



TMMOB
JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

TMMOB
JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
JEOLJİ KÜTÜPHANESİ



MTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

EVAPORİT JEOLJİSİ VE TÜRKİYE BORAT YATAKLARI

KURS NOTLARI

Prof. Dr. Cahit HELVACI

2002/MTA
Ankara

TMMOB
JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
JEOLJİ KÜTÜPHANESİ
Sıra No: 558.63HELVACI/2002
Etilim No: 1571

JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYINIDIR

JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU

AYDIN ÇELEBİ- Başkan

OKTAY EKİNCİ- II. Başkan

İSMET CENGİZ- Yazman Üye

ALİ KAYABAŞI- Sayman Üye

RAMAZAN DEMİRTAŞ- Yayın Üyesi

BUKET ECEMİŞ- MESLEKİ Uygulamalar Üyesi

HATİCE ERBAY ÇALAĞAN- Sosyal İlişkiler Üyesi

Değerli Meslektaşlar,

Geçmişten günümüze bilim ve mühendislik alanındaki uygulamaların toplumsal yaşamda giderek yaygınlaşması ve yaşama içselleştirilmesiyle beş temel bilim dalından biri olan jeolojiye de ilgi artmaktadır. Bu ilginin artmasında geçtiğimiz yıllarda yaşadığımız ve toplumsal yapımızda ekonomik, siyasal, kültürel ve yönetsel anlamda tahribat yapan büyük depremlerin de katkısı olduğu açıktır.

Ülkemizdeki jeoloji mühendislerinin mesleki demokratik kitle örgütü olan Jeoloji Mühendisleri Odası'nın Yönetim Kurulu, jeoloji bilimi ve uygulamalarının, yani mesleğimizde üretilen hizmetlerin kalitesini artırma ve ülke-toplum çıkarlarıyla buluşturma anlayışından hareketle meslektaşlarımızın meslek içi eğitim kursları ile yetkinleştirilmesini en önemli görevlerinden biri olarak algılanmaktadır. Bununla birlikte, meslektaşlarımızın görev yaptığı kuruluşların düzenli ve yeterli meslek içi eğitim verme olanakları sınırlı olabilmektedir. Meslektaşlarımızın eğitiminden doğan eksikliklerinin giderilmesi, meslek alanlarımızda yeni ve hızlı gelişmelerden haberdar edilmeleri ve bu alanlarda her an ülke ve toplum hizmetine hazır bulundurulmaları sürekli bir mesleki eğitimle sağlanabilir.

Meslektaşlarımız için zorunluluk olduğu kadar uygulayıcı kuruluşlar için de geçerli olan bu yaklaşım aynı zamanda ülke insan kaynaklarının en verimli şekilde kullanımına da olanak sağlayacaktır.

Mesleki hizmetlerde ülke ve kamu yararına öncelik verilerek her kademedeki teknik ve bilimsel işgücünün planlanması, gerekli personelin yetiştirilmesi ve eğitilmesi konusunda ilgili kuruluşlarla işbirliği yapmak Jeoloji Mühendisleri Odası'nın amaçları arasındadır.

Endüstriyel hammaddelerin sanayinin temel girdisi olarak ekonominin gelişimindeki önemi bilinmektedir. Bu anlamda evaporitik ortamların içerdiği hammadde kaynakları nedeniyle araştırılması doğal kaynakların ülke ekonomisine katma değer yaratmasını sağlamak, bu konuda bilgi ve deneyim kazanmış meslektaşlarımızın çabasıyla olacaktır.

Bor mineralleri, bilindiği üzere 250 değişik alanda kullanılması ve yerine ikame edilecek başka bir mineral olmaması nedeniyle stratejik bir madendir. Dünya Bor rezervlerinin % 63'üne sahip ülkemiz, dünya bor ihtiyacını 400 yıl sağlayacak nicelikte olduğunu düşündüğümüzde konunun önemi kendiliğinden çıkacaktır.

Bu kapsamda, MTA Genel Müdürlüğü ile 2001 yılında gerçekleştirilen meslek içi eğitim seminerlerinden "**Evaporitlerin Jeolojisi ve Borat Yatakları**" adlı kursun tüm katılımcılara yararlı olmasından büyük mutluluk duymaktayız. Bu kursta bilgi birikim ve deneyimini aktaran Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi Prof.Dr. Cahit HELVACI'ya ve Genel Müdür Sn. Ali Kemal IŞIKER'in şahsında MTA Genel Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ediyoruz.

Saygılarımızla,

YÖNETİM KURULU

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

EVAPORİTLER

Prof.Dr.Cahit HELVACI

e-posta: cahit.helvaci@deu.edu.tr

Bornova-İZMİR

EVAPORİT YATAKLARININ ÇÖKELİM ORTAMLARI

GİRİŞ

Evaporitler, buharlaşma ile konsantre olmuş salamura çözeltilerden çökelmiş mineraller ile bileşen oluşturan tortul yataklardır. Bazı evaporitler, kara içi çöl havzalarındaki sularda çökelmiş olmasına karşın, diğerleri deniz kıyısı boyunca oluşan tortul kütlelerindeki boşluk suyunun ürünleridir. Okyanus suyundan da çökelen evaporitler vardır. Sonuçta açıkça görülebileceği gibi, bazı evaporitler, önceden oluşmuş kayaçların bünyesindeki evaporit olmayan minerallerin, evaporit mineralleri tarafından ornatımı ile çökebilir. Evaporit teriminin, söz konusu bütün çökelim koşullarının ürünleri için kullanılmasına rağmen her bir çökelim işlevinin kendine özgü farklı sedimentolojik işlemi vardır. Evaporit türlerinin ilişkide bulunduğu kayaç türleri de farklıdır. Evaporit teriminin sözkonusu bütün çökelim koşullarının ürünleri için kullanılmasına rağmen her bir çökelim işlevinin kendine özgü farklı sedimentolojik işlemi vardır. Evaporit türlerinin ilişkide bulunduğu kayaç türleri de farklıdır.

Evaporitler ile ilgili bir tartışmada şu noktalardan biri seçime bağlıdır; (1) değişik ortamların malzemesini bir araya getirip, evaporit başlığı altında toplamak veya (2) tartışmayı ortamsal koşullarda yoğunlaştırıp, uygun olan yerlerde evaporitleride katarak ürünleri bir arada göz önüne alınarak Friedman ve Sanders (1978)'in yeni kitapları "Sedimentoloji İlkeleri" inde, ikinci alternatifi gözönüne almışlardır. Kitapta "evaporit" başlığı altında hiçbir bölüm yoktur. Böylece yapımlarından evaporitleri dışladıkları anlanmamalıdır. En azından dört değişik bölümde, evaporitleri dört ortamsal koşulda tartışmaktadırlar.

KITASAL SABKHALAR

Deniz kenarı ve kıta içi olmak üzere 2 tür Sabkha vardır. Sabkhalar dengedeki deflasyon (aşındırma) tortullaşma yüzeyleri veya yerel yeraltı suyu tablasından geçen deflasyon-sedimentasyon pencereleridir (Kinsman, 1969). Su tablasının üzerindeki kılcal sınır, rüzgar aşındırmasının taban seviyesini belirler. Kılcal sınırın üzerindeki tortullar, rüzgar etkinliği ile yerlerinden taşınırlar. Bu nedenle oluşan düz yüzeyler yeraltı suyu tablası ile ilgilidir.

Kıtasal sabkhalara örnek olarak, Ölü Deniz ve Kızıl Deniz arasındaki Yotvata Sabkha'sı verilebilir. (Amiel ve Friedman 1971). Vadideki geçici akarsuların güneye, Ölü Denize doğru akar. Bu akarsuların birçoğu Ölü Denize ulaşmazlar. Geçici akarsular kısa olup, sürekli drenaj sistemi oluşturmazlar. Yalpazeler, tortulların Ölü Deniz'e ulaşmasını engeller, bu nedenle, su zemin içerisine doğru sızarak yüzeye yakın bir şekilde su tablası oluşturur. Sabkhadaki tortullar, grabenin yamaçlarından geçici akarsular ve rüzgar ile kuzeyden getirilmiş; kum, silt, kil'den oluşur. Sabkha yüzeyi, graben duvarlarından eğimlenerek ayrılır ve merkeze doğru yataylaşır. Yeraltı suyunun derinliği, bitki örtüsü dağılımı, ve yeraltı suyunun bileşimi sabhkada ayrıcalıklı 3 zon oluşturur.

- (1) Bitki örtüsünden yoksun orta kısım
- (2) Geçiş zonu
- (3) Dış zonda, ılgın ağaçları, palmiyeler ve sazlık gibi bitki örtüsü içeren kısım

Sabkha'nın dış kısmından merkezine doğru gidildikçe, yeraltı su seviyesi yükselir ve aynı yönde suyun kloritesi artar. Dış tonda ve geçiş zonunun bir kısmında, tortul tanelerinin çatısı içinde jips çökeler. Geçiş zonundan bazı kısımları ile merkez kısımda, halit çökeler. Sabkha'lar yaygın olarak, playa göllerinin kenarındadır. Kuzeybatı Avrupa'nın Permiyen tuz

yataklarının, bir playa gölüne bitişik kıtasal sabkhada çökeldiği düşünülmektedir. (Glennie, 1972). Söz konusu sabkha yatakları, sondajlarla alınan örneklerde incelenmiştir. Buradan, aratabakalı kumtaşı ve şeyilden oluştuğu gözlenmiştir. Bunlar Yotvata Sabkha'sındaki kum, silt ve killer gibi düşünülebilir. Evaporit minerali jipsten daha yaygın olarak, anhidrittir. Yeraltında yataklarda yapılan sondajlarda anhidrit jipse göre daha duyarlı sülfat minerali olarak göze çarpar. Buradaki sabkha, düne, geçici akarsular ve playa göllerindeki ortamsal koşullarda çökelmiş bir fasiyes ile giriftlik sunar.

PLAYALAR

İspanyolca bir kelime olan Playa, kıyı veya su kütesinin bankı anlamındadır. İngilizce konuşan jeologlar tarafından, playa göllerinin kuru yatakları için yaygın olarak kullanılır. Playa'lar çöl bölgelerindeki, bazen ince bir su örtüsüyle kaplanan geniş, sığ depresyon alanlarıdır.

Playa depresyonları, dışsal drenajdan yoksundur, bölgenin en düşük topografik yüzeyini oluştururlar. Playalardakik malzeme, yalnızca, yüzeyaltı akmaları, evaporasyon ve deflasyon (rüzgar aşındırması) ile tekrar harekete geçirilir. Bu harekete geçirici etkenlerin her üçünde önemli olmasına karşın, playa tabanlarının çoğunlukla geçirgen olmayan tortullarla kaplı olduğu için, yüzey altı akımları ile, evaporasyon ve deflasyon ile daha az malzeme taşınır. (Friedman ve Sanders, 1978)

Batı Texas'da bir dağarası havza olan Salt Flat Grabeni tipik bir playadır (Friedman, 1966). Bu havzanın ortalama genişliği 17 km'dir. Açılan sondajlar, Kuvarterner tortullarının bütün dizilimine girmeksizin 500-600 m arasındaki derinliğe kadar inmiştir. Bu dolgudaki tortullar, karasal moloz ve evaporitlerden oluşmaktadır. Üst 0,5 m'deki tortulların rengi kahverengidir, Bu renk, oksidasyon koşullarının varlığını belirtir. Bu derinliğin altındaki tortullar, indirgen koşulları belirten gri renktedir. Evaporit yatakları, değişik mineraller içeren ince laminasyonlardan oluşmuştur. Egemen mineraller, jips ve halit'tir. Bunların yanı sıra yersel olarak kalsit, arogonit ve dolomit bulunabilir. Bazı tabakalar demir sülfid varlığı nedeniyle kararmıştır. Demir sülfid, süreksiz mercekler halinde gözlenir.

Eğer yüzeyde sert kabuk oluşturan dolomit tabakasının altında baskın H₂S, demir sülfid ve yersel sülfürün varlığı bakteri işlevleri ile jipsin indirgendiği gözlenir.

DENİZEL EVAPORİT ORTAMLARI

Tortullar üzerinde yapılan çalışmalarda, denizel evaporit yataklarının kökeni ile ilgili alanlar en doyurucu düşüncelerden bir tanesidir. Yaygın ve etkin hipoteze göre; açık denize girişi sınırlandırılmış olan durgun su kütlelerinden evaporasyon ile evaporitler oluşmuştur. Bu sınırlandırmış bölgeler, sığ lagünlerin arkasındaki bariyer eşikleri (Ochsenius 1877) veya, Norveç fiyordlarındaki batimetriye benzer, derin deniz bölgelerindeki kapalı havzalarıdır (Schmalz, 1969). Diğer bir alternatif olarakta, evaporit yatakları, epeirik denizlerin sakin selflerinde, bir bariyerle sınırlandırmaksızın çözünürlük ürünleri diğer denizel sulardakilerden daha fazladır (Richter-Bernburg, 1953 ve 1968). Son yıllarda, klasik bar veya eşik teorisine dayanarak evaporitlerin kökenlerini açıklayan teorinin karşıtları ortaya çıkmaktadır. Evaporitlerin oluştuğu ortamlar, kurak iklimlerin egemen olduğu bölgelerde, gelgit üstü (supratidal) ortamlarda özellikle sabkha olarak bilinen yerlerde evaporitlerin çökeldiği düşüncesinde gelişmeler olmuştur. (Shearman, 1966, Friedman ve Sanders, 1967, Kinsman, 1969 Shearman ve fuller 1969).

Evaporitler değişik ortamsal koşullarda çökelmektedirler; sabkhalar, kapalı havzalar (barred basin) ve sığ epeirik selfler. Evaporitlerin sabkha kökeni, Abu Dhabi, İran Körfezi boyunca

ki, kıyı kıyağında yapılan yeterli miktardaki çalışmalar ile tespit edilmiştir (Shearman, 1966; Kinsman, 1966 ve 1969, Brutler, 1969). Burada yapılan çalışmalar sonucunda sabkha hipotezi, stratigrafik istifteki birçok yaşlı kayaya da uygulanmıştır (Murray, 1964; Kling ve diğerleri, 1967, Schenk, 1967, Holliday, 1968 ve 1968, Rooney ve French, 1968, West ve diğerleri 1968, Hardie ve Eugster, 1971, Friedman, 1972).

Bar veya eşikle kapalı havza teorisinde evaporit kimyasının gelişmesine bağlı olarak artan bilgilerden yararlanmıştır (Borchert ve Muir, 1964). Fakat günümüzdeki bilgilerimiz altında, bar ile kapalı bir havzada evaporit çökelmediğinden dolayı, sabkhalarda olduğu gibi gözlem yapılamamasından, sabkhalara göre bu teorisinin gelişmesi duraklamıştır. Eski Ochsenius (1877) savı deniz suyunun kapalı bir kapta buharlaştırılması ve evaporasyon sırasının teorik hesaplanmasına dayanmaktadır.

Scruton'un (1953) açıklamasına göre; stratigrafik dağılımda, örneğin Batı Texas ve New Mexico'daki Permiyen Castile Formosyon'undaki evaporit minerallerinin oranları, kapalı bir sistemde tamamen buharlaşan deniz suyundaki, oranlar ile uyuşmamaktadır. Scruton'un sunduğu modelde Ochsenius bar (eşik) teorisini göze almasına karşın, barın arkasında, değişik evaporit minerallerinin çökelimine etken olan, karakteristik bir modelden bahseder.

Yüzeysel akıntılar düşük tuzlu bölgelerden, yüksek tuzlu bölgelere akmasına karşın, derinlerde zıt yönlü akıntılar, yoğunluk dağılımı nedeniyle yüksek tuzluluk içeren bölgelerden düşük tuzlu bölgelere akarlar. Scruton'a (1953) göre, salamura (brine, aşırı tuzlu su) konsantrasyonu, evaporit minerallerinin çözünürlük ürünlerini aşarsa, farklı evaporit mineralleri çökeler ve böylece akıntılar nedeniyle yanall yönde girift evaporit mineral fasiyesleri oluşur. (Friedman, 1972 a). Bar (eşik) ile kapalı havza savında 2 düşünce vardır; Derin su ve Sığ Su modelleri

DENİZ KENARI SABKHALAR

Abu Dhabi Sabkha'sı örnek olarak alındığı zaman, buradaki tortullarda 8 veya 9 değişik otijenik mineral çökelmiştir. Aragonit, jips, anhidrit, dolomit, sölestit, manyetit, huntit ($Mg_3Ca(CO_3)_4$) ve olası olarak kalsitlerde sabkha'nın yüzey altı ortamında oluşmasına rağmen, dolomit ve anhidrit özel ilgiyi çeker. Sabkha'nın boyunca kazılan çukurlarda anhidritin egemen olduğu gözlenmiştir. Bu mineral, bronz-kahverengi arası renkteki ana kayaç içinde beyaz nodüller şeklinde bulunur. Bu nodüllerin çapı değişken olup 1 mm-den 15 cm'den daha büyük uzunlukta olmaktadır. Küresel alanların yanı sıra oldukça yassılaştırmış olanları da vardır. Nodülün içindeki anhidrit kristalinin büyümesi ile oluşan mekaniksel kuvvet nedeniyle, nodülü çevreleyen tortullarda yer değiştirme gözlenir. Örneğin, nodülün etrafındaki stramatolitler, fiziksel olarak yer değiştirmiş olup, nodül etrafında kıvrımlanmış, bükülmüşlerdir. Kristal büyümesinden kaynaklanan basınç nedeniyle sabkha yüzeyi 30 cm-1 cm arasında yükselmektedir. Kurak iklim kuşağındaki nodüller anhidritler, deniz-kıyısı sabkha'nın belirtecidir (Batler, 1969; Batler ve diğerleri 1964, Curtis ve diğerleri, 1963, Friedman ve Sanders, 1963, 1968, Kinsman, 1969, Shearman, 1963 ve 1966).

DENİZ KIYISI HAVUZLARI

Kızıldeniz'in özellikle yoğun buharlaşmasının olduğu bölgelerde, deniz kıyısı havuzlarda tabakalar halinde jips birikir. Bu havuzlar her yıl buharlaşma ile sularının 2,5 m'den fazlasını kayıp ederler. Bu su kaybı, Kızıldeniz'den gelen içeri akma ile dengelenmektedir. Yaz boyunca, havuzdaki su daha tuzlu olur. Katyon ve anyon konsantrasyonunda bir artma gözlenir. Haziran ve ağustos ayları arasında, toplam tuzluluk binde 330 (330×10^3 mg/l) olduğu anda jips çökelirken sülfat seviyesi azalır. Haziran ayında, binde 120 tuzlulukta (120×10^3 mg/l) ve jips çökelimine yaklaşıken sülfat konsantrasyonu en yüksek değerine ulaşır. Hem doğal hemde yapay deniz suyu üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan ortaya çıktığına göre (30 °C de) deniz suyunun 3,5 katı olan konsantrasyonda veya binde 124'lik bir tuzlulukta (120×10^3 mg/l) jips çökelmektedir. Sedimantolojide yapılan çalışmalardan elde edilen deneyimler, doğal koşullardaki karışık değişkenler nedeniyle, laboratuvar deneyleri doğada uygulanmamasına rağmen kimyasal bir reaksiyon olarak jipsin Kızıldeniz'deki havuzlarda çökmesi, deney sonuçlarına uygundur. Kışın ve sonbaharda, tuzluluk binde 220'ye düşerken (220×10^3 mg/l), sülfat konsantrasyonunda artmaktadır. İlkel çökelinin sonrasında, sülfat seviyesinin tekrar yükselme olduğunu gösterir (Friedman ve Sanders, 1978).

YARI KAPALI HAVZALAR

Yarı kapalı bir havzada, sıcak ve kuru iklim sırasında, havzayı çevreleyen karalardan gelen su miktarından fazla buharlaşma olur. Sonuçta, su seviyesi alçalmaya yönelir. Eğer havza deniz ile bağıntılı ise, yüzey akmaları ile sular havzaya akar. Havzada tatlı su dışı akımı varsa, havzanın eşik derinliği yeterinceyse, 2 yönlü akımlara, yüzeyden içe doğru, derinlerde havzadan dışarı doğru, olanak tanır veya çok sığ bir eşik derinliği varsa yalnızca yüzey akması ile içeri doğru bir akma gerçekleşir.

