

TÜRKİYE BORAT YATAKLARI
Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası

Cahit HELVACI

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
35100 Bornova-İZMİR
(e-mail: cahit.helvaci@deu.edu.tr)

ÖZET

Doğada az bulunan ve duraysız elementlerden birisi olan bor, yer kabuğunda ortalama 10 ppm'den az olarak bulunmaktadır. Bor elementinin yer kabuğundaki genel dağılımı çok az olmasına karşın, belli ortamlardaki bor konsantrasyonlarının çok fazla orandaki artışı, ekonomik bor yataklarının oluşumunu sonuçlar.

Türkiye'nin bilinen borat yatakları, Tersiyer'de başlayan ve Kuvaterner'in başlangıcına kadar devam eden volkanik aktivitelerin yer aldığı dönemlerde, Miyosen gölsel (laküstrin) ortamlarda depolanmıştır. Türkiye borat yataklarının tümü, volkanik aktivite ile ilgili yataklar olarak sınıflandırılır. Bigadiç ve Sultançayır (Balıkesir), Kestelek (Bursa), Emet (Kütahya) ve Kırka (Eskişehir) borat yatakları, Miyosen volkanizması sırasında playa-göl tortulları içinde birikmiştir. Bor mineralleri, çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, şeyil, marn, kireçtaşı ve tüf aralanmalı istifte; çamurtaşı, kıltaşı, şeyil ve tüfler içinde oluşmuştur. Miyosen volkanosedimenter tortullar içinde yer alan Türkiye borat yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde merceksel yapılar sunmasına karşın, sıkça tortullarla aralanmalar, ince bantlar ve yanal olarak kamalanmalar gösterirler. Türkiye'deki tüm yataklarda, bor içeren birimlerden önce ve sonra yaygın olarak kireçtaşı çökelişi gerçekleşmiştir. Türkiye borat yatakları, dünyanın en büyük ve yüksek tenörlü (sırasıyla % 30, 29 ve 25 B₂O₃) kolemanit, üleksit ve boraks (tinkal) yatakları olup, dünya ihtiyacının büyük bir kesimini uzun yıllar karşılayacak boyuttadır.

Yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanitin, Kırka dışındaki tüm borat yataklarında egemen mineral olmasına karşın, Türkiye borat yataklarının ayrıntılı mineralojileri önemli derecede farklılıklar göstermektedirler. Üleksit (sodyum-kalsiyum borat) ve boraks (sodyum borat) önemli borat mineralleridir. Boraks yalnızca Kırka'da gözlenmektedir. Türkiye'deki bor yatakları rezerv ve tenör bakımından tüm dünya'da rakipsizdir. Tüm dünya ülkeleri çok yaygın kullanımı olan üleksit ve kolemanit mineralleri bakımından Türkiye'ye bağımlıdır.

Endüstride ise boratlar, borik asit içeren veya temin eden herhangi bir bileşik olarak tanımlanırlar. Çok sayıda mineral borik asit içerir, fakat tüm dünya'da ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır: boraks, üleksit ve kolemanit. Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacınının yaklaşık % 90'ını karşılayan başta Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere çok sınırlı sayıdaki ülkelerde üretilmektedir. Bor ve bor ürünlerinin katma değerleri çok yüksektir. Kullanım alanları bakımından stratejik öneme sahiptirler. Örneğin, Ortadoğu için petrol ne ise Türkiye içinde bor aynı nitelik ve önemdedir.

Türkiye borat üretiminde önder ülke olabilmek amacıyla son yıllarda ABD ile rekabet etmede büyük adımlar atmıştır. Bor ve borat mineralleri, bugünün modern endüstrisinde geniş kullanım alanları bulmaktadır. Ekonomik ve ticari boyuttaki üleksit ve kolemanitin büyük bir kesimi Bigadiç ve Emet bölgelerinden ve bunlara ek olarak boraks, Kırka'daki büyük boyuttaki yataktan üretilmektedir. Boratlar, olağan olarak borik asit veya B_2O_3 içeriği ile tanımlanır ve satılırlar ve en önemli istatistiksel veriler B_2O_3 ton olarak listelenirler. Endüstride satılan ürünlerden en önemlisi boraks pentahidrat veya borik asit olup pazarlanan en önemli üründür.

Türkiye, dünya'nın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit üretimi yönünden tamamen, üleksit üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır. Bor madenlerinin üretimi ve pazarlanması, ham veya yarı mamül ürünlerin yerine mutlaka uç ürünlere doğru yönlendirilmeli ve bu amaç için gerekli yatırımlar acilen yapılmalıdır. Günümüzde çok değişik sanayi dalında kullanım alanı bulan bor ürünleri, teknolojinin gelişimine paralel olarak orantılı artış göstermektedir. Türkiye bor üretimini elinde bulunduran Etibank A.Ş., ekonomik ve siyasal baskılardan ve etkilerden korunmak için bağımsız ve özerk bir yapıya acilen kavuşturulmalıdır. Böylece daha etkin üretim ve yapılanma içine girebilecek ve rekabet gücünü artıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Bor Mineralleri, Türkiye borat yatakları, Boratlar

TURKISH BORATE DEPOSITS Geological setting, Economic Importance and Boron Policy

The boron, which is one of infrequent and unstable elements, is found less than 10 ppm in the earth crust. Although the minor distribution of the boron element in the crust, increasing concentration of boron in the specific environments results in economical borate deposits.

The known borate deposits of the Turkey were deposited in the lacustrine environment during Miocene when the volcanic activity occurred since Tertiary to Quaternary. All of the Turkish

borate deposits are classified as volcanic related deposits. The borate deposits in Bigadiç, Sultançayır (Balıkesir), Kestelek (Bursa), Emet (Kütahya) and Kırka (Eskişehir) were deposited in the playa-lake sediments during Miocene volcanism. The borate minerals are formed within the sequence consisting of conglomerate, sandstone, claystone, shale, marl, limestone and tuff intercalation. However, the geometry of the deposits within the volcano-sedimentary sequence is usually lenticular in shape, they may display intercalation with sediments as fine beds and laterally continuous wedges. The limestone sedimentation extensively occurred before and after borate-bearing units in the Turkish borate deposits. The Turkish borate deposits contain largest reserve and grade (30, 29 and 25 % B_2O_3 , respectively) in colemanite, ulexite and borax (tincal), which can largely meet world's need for many years.

Although colemanite, calcium borate mineral, is dominant in whole borate deposits of Turkey except that of Kırka, detailed mineralogy of the deposits exhibit considerable differences. Ulexite (sodium-calcium borate) and borax (sodium borate) are economically important minerals. Borax is only found in the Kırka deposit. The countries all over the world is dependent upon Turkey with respect to colemanite and ulexite reserves which are widely used in the industry.

The borate in industry is defined as compounds having or producing boric acid. Many of the minerals contain boric acid but three of them are economic: borax, colemanite and ulexite. About 90 % of the world's need to borate minerals are produced in Turkey and USA, and other countries have limited production. Boron and their products are of high added value and have strategic importance with respect to field of use.

In recent years, Turkey has improvements to be a leader and to compete with USA in the world production. Boron and borate minerals are largely used in today's industry. The economic and commercial reserves of ulexite and colemanite are largely produced from Bigadiç and Emet, additionally borax from the large deposits of Kırka. Borates are typically defined and sold in terms of boric acid or B_2O_3 content. The statistical data regarding boron content are listed as tons of B_2O_3 . The most important commercial matter in industry is borax pentahydrate or boric acid for marketing.

Turkey has largest borax, ulexite and colemanite reserves in the world. All the countries are dependent upon colemanite and ulexite reserves of Turkey. Boron production and marketing policy should be directed to the end products instead of raw materials and necessary investments

must urgently be made. The boron products are increasingly used in different industrial fields due to the technological developments. The ETİ BOR A.Ş., which holds the boron production in Turkey, must be configured as independent to resolve the economic and political constraints. Therefore, the ETİ BOR A.Ş. will commit the effective production to increase the strength of competition.

Keywords: Boron Minerals, The Turkish borate deposits , Borates

GİRİŞ

Bor elementinin, yer kabuğunda ender bulunan ve düzensiz bir şekilde dağılmış olan elementlerden biri olmasına karşın, bazı sınırlı alanlarda ekonomik ölçüde olabilen birikimleri mevcuttur. Borat mineralleri, çeşitli ortamlarda ve farklı koşullarda oluşmaktadır. Ekonomik olarak en önemli yataklar, orojenik kuşaklardaki Tersiyer volkanik aktiviteleriyle çok yakından ilgilidir. Söz konusu yataklar, yakınsayan levha kenarlarına yakın bölgelerde yer almaktadır. Belirtilen bu bölgeler andezitik-riyolitik volkanizma, kurak veya yarı kurak iklimler ve denizel olmayan evaporit ortamları ile karakterize edilmektedirler. Türkiye, ABD, Güney Amerika ve diğer birçok ekonomik borat yataklarının tümü volkanik aktivite ile birlikte bulunan denizel olmayan evaporitlerdir.

Neojen volkanosedimenter tortulları içinde yer alan Türkiye borat yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde merceksel yapılar sunmasına karşın sıkça tortullarla ardalanmalar, ince bantlar ve yanal olarak kamalanmalar gösterirler. Borat yataklarında ekonomik değeri yüksek olan kolemanit, üleksit ve boraks gibi bor mineralleri baskın olmasına karşın, bu minerallere eşlik eden diğer bor ve bor olmayan mineraller de mevcuttur. Daha az ekonomik ve daha düşük oranda bulunan bu mineraller, yatakların tenörlerini olumlu ve olumsuz yönde etkileyebilirler. Ayrıca bor minerallerinin, ortamın pH, sıcaklık ve kimyasal şartlara bağlı olarak birbirlerine kısa bir zaman içinde dönüşümleri, belirli bir mineral için yapılan işletmelerde ve daha sonra sırasıyla stoklama ve pazarlamada özgün sorunlar ortaya koyabilirler.

Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren Neojen havzaları, değişik boyutlarda çok farklı endüstriyel hammaddeler kapsar, örneğin linyit, bitümlü şeyl, uranyum ve borat yatakları içermektedir. Genellikle karasal (alüvyonel ve gölssel) tortullar ve volkanik kayalar içeren Batı Anadolu'daki Neojen havzalarının büyük bölümü, çok önemli boyutlarda ekonomik kaynaklar içermektedir. Ancak günümüze dek ekonomik varlığı henüz keşfedilmemiş havzalar bulunabilir.

Dünya borat rezervinin %70'ine yakın bir bölümü bu havzalarda bulunmaktadır (Helvacı, 1983; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı ve Orti, 1998). Diğer taraftan, Elbistan dışında kalan Türkiye linyit rezervinin %80'i, bitümlü şeyl ve uranyum rezervinin tümüne yakın bir bölümü, yine Batı Anadolu'da yer alır. Bu yönleriyle sözü edilen havzaların Dünya ölçeğinde ekonomik önemleri bulunmaktadır. Tortul ve volkanik kaya toplulukları içeren bu havzalar, genellikle büyüme fayları tarafından sınırlandırılmışlardır. Neojen tortul dolgusu, egemen olarak kırıntılı ve karbonatlı olabilen alüvyonel ve gölsel kaya bileşenlerinden yapıldır (Şekil 1). Bu yazıda, Batı Anadolu'da yer alan bazı bor havzaları tanıtılacak ve bu havzaların stratigrafik konumu, mineralojik özellikleri ve oluşum modeli konusuna bir yaklaşım yapılacaktır. Diğer taraftan, bor ve bor ürünlerinin Türkiye için önemi ve Türkiye'nin bor politikası tartışılacaktır.

BOR ELEMENTİNİN JEOKİMYASAL DAVRANIŞI, YATAKLARIN DAĞILIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Atom ağırlığı çok küçük (10.811) olan bor elementi, metalik ve metalik olmayan (ametal) özelliklere sahiptir. Doğada en az bulunan ve en duraysız elementlerden birisi olan bor, yerkabuğundaki ortalama miktarının 10 ppm'den az olduğu öngörülmüştür. Buna karşın bor, her türlü jeolojik ortamda oluşan minerallerde bulunur. Bor elementinin çift yönlü özelliği, olağan sayılmayan ender bileşiklerin oluşmasına neden olur. Üç değerli bor (B^{3+}) yüksek iyonik potansiyelinden ($i=13.0$) dolayı doğada serbest olarak bulunmaz.

