyelerinde üleksitin egemen oluşudur. Üleksit üstü doğru marnlı bir seviye ile örtülüp tekrar üleksit ve kolemanit seviyesi ile devam eder. Bu seviyedeki başat mineral kolemanittir. Üleksitin üst kısımlarında inyoit gözlenir. Ayrıca hidroborasit kolemanitle beraber sık görülür. Kurtpmarı yöresinde ise almalı bir çökelim örneği izlenir. Bu ocakta tabanda marnlı seviyenin üzerine alttan üste doğru kolemanit - meyerhofferit - inyoit - üleksit - kolemanit şeklinde bir borat dizilimi vardır. Tabanda kolemanitle başlayan ve yine kolemanitle biten sıralanım, Na-borat vermeden çökelim tamamlandığını belirleyen, eksik devreli yatak için tipik bir örnektir. Aynı bölgede Rasih İhsan İnönü ve Muharrem ocaklarında hidroborasite rastlanılır. Meixner (1953b) bu bölgede terçit mineralinden bahsetmekle beraber bunu gözlemek bizce mümkün olamamıştır.

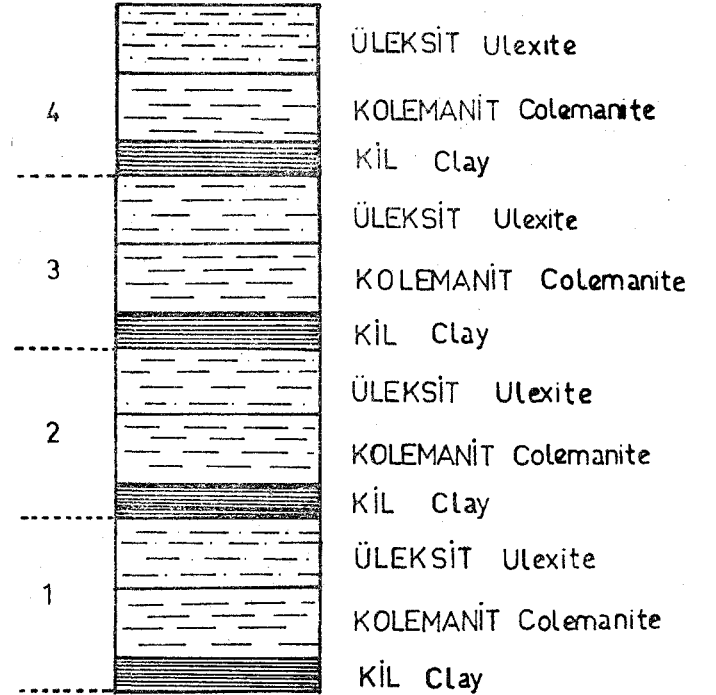
Kurtboğazi galerilerinde ise yaklaşık olarak birbirine yakın kalınlıkta olan kolemanit - üleksit - kolemanit ardalanması dikkati çeker. Kolemanit seviyeleri içinde kolemanitten türemiş hidroborasitle (Şekil 10) ince katmanlıklar halinde inyoit ve meyerhofferite rastlanılır. Yatak içinde üleksit seviyesinin tekdüze killerin üzerine gelen ve 20 cm. kalınlıkta olan inyoitle başlaması, üleksit çökeliminden sonra tekrar kil ve kolemanitlerin görülmesi, mineral oluşumunda yükselip alçalmakta olan derişikliğin önemini bir kez daha kanıtlamaktadır. Aynı galeride kolemanit - üleksit geçişlerini sık sık gözleme olanağı vardır. Kireçlik mevkiinde ise kolemanit başat mineral olup çok az oranda inyoit ve meyerhofferit izlenir.

Şayakçı ocaklarında oldukça düzensel bir mineral oluşumu ile karşılaşılır. Yüzeiden itibaren 148 m. derinliğe kadar inen kapalı işletme içinde dört seviye halinde borat çökeli mi yer almıştır. Bu seviyeler Şekil 11'deki kesiti verir. Burada gözlenen durum Kurtboğazi mevkiinde görülen çökelim sırasının aynıdır. Yalnız aynı durum eldeki bilgilere



Şekil 10: Hidroborasit - kolemanit geçişi. Hidroborasit kolemanitten türemiştir. Numune Kurt Boğazi galerilerinden alınmıştır.

Figure 10: Hydroboracite - Colemanite transtion, Hydroboracite developed from colemanite. Sample taken from Kurt Boğazi galleries.