Birbirine zıt bu 2 akma, havzadaki evaporitlerin dağılımını etkiler: İki yönlü akmanın olduğu yerlerde, en tuzlu evaporitler havza kenarında çöker. Eğer tek yönlü bir akma egemense, en tuzlu evaporitler (saline) havzanın ortasında çöker. (Friedman ve Sanders, 1978)

Kızıldeniz ve Akdeniz, 2 yönlü akmanın olduğu, buharlaşma ile sularının çoğunu kayıp eden güncel havzalardır. Evaporit havzalarındaki su derinliği konusunda birçok karışık düşünce vardır. Saniyede çökelen evaporit, belirli bir derinliği göstermez. Bazı evaporitler deniz seviyesinin biraz üzerinde çökebilir; bazı evaporit mineralleri de akıntılar ve yerçekimi etkisiyle hareket ederek herhangi bir derinlikte çökebilir.

DERİN SU DENİZEL KİREÇTAŞLARI OLASI DEĞİŞMİŞ EVAPORİTLER

Geleneksel düşünceye göre, evaporit yataklarının birikimi için uygun yerlerden birtanesi, açık denizle sınırlı bağlantısı olan bar (eşik) ile kapalı havzalardır. Bu havzalarda, evaporitlerin deniz suyundan çökerek, havza tabanında birikmesiyle oluştuğu düşünülmektedir.

Bar (eşik) ile kapanımlı havza teorisinin, doğruluğunu kanıtlamak için Kızıldeniz gerekli jeolojik özellikleri taşımaktadır. Kızıldeniz bölümsel olarak kapalı olup, sığ bir eşik ile Hint okyanusundan ayrılmaktadır (en düşük eşik derinliği 100 m). Kızıldeniz Pleistosen sırasında, periodik olarak Hint Okyanusundan ayrı kalmıştır. Eğer bu düşünce doğruysa, Kızıldeniz'in tabanının altındaki tortulların evaporit mineralleri içermesi gerekir. Kızıldeniz boyunca alınan

karotlarda, jips ve anhidrit ile ilgili yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanısıra, Kızıldeniz tortullaşmasının yaklaşık olarak 70.000 yılını içeren Aqaba (Akaba) Körfezi'nde konu ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Evaporit kökenli sülfat minerali bulunmamıştır. Bunun yanısıra, taşlaşmış aragonit tabakaları, ağır oksijen ve karbon istoplarının miktarının artması, organik kalıntılar, düşük Mg kalsit içeren lutit ve aşırı tuzlu bir ortamın özelliklerini taşıyan faunasının ortaya koyduğuna göre, Geç Pleistosen'de, bütün Kızıldeniz'de yüzey sularından sülfat mineralleri, özellikle jips çökelmiştir. Taban tortullarında sülfatın olmamasının nedeni, düşük Mg kalsiti sonuçlayan bakteri işlevleridir. Bakterilerin işlevlerine bağlı olarak, sülfatların parçalanması sırasında pH yükselmiş olup, bu da düşük Mg kalsit ile birlikte, yüksek Mg kalsit çökmesine neden olduğu anlaşılmaktadır.

Bu sebepten dolayı, Kızıldeniz'in gösterdiğine göre, derin bir eşik ile kapalı havzada, sülfat mineralleri oluşsa bile birikmemektedir. Sülfat mineralleri, yüksek Mg kalsit ile düşük Mg kalsiti oluşturmak için parçalanacaklardır; yani yüksek Mg kalsit diyajenitik olarak değişerek Düşük Mg kalsiti (normal kalsit) oluşturacaktır. Lutit olarak adlandırılan bu kalsit klasik havza kireçtaşıdır. Çözeltideki sülfat iyonlarının bakterilerce parçalanmasını, izleyerek sülfidin, bikarbonatla birbirini izleyen reaksiyonları sonucunda, yeterli kalsiyum iyonu konsantrasyonunda kalsit oluşabilir. Bundan dolayı jips katılaşma aşamasına gelmeden, havzada kireçtaşı çökebilir. Biyokimyasal parçalanma sonucunda, havzadaki kireçtaşı H₂S gazı içerir ve ayrıca içerdiği FeS nedeni ile siyah renktedir. Bu tür havzalarda kireçtaşları, Kızıldeniz güneyindeki organik maddece zengin, petrol ana kayası olma özelliğine sahip kayaçlarla aynıdır (Friedman, 1972).

Derin havzalarda kalsitik (kireçtaşı) oluşmasına rağmen, deniz-kenarı düzlüklerde (sabkhalarda) Miyosen boyunca Kızıldeniz kenarındaki bölgelerde olduğu gibi, kalın evaporitik sülfat dizilimleri oluşur.

Eğer, sınırlandırmış havzalarda, evaporitler yerine, kalsitik kireçtaşı (havza kçt), oluşur ve evaporitik sülfatların Deniz-Kenarı şelflerinde bulunduğu söylenirse, tuz yataklarının oluşumu esrarengiz bir hal alır; bunların yanısıra kalsik olarak tuzların oluşumu kapalı havzalarda, evaporasyonun son aşama ürünü olarak düşünülmektedir. Eski havzalardaki, Zechstein (Permiyen) ve Akdeniz Miyosenin'deki tuzların dokusu önceden oluşmuş anhidrit nodülleri ve Stramatolitlerin yerinde ornatımı ile sabkha benzeri yerlerde tuz yatakları çökelmiştir. Bu tuzların, günümüzdeki havzalarının daha derin kısımlarında ve hatta havza merkezinde bulunmasına rağmen; subsidans (çökme) öncesinde bu tuzların ilksel yataklanmaları sığ düzlüklerde oluşmuştur (Friedman, 1972a).

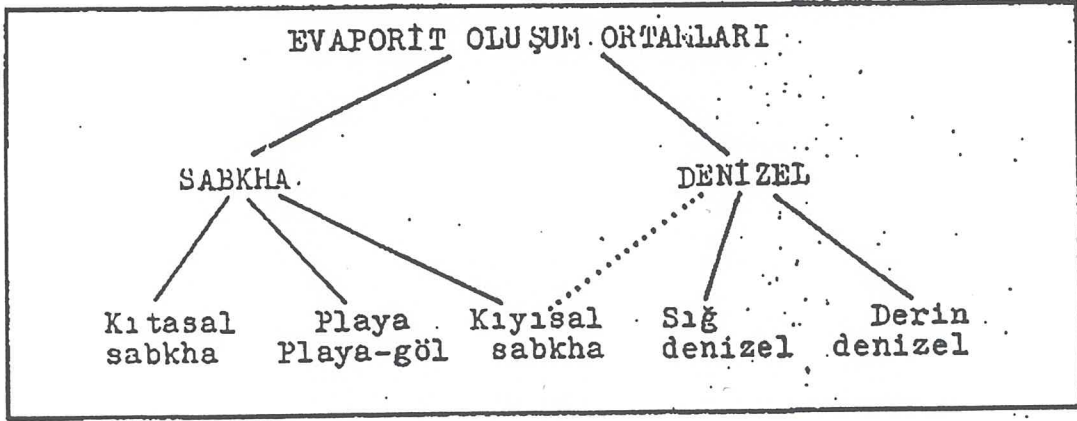
EVAPORİT OLUŞUM MODELLERİ

GİRİŞ

Evaporit oluşumu kıtasal alanlarda iklimin, denizel alanlarda derişimin kontrolündedir. Kıyı alanlarında ise her iki etken de değişik oranlarda rol oynayabilir.

Kıtasal alanlarda, kurak iklim etkisinde evaporit oluşan ortamlarına sabkha denir. Sabkhalar deniz kenarında da gelişebilir. Buna göre sabkha modeli iki alt modele ayrılabilir: kıtasal sabkha ve kıyısal sabkha. Sabkha modelinde morfoloji düz (peneplen), iklim arid (çöl) dir. Dağlar arasında yer alan düzlüklerde oluşan bataklık ve göller evaporit oluşum alanlarıdır ve playa veya playa-göl adını alır. Bu ortamlarda buharlaşmanın etkisinde kuruma sonucu devirsel evaporit yatakları oluşur. Kıtasal alanlarda yer alan playalar sabkha modelinin bir parçası olarak da düşünülebilir.

Denizel ortamlarda oluşan evaporitler derişimin kontrolündedir. Denizel ortamlar sığ denizel ve derin denizel olmak üzere derinlikle belirlenen iki farklı alt ortama ayrılabilir.

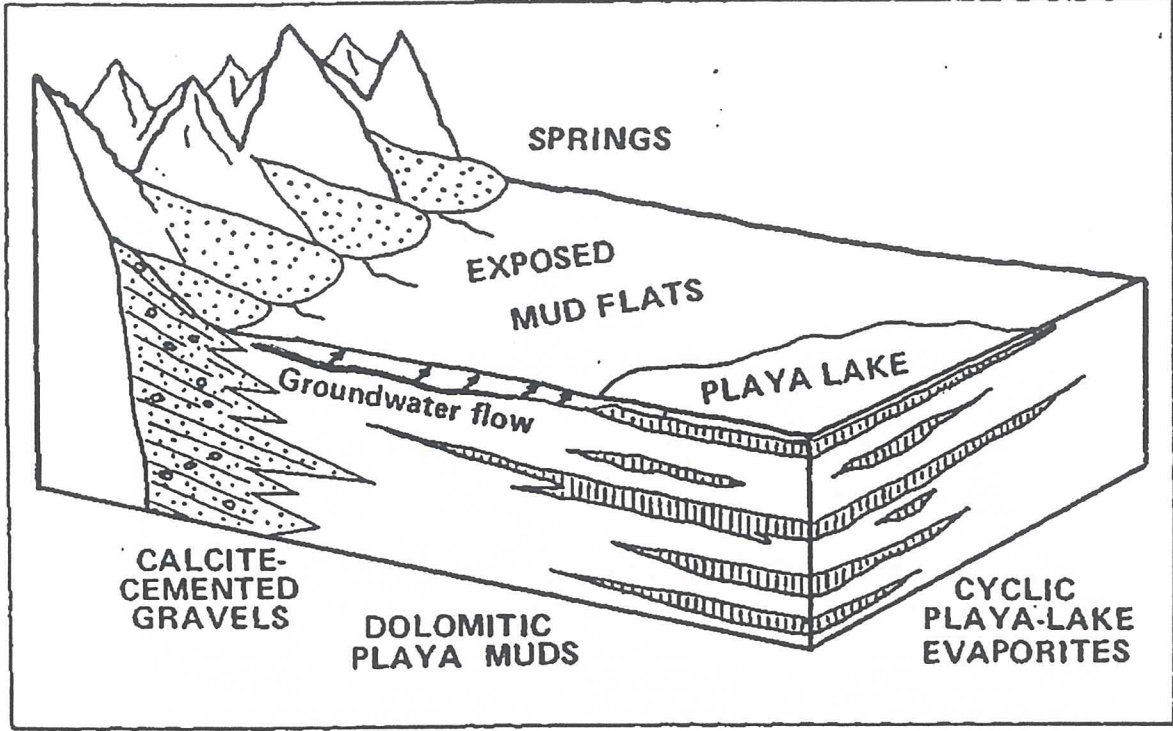


Şekil-1 : Evaporit oluşum ortamları. Noktalı çizgiyle kıyısal sabkha ve deniz ortamının dolaylı bağlantılı olduğu belirtilmiştir.

SABKHA EVAPORİTLERİ

Kıtasal sabkha evaporitleri (Continental sabkha)

Kıtasal evaporitler yeraltı suyuna bağlı olarak oluşur ve yaygın bulunmazlar. Kıta içinde oluşmuş evaporitlerde denizel katkılarda olabilir. Bu ortamlarda denizel ve kıtasal etkinin oranını tanımak zordur. Kıtasal evaporit minerallerinin kısa ömürlü oluşu bu ortamların ender bulunmasını sonuçlar. Çoğu mineraller kimyasal yönden çok hareketli olduklarından yığışım oluşturamazlar. Kıtasal evaporitler tuz topraklarında ve sedimenter kütleler olarak playa havzalarının merkezlerinde ve playa gölleri ile birlikte oluşur. Jips kabukları, kaliş oluşumları tipik olarak gözlenir.



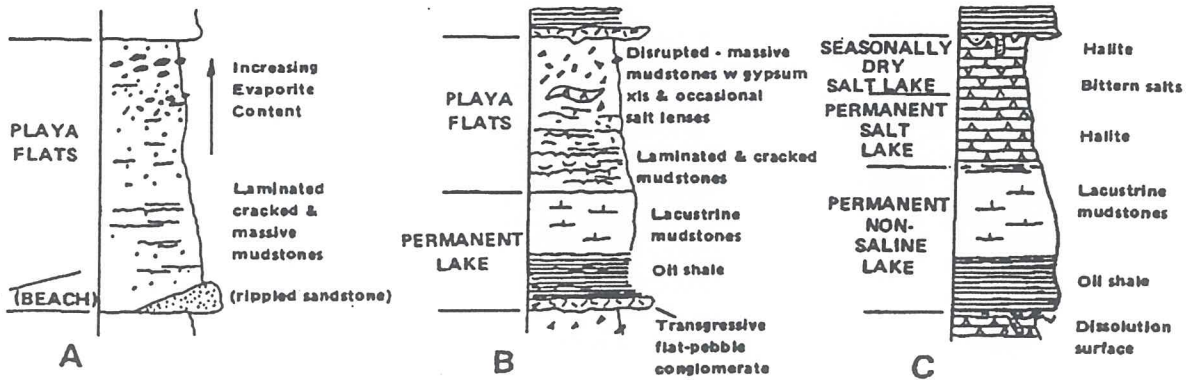
Şekil-2: Playa modelini gösteren şematik blok diyagramı (Kendall, 1979).

Playalar faylarla kontrol edilen düzlüklerde gelişmişse sıcak sulardan beslenme daha fazla olacaktır. Bunun yanı sıra volkanik aktivitenin gelişmesi zengin evaporit yatakları oluşturabilir. Batı Anadolu'da Miyosen'de gelişen grabenleşmeye koşul olarak gelişen playa-göl ortamlarında zengin bor yatakları oluşmuştur. Beypazarı trona (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $2\text{H}_2\text{O}$) yatağında yine playa-göl ortamında oluşmuştur.

Playaların tortul kapsamı Şekil 2'de verilmiştir. Yükseltilere yakın yerleşmiş alüvyon yelpazeleri, düzlükleri oluşturan dolomitik çamurlarla geçiş sunar. Evaporitler ise çamurlarla ardalanmalı gözlenir.

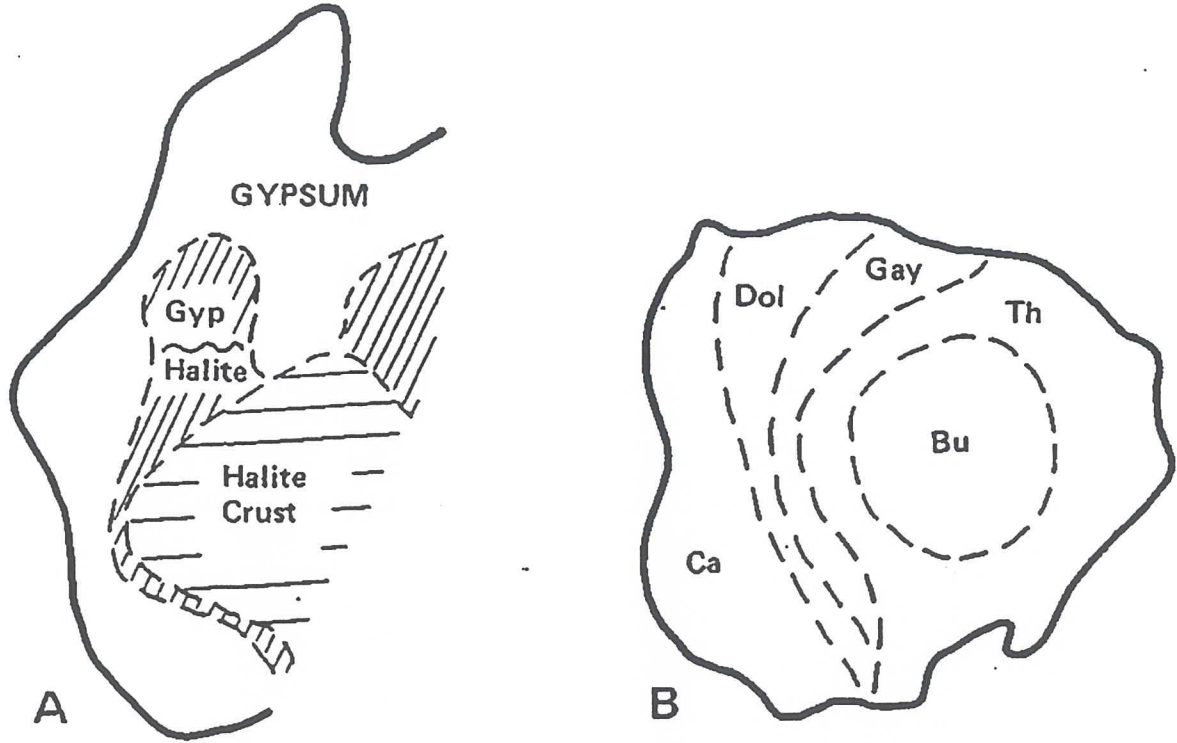
Playa modelinde evaporitlerin dağılımı

Playa ortamında evaporitlerin yerleşimi iklim, yeraltı suyu kaynağı, kimyasal bileşim ve playanın boyutlarıyla kararlaştırılır. Genelleştirilmiş bir playa modelinin kenardan merkeze doğru olan litoloji değişimleri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Playa ortamında litoloji dağılımı (Kendall'dan 1979)

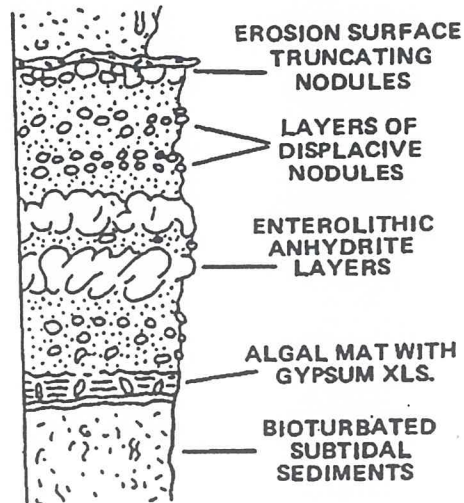
Şekil 4'te Yotvata ve Deep Spring Lake playalarında mineral zonlanması verilmiştir. Mineral zonlanmasını kararlaştırıcı etkilere yukarıda verilmiştir.



Şekil 4. Yotvata (A) ve Deep Spring Lake (B) playalarında mineral zonlanması (Kendall, 1979).