Bor, çoğunlukla turmalin minerali içinde ve birçok plutonik ve metamorfik kayaların bileşiminde gözlenir (Rankama ve Sahama, 1950; Goldschmidt, 1954; Grew ve Anovitz, 1996). Bunun yanında tortul kayalarda, özellikle kırıntılı halindeki turmalinlerin bileşiminde ve iz element olarak illitik killerin içinde bulunur. Denizel killi tortullar, denizel olmayan tortullardan bağıl olarak daha fazla bor içerirler (Landergrén, 1945). Tortulların bileşimindeki bor ile çökelme ortamındaki suyun tuzluluğu arasında sıkı ilişkilerin varlığı tartışılmıştır. Denizel tortullar için birçok yazarlar tarafından önerilen ortalama değerler, 110-120 ppm B arasındadır (Goldschmidt, 1954). Buna karşın bazı yazarlara göre deniz suyunda önemsenmeyecek oranda (4-6 ppm B) bor vardır (Sverdrup, Johnson ve Fleming, 1942). Göl ve sıcak su kaynaklarında bor konsantrasyonu geniş oranda değişir. Anılan değişimlerin çoğu volkanik aktivite ile ilişkilidir. Denizel olmayan evaporit yataklarında bor minerallerinin maksimum konsantrasyonlara ulaştığı saptanmıştır. Buna karşın karasal kökenli kırıntılı tortullar bor bileşenleri yönünden oldukça fakirdir. Borların büyük bölümü, sulu borat minerallerinin egemen olduğu yataklarda genellikle volkanizmanın etkili

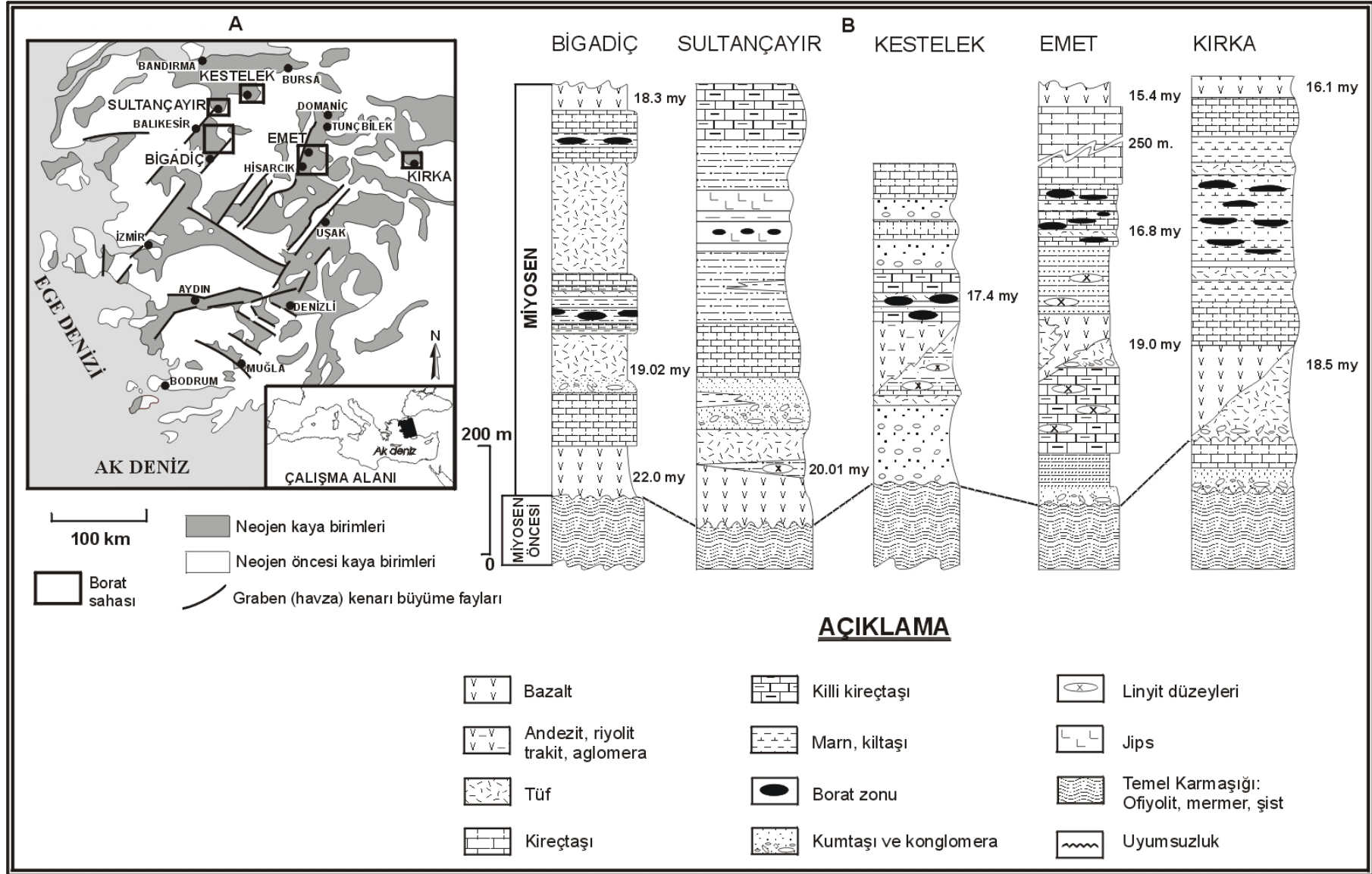
olduğu kurak bölgelerdeki kapalı havzalarda oluşurlar. Bor mineralleri karasal veya denizel tortullaşma ortamlarında, doğal bor çözeltilisi kapsayan suların buharlaşması sonucu çökellerler.

Bor elementinin yer kabuğundaki jeokimyasal dağılımı ve devirsel davranışı ile ilgili sorunlar, Goldschmidt, Landergren, Harder ve Watanabe gibi birçok değişik araştırmacı tarafından tartışılmıştır. Diğer elementlere oranla yer kabuğunda çok az miktarda var olan borun devirselliği ve konsantrasyonu çok iyi olarak saptanmıştır (Şekil 2).

Bor mineralleri, eser miktarlarda dünyanın birçok yerinde gözlenir. Öte yandan, ekonomik boyuttaki bor yataklarına Türkiye (Batı Anadolu), ABD (Kaliforniya), Sovyetler Birliği, Kanada, Arjantin, Şili, Bolivya, Peru, Tibet, Çin, Hindistan, İran, Suriye, Yeni Zelanda, Yeni Gine, İtalya, Japonya, Almanya ve Britanya adalarında rastlanmıştır.

Bor elementinin yer kabuğundaki dağılımı çok az olmasına karşın, belli alanlardaki bor konsantrasyonunun çok fazla olması ve olağanüstü artışı ekonomik bor yataklarının oluşumunu sonuçlar. ABD, Güney Amerika, Türkiye ve diğer ekonomik anlamdaki bor yatakları, volkanik aktivitelerin etkin olduğu acı ve tatlı su koşullarında oluşmuşlardır. Deniz suyunda bağlı olarak yüksek oranda gözlenen bor elementi, denizel evaporitlerde yersel olarak bor minerallerini oluşturmuşlardır. Bu tür oluşuma örnek olarak, Permiyen yaşlı Stassfurt ve ekonomik olmayan Yorkshire yatakları gösterilebilir (Borchert ve Muir, 1964).

Granitler çevresindeki skarn zonlarındaki kontak metasomatik borat yatakları Rusya ve Türkiye Cumhuriyetleri'nde büyük ekonomik değerlere sahiptir (London ve diğ., 1996; Aleksandrov, 1985). Buna karşın Skye adasındaki (İskoçya) benzer şekilli borat yatakları ekonomik değildir (Tilley 1951).



Şekil 1. A) Batı Anadolu Neojen havzaları ve bor yataklarının bulunduğu bölgeler.

B) Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinin Neojen'e ait stratigrafik kesitleri ve boratlı birimleri.

C. Denizel tortularla ilişkili yataklar.

A ve B türündeki yataklar ekonomik bakımdan en önemli olanlardır. Örneğin, Rusya ve Türkiye Cumhuriyetleri'nde A tipinde, Türkiye ve Amerika'da (Kaliforniya) B tipindeki yataklar önemlidir. Türkiye'deki tüm bor yatakları volkanik etkinliklerle ilişkisi olduğundan B tipinde toplanırlar. Gömülmüş, diyajeneze uğramış veya az ya da orta derecede değişim gösteren eski playa veya göl yatakları (Emet, Kırka, Bigadiç, Kestelek vs., Türkiye; Kaliforniya, ABD; And Dağları, Arjantin) en önemli ekonomik yataklardır.

Bor minerallerinin bileşimsel ve yapısal özellikleri yataktan yatağa büyük oranda değişir. Buna karşın bor mineralleri genellikle Ca, Ca-Na, Na, Mg ve Sr boratlar olarak görülürler. Denizel olmayan birçok ekonomik bor yataklarının ana bileşenleri Ca ve Na boratlarıdır.

BATI ANADOLU NEOJEN ÖNCESİ TEMEL KAYALARI

Batı Anadolu'da yer alan Neojen öncesi temel kayaları, genel olarak metamorfik ve metamorfik olmayanlar şeklinde iki grup altında toplanır. Metamorfik temel kayaları başlıca Menderes, Kazdağ ve Eğrigöz masifine ait kaya bileşenlerini kapsar. Menderes ve Eğrigöz masifleri, egemen olarak alttan üste doğru, gözlü gnays, örtü şistleri ve mermer bileşenlerinden yapıldır. Kazdağ masifi başlıca metadümit, metagabro, piroksenit, paragnays ve mermerlerden oluşur. Menderes masifinin temel kayaları genellikle Doğanbey-Gördes-Kütahya çizgisinin güneyinde çok geniş bir yayılım gösterir. Bu çizginin kuzeyinde kalan alanlarda metamorfik olmayan Neojen öncesi temel kayaları yer alır. Metamorfik olmayan temel kayaları, egemen olarak Mesozoyik yaşlı ofiyolit, filiş ve platform karbonat kayalarından oluşur. Mesozoyik temel kayaları oldukça karmaşık bir iç yapı özelliği gösterir ve İzmir-Ankara zonu birimleri ile temsil edilirler. Bu kaya toplulukları, Menderes masifi üzerinde çoğunlukla bindirmeli olarak bulunur. Kaya (1981 b), bölgedeki Mesozoyik kayaların olasılıkla Paleosen'de Batı Anadolu'yu etkileyen K-G yönlü sıkıştırma kuvvetlerine bağlı olarak, Menderes masifi üzerine itilmiş olabileceğini belirtir.

Batı Anadolu Neojen havzaları, metamorfik ve metamorfik olmayan temel kayaları üzerinde açılmıştır. Neojen tortul dolgusuna ait kırıntılı bileşenler, bu temel kayalarından türemiştir. Diğer taraftan Neojen havzalarının gidişleri, yayılımları, tortul istiflerin kalınlığı ve geometrisi, Neojen öncesi temelin tektonik yapısıyla denetlenmiş olmalıdır (Yılmaz ve diğ., 2000).

BATI ANADOLU NEOJEN HAVZALARI VE TORTUL FASİYESLERİ

Batı Anadolu'da yer alan KD-GB, K-G ve KKD-GGD gidişli Neojen havzaları egemen olarak Miyosen; D-B gidişli havzalar ise üst Miyosen ve daha genç tortullar ile doldurulmuştur. Bu havzalar batıdan doğuya birbirine koşut dizilim gösterirler (Şekil 1). Neojen havzalarının sınırları çoğunlukla büyüme fayları ile sınırlandırılmış, tortul dolgu kalınlığı ve yayılımı bu faylarla denetlenmiştir.

Batı Anadolu'daki Neojen tortul dolgusu, lagün nitelikli denizel, alüvyonal ve gölsel olmak üzere üç ana tortul fasiyesinden oluşur. Denizel Miyosen, GB ve KB Anadolu' da yer alır. GB Anadolu'daki denizel Miyosen tortulları Denizli güneyinde yayılım gösterir. Kaya (1981 b) Muğla-Denizli doğrultulu tektonik çizginin kuzeyinde karasal, güneyinde denizel tortullar içeren Neojen havzalarının geliştiğini vurgular. Denizli güneyinde Tavas-Kale-Yenişehir yöresindeki denizel tortullar altta molas fasiyesinde kaba ve ince taneli kırıntılı kayalardan, üstte karbonatlı tortullardan oluşur (Gökçen, 1979; Nebert, 1961). Gökçen (1979), Nebert (1961), Erentöz ve Öztumur (1964), Lutting ve Steffens (1976), Benda ve diğ. (1977), Becker ve Platen (1970) ve Altınlı (1955), paleontoloji verilerine dayanarak, Denizli yöresindeki kırıntılı birimlere Akitaniyen; karbonatlı birimlere ise Burdigaliyen yaşını verirler.

KB Anadolu'daki denizel Miyosen, Kazdağ masifinin güneyinde Burhaniye ve Ayvalık çevresinde yer alır (İnci, 1983). Egemen olarak ince taneli kırıntılı ve karbonatlı tortullardan oluşur. GB Anadolu'daki denizel Miyosen'den kaba kırıntılı tortulların olmayışı ve aşırı volkanik katkıların yer almasıyla ayırte edilir (Yılmaz ve diğ., 2000).

Batı Anadolu'daki alüvyonel fasiyesler, altta alüvyonel yelpaze, üstte akarsu kökenli tortullardan oluşur. Alüvyonel yelpaze tortulları çoğunlukla, yakın çevredeki temelden türemiş bloktaş, kaba taneli çakıltaş ve kalın katmanlı kumtaşlarından oluşur. Akarsu tortullarından kaba taneli, düzensiz iç yapısı ve çok kısa aralıklarda yanal değişimli olması ile ayrılır. Kaynak ilerisinde akarsu tortulları ile egemenleşir. Bunlar genel olarak kanal dolgusu çakıltaş, çapraz katmanlı kumtaş ve çamurtaşlarından oluşur.