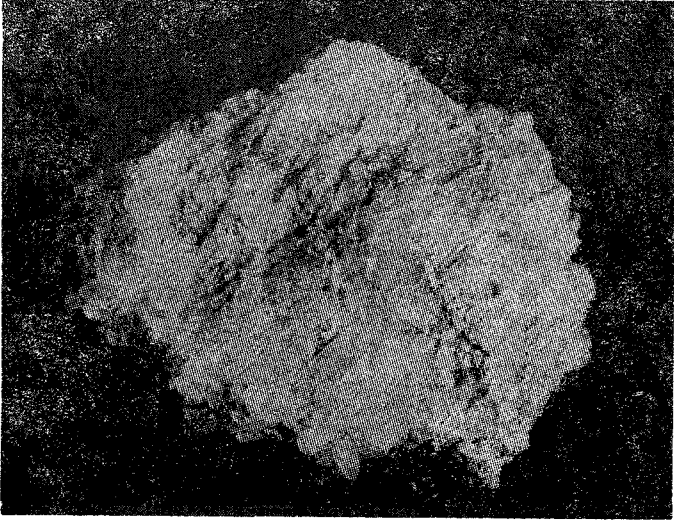


Şekil 11: Şayakçı kapalı ocağının düzensel borat dizilimi

Figure 11: Rhythmic borate succession from Şayakçı's under ground working

göre en az dört defa yinelenmiştir. Aynı yatağın yüzeydeki kısmını oluşturan açık işletmede ise inyoit ve Uleksit egemendir. Kolemanite rastlanmaz. İnyoit pek sık olarak meyerhofferite dönüşmüştür (Şekil 12).

Ana hatları ile verilmeye çalışılan borat yataklarımızı oluşturan temel minerallerin dizilim sırası bu yatakların oluşması anındaki koşulları ve yatak oluşup gömüldükten sonra gelişen olayları yansıttıklarından, bizi bu yatakların



Şekil 12: Meyerhoffferite dönüşmüş inyoit. Şayakci açık ocağından alınmıştır.

Figure 12: Inyoite replaced by meyerhofferite. Sample taken from Şayakci's open pit.

gelişmesinde hangi olayların etkin olduğunu aramaya yönelmektedir. Tüm borat yataklarımızın birbirinden ayrı bölgelerde ve çoğu kez farklı kaynaklara dayanarak gelişmiş olmalarına rağmen benzer mineral dizilimi vermeleri dikkati çekmektedir. Bunun en önemli nedeni, kanımızca bu yatakların birbirine çok yakın koşulların ürünü olmasıdır. Bu koşulların yüzeysel ortamın verebileceği sınırlamaları da bünyesinde taşıdığını belirtmek gerekir. Düşük sıcaklık yüksek pH, buharlaşma ile derişikliğin artıp mevsimsel sellenmelerle bu derişikliğin düzensel olarak bozulduğu bir ortamda, bor minerallerinin çökmesi, gölsel alanların en önemli özelliği olur. Bu etmenler borat göllerinde çökecek minerallerin saptanmasında birincil derecede rol alır. Derişiklik ve pH çökecek mineral kümesini saptarken, düşük sıcaklık çökelen ürünlerin yüksek sulu olmasını sağlar. Böylece, başlangıçta düşük $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ oranına sahip göl çözeltileri önce kalsiyumlu, sonra da sodyum taşıyan boratları, buharlaşmanın ve derişikliğin artması ile geliştirir. Ayrıca kaim borat yataklarının gelişmesinde göl tabanının düzensel olarak çökmesinin önemli bir öge olduğu gözden uzak tutulmamalıdır.

Yatağın gömülmesinden sonra birincil minerallerin yavaş yavaş yeni gelişen koşullara bağlı olarak, su kaybetmeleri, seyreltik yeraltısuyu ve hidrotermal sularla tepkimeye girmeleri sonucunda veya killerin boşluklarındaki çözeltilerin etkisi ile, değişime uğrarlar. Bu son değişimler yatağın bugünkü görünümünü sergilemektedir. Yatak içinde gerek komin ve gerekse yandaş minerallerle ilişkileri yönünden ikincil oldukları kuşku götürmeyen minerallerin tamamı yatak gömüldükten sonra gelişmişlerdir. Bu olayların, yapılması gerekli deneylerle daha da aydınlanması, borat yataklarının gelişim tarihini kesin çizgilerle sunmayı kolaylaştıracaktır.

SONUÇLAR

1 — Borat yatakları genellikle volkanik etkinliğin yoğun olduğu karasal göl ortamlarında oluşmuşlardır.