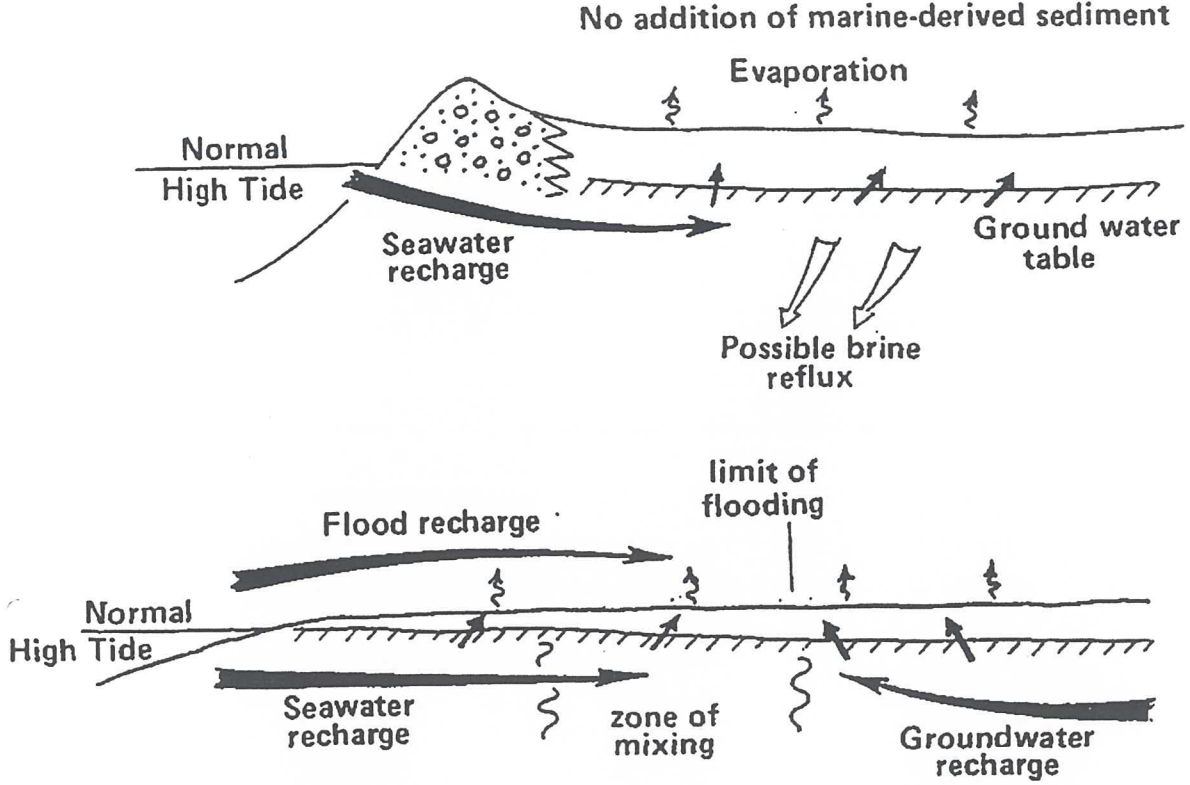
Kıyusal sabkha (Coastal sabkha)

Kıyusal sabkhalarda deniz kenarı düzlüklerde, arid iklim ve denizin etkisinde gelişir. Kıyusal sabkhalarda alttan üste şu tipik kesitle tanınır: (1) Tabanda karbonatlar, ender olarak kırıntılılar, (2) pseudomorf köşeli jips kristallerinin bulunduğu benzer tortullar, (3) üstte ise aşınma yüzeyleriyle sınırlı nodüller anhidrit mozayigi. Kıyusal sabkhanın bu tipik kesiti Şekil 5'te verilmiştir.



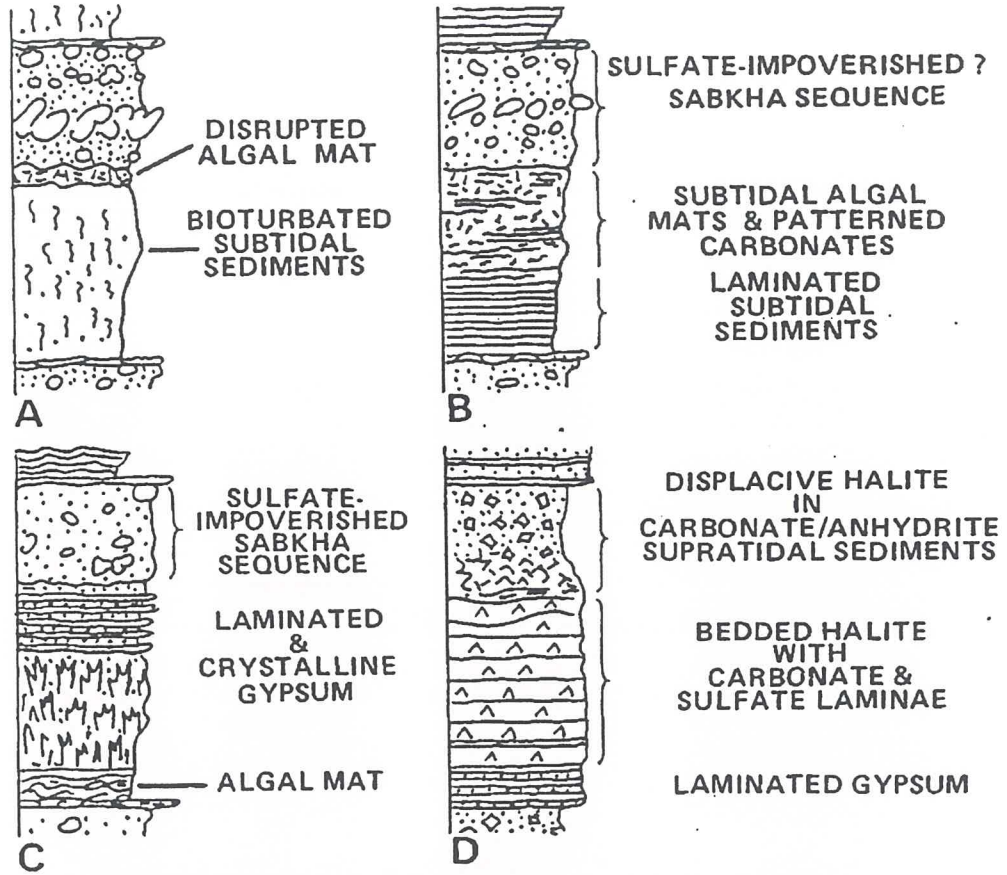
Şekil-5 : Kıyusal sabkhalarda karakteristik özellikleri (Kendall, 1979).

Kıyusal sabkhalarda evaporit oluşumu yeraltı suyu ve denizel etkiler altında gelişir. Denizden kıyusal sabkhaya su boşalımı geçirgen tortullar yardımıyla ve/veya rüzgar yoluyla olabilir. Yeraltı suyundan kıyusal sabkhaya etki kılcal yükselmeler ve/veya kaynak sularıyla olur. Kıyusal sabkhada evaporit bırakacak çözelti girişi denizden ve yeraltı suyundan beraber sağlanabilir.



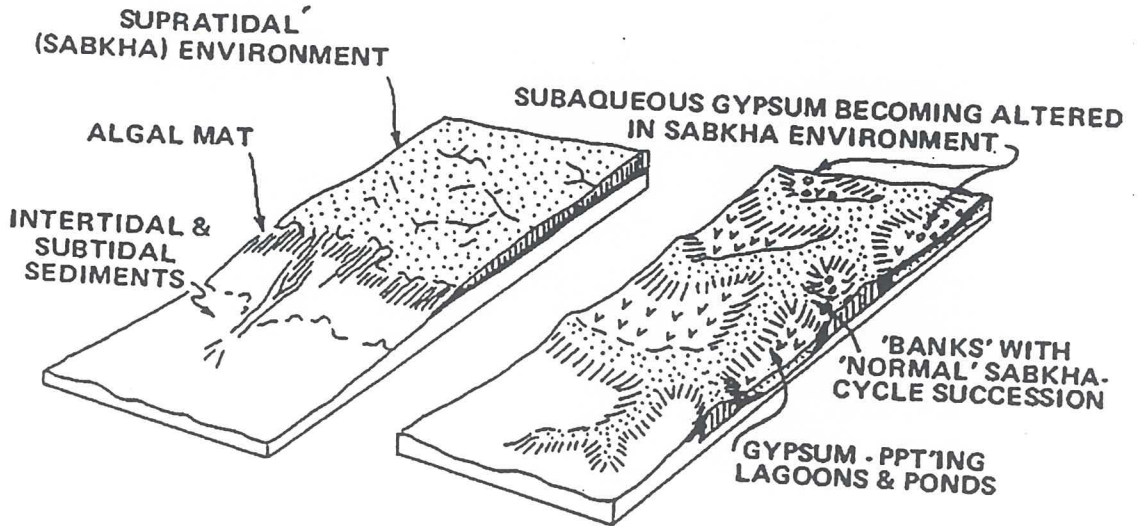
Şekil -6 : Kıyusal sabkhalarda evaporit bırakacak çözeltilerin girişi. Yukarıda, denizdenkenar sırtıyla ayrılmış sabkhaya tortul içi akıyla boşalma. Altta, denizel ve yeraltı suyu boşalımının birlikte işlemesi.

Kıyusal sabkhalarda evaporit oluşumu değişik etkenler altındadır. Denizin, yeraltı su tablasının konumu; ortamda oluşan tortullar, iklim; topografya bu etkenlerdir. Bu etkenlerin değişmesi değişik sabkhaları oluşturacaktır (Şekil 7).



Şekil-7 : Kıyusal sabkhalarda olası evaporit oluşumları ve içyapı özellikleri.

- (A) Az tuzlu sulu ortamın yanında
- (B) Sülfat bakterilerce indirgenmiş tuzlu ortamın yanında
- (C) Gips çökelen ortamın yanında
- (D) Halit çökelen ortamın yanında gelişen sabkha ortamı. (Kendall, 1979)



Şekil-8 : Kıyusal sabkhalarda değişik konumlanmaları.

- (A) Basit sırtla ayrılmış kıyusal sabkha.
- (B) Lagün ve gölcüklerle ayrılan kıyusal sabkha. (Kendall, 1979)

DENİZEL EVAPORİTLER

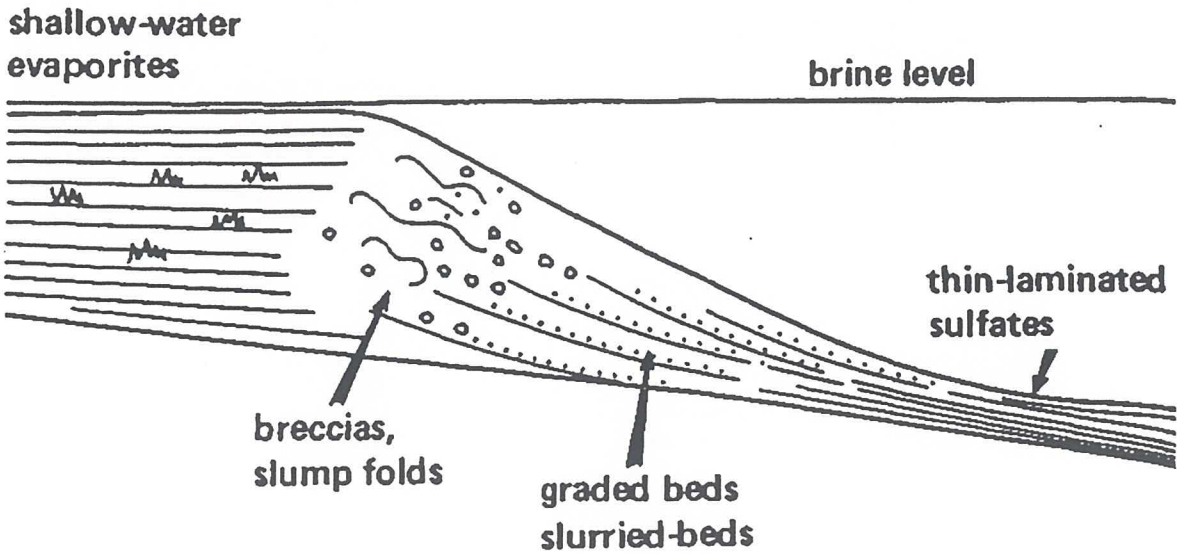
Evaporitlerin içyapı özellikleri depolanma ortamları hakkında gerekli bilgileri verebilir. Bu çökellerin oluşurken kazandıkları iç yapıları, oluşturdukları ortamın su derinliği ile yakın ilişkilidir. Sedimentolojik özellikler oluşum ortamından kalıtsaldır ve ortamın tanınmasını sağlar.

Denizel evaporit ortamları ana hatlarıyla şu özellikleri ile tanımlanabilir:

- 1) Dalga ve akma etkinliğini gösteren yapı gelgit arası ve sığdeniz gelgit altı(subtidal) ortamı tanımlar.
- 2) Algal yapı derin ortamı belirtir. Derinlik ışığın ulaşabildiği sınırdadır.
- 3) Yaygınlık sunan laminalı tortullar daha derin ortamı anlatır. Bu tortullarla birlikte algal malzeme ve akma yapıları gözlenmez. Işığın ulaşamadığı derinlik düşünülebilir. Fakat bu kazanılan iç yapılar bağlı derinliği belirtir ve taşarımsaldır. Stromatolitlerin oluşturduğu laminalı yapı çok sığ ortamda oluşabilir ve ek olarak ışığın ulaşabildiği derinlik suyun temizliğine bağlıdır. Bundan dolayı farklı derinlikteki ortamların yorumlanması mümkündür. Bu durumda iç yapılar oluşum ortamını tam olarak yansıtmayabilir. Bu görüşle, derin deniz ortamı yaygın laminalanma ve yerçekimi etkisiyle yer değiştirmiş tortullarla; sığ deniz ortamı subortamlarının bolluğuyla yaklaşık olarak tanımlanır.

Derin denizel evaporit fasiyesi

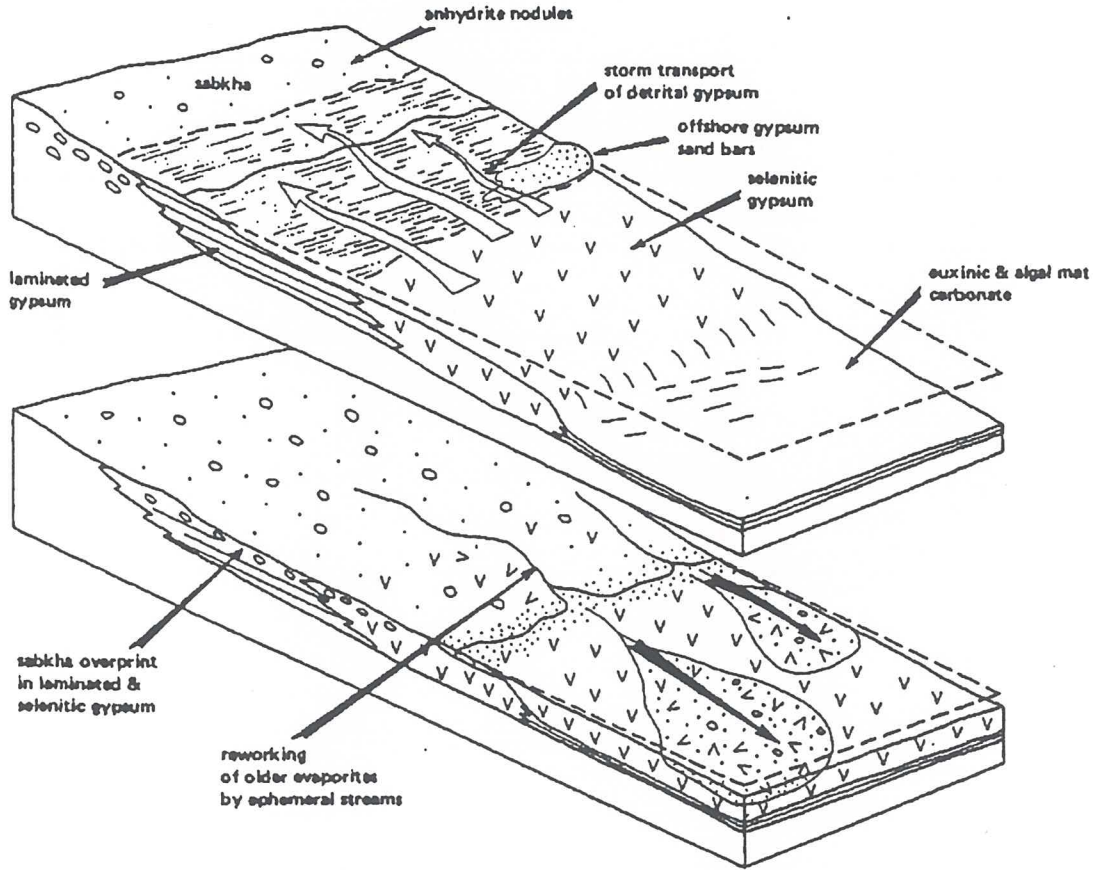
Derin denizel jips ve/veya halitçe doymun ortamdır. Kristal oluşumu olasılıkla hava-su arayüzeyinde gerçekleşir ve kristal suda yağarak düşer. Derin denizel ortam, yaygın laminalanma ve yerçekimine bağlı olarak tortul akmalarıyla tanınır. Egemen mineraller sülfatlar (jips), karbonatlar (kalsit), klorürler (halit) bileşimlidir. Milimetre ölçeğinde sülfat laminaları, laminalı halit belirgin içyapıdır. Yerçekimine bağlı olarak tortul akmaları evaporit-kırıntılı ardalanmasını sonuçlar. Tortul akmaları, türbidit akmaları, tortul kaymaları evaporit ortamına kırıntılı ve/veya kırıntılı evaporit taşır.



Şekil9. Denizel evaporit ortamlarının şematik diyagramı (Kendall, 1979).

Sığ denizel evaporit fasiyesi

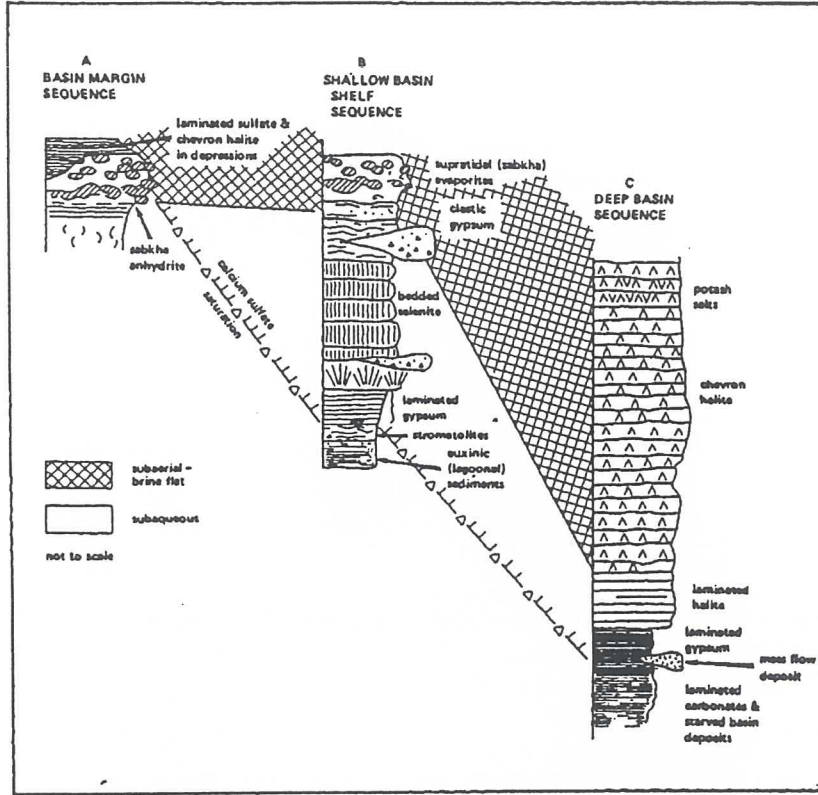
Jips veya halitçe doymun, dalga etkinliği altında olan depolanma ortamdır. Derinlik birkaç cm'den 20 m ve daha fazla olabilir. Algal yapı gözlenir. Evaporit oluşumları hava-su, tortul-su arayüzeyinde veya tortul içinde oluşabilir. Laminalı sülfatlar, kaba kırıntılı jips, halit katmanları iç yapı ve bileşim olarak belirir. Laminalı sülfatlar derin denizel ortama benzer olarak oluşur, fakat dalga etkinliğiyle tekrar işlenir. Laminalı sülfatlar (1) depolanma yüzeyinde kabuk parçalanmış veya tekrar işlenmiş olarak veya (2) su-hava arayüzeyinde iğne şeklinde oluşan kristal tortul-su arayüzeyine düştükten sonra işlenmiş olarak bulunur. Ayrıca çapraz katmanlanma, ripple mark, ters dereceli katman, yapıları olağandır ve dalga etkinliğini belirtir. Kaba kırıntılı jips işlenen tortulun ürünüdür. Jipsarenitler bu işlenmenin ürünü olarak gözlenirler. Halit, kırıntılı ve kabuk olarak gözlenir.