Batı Anadolu'daki gölsel tortullar egemen olarak alttan üste doğru çakıltaş, kumtaş, çamurtaş, kıltaş, kireçtaş ile volkaniklastik ve piroklastik bileşenlerden oluşur. Egemen kaya bileşenleri çamurtaş, kıltaş, kireçtaş ve volkanitlerdir. İnce taneli tortullarda, varva benzeri düzgün

laminalanma ve bitümlü şeyl ara düzeyleri olağandır. Farklı Neojen havzalarında yer alan göl sel kireçtaşları çoğu yerde tatlı-su alglerini ve gastropodları bol miktarda içerir. Gösel birimler genellikle alüvyonel tortullar üzerine uyumsuz olarak gelir (Helvacı ve diğ., 1987; Helvacı ve Yağmurlu, 1995).

TÜRKİYE BORAT YATAKLARININ DAĞILIMI VE JEOLJİK KONUMU

Türkiye'nin bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu'da yer almaktadır. Günümüze dek saptanmış olan borat yatakları, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır (Şekil 1).

Borat yataklarını oluşturan playa göllerindeki tortulların litolojisi, birbirlerinden az çok farklılıklar göstermesine karşın, genellikle çakıltaşı, kumtaşı, tuf, tüfit, kiltası, marn ve kireçtaşlarından oluşur. Borat yataklarının olduğu düzeylerin alt ve üst kesimleri kireçtaşı ve kiltaları ile sınırlanırlar. Borat içeren havzalardaki tortullar, yatay ve düşey fasiyes değişimlerine bağlı olarak açık bir devirsellik gösterirler (Şekil 1 ve 3).

Borat yataklarını oluşturan playa göllerinin çevresinde volkanik faaliyetler çok yaygın olup, genellikle kalkalkalen karakterli ve asitten baziğe kadar değişen volkanitlerin yanısıra, tortullarla ardalanmalı olarak bulunan piroklastik kayalar gözlenir. Tüm borat bölgelerinde volkanik kayaların bulunması, borat oluşumu için volkanizmanın gerekli olduğunu ve bor getiriminin ortaç ve asidik volkanik kayalara bağlı olduğunu ortaya koyar. Diğer taraftan borat havzalarındaki tortulların büyük bir bölümünün volkanik kayalardan türemiş gereçler içermesi bu varsayımı destekler yönde değerlendirilebilir. (Helvacı, 1983; Helvacı ve Orti, 1998; Floyd ve diğ., 1998; Helvacı ve Alonso, 2000) (Çizelge 1 ve 2).

Bor yataklarının özellikleri genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Türkiye bor yatakları Miyosen yaşlı playa-göl ortamlarında oluşmuştur.
- Yatakların tümünde bor elementinin kökeni volkanik aktivite ve hidrotermal sistemlerdir.
- Yataklarda bor mineralleri; çamurtaşı, kiltası, şeyil, tuf ve ince bantlı kireçtaşları gibi tortul kayaçlar içinde gelişmiştir.
- Bor yatakları, tortul kayaçlar içinde merceksel yapılar sunar.

- Bor yataklarında bor minerallerinden önce ve sonra yaygın olarak kireçtaşı ve kıltaşı çökelişi gerçekleşmiştir.
- Bor yataklarında, bor çökelişinden önceki evrede değişik boyutlarda kömür yatakları gelişmiştir.
- Yataklarda bor minerallerinin çökeliş istifi Ca-boratlar ile başlar ve sırasıyla Ca-Na ve Na-boratlar olarak devam eder.
- Türkiye, dünyada ekonomik (Na-borat) olarak en çok kullanılan boraks, ülesit (Na-Ca borat) ve kolemanit (Ca-borat) yataklarına sahiptir.
- Türkiye Dünya bor rezervlerinin %70'ine sahiptir.

Bor yataklarının Batı Anadolu'daki dağılımı aşağıdaki gibidir;

- Bigadiç kolemanit ve üleksit yatakları (Balıkesir)
- Sultançayır pandemit yatağı (Balıkesir)
- Kestelek kolemanit ve probertit yatağı (Bursa)
- Emet kolemanit yatağı (Kütahya)
- Kırka boraks yatağı (Eskişehir)

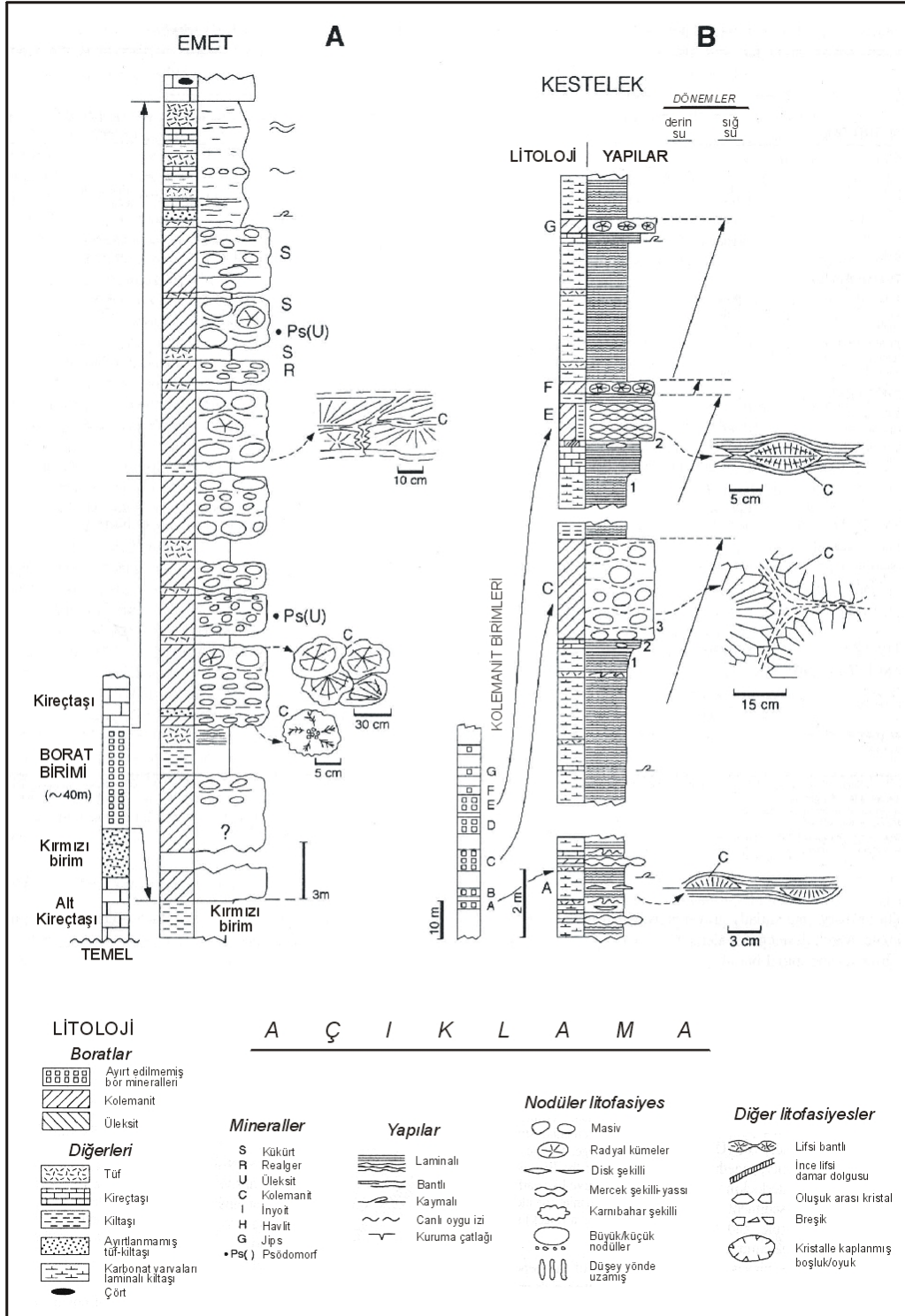
Bigadiç borat yatakları Neojen yaşlı playa göl tortullarından yapıklı KD-GB uzanımlı bir havza içinde iki farklı zonda yer alırlar. Bölgedeki volkano-sedimanter istif, alttan üste doğru taban volkanitleri, taban kireçtaşı, alt tuf, alt borat, üst tuf, üst borat ve olivinli bazalt birimlerinden oluşur. Bölgedeki Neojen istifi, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel karmaşığı üzerine uyumsuzlukla oturur (Helvacı ve Alaca 1984; Helvacı, 1995). Alt ve üst borat yatakları, kurak iklim koşullarında, yerel volkanizmayla bağlantılı olan hidrotermal çözeltiler ve sıcak su kaynakları ile beslenen sahalarda gelişmiş, ayrıık veya birbirleriyle bağlantılı olabilen playa göllerinde oluşmuşlardır. Yataklar tuf, tüfit, kil, marn ve kireçtaşları ile arakatlıdır (Şekil 1).

Sultançayır (Susurluk), Türkiye'nin bilinen en eski borat yatağıdır. Sultançayır'daki Neojen istifi 750 metreyi bulan tortulları içerir. Bu istifin alt kesimindeki pandemit, kolemanit ve jips oluşukları; linyitli bir seviyenin, üstüne gelen kireçtaşı, marn ve volkanik tüflerin içinde bulunurlar; istifin üst kesimini, tuf, marn ve kireçtaşı aralanması oluşturur (Helvacı, 1994; Orti ve diğ., 1998) (Şekil 1). Bu yataklar 1954 yılında rezervin bittiğı gerekçesiyle kapatılmıştır. Fakat bu bölgede daha yaygın yatakların bulunacağını kanıtlayan verilerin bilinmesi, bu bölgelerin yeniden önem kazanacağını kanıtlamaktadır (Helvacı, 1994).

Kestelek bölgesindeki Neojen tortulları Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı bir temel karmaşığı üzerine uyumsuz olarak oturur (Şekil 1). Tabanda konglomera ve kumtaşı ile başlayan çökeller, linyit düzeyleri içeren kil, marn, kireçtaşı, tuf ve aglomera ile devam eder. Daha sonra ortamın tektonik duraylılık kazandığı dönemde çökelen boratlı zondaki, marn, kireçtaşı, tuf ve borat yatakları oluşmuştur (Şekil 3). Bu dönemde volkanik faaliyet artmış ve tortullarla birlikte çökelen tuf ve aglomeraların yanısıra, andezitik ve riyoitik bileşimli volkanitler gelişmiştir. Bu dönemden sonra bölgedeki istif, gevşek çimentolu konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanması ile tamamlanır (Özpeker, 1969 ; Helvacı, 1994).

Emet bölgesindeki Neojen istif, Paleozoyik yaşlı mermer, mikaşist, kalkşist ve kloritşist gibi metamorfik kayalar üzerine uyumsuzlukla gelir (Şekil 1). Helvacı'ya (1977) göre, bu bölgedeki istif alttan üste doğru aşağıdaki birimlerden oluşur. (a) çakıltaşı ve kumtaşı (b) marn ve tuf mercekleri içeren ince katmanlı alt kireçtaşı, (c) ortaç ve asidik volkanitler, tuf ve aglomeralar, (d) kömür ve jips bantları içeren çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, marn ve kireçtaşından oluşan kırmızı birim, (e) borat yataklarını içeren kıltaşı, tuf, tüfit ve marn, (f) kıltaşı, marn ve çört mercekleri içeren üst kireçtaşı, (g) bazalt (Şekil 1 ve 3) (Helvacı ve Firman, 1976; Helvacı ve Orti, 1998).

Kırka borat yataklarındaki Neojen volkano-sedimanter istif, Mesozoyik yaşlı ofiyolit karmaşığı ile Paleozoyik yaşlı metamorfik karmaşığı üzerine uyumsuz olarak oturan fosilli Eosen kireçtaşları ile başlar (Şekil 1). Diğer kesimlerde temeldeki karmaşık üzerine doğrudan doğruya Miyosen tortulları gelir. Bu bölgedeki Neojen istif, Eosen fosilli kireçtaşları üzerine gelen tüfler ve volkanikler ile başlar, üste doğru alt kireçtaşı, marn ve tuf, kıltaşı - borat zonu, üst kıltaşı, tuf, marn ve ince kömür bantları ile çört düzeyleri içeren üst kireçtaşı ve bazalt birimlerini kapsar (İnan, 1972; Helvacı, 1977; Sunder, 1980).



Şekil 3. Emet (A) ve Kestelek (B) açık ocak işletmelerinin ayrıntılı stratigrafik kesitleri. Litofasiyeslerin, kaya birimlerinin, karbonat-borat depolanma devirselliği ve ikincil kolemanitin üleksiti ornatmasının ayrıntıları gösterilmiştir (Helvacı ve Orti, 1998'den alınmıştır).