2 — Boratlar volkanik kökenli borun göllerdeki uygun katyonlarla birleşerek kimyasal yolla çökmesi ile oluşmuşlardır.

3 — Birincil borat mineralleri kümelerinin en yüksek su molekülü olanlarıdır.

4 — Batı Anadolu borat yataklarında izlenen ana borat mineralleri $\text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3$ sisteminde ele alınıp değerlendirilmeleri uygundur.

5 — MgO , SrO ve As_2O_3 ikincil önemdedir.

6 — Gömülmeden sonra taşlaşma süresindeki koşulların değişimini, gözlenen mineral dizilimi çok iyi belirlemektedir.

7 — Bulundurdıkları ana borat mineralleri yönünden Batı Anadolu borat yatakları Ca-borat, Na, Ca-borat, Na-borat çökelim sırası izlerler.

8 — Batı Anadolu borat yataklarının verdiği çökelmelere göre tam çökelim ve eksik borat çökelinin verenler olarak ikiye ayrılabilir.

9 — Kaim borat yataklarının oluşumunda düzensel göldibi çökmeleri önemlidir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Baysal, O., 1972, Sarıkaya (Kırka) borat yataklarının mineralojik ve genetik incelenmesi. Hacettepe Univ., 157 S.
- Baysal, O., 1973, Sarıkaya (Kırka) borat yataklarının oluşumu. Türkiye Madencilik Bil. ve Tek. Kongr. Bül., 255-277.
- Baysal, O., ve Ataman, G., 1975, Türkiye'de yeni bir bor minerali Kernit ve oluşumunun tartışılması T.J.K. Bül. Cilt 18, sayı 7, S. 3-10.
- Bekisoglu, K. A., 1962, Türkiye bor yatakları ve bunların arzettiği ehemmiyet. Türkiye Tic. Oda. Sa. Oda ve Tic. Borsa Birliği, Maden Komisyonu.
- Bowser, J. C., 1964, Geochemistry and Petrology of sodium borate in non-marine evaporate environments, ph. D. Thesis Univ. Calif., Los Angeles.
- Brinkmann, R., 1971, The geology of western Anatolia Geology and History of Turkey. S. 171-190. Petrol. Explo. Soc. Libya, Tripali.
- Helvacı, C, Firman, R. X, 1976, Geological setting and mineralogy of Emet borate deposits, Turkey inst. Mining and met. Vol. 15 pp. B142-152.
- Gawlik, J., 1966, The borate deposit of the Emet Neogene basin. M. T. A. Derleme no 2479.
- İnan, K., 1972, New borate district, Eskigehir-Kırka province, Turkey Inst. Mining and Met., Vol 81, p. B 163-166.
- İnan, K., 1975 a, Sulu bor mineral yataklarının oluşum modeli. T.J.K., Bül, Cilt 18, S. 165-168.
- İnan, K., 1975 b, Su taşıyıcı bor mineralleri arasındaki denge ilişkileri. T.B.T.A.K. V. Bil. Kongr. Tebliğ özeti S. 293.
- İnan, K., Dunham, A. C, Esaon, J, 1973, The Mineralogy geochemistry and origin of the Kırka borate deposit, Eskigehir province, Turkey, inst., Mining and Met., Vol. 82, p. B 114-123.
- Meixner, H., 1953 a, Neue Turkische boratlagerstaetten. Berg. V. Huttenmaen, Monatsh. Vol. 98. p. 86-92.

- Meixner, H., 1953 b, Mineralogische beobachtungen und colemant inyoit, meyerhoffert, terschit und ulekslt aus der Turklschen boratlagerstaetten. Heidelberger Beitr. Mineralog H. Ptrog. Vol. 3, S. 445-455.
- Negro, A. D., Kumbasar, I., Ungaretti, L., 1973, The Crystal Structure of Teruggite. Ara. Mln., Vol. 53. p. 1034-1043.
- Özpeker, I., 1968, Batı Anadolı borat yataklarının mukayeseli genetik etüdü. Doktora tezi. İ.T.Ü.
- Özpeker, I., 1973, Borun kullanımı, tüketimi ve ulusal gelire katkı olanığı. Türkiye Madencilik Bilimsel Tek. III. Kongr. S. 313-324.
- Watanabe, T., 1964, Geochemical Cycle and Concentration of boron in the earth crust. Geochemistry and anal. Chem. U.S.S.R. Vol. 12, p. 167-177.

Yatının gelig tarihi:

21.1.1977

Dfizeltilmg yazının geliş tarihi:

20.10.1977

Yayıma verildiği tarih:

1.11.1977