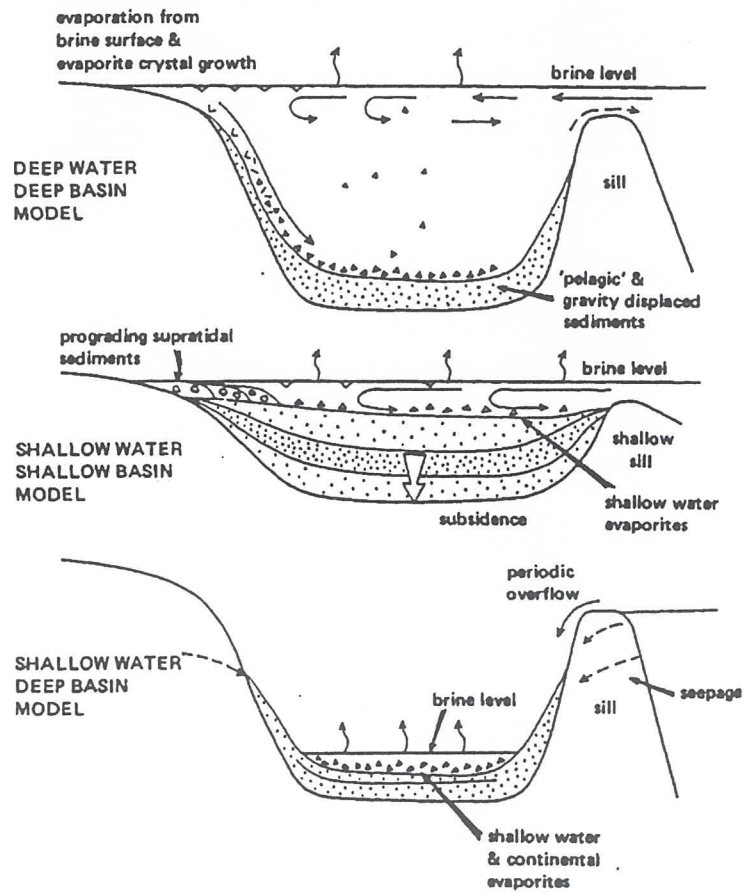
Şekil 10. Sığ denizel ortamda sülfat oluşum modelleri (Kendall, 1979).

Evaporit çökelim döngüsü

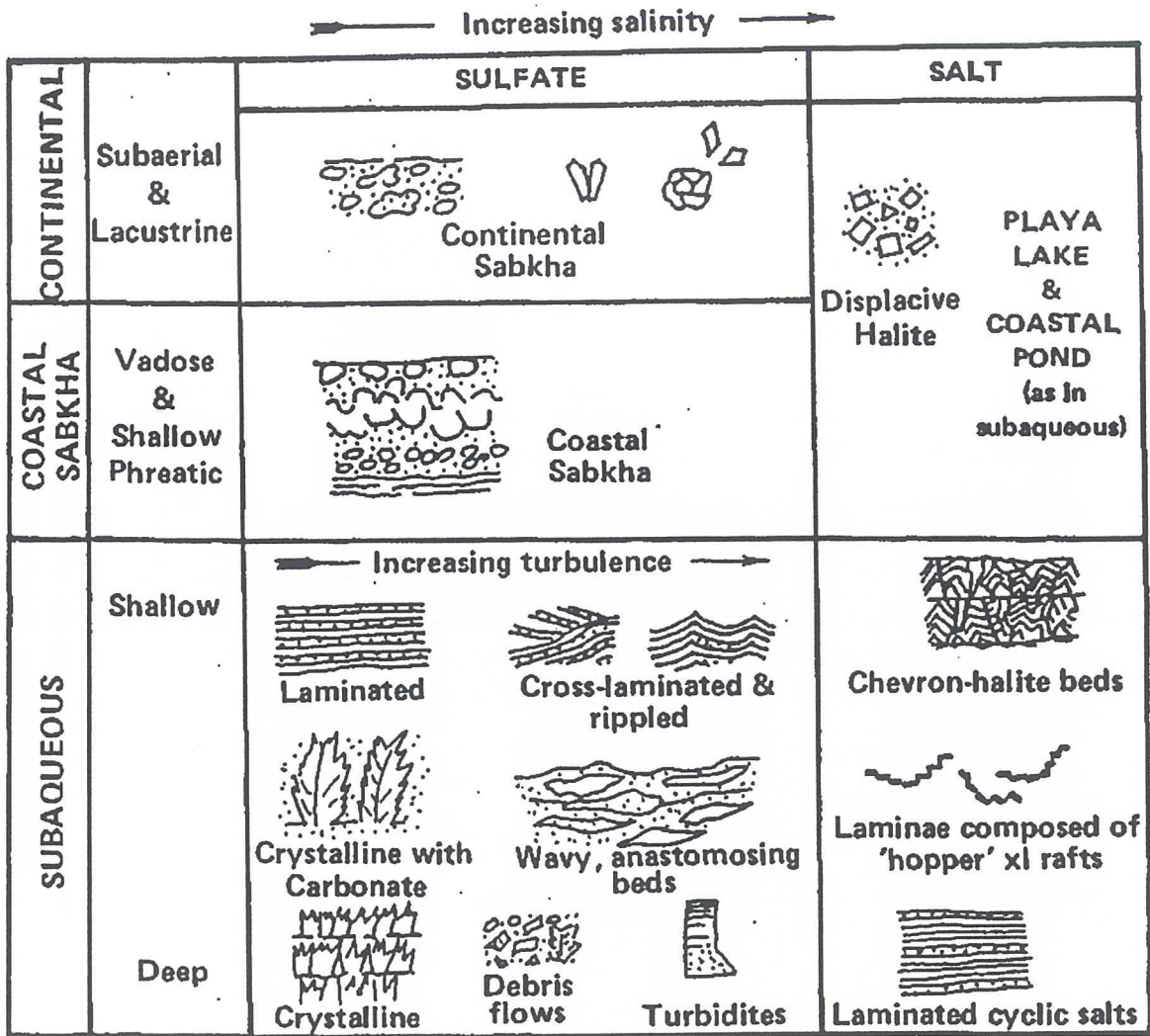
Su seviyesinin bağlı değişimleri tortul havzalar için olağandır. Bu değişimler depolanma ortamlarının kaymalarını sağlar. Bunun yanında evaporit oluşan ortama dışardan su girişi evaporit oluşumunu değiştirir. Jeolojik ve jeokimyasal şartların değişimleri evaporit oluşumunda da değişimleri sonuçlar. Bu olayın ardışık gelişimi değişik evaporit çökellerinin sıralanımını oluşturur. Duraylı bir ortamda kıyından kıyı açığına ve yaşlıdan gence çökel zonlanması ve dizilimi (sırasıyla) Şekil 11'de verilmiştir. Ayrıca Şekil. 12'de havza ortasında evaporit oluşum modelleri, Şekil 13'te denizel ve sabkha evaporitlerinin depolanma ve fasiyes özellikleri sunulmaktadır. Tablo 1'de derin denizel ve sığ denizel evaporitlerin sedimenter özellikleri karşılaştırılmaktadır. Tablo 2'de ise güncel sabkha evaporitleri ile denizel evaporitlerin ayırıcı özellikleri verilmektedir.



Şekil-11 : Denizel evaporitlerde kuramsal evaporit sıralanımı (Kendall, 1979).



Şekil-12 : Havza merkezinde evaporit oluşum modelleri (Kendall, 1979).



Şekil-13 : Denizel ve sabkha evaporitlerinin depolanma ve fasiyes özellikleri (Kendall, 1979).

Tablo-1 : Derin denizel ve sığ denizel evaporitlerin sedimenter özellikleri (Kendall, 1979).

Sedimentary Aspects of Deep-Water and Shallow-Water Evaporite Deposits.

Mineralogy	Deep Water	Shallow Water
Sulphate Laminites	thin, traceable over long distances.	thicker than in deep water, individual laminae are laterally impersistent. evidence of deposition by currents: clastic textures, ripple drift and X-bedding, rip-up breccias, reverse and normal grading. associated stromatolites, footprints.
	nodular anhydrite developed from laminated sulphates.	nodular anhydrite developed displacively in inter- and supratidal sediments.
Clastic Sulphates	in form of gravity flows, slumps and turbidites.	in form of offshore bar, channel, beach and sand spit deposits and as intercalations between other facies.
Selenitic Gypsum		layers of swallow-tail twinned crystals.
Halite	finely laminated with carbonate-sulphate laminae. Inclusion-defined laminae traceable over long distances.	layers separated by terrigenous or carbonate-sulphate laminae. associated with potash salts.
	clear, inclusion-free halite cubes.	inclusion-rich, 'chevron' halite with clear cavity-filling halite. detrital halite, ripple-marked and cross-bedded. emersion surfaces, salt-thrust polygons.

Note that recrystallization and other diagenetic changes commonly destroy the evidence necessary to place evaporites into environmental settings. No single criterion is diagnostic.

DENİZEL EVAPORİT ORTAMLARININ AYIRICI ÖZELLİKLERİ

Tablo-2 : Güncel sabkha evaporitleri ile denizel evaporitlerin ayırıcı özellikleri (Warren and Kendall, 1985).

SABKHA	DENİZEL
Gel-git üstü	İzole havza
Alçak kıyı sırtları	Yüksek kıyısal dünler
Gel seviyesiyle çözelti girişi	Denizel ortam
Aramadde baskın	Evaporit baskın
Nodüler ve bağırsak	Masif, laminalı kırışık
Şekli anhidrid	Yapılı jips
Algal örtü	Stromatolitler
Localize konik tepeler	Enli konik tepeler
Dolomit	Aragonit, kalsit (dolomit ±)

KAYNAKLAR

KENDALL; A.C, 1979. Subaqueous evaporites. In. Facies Models Edited by Roger C. Walker, Geoscience Canada, Reprint Series 1.

KENDALL, A.C., 1979. Continental and supratidal (sabhka) evaporites. In. Facies Models, Edited by Roger G. Walker, Geoscience Canada Reprint Series 1.

WARREN, J.K. and KENDALL C.St.C.G., 1985. Comparison of sequences formed in marine sabkha (subaerial) and salina (subaqueous) settings-modern and ancient. AAPG Bull. V.69, No 6, 1013-1023.

TÜRKİYE BORAT YATAKLARI

Oluşum Koşulları ve Arama Kriterleri

ÖZ

Doğada az bulunan ve duyarsız elementlerden birisi olan bor, yerkabuğunda ortalama 10 ppm'den az olarak bulunmaktadır. Buna karşın bor, her türlü jeolojik ortamlarda oluşan minerallerde yer alır. Bor elementinin yerkabuğundaki 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, Tersiyer'in gölgesel (laküstrin) ortamlarında depolanmıştır. Türkiye borat yataklarının tümü, volkanik aktivite ile ilgili yataklar olarak sınıflandırılır. Bigadiç ve Sultançayı (Balıkesir), Kestelek (Bursa), Emet (Kütahya) ve Kırka (Eskişehir) borat yatakları, Neojen volkanizması sırasında playa-göl tortulları içinde birikmiştir. Borat mineralleri, çakıltası, kumtaşı, kiltası, marn, kireçtaşı, tüf ve tüfit aralanmalı istifte; çamurtaşı, kiltası ve tüfler içinde oluşmuştur. Neojen volkanosedimenter tortulları içinde yer alan Türkiye borat yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde mercekli 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 çökelimi gerçekleşmiştir.

Yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka dışındaki tüm borat yataklarında egemen mineral olmasına karşın, Türkiye borat yataklarının ayrıntılı mineralojileri önemli derecede farklılıklar göstermektedirler. Üleksit (sodium-kalsiyum borat) ve boraks (sodium borat) önemli borat mineralleridir. Boraks yalnızca Kırka'da gözlenmektedir.

Boratlar, "borik asidin tuzları veya esterleri: B_2O_3 içeren bir bileşik" olarak tanımlanırlar. Endüstride ise boratlar, borik asit içeren veya temin eden herhangi bir bileşik olarak tanımlanırlar. Çok sayıda mineral borik asit içerir, fakat dünyada ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır: boraks, üleksit ve kolemanit. Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacının yaklaşık % 90'ını karşılayan Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye olmak üzere çok sınırlı sayıdaki ülkelerde üretilmektedir.

Türkiye bor 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 tanımlanırlar 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.

GİRİŞ

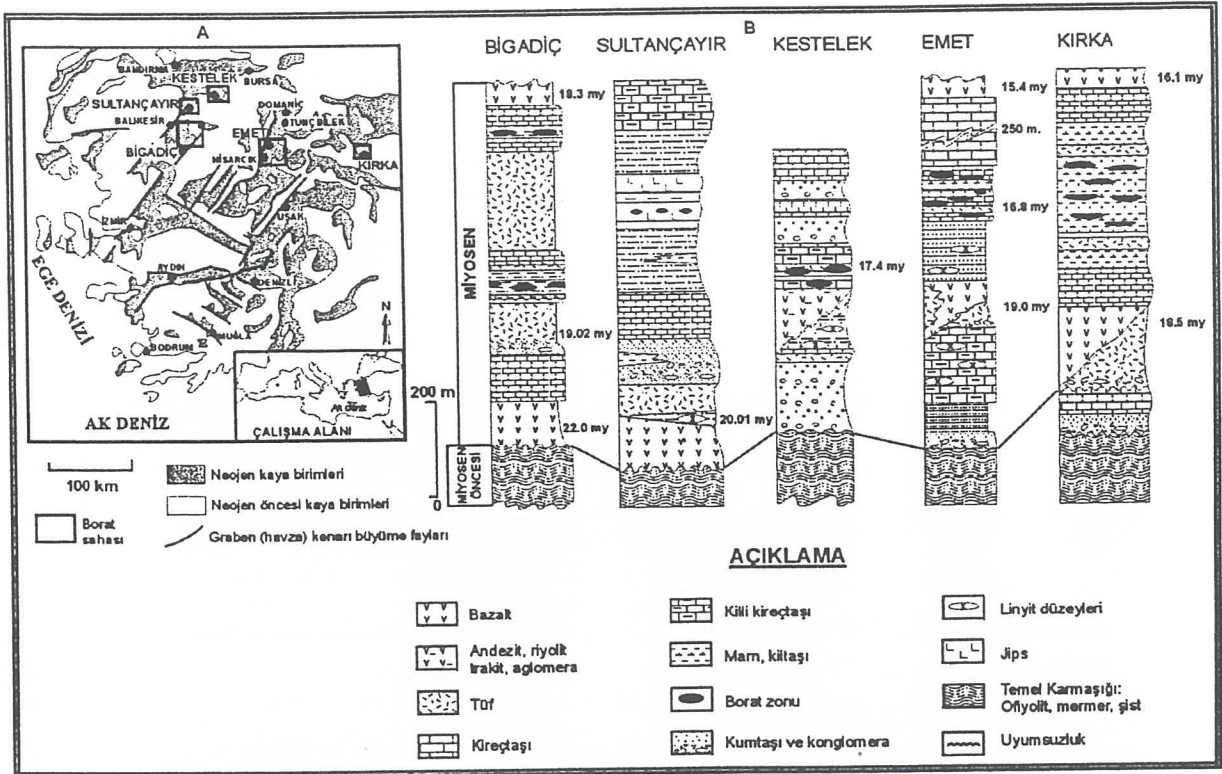
Bor elementi, yerkabuğunda ender bulunan ve düzensiz bir şekilde dağılmış olan elementlerden biri olmasına karşın, bazı sınırlı alanlarda ekonomik ölçüde olabilen birikimleri

mevcuttur. Bor 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.

Genç Neojen volkanosedimenter tortulları içinde yer alan Türkiye borat yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde mercekli 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 şartlarına 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 hammadeler 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 kırıtlı ve karbonatlı olabilen alüvyonel ve gölssel 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.



Şekil 1. A) Batı Anadolu Neojen havzaları ve bor yataklarının bulunduğu bölgeler B) Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinin Neojen stratigrafik kesitleri ve boratlı birimleri.

BOR YATAKLARININ OLUŞUM KOŞULLARI VE ARAMA KRİTERLERİ

Bor yatakları gölsel ortamlarda erken Tersiyerden başlayıp günümüze değin süren volkanik aktivite ile ilişkili olarak oluşumlarını sürdürmüştür. Yani volkanik aktivitenin olmadığı Neojen havzalarında bor zenginleşmesi olanaksızdır (Şekil 1).

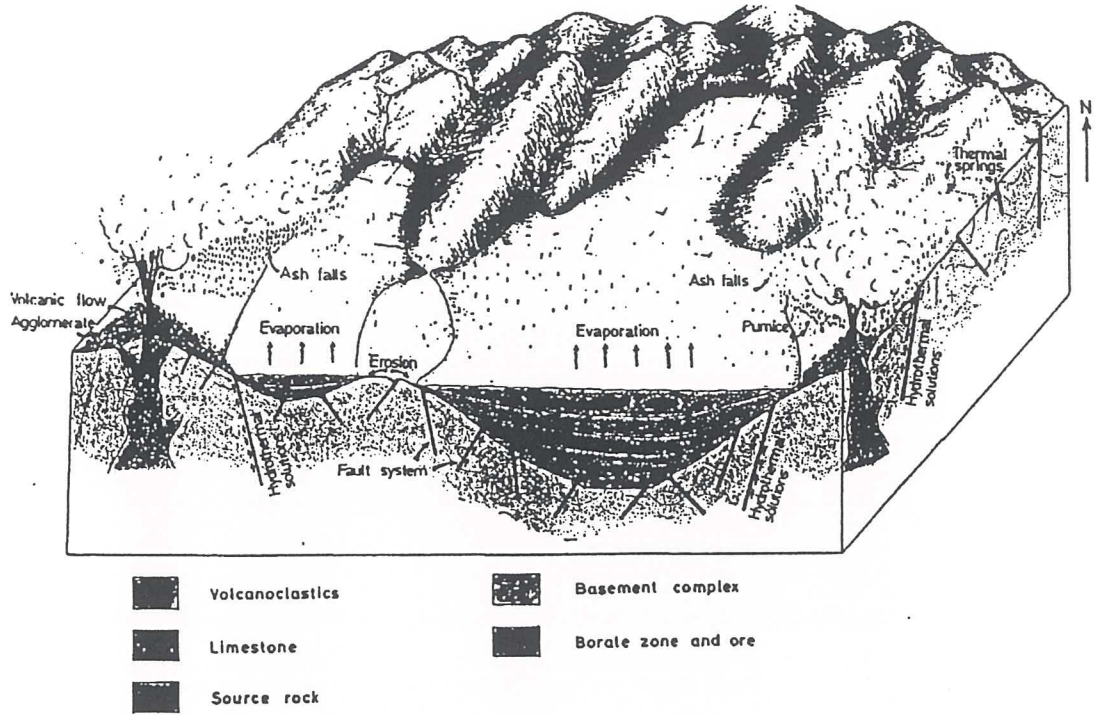
Ekonomik anlamda bilinen başlıca bor mineralleri dört tanedir. Bunlar aşağıda verildiği gibidir. (Çizelge 1).

Çizelge 1. Ekonomik öneme sahip bor mineralleri

Mineral Adı	Empirik Formülü	B ₂ O ₃ miktarı %
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8
Uleksit	NaCaB ₂ O ₉ .8H ₂ O	43,0
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ 10H ₂ O	36,5
Pandermit	Ca ₂ B ₁₀ O ₁₀ .7H ₂ O	49,8

Bor yataklarının oluşumu için gerekli ortamlar ise şöyle sıralanabilir. (Şekil 2):

- Playa göl ortamlarının oluşumu
- Boron kaynağı
 - * Andezitik ve riyolitik volkanikler
 - * Havzalara doğrudan volkanik kül katılımı
 - * Bor çözeltilerinin graben fayları ile havzaları beslemesi
 - * Volkanizma ile ilintili termal sular
- Kurak ve yarı kurak iklim koşulları
- pH değerleri 8.5 ile 11 arasında değişen göller



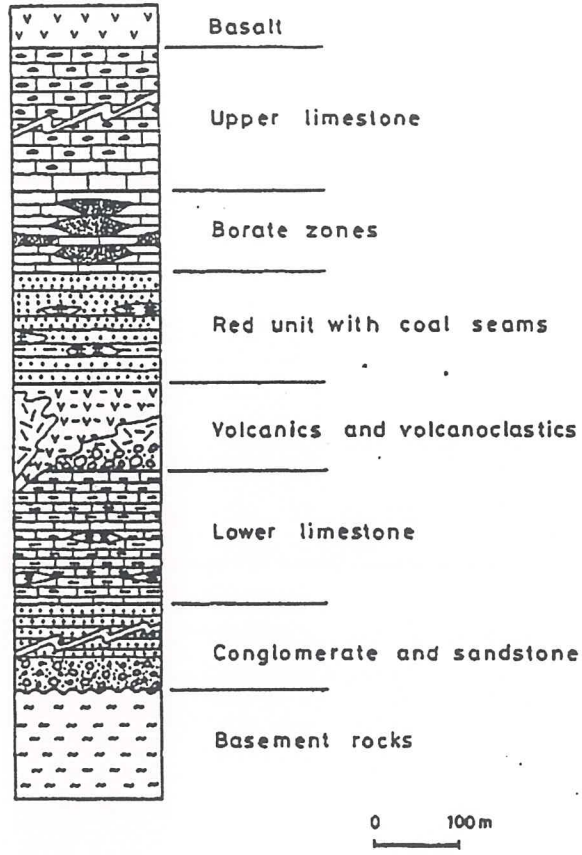
Şekil.2 Borat çökelişi modeli (Helvacı ve Alaca, 1991).