Çizelge 1. Beş ana borat sahası ile ilişkili volkanik birimlerin B, Sr, Li ve As analizleri, kaya tipleri ve yaşları (Helvacı ve Alonso, 2000'den alınmıştır).

ÖRNEK ADI	STRATİGRAFİK DÜZEYLER	ANALİZLER (ppm)				KAYA TİPİ (STRECKEISEN, 1976)	K-Ar YAŞI (my) (yaşlandırılan mineral)
		B	Sr	Li	As		
BİGADIÇ							
B-6	üst cevherin 100 m üzerinde	267	715	34	45	TRAKİT	18.3 ± . 2 (feldispat)
B-2	alt cevherin 100 m altında	83	494	19	34	RİYOLİT	19.0 ± . 2 (biyotit)
SULTANÇAYIR							
S-1	cevherin 450 m altında					RİYOLİTİK TUF	20.0 ± . 5 (feldispat)
KESTELEK							
KE-1	cevher zonu içinde	127	2370	653	331	TRAKİANDEZİTİK TUF	17.4 ± . 3 (hornblend)
EMET							
E-9	cevherin 500 m üzerinde	85	125	10	16	TRAKİT	15.4 ± . 2 (feldispat)
E-1	cevher zonu içinde	77	38	7	<2	ALKALİ TRAKİTİK TUF	16.8 ± . 2 (biyotit)
E-3	cevherin 150 m altında	67	22	<5	64	RİYOLİT	19.0 ± . 2 (biyotit)
KIRKA							
K-1	cevherin 200 m üzerinde	96	134	14	<2	TRAKİT	16.1 ± . 2 (feldispat)
K-2	cevherin 250 m altında	490	240	600	>200 0	RİYOLİT	18.5 ± . 2 (biyotit)

Çizelge 2. Batı Anadolu (Türkiye) borat bölgelerinden alınmış tüf ve tüflü kayaların kimyasal analizleri (Helvacı ve diğ., 1993'ten alınmıştır).

Örnek No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Kızdırma Kaybı	Toplam
B ₁	15.11	0.57	0.08	0.14	0.27	0.04	13.26	35.25	0.05	0.10	34.82	99.69
B ₂	70.60	12.35	0.12	0.50	1.02	0.10	0.31	1.14	0.24	12.00	0.80	100.18
B ₃	68.95	10.85	0.51	0.14	0.56	0.01	1.00	3.92	0.16	1.26	12.43	99.79
B ₄	51.35	11.60	0.22	0.71	3.22	0.05	8.80	2.66	0.74	7.35	13.43	100.13
B ₅	67.40	10.65	0.09	0.28	1.26	0.01	0.96	3.36	0.28	3.73	12.65	100.67
E ₁	62.50	12.55	0.46	1.45	0.83	0.03	4.97	1.55	0.30	9.75	5.12	99.51
E ₂	56.93	13.85	0.06	0.28	0.12	0.03	1.94	8.12	0.13	10.48	7.77	99.71
K ₁	35.37	6.27	0.05	0.22	1.47	0.04	1.36	28.18	0.31	1.45	25.35	100.07
K ₂	61.00	14.45	0.66	0.14	3.13	0.09	2.92	1.96	1.04	13.61	10.76	99.76
KES ₁	55.00	16.90	0.54	0.22	2.33	0.02	3.23	4.90	3.57	2.90	10.47	100.08
ST ₁	73.00	11.60	0.04	—	0.70	0.05	1.16	1.30	2.35	4.75	5.20	100.15
ST ₆	73.50	11.50	0.03	—	0.65	0.05	0.32	1.20	2.50	4.45	5.30	99.50
ST ₇	73.50	11.60	0.03	—	0.63	0.04	0.22	1.30	2.30	4.65	5.30	99.57

B = Bigadiç, ST = Sultançayır, E = Emet, K = Kırka, KES = Kestelek

Borat yatakları, Tersiyer başlangıcından Kuvaterner'e kadar devam eden volkanik aktivitelerin yer aldığı bölgelerde, kıta-içi playa-göl tortulları içinde oluşmuşlardır. Borat yataklarının litolojisi birbirlerinden farklılıklar göstermelerine karşın, genellikle çakıltaşı, kumtaşı kiltası, tuf, tüfit, marn ve kireçtaşı ile arakatmanlıdır (Şekil 1 ve 3). Borat yataklarındaki tortullar genellikle açık bir devirsellik gösteren, kurak veya yarı kurak iklim koşullarında, bağımsız ya da birbirleriyle çeşitli bağlantıları olan havzalarda depolanmışlardır. Riyolitik, dasitik, trakitik, andezitik ve bazaltik bileşimlere sahip volkanik kayalar ve bunların kırıntılı gereçleri (piroklastikler) söz konusu gölsel tortullarla ara katmanlanmışlardır. Tüm borat bölgelerinde volkanik kayaların bulunması, baskın olarak ortaç ve asidik, bor getirmesi ve borat oluşumu için volkanik etkinliğin gerekli olduğunu açıklar. Borat havzalarındaki tortulların büyük bir bölümü volkanik gereçten türemiştir (Çizelge 1, 2).

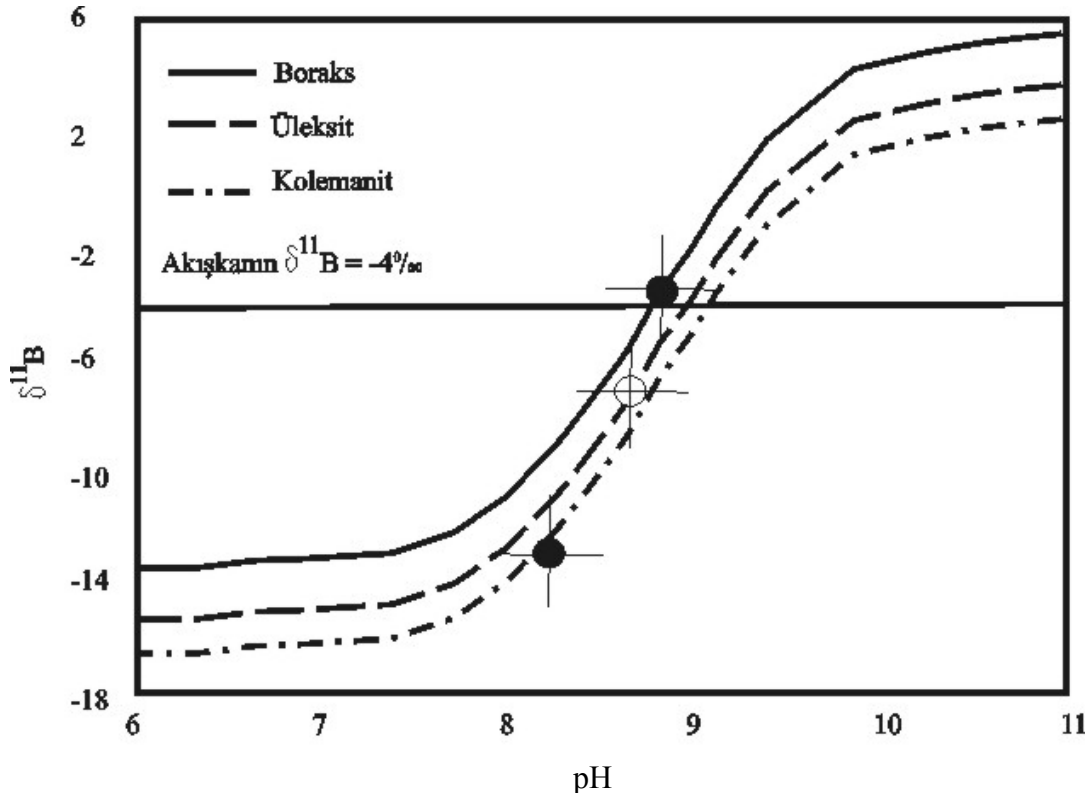
Batı Anadolu bor yatakları, Tersiyer başında tüm Batı Anadolu'yu etkileyen büyüme fayları ve grabenleşme ile volkanik ve sismik yönden aktif sahalarda gelişmiş dağarası kapalı havzalardaki ayrık veya birbirleriyle bağıntılı olabilen playa-göllerinde oluşmuşlardır. Bor yatakları ayrıntılı incelendiğinde, katmanların tabaka eğimleri genellikle yataydan 20°'ye kadar değişir. Yataklar kuzeybatı-güneydoğu ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı gravite fayları tarafından ornatılmışlardır. Egemen olan fay tipi, eğimleri 30°'den düşeye kadar değişen normal faylardır. Bu faylar, çoğu kez bor düzeylerinin parçalanmasına ve zamanla fay zonlarında cevherlerin ayrışmasına neden olmuşlardır. Bazı yataklarda ise tortullar belirgin kıvrımlanma gösterirler. Bu kıvrımlanmalar, tortullarla birlikte borları da etkilemiş olup, çoğu yerde borların parçalanmasına, sucuk ve yersel küçük boyutlu yapılar sunmasına neden olmuşlardır (Şekil 3).

BOR YATAKLARININ MİNERALOGİSİ

Türkiye'deki borat yatakları, evaporitlere benzer koşullarda oluşmalarına karşın, mineralojik olarak tipik evaporit minerallerini simgeleyen trona, halit vb. gibi mineraller içermezler. Çok yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka dışındaki tüm borat yataklarında egemen mineraldir. Diğer taraftan borat yataklarının ayrıntılı mineralojisi önemli derecede farklılıklar gösterir.

Tüm yataklardaki boratların, karbonatlı tortulların çökmesini izlemesinden ve kalsiyumlu evaporitlerin ilk önce oluşmasından dolayı, tüm havzalardaki ilk çökelen bor mineralleri Ca-boratlardır. Çökelişimin ilerlemesi ve buharlaşmanın hızla devam etmesiyle, Na-Ca boratlar

çökelmeye başlar (Şekil 4). Bor yataklarını oluşturan en önemli minerallerin $\delta^{11}\text{B}$ değerleri (boraks, üleksit ve kolemanit), bu mineralleri oluşturan çözeltilerin pH'ından ziyade bunların mineralojilerine bağlıdır. $\delta^{11}\text{B}$ değerlerine göre, boraks, üleksit ve kolemanit minerallerinin her üçünün de çözeltiden ilksel olarak çökebileceği, kolemanitin üleksite göre daha düşük, boraksın ise üleksite göre daha yüksek pH değerlerinde çökelediği tespit edilmiştir. Ortamın ve Na konsantrasyonunun uygun olduğu bazı yataklarda, çözeltiler Na-Ca borat alanından Na borat alanına, Kırka örneği gibi diğer yataklarda ise tersine dönerek tekrar Ca-borat çökeline neden olurlar (Şekil 5). Buna göre Türkiye'deki Kırka yatağı dışındaki tüm yataklar eksikli bir borat istifini sunarlar. Kırka yatağı, ender rastlanan ve borat minerallerinin çökelişini eksiksiz yansıtan bir örnek oluşturmaktadır. Bu noktadan hareket ederek, borat yatakları Helvacı (1983) tarafından: ikiye ayrılmıştır: Ca-borat yatakları (Emet, Bigadiç, Kestelek, Sultançayır), Na-borat yatağı (Kırka) (Şekil 6). Havzalarda çökeliş sırasında, genel olarak fasiyes değişimleri gözlenir ve kalsiyum borat fasiyesi (kolemanit) havza kenarını, kalsiyum-sodyum borat fasiyesi havza içini ve sodyum borat fasiyesi havza ortasını temsil ederler (Şekil 6).

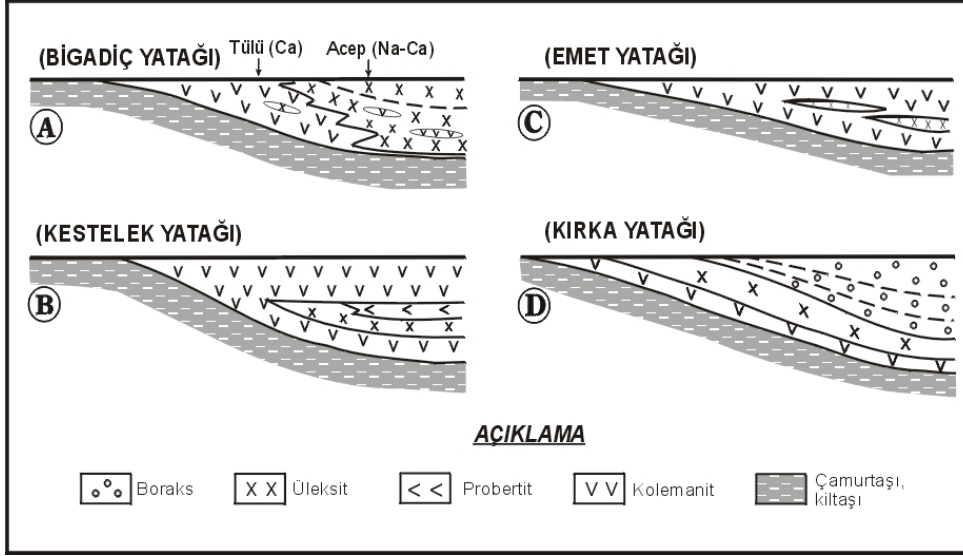


Şekil 4. $\delta^{11}\text{B} = -4‰$ değerli çözeltiden çökelen bor minerallerinin izotop bileşimlerinin pH'a bağlı olarak değişimi. Üç değişik eğri, çözelti ile farklı bor mineralleri arasındaki farklı izotop ayrılma faktörlerini yansıtır (Palmer ve Helvacı, 1997'den alınmıştır).

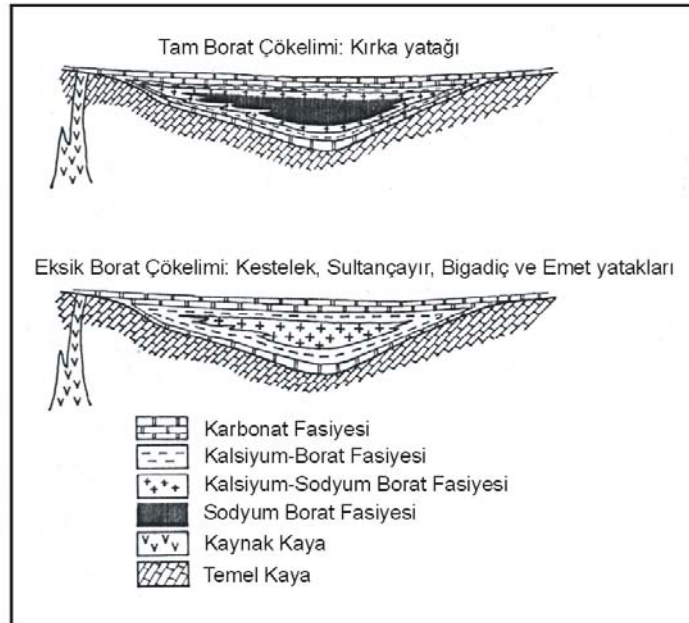
Türkiye'deki yataklarda gözlenen borat mineralleri, başlıca Ca, Na-Ca, Na ve Mg- boratlardır. Kırka, Emet ve Bigadiç'te ender olarak Sr-borat (tünellit) bulunmaktadır. (Baysal, 1972; Helvacı 1984, 1994, 1995; Helvacı ve Alaca 1984). Bunun yanısıra Emet yöresinde Ca-As-boratlardan varlığı bilinmektedir (Helvacı, 1984; Helvacı ve Orti, 1998). Genel anlamda tüm boratlar içinde kolemanit, üleksit ve boraks, başlıca ekonomik olan bor mineralleridir (Çizelge 3).

Tüm yataklarda boratlarla birlikte değişik oranlarda borat olmayan mineraller gözlenmektedir. Borat mineralleri, genellikle kalsit, dolomit, anhidrit, jips, sölestin, realgar ve orpiment ile birlikte bulunmaktadır. Kalsit, kuvars, çört ve jips bütün yataklarda yaygındır. Tüm yataklarda montmorillonit ve illit yaygın kil mineralleridir (Helvacı, 1983; Helvacı ve diğ., 1993) (Çizelge 4).

Bigadiç borat yataklarında her iki borat zonunda da kolemanit ve üleksit egemendir, fakat diğer bor mineralleri olan havlit, probertit ve hidroborasit alt borat zonunda; inyoit, meyerhofferit, pandemit, terçit, hidroborasit, havlit ve tünellit ise, üst borat zonunda bulunmaktadır. Nodüler şekilli kolemanit ve üleksit mineralleri her iki zonda da baskın olarak bulunurlar. Kolemanit ve üleksit nodülleri, her iki borat zonunda da, sediment-su aradüzeyi altında pekleşmemiş sedimentler içinde olasılıkla doğrudan doğruya çözeltilerden oluşmuş olup, sedimentlerin pekleşmesi sırasında büyümelerine devam etmişlerdir. Kolemanit ve üleksitin sonraki jenerasyonları, boşluklarda, damarlarda ve erken oluşmuş nodüllerin kenarlarında lifsi şekillerde bulunur. Kalsit, anhidrit, jips, höylendit, montmorillonit ve klorit eşlik eden diğer minerallerdir (Helvacı ve Alaca, 1984; Helvacı ve diğ., 1993; Helvacı, 1995) (Çizelge 3 ve 4).



Şekil 5. Borat havzalarındaki bor minerallerinin dağılımının ölçeksiz olarak temsili şekilde bulunuşu. A) Üleksit-kolemanit, Bigadiç; B) Kolemanit, üleksit ve probertit, Kestelek; C) Kolemanit (ve üleksit), Emet; D) Kolemanit, üleksit ve boraks, Kırka.



Şekil 6. Tam ve eksik bor çökelimine göre borat yataklarının sınıflanışı ve havzalardaki mineral fasiyeslerinin dağılımı.

Çizelge 3. Türkiye'deki beş ana borat yatağında bulunan bor mineralleri.

	MİNERAL	FORMÜL	TÜRKİYE BOR YATAKLARI				
			BİGADİÇ	SULTANÇAYIR	KESTELEK	EMET	KIRKA
Ca-boratlarda	İnyoit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .13H ₂ O	+	-	-	-	+
	Meyerhofferit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .7H ₂ O	+	-	-	+	+
	Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	+	+	+	+	+
	Terşit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .20H ₂ O	+	-	-	-	-
	Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	+	+	-	-	+
Ca/Na-boratlarda	Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	+	-	+	+	+
	Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	+	-	+	-	-
Na-boratlarda	Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	-	-	-	-	+
	Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	-	-	-	-	+
	Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	-	-	-	-	+
Diğer borlar							
(Mg)	Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	+	-	+	+	+
(Mg)	İnderborit	CaMgB ₆ O ₁₁ .11H ₂ O	-	-	-	-	+
(Mg)	İnderit	Mg ₂ B ₆ O ₁₁ .15H ₂ O	-	-	-	-	+
(Mg)	Kurnakovit	Mg ₂ B ₆ O ₁₁ .15H ₂ O	-	-	-	-	+
(Mg)	Rivadavit	Na ₆ MgB ₂₄ O ₄₀ .22H ₂ O	+	-	-	-	-
(Sr)	Tünellit	SrB ₆ O ₁₀ .4H ₂ O	+	-	-	+	+
(Sr)	Viçit-A	Sr ₄ B ₂₂ O ₃₇ .7H ₂ O	-	-	-	+	-
(As)	Terrujit	Ca ₄ MgAs ₂ B ₁₂ O ₂₈ .20H ₂ O	-	-	-	+	-
(As)	Kahnit	Ca ₂ BA ₆ O ₆ .2H ₂ O	-	-	-	+	-
(Si)	Havlit	Ca ₄ Si ₂ B ₁₀ O ₂₃ .5H ₂ O	+	+	-	-	-
(Si)	Bakerit	Ca ₈ B ₁₀ Si ₆ O ₃₅ .5H ₂ O	-	+	-	-	-

Kestelek yataklarında egemen olarak kolemanit, üleksit ve probertit mineralleri ile ender olarak hidroborasit bulunur. Bor minerallerine kalsit, kuvars, zeolit ve montmorillonit grubu mineralleri eşlik ederler (Helvacı, 1983, 1994). Sultançayır yataklarında egemen mineral pandermittir. Ender olarak kolemanit, havlit ve bakerit bulunur. Bu yatakta bor minerallerine eşlik eden ve bol oranda bulunan jips minerali gözlenir (Helvacı, 1985, 1994) (Çizelge 3 ve 4).

Emet bölgesindeki borat düzeyinde, kolemanit değişik şekillerde egemen bileşen olarak yer alır (Şekil 3). Diğer boratlar meyerhofferit, üleksit, probertit, tünellit, terüjit, kahnit, hidroborasit ve viçit-A'yı kapsar. Kalsit, jips, sölestin, elementer kükürt, realgar ve orpiment borat olmayan ana minerallerdir. Montmorillonit ve illit kanıtlanan killerdir (Helvacı, 1977, 1984; Helvacı ve Orti, 1998; Çolak ve diğ., 2000) (Çizelge 3 ve 4).

Eksiksiz istifin görüldüğü Kırka borat yatağında, boraks, kernit, tinkalkonit, üleksit, inyoit, meyerhofferit, kolemanit, pandermit, inderborit, hidroborasit, kurnakovit, inderit ve tünelliten oluşan bor minerallerine, saponit, illit, kaolinit, dolomit, kalsit, magnezit, stronsiyonit, jips, globerit ve kalsedondan oluşan gang mineralleri eşlik ederler. (İnan, 1972; Helvacı, 1983; Sunder, 1980) (Çizelge 3 ve 4).

BORAT OLMAYAN MİNERALLER

Yatakların borat zonlarında, boratlarla birlikte bulunan borat olmayan mineral gözlenmektedir (Çizelge 4). Genellikle, borat mineralleri kalsit, dolomit, anhidrit, jips, sölestin, realgar ve orpiment ile birlikte bulunmaktadır. Belirtilen son iki minerale sölestin, tabii kükürt ve jips Kırka yatağında görülmemektedir. Buna karşın bu mineraller bütün Emet yataklarında bol olarak bulunmaktadır. Kalsit, kuvars ve çört bütün yataklarda yaygındır. Jips ve kalsit, diğer tüm borat yataklarında bulunan borat olmayan yaygın minerallerdir. Anhidrit, yalnızca Bigadiç yataklarında gözlenmiştir.

Bütün yataklarda montmorillonit ve illit gibi kil mineralleri yaygın olup, Emet yataklarında sülfür ve kükürt mineralleri daha baskın olarak bulunmaktadır (Çolak ve diğ., 2000).

Borlarla ardalanan tuf ve tufce zengin kayalar, boratlar ile jenetik ilişkisi olan zeolit, K-feldispat ve opal-CT gibi otijenik silikat minerallerince zengindirler. Karasal kapalı havzalarda, otijenik boron içeren K-feldispatların bulunuşu, evaporitlerin özellikle de bor minerallerinin varlığını

ortaya koyan en önemli belirteçtir. Otijenik silikatların oluşumu ve parajenetik topluluğu için pH değerleri en az 8'den başlayıp 10 değerini geçmelidir. Borat havzalarında bor minerallerinin çökebilmesi için pH'ın 9'dan başlayıp daha yüksek alkaliniteye devam etmesi gerekir (Helvacı ve diğ., 1993).

ÇÖKELME VE DİYAJENEZ SIRASINDAKİ BOR MİNERALLERİNİN DÖNÜŞÜMLERİ VE AYRIŞMALARI

Türkiye'deki bor yataklarının tümünde birçok değişik bor ve diğer minerallerin bulunmasına rağmen baskın olan ve yataktan yatağa değişen bir veya iki bor minerali mevcuttur. Yataklar ayrıntılı incelendiğinde Kestelek yatağında kolemanit ve probertit, Sultançayır yatağında pandemit, Bigadiç yataklarında kolemanit ve üleksit, Emet yataklarında kolemanit ve Kırka yatağında ise boraks mineralinin baskın olduğu görülür. Tüm bu yataklarda ekonomik olarak üretilen cevherler de yukarıda sözü edilen mineralleri içermektedir (Şekil 7) (Çizelge 3)..Jeolojik ve mineralojik veriler, yataklardaki orjinal mineraloji ve kimyasal dağılımın, ikincil alterasyon ve diyajenez tarafından yeniden yapılanmasında en önemli etmen olduklarını vurgular.

Boşlukları dolduran diyajenetik özşekilli bor mineralleri, otijenik bor içeren K-feldispatlar, zeolitler (klinoptilolit ve höylandit) ve kloritler bu prosesler için en iyi örnekleridir. Volkanik tüflerin camsı matriksinin büyük bir kesimi, diyajenez sırasında otijenik K-feldispat, zeolitler ve kil minerallerine dönüşmüşlerdir.

Yatakların belli düzeylerinde bor minerallerinden herhangi birisi baskın olmasına karşın, hiçbir zaman yüzde yüz saflığa erişecek düzeylerde değildir ve çoğu kez bu baskın minerale bor ve bor olmayan mineraller eşlik ederler. Yatakların ilk oluşumlarından sonra, diyajenez safhasında yatakların üstündeki örtü kalınlığına, tektonik olaylara ve yer altı sularına bağlı olarak birtakım mineral dönüşümleri meydana gelebilir. Her ne kadar Türkiye'deki yatakların hiçbiri büyük çapta bir değişmeye uğramamasına karşın, belli oranlarda mineral dönüşümleri gözlenmiştir (Çizelge 5 ve 6).

Çizelge 4. Batı Anadolu borat yataklarında borlarla ardalanan tüflerin ve tüflü kayaların mineral bileşimleri (Helvacı ve diğ., 1993'den alınmıştır).