Neojende KD yönlü graben fayları ve eş zamanlı volkanik faaliyetler bor yataklarının vazgeçilmez bileşenleridir (Şekil 3). Türkiye’de bilinen bor yatakları belirtilen faylar ile denetlenen Neojen havzaları içinde gelişmiştir. Bunlar aşağıda verildiği gibidir (Şekil 4):

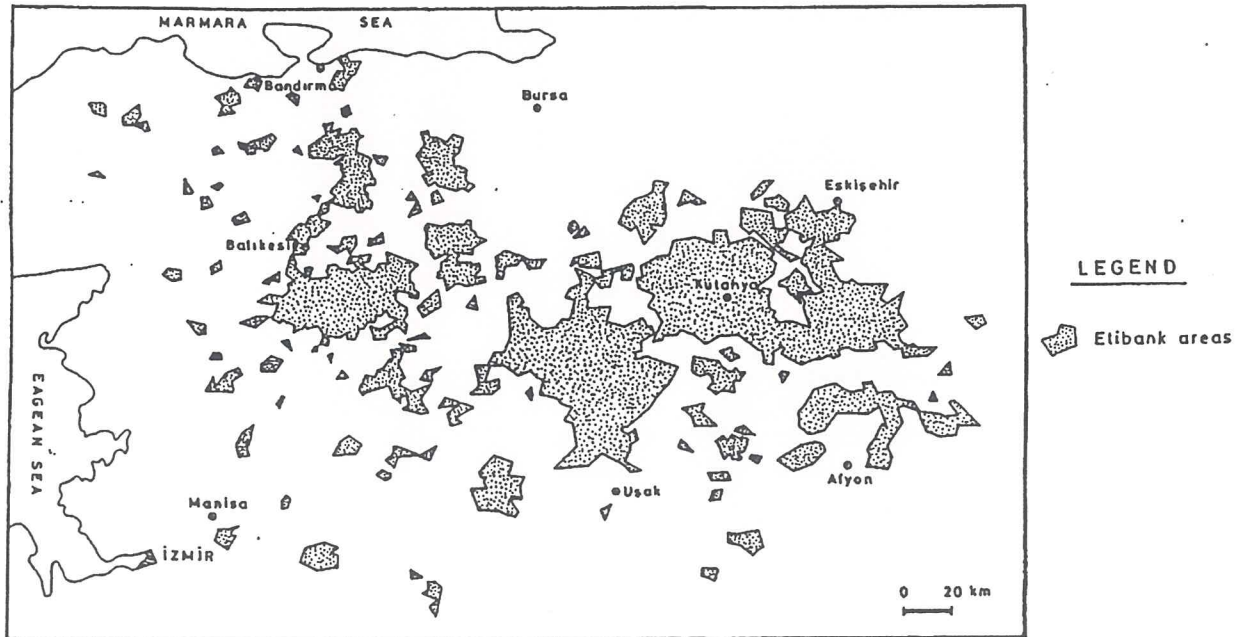
- 1) Bigadiç kolemanit ve üleksit yatağı
- 2) Sultançayır pandemit yatağı
- 3) Kestelek kolemanit yatağı
- 4) Emet kolemanit yatağı
- 5) Kırka boraks yatağı

Bunlardan Emet kolemanit yatağının stratigrafik dizilimi Şekil 5’te verildiği gibidir. Burada çakıltı, kumtaşı, volkanik-volkaniklastik, kömürlü kırmızı tortul, borat zonu ve örtü kireçtaşı düzeyleri gözlenmektedir. Belirtilen istifteki önemli düzeyler boratlı ve killi kireçtaşı şapkasıdır. Boratlı düzey kil, volkaniklastik, bor içeren kiltası, çamurtaşı ve ince katmanlı marn ve çört bileşenlerinden oluşmaktadır. En üstte yer alan ve borların alterasyondan korunmasını sağlayan Neojen kireçtaşı şapkası bor yataklarının aranmasındaki temel kılavuzlardan birini oluşturmaktadır. Aksi halde bu gün geriye bor içeriği gitmiş yani içi boşalmış hayalet yataklar kalmaktadır.

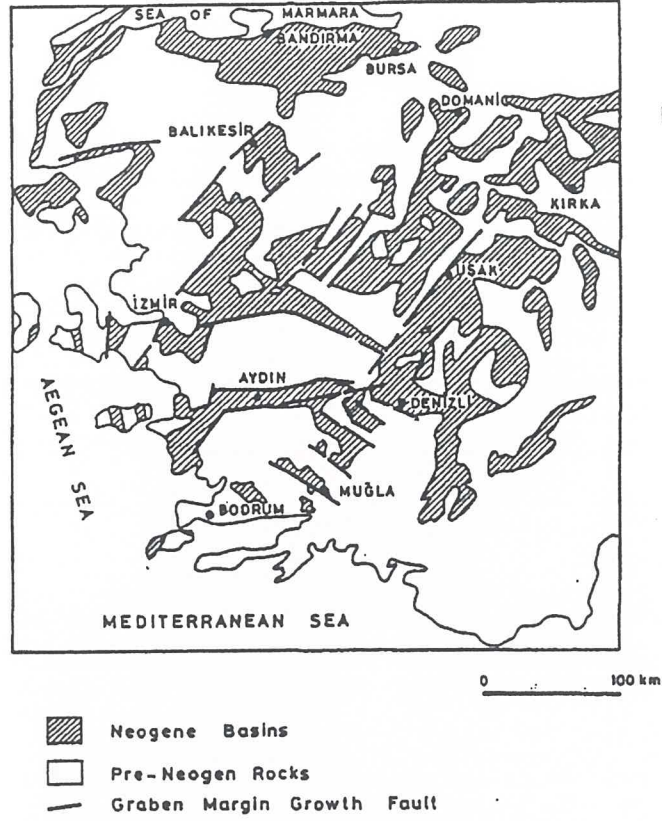
Etibank’a ait bor ruhsat alanları toplamı yaklaşık 1.5 milyon hektarı ulaşmaktadır. Bu da Batı Anadolu Neojen havzalarının çoğunu içine alır (Şekil 6). Ancak Etibank’ın gözden kaçırdığı bazı havzalar küçümsenmeyecek miktarda bor potansiyeli içerebilir. İşte bu sahalar bor aramaları için ana hedefleri oluşturmaktadır.



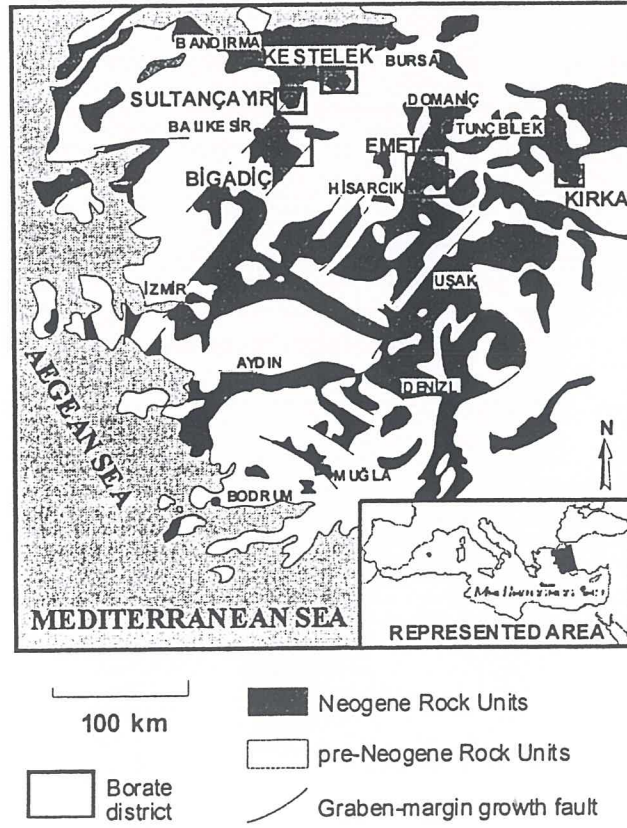
Şekil. 5 Emet bor havzasının stratigrafik kesiti (Helvacı, 1977).



Şekil. 6 Etibank'ın Batı Anadolu'daki ruhsatlı sahalarının dağılımı.



Şekil. 3 Batı Anadolu'daki Neojen havzaları

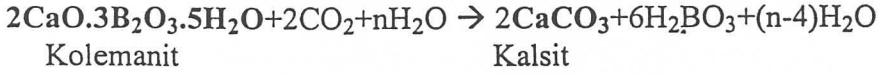


Şekil. 4 Batı Anadolu'daki bor sahaları.

BOR YATAKLARI ARAMALARININ AŞAMALARI

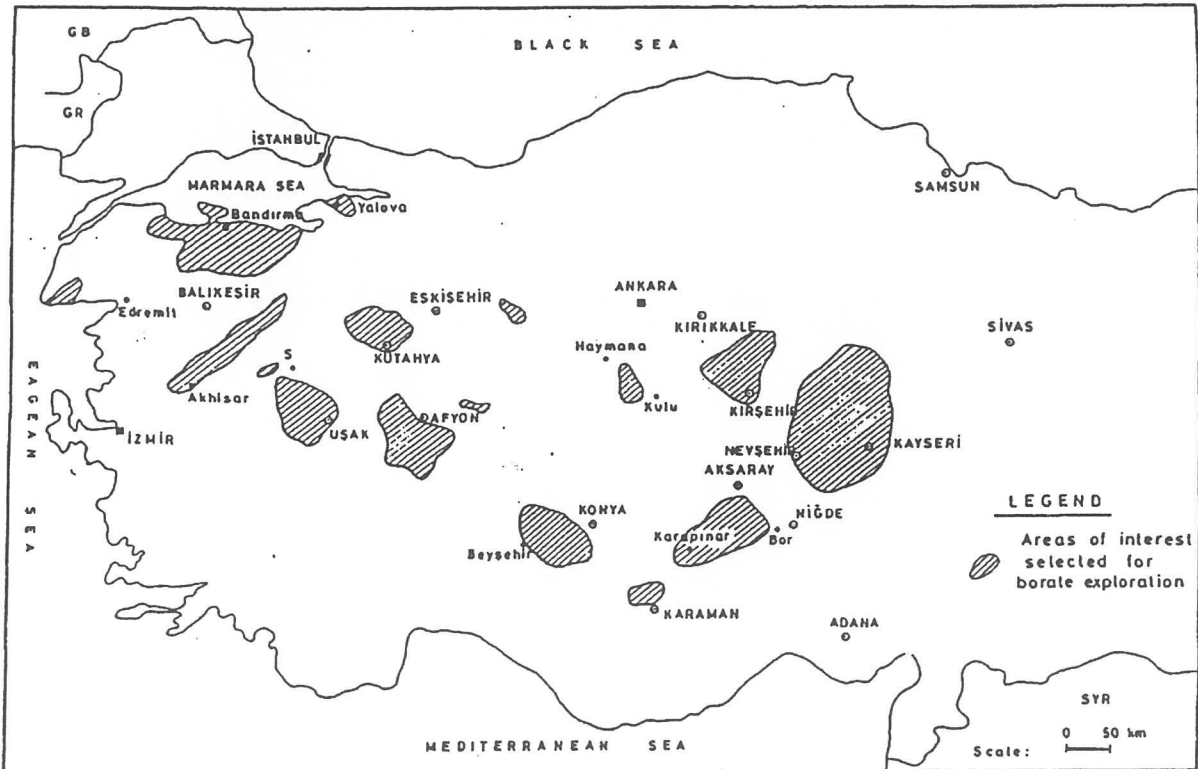
Başlangıçta Batı Anadolu ve İç Anadolu'yu kapsayan geniş Neojen havzaları incelenerek bor oluşumuna uygun formasyonlar tespit edilmelidir (Şekil 7). Bunlar özellikle açılma tektoniğine bağlı gelişen ve volkanizma tarafından da eşlik edilen Neojen havzaları olup bor oluşumu açısından birinci derecede önemlidirler.

Borun kimyasal davranışı göz önüne alındığında oldukça mobil olduğu açıkça görülür (Çizelge 2). Böylece doğal ortamda bozuşmamış bor cevheri bulmak hemen hemen olanaksızdır. Çünkü bor CO₂ ve su ile tepkimeye girerek kalsit ve borik asidi oluşturur:



Bu nedenle borat yatakları doğal yüzlek verdiği yerlerde geride tanınması oldukça zor ve uzman gözü gerektiren kalsit oluşukları (artıkları) oluşturur. Böylece bor yataklarının aranması sırasında aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulur:

- Miyosen volkaniklerin Neojen playa göllerine katkı yapmış olması,
- En üstte Neojen kireçtaşı şapkası,
- Kil-kireçtaşı-marn ardalanması,
- Sedimentler içinde volkanik ara katkısı,
- Sedimentler düzeyler ve mineral liç (erime) belirtileri.



Şekil. 7 Borat oluşumu için uygun Neojen tortullarının dağılımı.

Çizelge. 2 İkincil ortamda elementlerin göreceli mobiliteleri

RELATIVE MOBILITIES	ENVIRONMENTAL CONDITIONS			
	Oxidizing	Acid	Neutral to Alkaline	Reducing
Very High	Cl, I, Br	Cl, I, Br	Cl, I, Br	Cl, I, Br
	S, B	S, B	S, B	
			Mn, V, U, Se, Re	
High	Mn, V, U, Se, Re	Mn, V, U, Se, Re		
	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
	Zn	Zn		
		Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Medium	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au			
	As, Cd	As, Cd	As, Cd	
Low	Si, P, K	Si, P, K	Si, P, K	Si, P, K
	Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	
		Fe, Mn	Fe, Mn	Fe, Mn
Very Low to immobile	Fe, Mn			
	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths	Al, Ti, Sn, Te, W Nb, Ta, Pt, Cr, Zr Th, Rare Earths
				S, B
				Mn, V, U, Se, Re
			Zn	Zn
			Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au
				As, Cd
				Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

ÇALIŞMA PROGRAMI

Bor yataklarının aranıp bulunması aşağıda belirtildiği gibi iki evrede gerçekleştirilmelidir.

I. Evre

- Ayrıntılı stratigrafi, playa göl fasiyes analizi ve gerektiğinde yarma açılması
- Alterasyona uğramış ve açıkta gözlenen borat düzeylerinin izlenip daha derinlerde olması muhtemel uzantılarının araştırılması.

II. Evre

- Yukarıda belirtilen kriterlere göre öncelikli ruhsat sahalarında sondaj programlamasının planlanması
- Laboratuvar çalışması
 - b) Mineralojik çalışmalar
 - c) Petrografik çalışmalar
 - d) Jeokimyasal çalışmalar
- Böylece sondaj çalışması sonucu altere olmamış bor düzeylerinin varlığına ait ilk veriler elde edilmiş olacaktır.

SÜLFAT GRUBU MİNERALLER

Sülfat grubu mineraller yaygın olarak denizel ve karasal evaporit yatakları içinde bulunurlar. Sülfat grubu içinde en yaygın gözlenen mineral jipstir. Jips dışında bu tür yataklarda gözlenen diğer sülfat grubu mineraller, anhidrit, globerit, tenardit, mirabilit, heksahidrit, epsomit ve sölestindir (Çizelge 1). Evaporit yatakları dışında, hidrotermal maden yataklarında da önemli endüstriyel hammadde olan sölestin ve barit gibi sülfat grubu mineraller ekonomik olarak oluşabilir. Evaporitleşme sırasında mineral oluşum sıralaması genel olarak elementlerin sudaki çözünürlüğüne bağlı olarak gerçekleşir. Çözünürlüğü düşük olanlar öncelikle kristalleşirken çözünürlüğü yüksek olanlar enson olarak kristallenir. Buna göre izleyen epaporasyon sırasına göre önce karbonatlar sonra sırasıyla sülfatlar(jips, anhidrit, gnerit, mirabilit, tenardit), halit, silvin ve boratlar kristalleşir (Şekil 1). Tuzlu su içinde ortak iyon çiftlerine göre kristallenme sıralaması küçük değişiklikler gözlenebilir. Birbirine yakın karasal kökenli havzalar arasında da farklılıklar olabilir. Bu farklılıklar havzaların temel kayalarına, havzayı besleyen su kaynaklarının bileşimine, hidrotermal aktivitelere, tektonik hareketlerle havzaların evrimine, paleo-coğrafik koşullara ve daha birçok etkenlere bağlı olarak değişebilir.

Ca-sülfat mineralleri

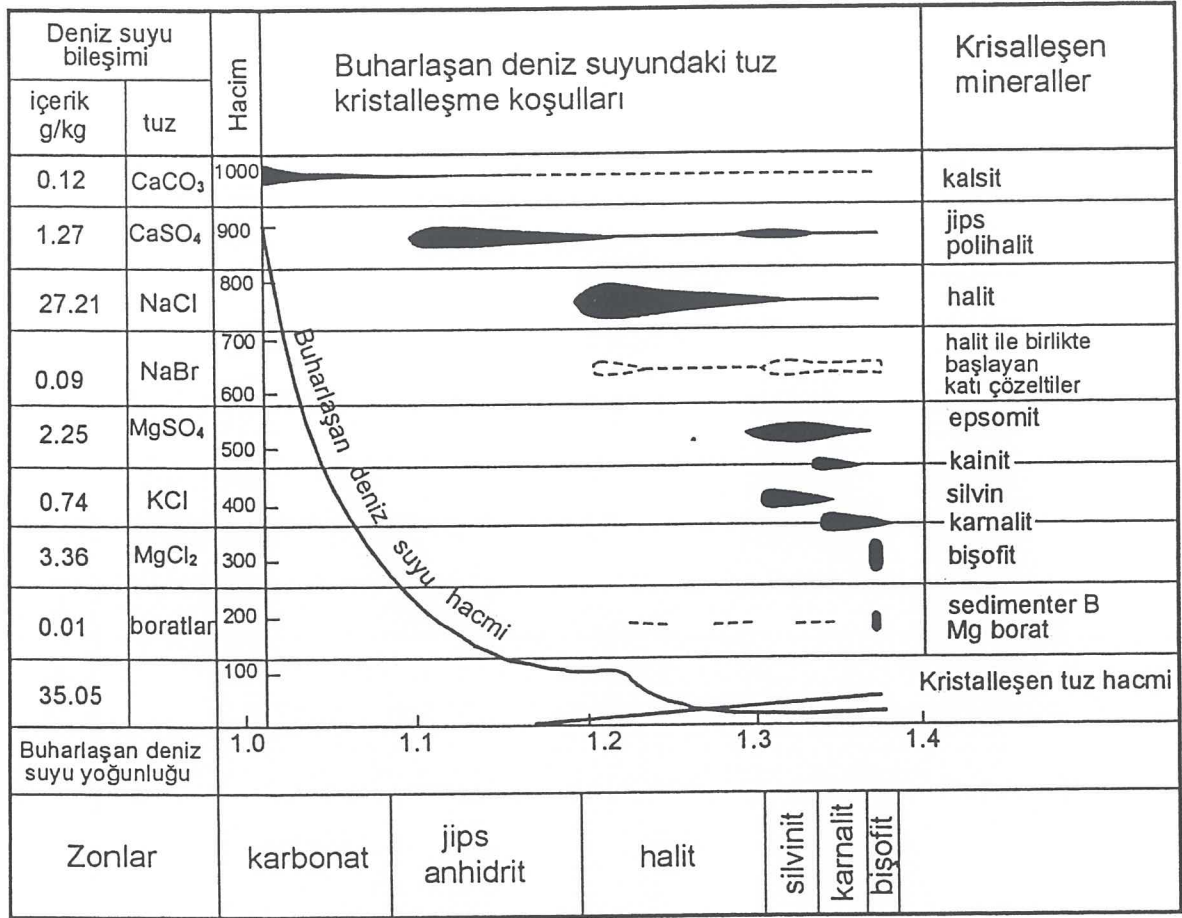
Jips (CaSO₄.2H₂O)

Jips minerali monoklinik prizmatik sınıfta kristalleşmiştir (2/m). Sertliği 1.5-2, yoğunluğu 2,3-2,4'tür. Çok düzgün tek kristallerine rastlanabildiği gibi, gruplar halinde ve jips gülü şeklinde de gözlenir. Özellikle (120), (011) ve (010), (111), (203) ve (140) yüzeyleri gelişmiştir. Kristal şekilleri prizmatik yapraksı ya da merceksi olabilir. Kristaller içinde çözüldükten kalan büyük kapanımlar gözlenebilir. (010) yüzeyine koşut dilinim iyi gelişmiştir. (111) yüzeyinde normal olarak sedef parlaklığı ancak (010) yüzeyine göre gelişen translasyon nedeniyle lifleşme ve ipek parlaklığı, (100) yüzeyinde ise cam parlaklığı (midye kabuğu kırılması) gözlenir.