Örnek	Mineralojik bileşimi
B ₁	cc, dol, sm, qtz
B ₂	hs, qtz, Kf
B ₃	Cl
B _{3a}	Kf, qtz, cc, sm, ill
B _{3a}	Kf, sm, ill
B ₄	Hs, biot, sm, Kf
B ₅	cl, heul, qtz
E ₁	Kf, qtz, ill, sm, mc, hs
E ₁	Kf, sm, ill
E ₂	Kf, ill, sm, hs
K ₁	cc, qtz, hs, sm, ab, ill
K ₂	Kf, an, qtz, sm, ill, er
K _{2a}	Kf, sm, cc, ill, qtz, an
K _{2a}	Kf, sm, ill
KES ₁	ol, qtz, biot, d, sm
KES _{1a}	qtz, ol, cl, biot
KES ₂	dol, cc, ill, plag, sm, qtz
ST ₁	o-CT, Kf, qtz, an, cl
ST ₆	qtz, o-CT, cl, hs, Kf, ill
ST ₇	o-CT, qtz, hs, Kf, sm, cl

Açıklama: B = Bigadiç, E = Emet, K = Kırka, KES = Kestelek, ST = Sultançayır, cc = kalsit, dol = dolomit, sm = smektit, ill = illit, mc = muskovit, biot = biyotit, qtz = kuvars, Kf = bor içeren K-feldispat, hs = yüksek sanidin, an = anortoklas, ab = albit, ol = oligoklas, plag = plajioklas, cl = klinoptiolit, er = erionit, chab = şabazit, ac = analsit, heul = höylandit, o-CT = opal-CT.

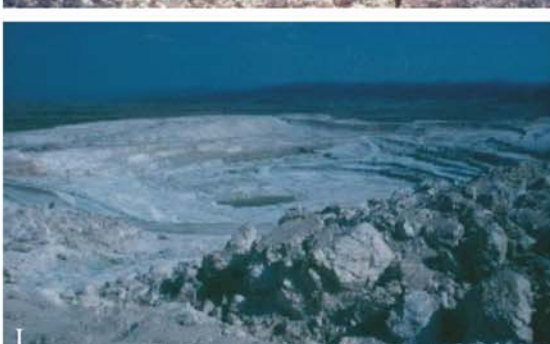
Herşeyden önce, bünyelerinde daha fazla su içeren mineraller diyajenez sırasında sularının bir kısmını kaybederek aynı seriden az sulu minerallere dönüşürler. Bu durum, birçok yatakta gözlenir, örneğin Kırka yatağında borakstan gelişen tinkalkonit ve/veya kernit gibi; veya Kestelek ve Bigadiç yataklarında gözlenen üleksitten gelişen probertitlerdir (Çizelge 5 ve 6). Aynı durum Ca-boratlar için de söz konusu olabilir ve birçok Amerikan borat yataklarında gözlenmelerine

BORAT BÖLGELERİ, borat birimleri, yatak isimleri

ÖZELLİKLER	BİGADIÇ					EMET	KESTELEK
	Alt borat		Üst borat			Espes	Kestelek
	Tülü	Acep	Simav	Kurtpınarı	Kireçlik		
MİNERALOJİ¹							
Baskın boratlar	C	U,C	U,C	C,U	C,U	C	C
Aksesuar boratlar	U	I	I,M	Hw	Pr	U,M,Tu,Hb	U.Pb,Hb
Diğer mineraller	Ca	Ca	Ca	Ca,Ce,Qz		R,S,Ca,Ce,G	Ar,Ca
CEVHER ZONLARI	C	U-C	U-C	C	C-U	C	C
YATAKLANMA ŞEKLİ	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı
	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi
KOLEMANİT LİTOFASİYESLERİ²							
Nodüler, bantlı-nodüler	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Lifsi-bantlı	++	+	+	+	+	++	++
Oluşukçi kristaller	+	—	—	—	—	—	—
Masiv, breşleşmiş	—	++	—	—	—	—	—
Üleksit üzerinde yerdeğiştirme (nodüler, düzensiz)	++	+	+	+	+	—	+
ÜLEKSİT LİTOFASİYESLERİ²							
Nodüler, bantlı-nodüler	—	++	++	++	++	—	—
Düşey uzamış	—	+++	+++	—	+++	—	—
Laminalı	—	++	—	—	—	—	—
Masiv-bantlı	—	+	—	—	+	—	—
		(Kolemanit)	Meyerhofferit	Kolemanit			
	Kolemanit	Üleksit	Üleksit	+(havlit)	Kolemanit	Kolemanit	Kolemanit
DEPOLANMA SERİLERİ³	Karbonat	Karbonat	(Kolemanit)	Karbonat	Karbonat	Kiltaş	Karbonat
	Kil/varva	Kil/varva	Kil/varva	Kil/varva	Kiltaş	Kiltaş	Kil/varva
TORTUL YAPILAR							
İnce laminasyon, varva	++	++	+	++	—	—	+++
Yumuşak tortul kaymaları	++	++	++	++	++	—	++
Çamurtaşları	+	+	+	—	—	+	—
GÖL ORTAMI⁴	Sığ	Sığ	Sığ	Sığ	Sığ	Geçici	Derin-sığ/
	geçici	geçici	geçici	geçici	geçici	(playa)	Geçici
YERDEĞİŞTİRME PETROGRAFİSİ							
U - C tarafından, makroskobik	—	++	—	—	—	—	—
U - C tarafından, mikronodüller	+	++	—	—	—	++	—
U - C tarafından, kalıntılar	—	++	—	—	—	++	—
I(?)-C tarafından, mikropsödomorflar	?	+	—	—	—	—	—
U - Pr tarafından, makroskobik	—	—	—	—	—	—	+
Diğerleri	—	—	—	Ca – Ce, Qz tarafından	—	Ge – C tarafından	Ar – Ca tarafından

Çizelge 5. Borat yataklarının mineralojik, petrografik ve sedimentolojik özellikleri (Helvacı ve Orti, 1998'den alınmıştır).

(1) Mineraller: C, kolemanit; U, üleksit; I, inyoit; M, meyerhofferit; Hw, howlit; Pr, priceit (pandermite); Pb, probertit; Hb, hidroborasit; Tu, tunellit; Ca, Kalsit; Ar, aragonit; Ce, sölestin; Q, otijenik silika; R, realgar; O, orpiment; S, doğal kükürt; G, jips. (2) Sadece temel litofasiyeler belirtilmiştir. (3) Üste doğru sığlaşan seri. (4) Borat safhasındaki göl ortamı. Kısaltmalar: +++, baskın; ++, yaygın; +, ender.



Şekil 7. Türkiye'deki borat yataklarındaki açık işletmelerinden tipik kesitler ve yataklarda gözlenen bor minerallerinin genel özellikleri. (A) Tülü yatağındaki (Bigadiç) çökme evreleri. Fasiyesler: allta tuf tabakası; 1, karbonat varlıklarının laminalı siyah kilitaşları ile ardalması; 2, laminalı kireçtaşı; 3 nollur kolemanit. Çekiç ölçek olarak kullanılmıştır, Tülü (Bigadiç) borat yatağı. (B) Tortullarla ardalanan üleksit cevher mercekleri, Kurtpınarı (Bigadiç) borat yatağı. (C) Laminalı jips (gri renkli) ile ardalanan masiv pandemit bantları (beyaz renkli), Sultançayır borat yatağı. (D) Pandemitin ayrışması sonucunda oluşan kalsit. Örneğin orta kesiminde henüz kalsite tam olarak dönüşmemiş pandemit yumrusu, Sultançayır borat yatağı. (E) Kolemanitin ayrışması sonucunda gelişen tipik boşluklu kalsit oluşumu, Kestelek borat yatağı. (F) Tortullar içinde gelişen disk şeklindeki kolemanit yumruları, Kestelek borat yatağı. (G) Sarıkaya (Hisarcık) borat zonunun kesiti. Kilitaşı ve tuf ile ardalanan kolemanit yumruları çok net olarak gözlenmekte ve bor zonu, kilitaşı ve Üst kireçtaşı tarafından üstlenmektedir, Sarıkaya (Hisarcık-Emet) borat yatağı. (H) Bor zonunda ışınal yapı sunan, kilitaşı ile çevrelenmiş kolemanit nodulu, Killik (Espey-Emet) borat yatağı. (I) Kırka boraks yatağındaki açık işletme, Sarıkaya (Kırka) boraks yatağı. (J) Dolomitik kilitaşları ile ardalanan laminalı boraks litofasiyesi, Sarıkaya (Kırka) boraks yatağı.

karşın Türkiye'deki yataklarda bu durum yaygın olarak gözlenmez (Helvacı, 1978). Ayrıntılı çalışmalar, Ca-boratlar ve Na-Ca boratlar arasındaki bu tür dönüşümlerin son derece sınırlı düzeyde olduğunu göstermiştir (Helvacı ve Orti, 1998). Yatakların mineralojik, petrografik ve sedimentolojik özellikleri Çizelge 5'te özetlenmiştir.

Diğer taraftan borat yataklarındaki bor mineralleri ile yan kayalardan olan killer ve tüfler arasındaki iyon değişimleri sonucu ilksel minerallerden diyajenez sırasında ikincil mineraller oluşabilir. Bu tür oluşumlar hemen hemen tüm yataklarda gözlenir. Emet ve Bigadiç yataklarında gözlenen hidroborasit mineralinin büyük bir kesimi kolemanit ile Mg'ca zengin killerin reaksiyonları sonucu oluşmuştur (Çizelge 6).

Emet yataklarında ender olarak gözlenen vicit-A minerali, kolemanit ile katmanlar arası borca ve Sr'ca zengin çözeltilerin reaksiyonları sonucu oluşmuştur. Yine Emet yataklarında ender olarak gözlenen kahnit mineralinin, terujitten veya kolemanitten diyajenez sırasında oluştuğu gözlenir (Çizelge 6). Emet ve Bigadiç yataklarında gözlenen

tünellit minerali için de benzer oluşumlar sözkonusudur. Özellikle Bigadiç yataklarından Öngünevi ve Arkagünevi ocaklarında yaygın olarak gözlenen tünellit minerali yine diyajenez sırasında katman arası bor ve stronsiyumca zengin sularla çözülmüş kolemanit ve üleksitlerden oluşabilir (Çizelge 6). Yukarıdaki örneklere benzer olarak Bigadiç ve Sultançayır yataklarında gözlenen havlit minerali de diyajenez sırasında kolemanitin çevresindeki kil ve tüfler ile reaksiyona girmesi sonucu oluşabilir (Çizelge 6).

Tüm evaporit yataklarında olduğu gibi, boratlar da çok çabuk ayrışmaya uğradıklarından yüzeyde gözlenmesi oldukça zordur. Yüzeyleyen veya herhangi bir şekilde su ve hava ile temasa geçen bor mineralleri çok kısa zamanda çözünürler ve ayrışırlar. Özellikle suyun ve atmosferik şartların bulunduğu ortamlarda su ile birleşen CO₂, karbonik asit oluşturarak bor minerallerini kolaylıkla çözer. Aynı şekilde CO₂'ce zengin yer altı suyu da temasa geçtiği borları rahatlıkla çözerek ayrıştırır (Şekil 7D ve E).

Atmosferik etkilerin altında bulunan yüzey veya yüzeye yakın yataklar ile faylar ve çatlaklarda karbondioksitli sularla temas eden bor mineralleri ayrışır ve borik asit yıkanarak ortamdan uzaklaşırken geride ayrışma ürünlerini bırakırlar. Kolemanit ve üleksitli düzeylerde borik asit yıkanıp ortamdan uzaklaşırken geride ayrışma ürünü olarak ikincil kalsit minerali kalır, bu bor işletmelerinde şekerleme olarak tanımlanır. Bu ayrışmalar Çizelge 6'da verilen reaksiyonlarla özetlenebilir.

Kırka yatağında olduğu gibi sodyumlu boratların baskın olduğu yataklarda, çözünme, yıkanma ve ayrışma çok daha hızlı gelişir. Yüzeyleyen boraks veya kernit mineralleri birkaç gün içinde minerallerin yüzeylerinden başlayarak kimyasal bileşimlerindeki molekül suyunu kaybederek (boraksta olduğu gibi) ve bünyesine su alarak (kernitte olduğu gibi) tinkalkonite dönüşürler. Bu dönüşümler de Çizelge 6'da verilmiştir.

BATI ANADOLU BOR YATAKLARININ OLUŞUMUNU ETKİLEYEN ÖNEMLİ KOŞULLAR

Batı Anadolu bor yatakları, Tersiyer başında tüm Batı Anadolu'yu etkileyen büyüme fayları ve grabenleşme ile volkanik ve sismik yönden aktif sahalarda gelişmiş dağarası kapalı havzalardaki ayırık veya birbirleriyle bağıntılı olabilen playa-göllerinde oluşmuşlardır. (Şekil 8). Bor yataklarını oluşturan playa-göl ortamlarının temelini genel

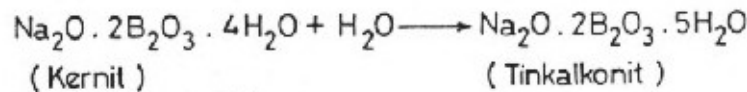
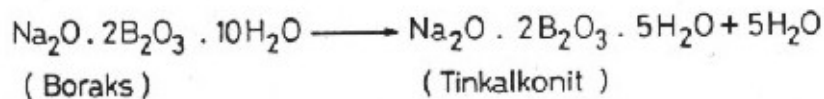
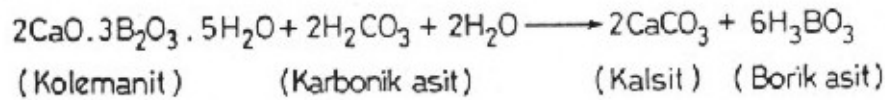
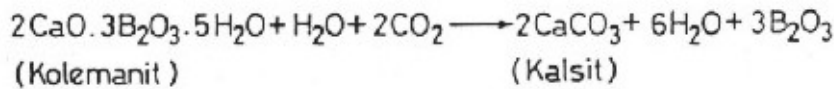
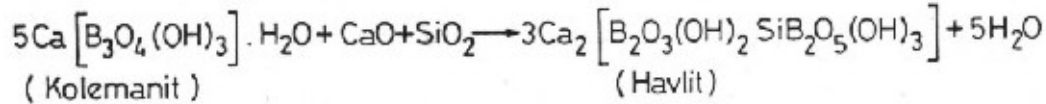
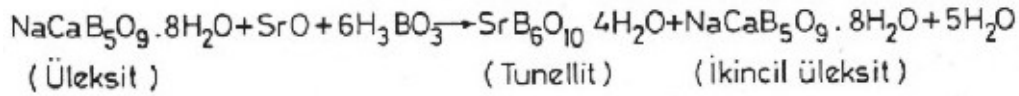
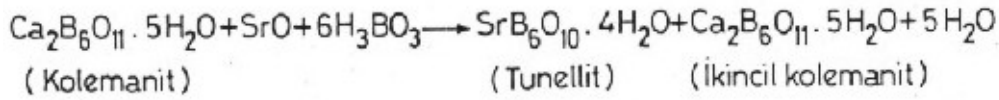
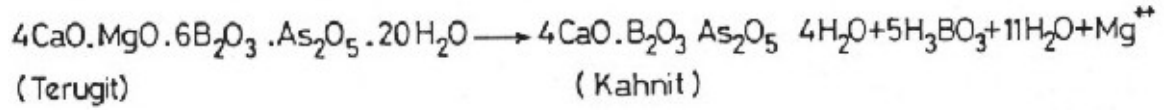
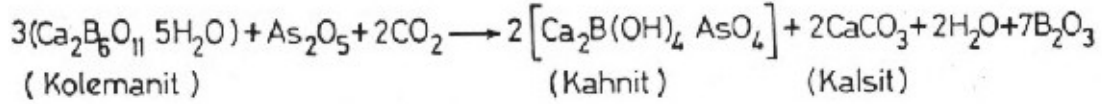
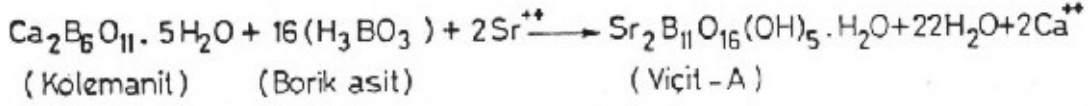
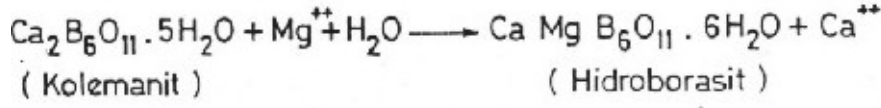
olarak Paleozoyik yaşı metamorfik birimler ile Mesozoyik yaşı ofiyolitik karmaşıklar teşkil ederler.

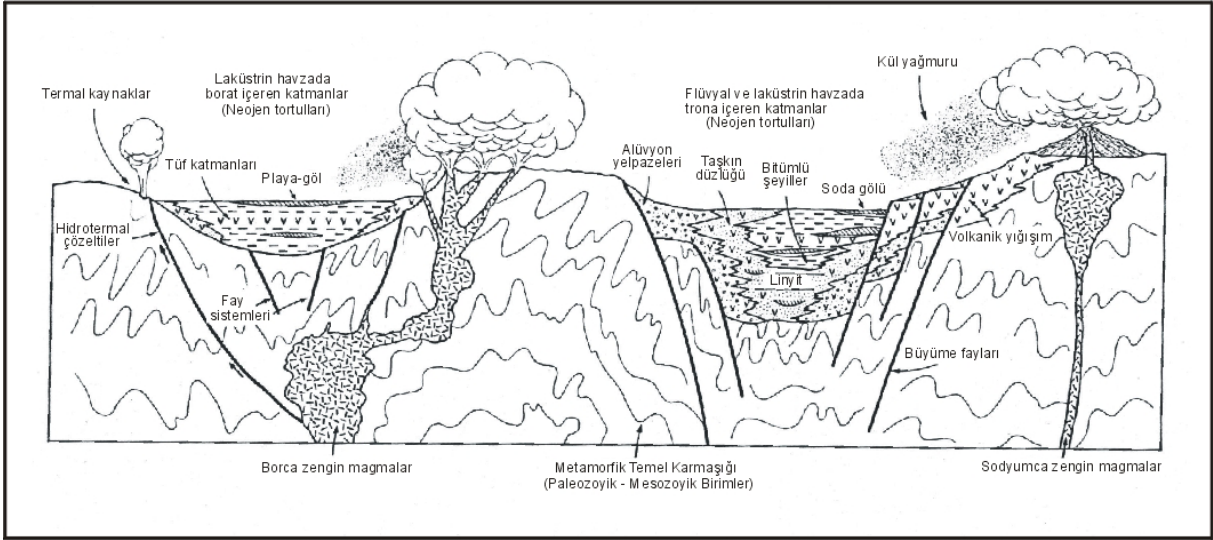
Batı Anadolu'daki Miyosen yaşı borat yatakları, geniş yayılım sunan K'lu kalk-alkalin ignimbiritik volkanizmayla birlikte bulunur. İgnimbiritik döküntü ve yeniden işlenmiş pümsü kırıntılı malzemeler, bor yataklarını barındıran göl sedimentleri ile yakından ilişkili ve ardalanmalıdır. Bu volkanik ürünler, genel olarak yüksek silika içerikli ve yüksek oranda B, As, F, Li ve Pb kapsarlar. Bu kayalardaki ilksel B'un kaynağı ise, dalma-batma zonundaki altere olmuş okyanusal kabuk ve pelajik sedimentlerin dehidrasyonu sonucu ortaya çıkan litofil elementlerce zengin ergiyiklerdir. Dalma-batma ile ilişkili kalk-alkalin magmatizma sonucu B elementi yönünden zenginleşen kabukta, uygun tektonik ortam, iklim ve hidrotermal aktiviteye bağlı olarak yersel borat yatakları gelişmiştir (Floyd ve diğ., 1998).

Bor yataklarını oluşturan playa-gölleri, hidrotermal ergiyikler, sıcak su kaynakları ve yüzey suları ile beslenmişlerdir. Bor minerallerinin oluştuğu kurak veya yarı -kurak dönemlerde çok aşırı buharlaşmadan dolayı su seviyeleri azalarak playalar oluşmuş ve sedimentasyon hızı minimum düzeye inmiştir. Bor çökelimini izleyen dönemlerde, playalardaki su seviyeleri aşamalı olarak artarak kalın kil, marn ve kireçtaşı oluşmasına neden olmuştur.

Kırka borat yatağında Na; diğer yataklarda ise Ca, bor minerallerinin yapısına giren ve playa-göl ortamlarında egemen olarak yoğunlaşan element türleridir. Kimyasal çökelim ürünü olan borat yataklarında saptanan mineral topluluklarının, yatakların gömülme süreci boyunca yüksek sıcaklık ve basınç etkisinde kalmadıkları gözlenmiştir. Ancak ilk oluşan minerallerden gömülmeden sonra ikincil mineraller türemişlerdir (Çizelge 5 ve 6). Bu yatakların oluşumunda B_2O_3 , CaO ve Na_2O ana bileşen olurken; SrO, MgO, As_2O_3 ve SiO_2 ikinci derecede önemli bileşenler olmuşlardır (Çizelge 3).

Çizelge 6. Bor minerallerinin çökelim ve diyajenez sırasındaki dönüşümleri ve ayrışmaları.





Şekil 8. Batı Anadolu'daki Neojen havzalarında bor ve trona yataklarının oluşumunu gösteren şematik depolanma modeli.

TÜRKİYE'NİN BOR MADENLERİ STRATEJİSİ VE BOR POLİTİKASI

Bilindiği gibi ekonomik olarak üretilen bor minerallerinden boraks, kolemanit ve üleksit olmak üzere, dünya bor minerali rezervlerinin minimum % 70'i ülkemizedir.

Çok yaygın kullanım alanı olan ekonomik bor minerallerinden özellikle kolemanit ve üleksit bakımından tüm dünya ülkeleri Türkiye'deki mevcut rezervlere % 100 bağımlıdır. Çünkü, Türkiye dışında tüm dünyada zaten limitli olan kolemanit ve üleksit rezervleri ya tükenmiştir, ya da çok limitli rezervlere sahiptir.

Bor madenlerimizin işletilmesi (madencilik açısından) coğrafi, ulaşım, enerji v.s. yönünden, diğer ülkelere kıyasla (özellikle Latin Amerika ve ABD ile karşılaştırıldığında), son derece elverişli ve uygundur. Örneğin Güney Amerika'da minimum 4000 metre yükseklikte, Kuzey Amerika'da ise, ya çölün ortasında ya da milli parkların içinde olması çok büyük işletme zorlukları ve sorunları oluşturmaktadır.

Türkiye bor yatakları rezerv, tenör ve işletme bakımından tüm dünyada rakipsizdir. Bor ve bor ürünlerinin katma değerleri çok yüksektir. Kullanım alanları bakımından stratejik öneme sahiptir. Örneğin, Ortadoğu için petrol ne ise, Türkiye için de bor aynı nitelik ve önemdedir.

Ülkemizin sahip olduğu bu kadar önemli yeraltı kaynağını, ülke ekonomisine en fazla getiri sağlayacak şekilde değerlendirebilmemiz için, bor işletmeciliğinin yeniden yapılandırılması kaçınılmazdır. Yeniden yapılandırmanın temelinde ise, yine ETİBOR A.Ş. olmalı ve bu kuruluş;

Pazar payını, ürün kalite ve çeşidini arttıracak,

Kendi özkaynakları ile, uç ürünlere yönelik araştırma ve yatırımları finanse edebilecek,

Pazar şartlarına göre hızlı kararlar alabilecek,

Siyasi otoritenin etkilerinden korunabilecek,

Uluslararası şirketlerle rekabet edebilecek,

Gerektiğinde uç ürünler konusunda, yerli ve yabancı şirketlerle ortaklıklar kurabilecek,

şekilde özerk bir yapıya kavuşturulmalıdır. Burada esas olan, bor madenlerimizin, tek bir kuruluş tarafından işletilmesi ve ülkemizdeki tekel durumunun devam ettirilmesidir.

Bor yataklarımız ayrı ayrı özelleştirildiğinde, bugün feldspat madenlerimizde olduğu gibi, iç rekabet dolayısıyla fiyatlar düşecek ve uç ürünlere yönelik yatırımların yapılması da imkansız hale gelecektir, yani, sonuç olarak ülkemizin en önemli madeni heba edilmiş olacaktır.

SONUÇLAR

Dünyanın en büyük bor rezervine sahip olan Türkiye, üretim bakımından ABD'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Son yıllarda Bigadiç ve Emet yataklarında yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye'nin toplam dünya rezervlerinin %70'ine varan rezervlere sahip olduğu anlaşılmıştır. Salt Bigadiç'te tespit edilen rezerv, dünya bor rezervinin %30'unu oluşturmaktadır. Türkiye'nin üretim düzeyi, ABD'nin ulaşmış olduğu seviyeye hızla yaklaşmaktadır. Özellikle Kırka bölgesinden yapılan boraks, Emet ve Bigadiç bölgelerinden yapılan kolemanit ve üleksit üretimleri ile, Türkiye'nin dünya pazarlarına egemen duruma geleceğine kesin gözü ile bakılabilir. Türkiye, halen başlıca kolemanit üreticisi olup, üretimin büyük bir kesimi Emet bölgesi ile Bigadiç ve Kestelek yataklarından sağlanmaktadır. Ülkenin sahip olduğu görünür ve olası bor mineralleri

rezervleri üretime oranla çok büyük olup, en karamsar gözlemciler bile bu rezervlerin birkaç yüzyıl süre ile gerekli talepleri karşılayabileceğine inanmaktadır. Türkiye bor yatakları ile ilgili aşağıdaki jeolojik sonuçlar özetlenebilir.

1. Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren Neojen havzaları önemli boyutlarda linyit, bitümlü şeyl, uranyum, borat yatakları ve birçok diğer endüstriyel hammadde içermektedir. Dünya borat rezervinin %70'ine yakın bir bölümü bu havzalarda bulunmaktadır. Bu nedenle bu havzaların Dünya ölçeğinde jeolojik ve ekonomik önemleri bulunmaktadır.