Evaporit havzalarında baskın olarak gözlenen jipsler birincil ve ikincil olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Birincil jips terimi, sedimentolojik olarak gölde veya göl çamurları içinde oluşmuş olan jipslerin hiçbir diyajenetik değişim geçirmeden ilksel fiziksel ve dokusal özelliklerinin korunduğu jipsler için kullanılmıştır. Bunlar, selenitik kristalli jipsler, jipsarenitler ve jips serileri arasındaki çamurtaşlarında gözlenen disk şekilli jipslerden oluşmaktadır. Selenitik jipslerin büyüme yüzeyleri boyunca karbonat laminasyonları şeklinde kapanımlar gözlenebilir. Bunlar, sülfat evaporasyonu süresince karbonat evaporasyonunun devam ettiğini göstermektedir. Bunların dışında kıltaşları arasında erken diyajenezden günümüze kadar oluşmuş olan lifsi yapı (satin-spar) jipsler de bu tanımlama içinde ele alınabilir. İkincil jipsler genel olarak anhidritlerin su alması ile oluşmuşlardır.

Çizelge 1. Sülfat grubu mineraller.

MİNERAL GRUBU	MİNERAL ADI	FORMÜL	KRİSTAL SİSTEMİ
Ca-sülfatlar	Jips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoklinik
	Bassanit	$2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Monoklinik
	Anhidrit	CaSO_4	Ortorombik
Ca-Na	Globerit	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$	Monoklinik
Na-sülfatlar	Mirabilit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Monoklinik
	Tenardit	Na_2SO_4	Ortorombik
	Blodeit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Monoklinik
Mg-sülfatlar	Heksaahidrit	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Monoklinik
	Epsomit	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Ortorombik
Sr-Ba sülfatlar	Sölestin	SrSO_4	Ortorombik
	Barit	BaSO_4	Ortorombik



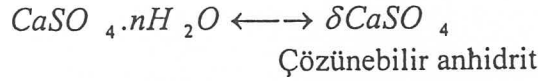
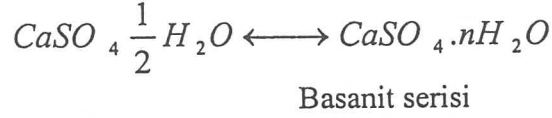
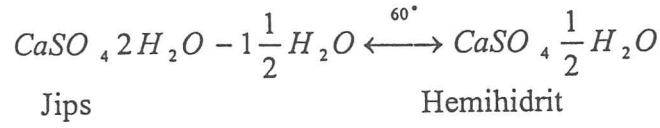
Şekil 1. Deniz suyunun buharlaşmasına bağlı olarak sırasıyla oluşan mineral parajenezleri.

Anhidrit hidrasyonu ile jipsin oluşumunu mümkün kılan üç mekanizma vardır (Holliday,1970). Bu mekanizmalar;

- Anhidritin kristal kafesine su alarak jipse doğru hidrasyonu
- Basanit serileri yoluyla hidrasyon (Basamak yöntemi)
- Anhidritin yeniden çözünmesi yolu ile jipsin oluşumu

Anhidrit kristal kafesine direkt olarak suyun girişiyle jipsin oluşumu olasıdır. Bu yolla oluşan jipsler alabastrin özellikle olup ikincil jips olarak adlandırılır. Anhidrit (CaSO₄) ortorombik sistemde jips monoklinik sistemde kristalleşmektedir. Tuzlu eriyiklerde bu iki farklı yapının temel kafes sistemlerinin reorganizasyonu zordur Bu nedenle anhidritler ancak evaporasyon sonrası (erken diyajenez veya daha geç) su (meteorik veya yeraltı suyu) alarak ikincil jipslere dönüşebilmektedir.

İkinci mekanizma basanit serileri yoluyla anhidrit hidrasyonu ile jipsin oluşumudur. 60°C'de jips yavaş yavaş suyunu kaybederek dehidrasyona uğrar ve hemihidrite dönüşür (CaSO₄.¹/₂H₂O). 100°C'nin üstündeki sıcaklıkta hemihidrit suyunu kaybederek çözünebilir anhidrite (δ CaSO₄) dönüşür. Hemihidrit ile anhidrit arasında basanit serileri oluşur. Basanit serisi, anhidrit ile jips arasında ayrı bir mineral faz oluşturmaktadır. Bu olayın tersi olarak anhidrit yavaş yavaş su alarak jips oluşturabilir (Holliday,1970).



δCaSO_4 evaporitlerde bulunan anhidrit ile aynı değildir. Hegzagonal sistemde kristalleşmiştir ve basanit serileri yoluyla jipsin suyunu kaybetmesiyle oluşur.

Anhidritin hidrasyonu jipsin oluşumu sonucunda hacimce %63 oranında bir artış meydana gelmektedir (Massop ve Shearman, 1972).

Hardie (1967), atmosfer basıncı altında jips ve anhidrit dengesini tuzluluğa bağlı olarak değiştiğini belirterek saf suda jipsin 60 °C sıcaklığın üstünde anhidrite dönüşmeye başladığını belirtmiştir.

Anhidrit (CaSO₄)

Anhidrit minerali ortorombik sistemde kristalleşir, yoğunluğu 2.96 ve sertliği 3-3.5 tür. Anhidrit genel olarak sabka ortamında nodüller ve entrolitik yapılarıyla karakteristiktir. Anhidrit mineralleri yüzey koşullarında duraylı olmadığından meteorik suların etkisiyle jipse (ikincil) dönüşmektedir. Anhidrit minerali Beypazarı, Çankırı-Çorum ve Sivas havzalarında yağın olarak oluşmuş mineraldir. Bunların dışında Tuz Gölü havzası içinde başta olmak üzere daha pek çok havzada geçirimsiz killerle korunmuş evaporit yataklarında anhidrit yatakları mevcuttur. Bu yataklar yüzey koşullarında/mostralarda jipslere (ikincil) dönmüşmüş olarak bulunurlar, bu yüzden anhidritler potansiyel jips rezervleri içinde genelde bir ayırım yapılmadan değerlendirilir. Ancak potansiyel değeri bakımından anhidrit jipsten çok daha ekonomik bir mineraldir.

Dünyada başta ABD, Fransa, Rusya, İngiltere ve Kanada olmak üzere büyük jips rezervlere sahip ülkelerdeir. Jips yönünden çok zengin bir ülke olan Türkiye'nin rezervi milyarlarca tondur. Başlıca rezerv sahaları-havzaları aşağıda verilmiştir;

- Beypazarı havzası: Beypazarı başta olmak üzere, Nallıhan, Mihaliççık-Sivihisar, Emirdağ, Polatlı ve Ayaş'ı içine alan geniş bir jips sahadır. Üst Miyosen yaşlı Kirmir formasyonu içinde masif tabakalar halinde 1 milyar tonun üzerinde jips rezervi mevcuttur.

Tuzgölü havzası: Konya/Tuzgölü'nde, Üst Kretaseden Kuvaterner'e kadar 7 ayrı zaman dilimi içinde evaporitler çökelmiştir. Ancak sadece Eosen ve Miyosen formasyonlarında ekonomik jips yatakları mevcuttur. Bu yataklar Şereflikoçhisar-Aksaray, Niğde/Ulukışla ve Konya/Ereğli'de yer almaktadır. Bunların dışında Ankara/Bala jips yatakları yine bu havza içinde yer alıp Türkiye'nin en önemli jips üretim merkezlerindedir.

- Çankırı-Çorum-Yozgat havzası: Eosen ve Miyosen yaşlı evaporitik seriler içinde milyarlarca jips rezervi mevcuttur. Bu havza güneyde Kırıkkale ve Kırşehir bölgelerine kadar uzanır.

- Sivas havzası: Kayseri'nin kuzey doğusundan başlar ve Sivas il sınırları içindeki geniş bir alana yayılır; hatta Erzincan'ın güney batısına kadar dev eder. Bu havzadaki Tersiyer yaşlı denizel ve karasal sediman karmaşığı içinde yer yer ve çeşitli büyüklüklerde jips yatakları mevcuttur.

- Güney Doğu Anadolu havzası: Oligo-Miyosen yaşlı olup, yer yer 200-2 metre kalınlıklar gösteren bu büyük jips-anhidrit havzası yine milyarlarca ton zerv içerir. Siirt/Baykan, Kurtalan, Batman/Merkez, Beşiri ve Diyarbakır/Çınar sahalarını kapsayan geniş bir alandır.

- Erzurum çevresi: İyi kalitede ve saf jipsler bu bölgede gelişmiştir. En ilgi çekicileri Aşkale'de yer alırlar; rezervi 20 milyon ton kadardır. Diğer Neojen jipsleri Tortum, Narman, Oltu ve oradan da Kars/Şenkaya'ya doğru uzanır.

- Denizli çevresi: Honaz ve Sarayköy dolaylarında Likya napları altında tektonik dilimler halinde kalın ve çok saf olarak bulunur. Yaşı tartışmalı olmakla beraber bağlı yaş Oligosen'den daha yaşlı olduğu söylenebilir. Toplam olarak 10-15 milyon tonluk bir rezerve sahiptir.

- Balıkesir/Susurluk çevresi: Yapılan çalışmalara göre, Susurluk güneyinde Sultançayır havzası içinde en az 1 milyon ton jips rezervi mevcuttur; potansiyel rezerv ise çok daha fazladır.

- Kütahya/Gediz sahası: Gediz civarında Görünür 5 milyon, Potansiyel ise 29 milyon tonluk rezervler belirlenmiştir.

Diğer jips yatakları: Konya/Cihanbeyli, Nevşehir/Gülşehir, Kayseri/Bünyan, İçel/Tarsus ve Hatay/İskenderun da yer almaktadır.

Yukarıda anlatılanların dışında İzmir/Foça açıklarında açılan t-1 adlı petrol kuyusunda Miyosen serileri içinde, 764 m derinlikten itibaren 367 m kalınlıkta jipsler ve anhidritler kesilmiştir.

Türkiye'nin jips-anhidrit rezervi tam bilinemez. Ancak, yukarıda da belirtildiği gibi, milyarlarca ton olduğu söylenebilir. Ekonomik özellikleri bakımından kaliteleri çok iyidir. Batı ülkeleri % 70 tenörlü jipsleri kullanırken, Türkiye'dekiler genellikle % 95-99, hatta % 100 tenörlüdür.

Kullanım alanları:

Jips çimento sanayinde klinker üretiminde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bunun dışında değişik alçı türleri üretiminde dünyada yaygın kullanım alanı vardır. Türkiye'de de son yıllarda alçı talebinde belirgin bir artış gözlenmektedir. Bu da evlerde dekoratif amaçlı kullanımın artması ve alçının yangını geciktirici özelliği, rutubet dengeleyiciliği, ses ve ısı geçirmezliği gibi özelliklerinin akıllıca yararlanılmasından kaynaklanmaktadır.

Na-sülfat mineralleri

Na-sülfat en başta alkali göllerde, sonra sodyum ve potasyum tuzu yataklarında, maden sularında ve denizlerde olmak üzere, doğada çok yaygın bulunan bir tuzdur. Sanayide etkili olarak kullanılmasına 19. Yüzyılda başlanmış olup, bu tarihten sonra geniş şekilde aranmış ve büyük yataklar bulunmuştur. ABD, Meksika, Rusya, İspanya, Kanada, Almanya ve Belçika bu sektörün önde gelen ülkeleridir.

Na-sülfat mineralleri globerit, mirabilit ve tenardit minerallerinden oluşmaktadır. Bunlar, ekonomiklik ve işletilebilirlik yönünden, mirabilit ve tenardit en ekonomik olanlarıdır. Ülkemizde başlıca Acıgöl olmak üzere Tersakan ve Bolluk göllerinden Na-sülfat üretimi (mirabilit-tenardit) yapılmaktadır. Bu göllerin kenarlarında yapılan kristallenme havuzlarında, yaz aylarında doğal evaporasyonla konsantrasyonu arttırılan göl suyundan kış aylarındaki sıcaklık düşüşüyle mirabilit kristallenmesi gerçekleştirilmektedir (Gündoğan ve diğ. 1995). Mirabilit kristallenmesinden sonra havuzlardaki sulu Na-sülfat mineralleri yaz aylarında doğal dehidrasyona bırakılır. Bu işlem sonucu mirabilit mineralleri kristal suyunu kaybederek susuz formu olan tenardite dönüşmektedir. Toz pudra haline gelmiş olan tenardit mineralleri havuzlardan süpürülerek toplanır ve endüstriyel alanlarda kullanılmak üzere iç piyasaya sunulmakta, bir bölümü de yurt dışına ihraç edilmektedir.

Beypazarı Havzasında, Çayırhan'da kalın jips tabakalarının alt düzeylerinde ekonomik olan globerit ve tenardit oluşumları yer almaktadır.

Çankırı-Çorum Havzasında yapılan çalışmalarda, bu havzadaki alt jips serileri içinde Beypazarı Havzasındaki sodyum sülfat oluşumlarına benzer zonlarının olduğu görülmüştür.

Globerit ($Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$)

Globerit minerali monoklinik sistemde (2/m) kristalleşir, yoğunluğu 2.4-2.85 arası ve sertliği 2.5-3 tür. Açık-koyu gri renklerinde olan mineral konkoidal kırılım göstermektedir.

Çayırhan'daki (Beypazarı havzası) Na-sülfat yatağında yapılan incelemelerde yüzeyde psödomorf alabastrin jipsler olarak gözlenen zonun devamında (yüzeyden yaklaşık 200 m içeride) altere olmamış birincil globerit ve thenardit oluşumları yer almaktadır. Na-sülfat yatağında globeritler thenarditlerden önce kristallenmişler ve Na-sülfat yatağın tabanında ondüleli bir zemin oluşturmuşlardır. Bu ondüleli yapı, kiltaşları içinde büyüyen globeritlerin hacimsel genişlemeleri nedeniyle gerçekleşmiştir. Ondüleli globeritler arasında değişik kalınlıklarda tenardit mercekleri ve kanal yapılı tenardit cepleri gözlenmektedir. Alt bölümlerde gözlenen globerit mineralleri magnezit çimentolu bir matriks içinde büyümüş öz şekilli globeritlerden meydana gelmektedir. Üst seviyelere doğru globeritler iri kristalli globeritlerle aralanmalar göstermektedir.

Na-sülfatlar, su ile kolaylıkla çözünebilmeleri nedeniyle mostra vermediğinden, yüzeyde gösterdikleri beyaz pudra şekilli alterasyon zonu ve psödomorf yapılı alabastrin ikincil jipslerle ayırt edilir. Globerit ve thenardit genelde birlikte bulunduğundan dolayı globerit psödomorflarını gördüğümüz yerde tenarditin de olabileceğini düşünebiliriz. Çankırı-Çorum havzasında yaptığımız gözlemlerde birçok alterasyon zonunda glauberit ayışması ile oluşmuş psödomorf ikinci jips minerallerinin olduğu görülmüştür. Disk şekilli birincil globerit kristalleri yüzeyde altere olsa da ilksel kristal çatısının korunduğu gözlenmiştir. Bu makroskobik psödomorflar sayesinde yüzey alterasyon zonunda globerit minerallerin teşhisi mümkün olabilmektedir.

Yukarıda tanımlanan bu alterasyon zonlarının yanal devamında gerçek sodyum sülfat zonlarına geçilmektedir. Çayırhan'da ALKİM A.Ş. tarafından böyle bir zonda açılan (mostradan 50-300 m içeride) yeraltı işletmesinde sodyum sülfat yatağı içindeki tenarditler ekonomik olarak işletilmektedir.

Bunların dışında sodyum sulfatlı zonların yüzey alterasyon zonunda gelişmiş ikincil jipsler (bu jipsler yanal yönde) üzerinde yapılan kimyasal analiz çalışmalarında Na_2O miktarının çoğu kez % 1' in altında olduğu görülmüştür. Bu da yüzey alterasyon zonlarında Na-sülfat oluşumlarının tamamen altere olduklarını göstermektedir. Bu alterasyon zonlarında gelişmiş ikincil jips kayalarında, Beypazarı havzasındaki Na-sülfat yatağın yüzey alterasyon zonunda gözlenen özel dokularla aynı özellikte dokular tespit edilmiştir. Klavuz niteliğindeki bu

dokular sayesinde Çorum kuzeyinde Sarmaşa bölgesinde ekonomik olabilecek Na-sülfat alterasyon zonları gözlenmiştir (Gündoğan ve Helvacı, 1999).

Mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Mirabilit minerali monoklinik sistemde kristalleşir, yoğunluğu 1.5 ve sertliği 1-2 dir. Mirabilit minerali ilk defa Alman kimyacısı Glauber keşfettiği için Glauber tuzu olarak ta bilinmektedir. Renksizdir seffaf veya opak haldedir. Suda çok cabuk erir ve ağızda acımsı bir tadı vardır. En önemli özelliği kendiliğinden su kaybedebilirliğidir. Mirabilit kristallenmesi Na-sülfatlı suyun soğuması ile gerçekleşmektedir. Bu olay sıvıların çözünürlük prensibiyle bağlantılı bir şekilde gerçekleşir. Doymuş salmura kıvamındaki bir suyun soğutulması sonucu su daha fazla çözünmüş iyon ve anyon taşıyamadığından dengeye gelene kadar bir bölümünü çökeltmek zorunda kalır. İşte bu çöktürme sırasında su içinde konsantrasyonu ve çözünürlüğü en fazla olan Na^{++} ve SO_4^- ortamdaki sudan da $10 \text{H}_2\text{O}$ olarak mirabiliti oluşturur. Bu özelliği ile mirabilit diğer evaporit minerallerinden farklı bir kristallenme göstermektedir.

Türkiye'de Acıgöl, Bolluk ve Tersakan gibi güncel acı göllerde benzer mirabilit oluşumları göl suyunun soğuması ile kış aylarında kristallenmektedir (Gündoğan ve diğ., 1995; Gündoğan ve Helvacı, 1996). Beypazarı Na-sülfat yatağı içinde mostraya yakın bölümlerde meteorik suların ve yeraltı sularının tenardit ve globerit minerallerini eritmesi sonucu mirabilit kristallenmeleri gerçekleşmektedir. Boşluklardan sızan Na-sülfatlı sular sarkıt ve dikitlerin oluşumuna benzer yapılar oluşturmaktadır. Mirabilit kristalleri ele alındığında buzun erimesi gibi kristal suyunu kaybetmeye başlamakta ve elde ıslaklık bırakmaktadır. Beypazarı Havzası içindeki tenardit oluşumları ilk olarak mirabilit şeklinde kristalleşmiş ve sedimentasyon sonrası erken diyajenez aşamasında kristal suyunu kaybederek tenarditlere dönüşmüştür.

Tenardit (Na_2SO_4)

Tenardit minerali (Na_2SO_4) ortorombik sistemde kristalleşir, yoğunluğu 2.68 ve sertliği 2.7 dir. Tenardit genelde beyaz renkte şeffaf veya yarı şeffaf olup suyla çok kolay şekilde çözülür, ayca mirabilit gibi ağızda tuzlu ve acı tad verir.