2. Batı Anadolu'da ekonomik kaynaklar içeren Neojen tortulları, egemen olarak KB, KD ve D-B uzanımlı büyüme fayları ile kontrol edilen çöküntü alanlarını, doldurmaktadır. Neojen dolgusu genellikle kırıntılı ve karbonatlı olabilen alüvyonal ve gölsel tortul bileşenlerin yanı sıra kırıntılı ve kristalin volkanitlerden yapıldır.

3. Batı Anadolu Neojen havzalarında yeralan ekonomik boyutlardaki linyit yataklarının tümüne yakın bir bölümü, alüvyonal tortulların üst düzeyinde yer alır. Linyit yatakları alüvyonal ortamların taşkın düzlüğü bataklıklarında ve indirgen koşullarda oluşmuştur. Bor yataklarında yaygın olarak şeyl ve bitümlü şeyllerin büyük bölümü, alt-orta Miyosen yaşlı gölsel tortullar içinde yer alır.

4. Linyit oluşumu, çökme hızının çok fazla olmadığı, duraylı sayılabilecek havzalarda yeterli kalınlık ve büyüklüğe erişmiş olup, nemli iklim koşullarını yansıtır. Diğer bir anlatımla, linyit içeren havzalarda kırıntılı tortul kalınlığı ile kömür kalınlığı arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Linyit oluşumu ve yatakları, çoğunlukla bor çökeliminden önce gerçekleşmiştir.

5. Borat yatakları, kurak veya yarı kurak koşullar altında gelişen playa-göl tortulları içinde gözlenirler. Bor yataklarına, çakıltası, kumtaşı, kil, marn, kireçtaşı, tuf ve tüfit gibi volkanosedimanter tortullar eşlik eder. Halit ve trona gibi çok tipik evaporit mineralleri, Batı Anadolu borat yataklarında gözlenmemektedir.

6. Bor yataklarını oluşturan eski playa göllerinin çevresinde değişik dönemlerde etkin olan ortaç ve asidik karakterli volkanizma, borların asıl kaynağını oluşturmaktadır. Türkiye borat yataklarının tümü volkanitlerle birlikte bulunur.

7. Borat yataklarının bir kısmının çevresinde, günümüzde traverten ve kükürt çökelten ve ppm mertebesinde B içeren termal kaynaklar bulunmaktadır.

8. Batı Anadolu'da yeralan linyit, bitümlü şeyl, uranyum ve borat gibi ekonomik kaynakların oluşumuna yolaçan depolanma ortamları, Şekil 8'de sunulan modelde topluca gösterilmiştir. Buna göre linyit, bitümlü şeyl ve uranyum yatakları, çoğunlukla kenarları büyüme fayları ile sınırlandırılmış, alüvyonal ve gölssel tortullar içeren, volkanikliğin etkin olmadığı havzalarda depolanmışlardır. Bu havzaların kenar bölümlerindeki flüviyal tortullar içinde uranyum ve linyit yatakları oluşurken, gölssel karakterli iç kısımlarda bitümlü şeyl yatakları gelişmiştir. Volkanizmanın ve hidrotermal faaliyetin aktif olduğu havzalarda playa türü sığ gölssel koşullarda borat yatakları gelişmiştir. Volkanik faaliyetin yanısıra, havzayı sınırlayan faylardan ve kırık sistemlerinden yükselen sıcak sular ve hidrotermal ergiyikler, borların asıl kaynağını oluşturmaktadır (Şekil 8). Öte yandan, kurak, yarı-kurak iklim koşulları ve yaygın gelişen evaporasyon, borat birikimine yolaçan diğer önemli etkenleri oluşturmaktadır.

Ekonomik ve stratejik sonuçlar ise aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Türkiye, dünya'nın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit cevheri ve üretimi yönünden tamamen, üleksit cevheri ve üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır. Bor madenlerinin üretimi ve pazarlanması, ham veya yarı mamül ürünlerin yerine mutlaka uç ürünlere doğru yönlendirilmeli ve bu amaç için gerekli yatırımlar acilen yapılmalıdır. Günümüzde çok değişik sanayi dallarında kullanım alanı bulan bor ürünleri, teknolojinin gelişimine paralel olarak artış göstermektedir. Türkiye bor yataklarını ve üretimini elinde bulunduran Etibank A.Ş., ekonomik ve siyasal baskılardan korunmak için bağımsız ve özerk bir yapıya acilen kavuşturulmalıdır. Böylece üniversite, Tübitak ve özel sektör ile bağlantı kurarak daha etkin üretim ve yapılanma içine girebilecek, ekonomik değeri yüksek ürünler üretebilecek ve rekabet gücünü artıracaktır.

KATKI BELİRTME

Şekillerin özenli bir şekilde çiziminde, düzenlenmesinde ve yazım aşamasında emeği geçen İ. ARPALİYİĞİT'e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Aleksandrov, S.W., 1985. Geochemistry and mineralogy of tin and boron in skarn deposits. High Heat Production (HHP) Granites, Hydrothermal Circulation and Ore Genesis. The Institution of Mining and Metallurgy, England, 425-435.
- Altınlı, İ., E., 1955. The geology of southern Denizli: Rev., Fac., Sci., Üniv. İstanbul, Seri, B.20 (1-2), 1-47
- Aristarain, L., F., ve Hurlburt, C., S. Jnr., 1972. Boron minerals and deposits. Part I-Uses, distribution and economic minerals of boron. Part II-Geological environments and classification of boron deposits: Min. Record, 3, 165-220.
- Baysal, O., 1972. Tunnellite, a new hydrous strontium borate from the Sarıkaya borate deposits in Turkey: Bull., Min., Res., Expl. Inst. Turkey, 79, 22-29.
- Becker-Platen, J., D., 1970. Lithostratigraphische Untersuchungen im Känozoikum Südwest Anatoliens (Türkei): Beih. Geol., Ib., 97, 1-244.
- Benda, L., Maulenkamp, J.E., Schmidt, R., R., Steffens, P., ve Zachariasse, J., 1977. Biostratigraphic correlation in the Eastern Mediterranean Neogene, 2. Correlation between sporomorph associations and marine microfossils from the Upper Oligocene-Lower Miocene of Turkey: Newsl., Stratigr., 6, 1, 1-22.
- Borchert, H., ve Muir, R., O., 1964. Salt Deposits. The origin, metamorphism and deformation of evaporites. D. Van Nostrand Company. Ltd., 338 s.
- Çolak, M., Helvacı, C., and Maggetti, M., 2000. Saponite from the Emet colemanite mines, Kütahya, Turkey. Clays and Clay Minerals, vol. 48, No. 4, 409-423.
- Donato, G., 1951. Natural steam power plants of Larderello, Mech. Eng., 73, 709-712.
- Erentöz, L., Öztumur, C., 1964. Aperçu general sur la stratigraphie du Neogene de la Turquie et observations sur ses limites intérieure et supérieure: Institute "Lucas Mallada", C.S.I.C (España) Cursos conferencias, 9, 259-266.

- Floyd, P., A., Helvacı, C., Mittwede, S., K., 1998. Geochemical discrimination of volcanic rocks, associated with borate deposits: an exploration tool? *Journal of Geochemical Exploration* 60, 185-205.
- Goldschmidt, V., M., 1954. *Geochemistry*. Oxford University Press. Oxford.
- Gökçen, N., 1979. Denizli-Muğla çevresi Neojen istifinin stratigrafisi ve paleontolojisi: Doçentlik tezi, Hacettepe Üniv., 204 s., ANKARA.
- Grew, E., S., ve Anovitz, L., M. ((Editors), 1996. *Boron mineralogy, petrology and geochemistry*. Mineralogical Society of America. *Reviews in Mineralogy*. Volume 33, 862s.
- Helvacı, C., 1977. *Geology, mineralogy and geochemistry of the borate deposits and associated rocks of the Emet Valley, Turkey*: Ph.D. Thesis, University of Nottingham, England.
- _____ 1978. A review of the mineralogy of the Turkish borate deposits: *Mercian Geol.*, 6, 257-270.
- _____ 1983. Türkiye borat yataklarının mineralojisi: *Geo., Müh.*, 17, 37-54.
- _____ 1984. Occurrence of rare borate minerals: veatchite-A, tunnellite, terrugite and cahnite in the Emet borate deposits, Turkey: *Mineral Deposita*, 19, 217-226.
- _____ 1994. Mineral assemblages and formation of the Kestelek and Sultançayır borate deposits. *Proceedings of 29th International Geological Congress, Kyoto, Part A*, 245-264.
- _____ 1995. Stratigraphy, mineralogy and genesis of the Bigadiç borate deposits, Western Turkey. *Economic Geology* 90, 1237-1260.
- Helvacı, C., ve Alaca, O., 1984. Bigadiç borat yataklarının jeolojisi ve mineralojisi: T.J.K. 38. Bilimsel ve Teknik Kurultay Bildiri Özetleri, 110-111.
- Helvacı ve Alonso, 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina; A summary and geological comparison. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 9, 1-27.
- Helvacı, C., Firman, R., J., 1976. Geological setting and mineralogy of Emet borate deposits, Turkey. *Applied Earth Sciences*. Extract from *Transactions/Sections B of the Inst. of Mining and Metallurgy*. Vol. 85, p. 141-152.
- Helvacı, C., İnci, U., Yağmurlu, F., ve Yılmaz, H., 1987. Batı Anadolu'nun Neojen stratigrafisi ve ekonomik potansiyeli. *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*. Sayı 3, 31-45.

- Helvacı, C., Orti, F., 1998. Sedimentology and diagenesis of Miocene colemanite-ulexite deposits (western Anatolia, Turkey). *Journal of Sedimentary Research* 68. 1021-1033.
- Helvacı, C., Stamatakis, M., G., Zagourogrou, C., and Kanaris, J., 1993. Borate minerals and related authigenic silicates in northeastern Mediterranean Late Miocene continental basins. *Explor. Mining Geology* 2, 171-178.
- Helvacı, C., and Yağmurlu, F., 1995. Geological setting and economic potential of lignite and evaporite-bearing Neogene basins of western Anatolia, Turkey. *Isr. J. Earth Sci.*, 44, 91-105.
- İnan, K., 1972. Newborate district, Eskişehir-Kırka province Turkey: *Trans. Inst. Mining and Metall.*, 81, B, 163-165.
- İnci, U., 1983. Demirci (Manisa) ve Burhaniye (Balıkesir) çevresinin jeolojisi ve bitümlü şeyl olanakları: Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniv., Fen Bil., Enst., 184 s. İzmir.
- Kaya, O., 1981b. Batı Anadolu alta bindirmesi: Ultramafik birimin ve Menderes masifinin jeolojik konumu: *Doğa Bilim Derg.*, Atatürk özel sayısı, 15-35.
- Landergren, S., 1945. Contribution to the geochemistry of boron II. The distribution of boron in some Swedish sediments and iron ores. The boron cycle in the upper lithosphere. *Arkiv. Kim. Mineral. Geo.*, 19a, No.26, 1.
- London, D., Morgan, G.B. and Wolf, M.B., 1996. Boron in granitic rocks and their contact aureoles. In *Boron: mineralogy, petrology and geochemistry* (editors: Grew, E.S. and Anovitz, L.M.), *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, 33 299-325.
- Utting, G., ve Steffens, P., 1976. Explonatory notes for the paleogeographic atlas of Turkey from the Oligocene to Pleistocene: *Bundesantalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, 1, 121.
- Meixner, H., 1953. Mineralogische beobachtungen an colemanit, inyoit, meyerhofferitterschit und ulexitaus neuem Turkischen boratlagerstätten, Heidelberg. *Beitr. Miner. Petrogr.* Vol.3, Germany, p. 445-455.
- Nebert, K., 1961. Tavas-Kale (Güneybatı Anadolu) bölgesine ait yeni müşahadeler: *M.T.A. Derg.*, 57-64.
- Özpeker, I., 1969. Batı Anadolu borat yataklarının mukayeseli ve jenetik etüdü: Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniv., 116 s.

- Rankama, K., and Sahama, Th., G., 1950. *Geochemistry*. Univ. Chicago Press. Chicago.
- Shabynin, L., I., 1957. Distribution and formation conditions for boron concentration in endogenetic borates of skarn deposits: *Izvestiya Akad Nauk S.S.S.R. Ser. Geol.* 63-70.
- Suerdrup, H., U., Johnson, M., W., and Fleming, R., H., 1942. *The Oceans*. Prentice Hall, Inc., New York
- Sunder, M., S., 1980. Geochemistry of the Sarıkaya borate deposits (Kırka-Eskişehir). *Bulletin of the Geological Society of Turkey* 2, 19-34.
- Tilley, C.E., 1951. The zoned contact-skarns of the Broadford area, Skye: a study of boron-fluorine metasomatism in dolomites. *Mineral Mag.*, 29, 621-667.
- Watanabe, T., 1964. Geochemical cycle and concentration of boron in the earth's crust: *V.I. Verdenkii Inst. Geochim and Anal. Chem. U.S.S.R.*, 2, 167-177.
- Yılmaz, Y., Genç, S., C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., and Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J., A., Piper, J., A., D. (Eds.) *Tectonic and magmatism in Turkey and surrounding area*. Geological Society, London, Special Publications, 173, 131-162.