Türkiye'de en büyük üretici ALKİM A.Ş. olup başta Acıgöl, Bolluk ve Tersakan göllerinden üretilmektedir. Bunların dışında Beypazarı havzasında Miyosen yaşlı Kırmir Formasyonu içinde bulunan Na-sülfat yatağın faaliyete geçmesiyle Türkiye'de fosil Na-sülfat madenciliği de başlamıştır. Buradaki maden, Ankara- İstanbul Hızlı Tren Projesi çalışmaları yapılırken açılan Kısa tuneli çalışmalarında, diğer pekçok madende olduğu gibi tesadüfi olarak bulunmuş yataklardandır. MTA tarafından yapılan detay çalışmalarından sonra saha rursatlandırılmış ve Türkiye'deki en önemli sodyum sülfat üreticisi kuruluşlarından biri olan ALKİM A.Ş. tarafından işletmeye açılmıştır. Çayırhan Na-sülfat yatağı globerit ve thenardit minerallerinden oluşmaktadır. Globerit tabakalı arasında yer yer mercekli ve cepler şeklinde saf tenardit oluşumları gözlenmektedir. Şu an ekonomik olarak işletilen zonlar bu mercekli thenardit oluşumlardır. Mercekler yanal yönlerde incelerken düzensiz kristalleşmiş globerit ve tenarditlere geçerek son bulmaktadır. Alt jips seviyelerinde gözlenen globerit ve tenardit oluşumları 3-5 m kalınlıklar arasında değişen mercekler olup havza bazında yanal yönde jipslerle geçişlidir. Türkiye'de evaporitler içinde açılan ilk sodyum sülfat yatağı olan bu oluşumlar kapalı ocak sistemi ile işletilmektedir. Yıllık üretimi yaklaşık 4000 ton civarında olup şu an sadece thenarditler ekonomik olarak kullanılmaktadır. Globerit mineralleri de bu yatakta yaygın bir mineral olmasına karşılık henüz ekonomik olarak işletilmemektedir. Dünyadaki benzer yataklarda globerit mineralleri çözelti madenciliği ile sanayinin değişik kolları için istenen sodyum sülfat türleri üretmek için kullanılmaktadır.

Fosil yataklardan Na-sülfat (tenardit) işletmeciliği İspanya'nın Madrid havzasında yaklaşık 200 yıldan beri yapılmaktadır (Ordenez ve diğ. 1994). Madrid havzasından başka İspanya'nın daha birçok bölgesinde yapılan sondajlı aramalardan Toledo, Ebro ve Alcanadre gibi havzalarda, Miyosen yaşlı formasyonlar içinde globeritce zengin önemli Na-sülfat yatakları bulunmuştur (Orti ve diğ.,1979; Salvany ve Orti, 1994). İspanya'da Na-sülfatın üretiminin yarısı Madrid havzasından karşılanmaktadır. Son yıllardaki üretimi ile İspanya, Meksika'dan sonra dünyanın ikinci büyük Na-sülfat üreticilerindedir.

Suda eriyebilir evaporit yatakların aramacılığı metalik maden yataklarından oldukça farklı yöntemler gerektirir ve çoğu kez yüzeysel araştırma yöntemleri ile bu yatakların bulunması mümkün değildir. Beypazarı havzası ve İspanya'da Na-sülfat içeren havzalarda yaptığımız çalışmalar sonucunda bu yatakların yüzey koşullarında ikincil jips kayalarına dönüştükleri ve tüm havzaların alterasyon zonlarında benzer makroskobik ve mikroskobik dokular gösterdikleri gözlenmiştir. Birbirinden kilometrelerce uzaklıktaki tüm Na-sülfat yataklarında benzer dokuların gözlenmesi bu dokuların tesadüfen gelişmiş olamayacağını göstermektedir. Bu özel dokular sayesinde Na-sülfat prospeksiyonları için önemli bir klavuz yöntem elde edilmiştir.

Kullanım alanları: Sodyum sülfat mineralleri ve türevleri başta toz deterjan sanayiinde katkı maddesi olarak, kağıt sanayinde sülfat yöntemi ile selüloz üretiminde, sodyum sülfür üretiminde, cam üretiminde, seramik yapımında, , tekstil sanayinde boya banyolarında ve boya sanayiinin boya çözeltilerinin kestirilmesi gibi endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır.

Mg ve Sr-Sülfat mineralleri

Heksahidrit (MgSO₄.6H₂O)

Beypazarı ve Çankırı-çorum havzalarında genellikle Na-sülfat alterasyon zonları ile birlikte beyaz pudra şeklinde oluşumlar gözlenmektedir. Bu beyaz oluşumlar Beypazarı havzasında masif kalın tabakalı jipslerin altında sodyum sülfat yatağının alterasyon zonunda yaygın olarak gözlenmekte ve uzak mesafelerden Na-sülfat düzeylerini göstermesi açısından klavuz seviye olarak kullanılabilir niteliktedir. Çankırı-Çorum havzasında da Na-sülfat alterasyonu sonucu oluşmuş psödomorf yapılı ikincil jips tabakaları arasında aynı zonlar gözlenmiştir. Yapılan XRD analiz çalışmalarından yüzeyde gözlenen beyaz pudra şekilli alterasyon zonunun sulu magnezyum sülfat olan heksahidrit olduğu anlaşılmıştır. Heksahidrit minerali ağızda acı bir tad bırakır. Bu beyaz heksahidrit minerallerine jips ve bazen analsim minerali eşlik etmektedir.

Beypazarı havzasındaki Na-sülfat düzeylerinin yüzey alterasyon zonunda tespit edilen heksahidrit oluşumları İspanya'daki sodyum sülfat yataklarının dış alterasyon zonlarında da yaygın olarak gözlenmektedir. Bu nedenle sodyum sülfat aramacılığında bu tür alterasyonlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Epsomit (MgSO₄.7H₂O)

Epsomit minerali Beypazarı Havzasında Kirmir Formasyonunun alt bölümlerinde gözlenen kilttaşları içinde tespit edilmiştir. Epsomit mineraline karbonat grubu mineraller, jips, analsim ve illit grubu kil mineralleri eşlik etmektedir.

Sölestin (SrSO₄)

Sölestin minerali Beypazarı, Çankırı-Çorum havzası ve Sivas havzalarındaki Üst Miyosen jipsleri içinde ender mineral olarak gözlenmektedir. Ancak Sivas havzasında Karayün formasyonu içindeki Purtepe jips üyesinde ekonomik boyutlarda sölestin oluşumları mevcuttur (Ceyhan, 1996). Karamenderesi ve diğ. (1992) Sivas havzasındaki sölestin oluşumlarının hidrotermal kökenli olduklarını belirlemiştir.

Evaporitler içinde gözlenen sölestinler genel olarak aragonit ve kalsit gibi minerallerin dolomitleşmesi sırasında açığa çıkan Sr⁺⁺ un sülfatla birleşmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Stronsiyum tuzlarının en önemlileri olan sölestin ve strosiyonitler, lagünlerde oluşmuş anhidritler, jipsler ve kaya tuzlarıyla birlikte; birçok defa ise dolomitler ve dolomitik kireçtaşlarıyla bir arada bulunurlar. Hidrotermal yolla oluşmuş cevher yataklarında, o ortamın mineralleriyle beraber, cepler, damar ve dayklar şeklinde görülebilir.

Kullanım alanları: Sölestin kullanıldığı en önemli alan renkli televizyon tüplerinin üretimi olup kullanımının %69 oluşturmaktadır. Bunu %15 ile elektro-seramik, %5 ile piroteknik, %3 çinko rafinasyonu, havai fişek, seramik, cam ve diğer sanayiler.

Barit (BaSO₄)

Barit, Baryum mineralinin doğada en çok bulunan bileşimidir. Ortorombik sistemde kristalleşir, rengi çoğunlukla beyazdır, ender olarak sarımsı mavimsi renklere gözlenir. Sertliği 2,5-3,5; yoğunluğu 4,3-4,6 arasında değişir. Saf baryum sülfatın % 58,8'i baryum, %42,2'si sülfattır. İçinde %92 ve daha fazla BaSO₄ içeren cevher, barit olarak değerlendirilir.

Baritin oluşumu yaygın olarak hidrotermal yollarla olur. Baryum sülfat taşıyan hidrotermal eriyikler, mermerlerin, kalkerlerin, dolomitlerin, kumtaşı ve şeyllerin boşluklarına sonradan girerek (replase olarak), amorf veya kristal halde yerleşirler.

Gang, mineralleri ise kursun, çinko, gümüş ve fluorittir.

Diinyada çok fazla miktarda barit bulunmaktadır.

Türkiye'de Konya, Eskişehir, Muş, Antalya ve Giresun olmak üzere zengin Barit rezervleri mevcuttur

Kullanım alanları: Piyasa değeri, petrol sondajlarına bağlı olduğu için çok değişkenlik gösterir. Petrol sondajları dünyada hızlandığında büyük değer kazanır.

KAYNAKÇA

- GÜNDOĞAN, İ. MORDOĞAN, H. ve HELVACI, C., 1995, Türkiye'deki acı göllerden sodyum sülfat üretimi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 21-22 Nisan 1995, İzmir, 257-266.
- GÜNDOĞAN İ. and HELVACI C., 1996, Geology, mineralogy, geochemistry and economic potential of the Bolluk Lake and adjacent area Cihanbeyli-Konya. Tr. J. of Earth Sciences, 5/2, 91-104.
- GÜNDOĞAN, İ. and HELVACI, C., 1998, Sedimentologic and petrographic aspects of Upper Miocene evaporites in the Beypazarı and Çankırı-Çorum basins (Central Anatolia, Turkey), Third International Turkish Geology Symposium, Abstracts, 77.
- GÜNDOĞAN, İ. ve HELVACI C., 1999, Sodyum sülfat aramacılığında petrografik çalışmaların önemi, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, 8-14 Mart 1999, DEÜ, İzmir, 370-377.
- HELVACI, C. ve İNCİ, U., 1989, Beypazarı trona yatağının jeolojisi, mineralojisi, jeokimyası ve yörenin trona potansiyeli. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Temel Bilimleri Araştırma Grubu, Proje No.TBAG-685, 155.
- KARAMANDERESİ, İ., H., 1992, KILIÇDAĞI, R. ve KILIÇ, M., Soğuk Çermik (Sivas İli) jeotermal sistemi ile sölestin oluşumu arasındaki ilişki, 45. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özetleri, 65-66, Ankara.
- LAST, W.M., 1984, Sedimentology of playa lakes of the northern Great Plains. Canadian Journal at Earth Sciences, 21,107-125.
- MASSOP, G.D. and SHEARMAN, D.J., 1972, Origins of secondary gypsum rocks. Trans. Inst. Min. Metal B., 82,147-154.
- MURRAY, R.C., 1964, Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite. Jour. Sed. Petrology, 34, 512-523.
- ORDONEZ, S. and CURA, M.L.A.G., 1994, Deposition and diagenesis of sodium - calcium sulfate salts in the tertiary saline lakes of the Madrid Basin, Spain. In: Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes (Ed. by R.W. Renault and W. M. Last), SEPM Special Publication No. 50, 229-238.
- SHEARMAN, D.J., 1966, Origin of marine evaporites by diagenesis. Trans. Inst. Min. Metall., 75, 208-215.

TUZLAR

SODYUM KLORÜR

GİRİŞ

Sodyum, suyla reaksiyona girdiğinde duraysızlaşan gümüş renkli bir metaldir ve klor ise yeşilimsi renkte tehlikeli ve öldürücü bir gazdır. Bu iki elementin kombinasyonu ile, beyaz renkli, yaşamsal öneme sahip bir bileşik olan ve tuz olarak bilinen sodyum klorür oluşur (Kostick,). Tuz mutamelen tüm dünya üzerinde bütün insanlık tarafından kullanılan tek mineraldir.

Sodyum klorür doğada oldukça yaygın bulunan hayati öneminden dolayı çok eskiden beri bilinen değerli bir maddedir. Deniz tuzundan mutfak tuzuna kadar çeşitli şekillerde elde edilmesine ve kullanıldığı yere göre adlandırılır. Dünyanın büyük bir bölümünü kaplayan okyanuslar bu tuzun önemli bir bölümünü içerirler.

Sodyum klorür deniz suyu içindeki erimiş maddelerin başında gelir. Karalar üzerinde rastlanan önemli kaya tuzu veya tuzlu maden damarlarının çoğu aslında denizlerden gelmektedir.

Kapalı denizlerde tuzluluk derecesi fala olmasına karşın okyanuslara açık denizlerde de hemen hemen aynıdır (Tablo 1).

Tablo 1.

	Kg / m ³
Baltık Denizi	17
Hazar Denizi	6
Kuzey Denizi	30-35
Pasifik Okyanusu	32-35
Atlantik Okyanusu	32-36
Akdeniz	38-40
Kızıldeniz	43-45
Ölüdeniz	2,70

Tropikal bölgelerin yakınlarında tuzluluk arttığı halde yine de denizlerin tuzluluk dereceleri büyük farklılıklar göstermez. Bununla birlikte, tropikal bölgelere yakın sularda sıcaklık fazlalığı ve yağış azlığı nedeniyle buharlaşma fazla olur. Bu sularda Bomé aerometresi ile 3,6'ya kadar ölçülebilir. Halbuki bütün mevsim yağış alan ekvatora yakın sularda bu derece 3,4 civarındadır. Kutuplara yakın bölgelerde ise tuzluluk azdır. Çünkü buzulların erimesinden kaynaklanan tatlı sular tuzluluğu azaltır (3,2). Derin sulardaki tuzluluk derecesinin sığ sulardakinden fazla olduğu görüşü atılmıştır.

Deniz suyunda erimiş olarak bulunan maddeler çok çeşitlidir. Örneğin 1 m³ Akdeniz suyu içinde aşağıda verilen maddeler mevcuttur;

Sodyum klorür	31,4 Kg
Magnezyum klorür	3,3 Kg
Magnezyum sülfat	2,7 Kg
Kalsiyum hidroksit	1,4 Kg
Sodyum bromür	0,6 Kg
Kalsiyum karbonat	0,4 Kg

Bu şekilde, 3,6 Bomé ölçülen 1 m³ deniz suyunda 32 kg deniz tuzu, 8 kg değişik tuz bulunur denebilir.

Tuzun mineralojik ismi “halit”tir (Yunanca’da tuz anlamına gelen “hals”dan gelmektedir). Tuz kübik sistemde kristalleşir ve Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarından oluşur. Basit bir kristal yapısına sahip olmasından dolayı x-Ray yöntemi ile analiz edilen ilk yapıdır. Adı tuzun özelliği doğal olarak esas bileşenleri olan sodyum ve klorürün özelliklerini göstermesidir. Yoğunluğu 2,2, sertliği 2.5, molekül ağırlığı 58,454 gr/ML’dur. %39,34 Na, %60,60 Cl içerir. Erime noktası 770°C’dir (Saf NaCl 801°C’dir).

Tuz (NaCl) çökelimleri eriyik halde (1-4) veya katı halde (5,6) bulunurlar;

1. Deniz suyu;

Örn. Okyanus ve denizler.

2. Göller;

Örn. Baskunchak Gölü, Elton Gölü (Rusya), Great Tuz Gölü, Utah ve Searles Gölü Kaliforniya.

3. Kaynak suları;

Örn. Smackover Formasyonu, Arkansas (A.B.D.); Solivar (Slovakya).

4. Playa tipi göl havzaları;

Örn. Searles Gölü’nü de içeren Kaliforniya’daki çeşitli göller.

5. Tabakalı tuz yatakları;

Prekambriyen – Avustralya, İran; Ordovisiyen – Williston Havzası, Wyoming (A.B.D.); Jurasik – Kuba, Almanya, Tanzanya; Oligosen – Fransa, Almanya, İspanya, İran Türkiye vb.

6. Tuz domları;

Örn. Amerika’nın Gulf Sahili ve Meksika; Almanya’da Zechstein Havzası.

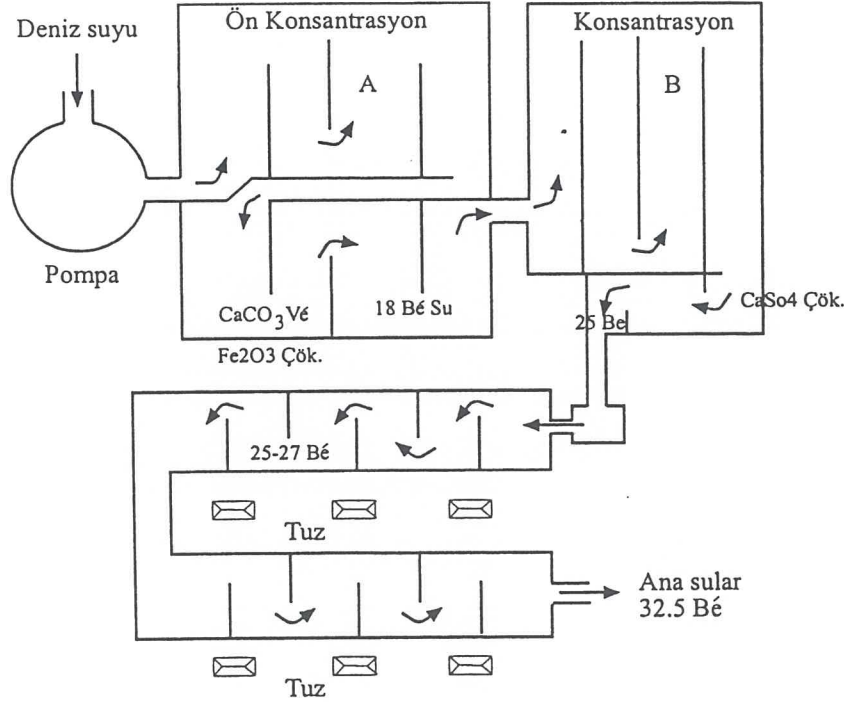
I. DENİZ TUZU

I.1 Üretimi

Rüzgar ve güneş gibi doğal faktörlerin etkisiyle deniz suyunun buharlaşıp tuzun toprakta kalmasını sağlayan tarımsal bir yöntemdir. Deniz suyu tam olarak tuza doygun bir eriyik olmadığı için doğal faktörlerin dışında başka ayırıcıların kullanılması ekonomik değildir. Doğal faktörlerle elde edilen tuza deniz tuzu denir.

Avrupa'nın Akdeniz ve Atlantik'teki tuzlarında deniz suyundan elde edilen tuz genelde %77-78 NaCl, biraz KCl, sülfat ve bol miktarda $MgCl_2$ ve sülfat içerir. Bu nedenle deniz suyunun, buharlaştırıldığında bu bileşenleri çökelteceği bir konsantrasyona getirilmesi gerekmektedir. Bu, suyun düşük seviyede olduğu seri halindeki havuzlarda sağlanır. 25-27 Bomé derecesi arasında çöken tuz %98 saflıkta en temiz üründür (Şekil 1).

Deniz tuzlarında evaporasyon (buharlaştırma) ve kristalizasyon, tuz üretiminin iki ana konusunu oluşturur.



Şekil 1.

I.1.1 Evaporasyon (Buharlaştırma):

Güneş enerjisi ile buharlaştırma sanıldığı kadar kolay değildir. Dikkatli bir mühendislik denetimi gerektirir.

Güneş enerjisinden yararlanılan havuzların kapasitesi ve işleyişi önemli ölçüde hava sıcaklığına bağlı nem miktarına, deniz suyunun bileşimine, rüzgar hızına, havuz derinliğine ve tuzlu suyun ve tabanın ışığı emme özelliğine bağlıdır. Buharlaştırma hızını saptamak için çeşitli deneysel denklemler ortaya atılmıştır. Fakat bunların hassaslık dereceleri düşüktür.

Yaklaşık olarak yapılacak hesaplamalar için şu denklem bulunmuştur;

$$E + 15 (V - v) (1 +) W / 10$$

E= Buharlaştırma hızı (inch/ay)

V= Çözeltinin yüzey sıcaklığındaki buhar basıncı (inch Hg)

W= Çözelti yüzeyine yakın rüzgar hızı (Mil/sa)

Buharlaştırma hızı hem mevsim hem de çözelti konsantrasyonuna göre değişir.

Çeşitli havuzlarda çökme şu sıraya göre olur; 7 Bomé derecede demir oksit birikimi başlar, 10 Bomé derecede kalsiyum karbonat çöker, genel olarak kalsiyum sülfat 16-25 Bomé'de çökmeye başlar. 25 Bomé'de ise sıvı içinde biraz daha mevcuttur. Çökmenin başladığı 25 Bomé'de NaCl içindeki madde de en yüksek miktarda bulunur. Görülüyor ki 35 Bomé derecede su içinde NaCl'den çok MgCl₂ tuzları mevcuttur. Deniz suyunu bu dereceye kadar ısınmadan evvel ayırmak gerekir. Aksi takdirde, çöken NaCl içinde bol miktarda Mg tuzu bulunur.

I.1.2 Kristalizasyon

Endüstride, bilimsel çalışmalarda olduğu gibi, mümkün olduğu kadar yüksek verimle saf kristallerin elde edilmesi istenir. Bunun yanında kristallerin büyüklüğü, şekli gibi istekler de yer alır. Ancak bu istekler çok kere yerinde seçilmiş değildir. Örneğin bir maddenin büyük kristaller halinde kristalleşmesi istenir. Halbuki küçük kristaller de aynı şekilde hatta daha memnuniyet verici olabilir.

Kristallerin sınıflandırılmaları konusunda herkesçe kabul edilen tek yöntem, kristal yüzeyleri arasındaki açıyı esas alır. Bu şekilde oluşan kristal tipleri ile bunların göreceli büyüklükleri arasında bir bağlantı yoktur. Kristal büyüklüğü madde için karakteristik olmamasına karşın, kristalin yüzeyleri arasındaki açılar karakteristiktir.

Kristallenme tarzı terimi, çeşitli tipteki yüzeylerin göreceli (bağlı) gelişimini belirtmek için kullanılmaktadır. Örneğin NaCl sulu çözeltilerinden sadece kübik yüzeylerle kristallenir. Diğer yandan NaCl, az miktarda üre içeren sulu çözeltilerinden kristalleştirilecek olursa elde edilen kristaller oktahedral yüzeylere sahip olurlar. Bunun yanında maddenin levha, iğne veya prizmalar şeklinde kristalleşip kristalleşmeyeceğini bilmek mümkün değildir. Genelde, kristallerin büyümesi sırasında içinde bulunduğu şartlara bağlı olup, kristalografik sınıflandırması veya kristallenme tarzı ile bir ilişkisi yoktur.

Kristalizasyon teorisi- Kristalizasyon operasyonunun iki aşamada oluştuğu düşünülebilir. Bunlar kristal çekirdeklenmesi ve bunun büyümesidir. Kristalizasyon ile ilgili tartışmaların pek çoğunda Miers'in aşırı doyumluk teorisi yer alır.

II. KAYATUZU

Toprak altından çıkartılan blok halindeki kayatuzunun gereği halinde aşındırılıp öğütülmesi ile elde edilen madensel yöntemdir. Sonuçta brüt tuz elde edilir. Bu çoğu zaman saf değildir ve özellikle sanayi ve tarımda kullanılır.

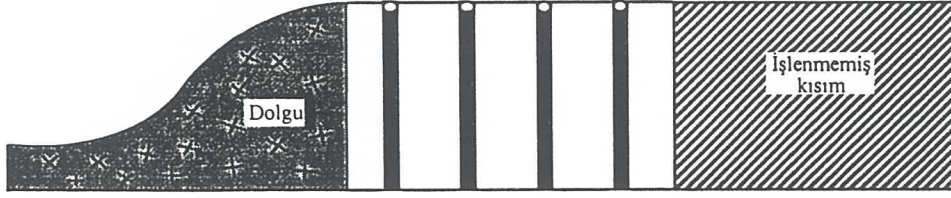
II.1 Kayatuzu İşletme Yöntemleri

Bir madenin işletilmesi sonucu toprakta büyük bir boşluk meydana gelir. Toprak altındaki bu boşlukların çökmelere meydan vermemesi için madencilikte şu üç yöntem kullanılır;

A. Doldurma Yöntemi:

Klasik bir yöntemdir. Genel olarak açılan boşluk yine dışarıdan toplanarak getirilen taşlarla doldurulur. Bazen taşlar madenin içinden, tavandan veya duvardan kırılarak elde edilir. Bu deliği dolduracak toprak elde etmek için, yanına bir başka delik açılır. Buradan elde edilen toprakla da hacim genişlemesi nedeniyle birinci hatta ikinci delik de doldurulabilir. Fakat bu

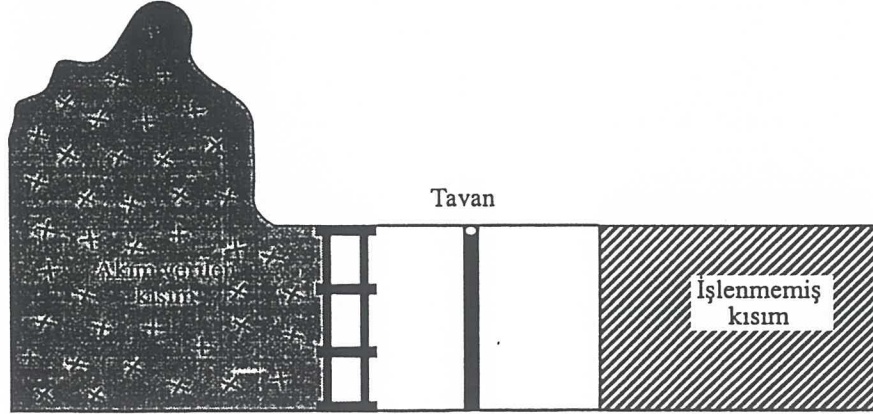
kullanışlı bir yöntem değildir. Tavan doldurulan kısım üzerine bastırır, çukur içindeki toprak yavaş yavaş düşer, yüzeyde çöküntü başlar. Ancak maden içinde çöküntü olmasına engel olmak gerekir. Aksi takdirde güvenli çalışmak mümkün olmaz. Bu yöntem pahalıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Doldurma yöntemi

B. Akım Yöntemi:

Akımı kullanarak elde edilen bu yöntemde, çökmeler ve boşluklar meydana gelebilir. Çalışan kısım, ağaç kemerlerle emniyete alınır ve boşluk ilerledikçe bu kemerler ilerletilir. Oldukça hassas bir yöntemdir ve çok dayanıklı tavanları olan madenlerde uygulanır (Şekil 3).

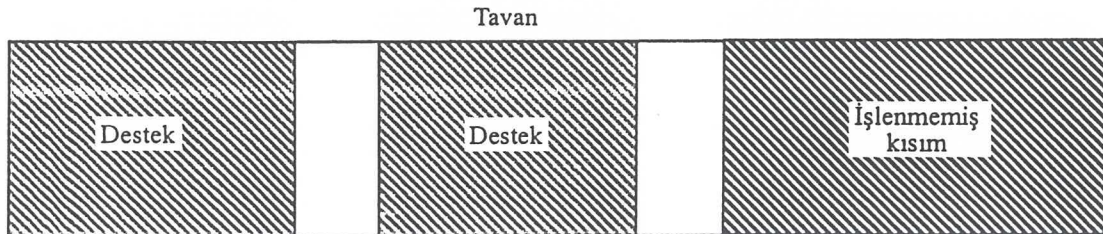


Şekil 3. Akım yöntemi

C. Kullanılmayan Destekler (Oda -Topuk) Yöntemi:

Bu yöntemde, madenin içinde yer yer destek görevi gören kısımlar bırakılır. Bu kısımlar tavanı tutar, toprak altında ve yüzeyde çöküntü olması tamamen engellenir.

Bu yöntem oldukça ekonomiktir. Ancak destek olarak bırakılan tabakalardan tuz elde edilemediğinden madenden tam olarak faydalanılamaz (Şekil 4).



Şekil 4. Kullanılmayan destekler yöntemi

TUZ ÜRETİMİNDE SANAYİ YÖNTEMLER

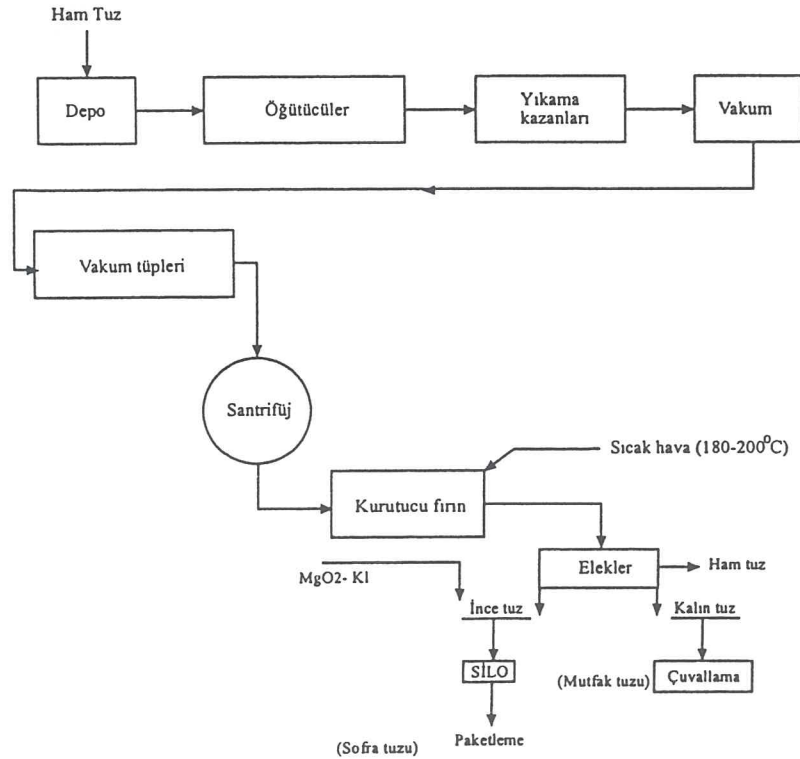
Bu yöntemde toprak altındaki kanalların pompalanması veya elde edilen ham tuzun eritilerek ısıtılması ve buharlaştırılması sonucu tuz elde edilir. Eskiden bu işlem soba olarak tanımlanan klasik aletler içinde atmosfer basıncı altında yapılabildiği gibi daha modern, basıncı alınmış evaporatörlerle de yapılabilir. Bu yöntem kimya endüstrisinde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemle elde edilen tuza “rafine tuz” denir. Halen gelişmekte olan bir başka rafine yöntem de derinlerde bulunan kaya tuzunun eritilmesidir.

A. Çözelti Madenciliği ile Tuz Üretimi:

Yöntem ana hatlarıyla şu şekildedir; Kaya tuzu tabakasına kadar yapılan sondajdan sonra sondaj deliğine astar boru geçirilir, bu deliğin çevresinde toplanan yeraltı suları yer üstü aynasından kayatuzuna doğru pompalanır. Tatlı olan bu su kayatuzu ile birleşince tuzu çözer ve doymuş tuzlu su çözeltisi oluşur. Bu çözelti kayatuzu içinde toplanır. Doymuş tuzlu çözelti yeryüzüne çeşitli pompalarla çıkarılır. Sondaj borusu üzerindeki pistonlu tulumbaya devredilir. Tulumbayla veya santrifüj pompayla çözelti yukarıya çekilir. Yukarıya çekilen doymuş tuzlu çözelti (salamura) yeryüzünde bir depoda toplanır ve özel olarak temizlenir.

B. Öğütme – Yıkama – Kurutma Sistemiyle Tuz Üretimi:

Ham tuz çıkarılarak depolara konur. Buradan bantlar veya elevatörler yardımıyla kırıcılara taşınır. Kırıcılarda kırılan tuzlar, hemen altındaki bantlara alınarak tazyikli su ile temasa geçirilir. Burada tuz iyice karıştırılarak yıkanır. Yıkanan tuz santrifüje gelir. Burada suyunu atan tuz belli bir % nemle fırına verilir. 180-200°C’de fırınlanan tuzlar eleklerle alınır ve incelik durumuna göre ayrılır. Kaygan olması ve topaklanmaması için %1 oranında MgO eklenir. Eleklerden geçen tuz isteğe göre paketlenir (Şekil 5).



Şekil 5. Öğütme- yıkama- kurutma sistemi ile tuz üretimi.

C. Rekristalizasyon Yöntemi ile Rafine Tuz Üretimi:

Rekristalizasyon, rafine tuz üretmek için en çok kullanılan yöntemdir. Yöntemin ana prensibi, tuzlu suyun ısıtılıp doyma noktasına kadar buharlaştıktan sonra kristallendirilmesidir. Bu yöntemle ince kübik kristaller şeklinde tuz elde edilir. Sistem üç ana grupta toplanabilir;

1. Ham tuzun hazırlanması ve ön tasviye
2. Evaporasyon
3. Kurutma ve paketleme

Tuz üretiminde kullanılacak tuzlu su değişik kimyasal bileşimlere sahip olabilir. Genellikle CaSO_4 , MgCl , MgSO_4 , Ca ve Mg bikarbonat gibi safsızlıklar içeren tuzlu suyun ön işlemden geçirilmesi gerekir. Bu safsızlıklardan CaSO_4 ısıtıcı yüzeyler üzerinde taşlaşma problemine yol açar. MgSO_4 ve MgCl ise tuzun kuru ve akışkan olmasını engelledikleri için acı bir tat verirler.

D. Açık Kaplarda Buharlaştırma Yöntemi:

Evaporasyon yöntemi, rekristalizasyondan daha pahalı olup, elde edilen tuz daha kalın tanelidir.

Tuzlu su, 1 kg/cm^2 'lik buharla ısı değiştiricilerinde $96-110^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. CaSO_4 tutucusu 3m. Çapında ve 3.6m. yükseklikte bir tanktır ve 2.54cm.'lik taşlarla doludur. Taşlar CaSO_4 'ün tutulmasını sağlar. Taşlarda biriken CaSO_4 , haftada bir kez suyla yıkanarak temizlenir. Tuzlu su buhar ayırıştırıcısına gelir. Buradan 106°C 'de çıkan tuzlu su açık ve geniş kaplarda buharlaştırılır. Daha sonra santrifüjden geçirilerek suyu alınan kalın taneli tuz kristalleri kurutucuda sıcak hava ile kurutulur, eleklerden geçirilerek çeşitli büyüklükte tuz elde edilir.

TÜRKİYE'DEKİ TUZLALAR

Türkiye, tuz potansiyeli açısından zengin ülkeler arasındadır. Bu potansiyel deniz tuzlası, göl tuzları, kaya tuzları ve kaynak tuzlarından oluşmaktadır.

Ülkemizde deniz tuzlası olarak Çamaltı tuzlası işletilmektedir. İklim koşulları üretime son derece elverişlidir. Tuzladan yılda 2.000.000 tondan fazla üretim yapma olanağı vardır. Bu tuzla tek başına Türkiye'nin tuz gereksinimini uzun yıllar karşılayabilecek durumdadır.

Göl tuzları Tuz Gölü'nün etrafında bulunan Yavşan, Kaldırım ve Kayacık tuzlarıdır. Jeolojik veriler Tuz Gölü'nün çok büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Kaya tuzlarının rezerv durumları yapılan araştırmalara göre büyük olasılıkla şu şekildedir;

Çankırı Tuzlası	20 milyon ton
Sekili Tuzlası	93 milyon ton
Gülşehir Tuzlası	50 milyon ton
Tepesidelik Tuzlası	20 milyon ton
Kağızman Tuzlası	60 milyon ton
Tuzluca Tuzlası	100 milyon ton

Ayrıca, ülkemizde yapılan petrol sondajları sırasında, Kars, Çayırılı, Adana, Sivas ve diğer bölgelerde oldukça kalın tuz tabakalarının bulunduğu görülmüştür.

Kaynak tuzlaları şu anda yalnız bulunduğu yörelerin gereksinimini karşılayacak şekilde değerlendirilmektedir. Yeraltı tuzlu su kaynaklarının, değişkenlik göstermesi nedeniyle kaynak tuzlalarının rezervi saptanamamıştır.

ÇAMALTI TUZLASI

Çamaltı deniz tuzlası, Tekel'in en büyük tuzlası olup, 450.000 ton/yıl kapasiteye sahiptir. Osmanlılar zamanında yabancı şirketlerce işletilen tuzla, 1931 yılından beri yeni tesislerde üretim yapmaktadır.

Çamaltı tuzlası, İzmir – Karşıyaka'dan 26 km. mesafede körfezin düzlük bir sahilidir ve üretim açısından optimum verimi sağlayacak koşullar vardır. Tuzla, nemi az olan kuzey rüzgarlarına açıktır. Genelde, tüm yıl boyunca yağış hariç, evaporasyon son derece olumludur. Ortalama aylık buharlaşma max. 243 mm., min. 42 mm., nem max. %71, min. %45 olmaktadır. Üretim süresince Nisan – Ekim ayları arasındaki ortalama meteorolojik durum şöyledir;

Isı	22,6°C
Nem	%67,2
Yağış	96 mm.
Evaporasyon	1369,5 mm.
Evaporasyon net.	1273,5 mm.

Üretim sonrası Ekim – Nisan için aşağıdaki ortalamalar bulunmuştur;

Isı	11,3°C
Nem	%71
Yağış	591 mm.
Evaporasyon	349 mm.

Tuzlanın üretime açık alanı 1720 hektardır. Bunun 1494,3 hektarı evaporasyon, 225,7 hektarı da kristalizasyon sahasıdır.

1. Buharlandırma sahası	36	havuz	9.405.000 m ²	2.039.500 m ³
2. Biriktirme sahası	15	havuz	2.625.000 m ²	1.403.600 m ³
3. Rezerv yedeği sahası	10	havuz	2.155.000 m ²	395.125 m ³
4. Rezerv sahası	11	havuz	758.000 m ²	949.130 m ³
5. Kristalize sahası	76	havuz	2.257.000 m ²	451.855 m ³

Bu mevcut alana batıda bulunan 180 hektar, doğudaki 480 hektarlık işletmeye açılmamış arazi ilâve edilirse, $1720 + 180 + 480 = 2380$ hektarlık alan oluşur. Çamaltı tuzlası halen iki ünite şeklinde işletilmektedir.

TUZUN KULLANILDIĞI ALANLAR

1. Gıda Maddesi:

Tuz, dünyada hayvani bünyelerde çok fazla bulunur. Buna karşın özellikle bitkiler klor ve sodyum bakımından fakirdir. Yaşamsal bakımdan, kandaki klorlar plazma içinde NaCl, alyuvarlar ve akyuvarlar içinde ise KCl şeklindedir. Yetişkin bir insanın yıllık tuz gereksinimi 7 kg.'dır. İnsan gıda maddeleri arasında bulunan konserve yiyeceklerde ve diğer sebzelerin üretiminde tuz kullanılmaktadır.

2. Metalurji Sanayiinde:

- a) Demirlerin klorlanması,
- b) Tuzla kavurma metodlarında kullanılır.

3. Deri Sanayiinde:

Ham ve işlenmiş deriler için tuz kullanılmaktadır. Büyük baş hayvan ham derisi için 7 kg., imalat derisi için 3 kg., küçük baş hayvan ham derisi için 3 kg., imalat derisi için 0,5 kg. tuz kullanılmaktadır.

4. Su Tasviye Cihazlarında:

Sanayide ve günlük hayatta su tasviyesi oldukça önemlidir. Özellikle sanayide suyun tasviye edilmeden kullanılması sonucu kaynar su ve buhar istihsal eden kazanlarda kazan taşınım teşekkülü ve bu nedenle verim düşmesi, yakıt harcaması, ısı transferinin düşüş göstermesi, kazan ömrünün kısılması gibi sorunlar meydana getirmektedir. Bu zararların sebebi suyun sertliğidir. Mg ve Ca tuzlarından kaynaklanır. Suyun sertliği birçok kimyasal yöntemle giderilirse de en kolay uygulananı, iyon eşanjörü ile yapılan iyon değiştirme yöntemidir. Bu yöntemle suyun yumuşatılarak kullanıldığı alanlar, tekstil boya ve apre sanayi, klima, termik santraller, kimya sanayi, içme suyu tesisleri, buhar ve sıcak su kazanları, çeşitli gıda maddeleri ve meşrubat sanayi, çamaşır, şişe ve kap yıkama tesisleridir.

5. Diğer Sanayi Kollarında:

Soğutma salamuralarında, buz fabrikalarında, karayollarında buzlanmaya karşı, seramik sanayiinde, tarımda, kaya tuzu olarak.

ARTIK SULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

TUZLA ARTIK ÇÖZELTİLERİNDEN POTASYUM VE MAGNEZYUM TUZLARININ ELDE EDİLMESİ

20. yüzyılın başlarından beri, deniz suyundan adi tuz (NaCl) üreten tuzlalardan arta kalan derişik çözeltilerdeki potasyum, magnezyum, lityum tuzlarının ve bromun üretilmesi ilgi çeken ve üzerinde oldukça fazla araştırma yapılan bir konu olmuştur.

Deniz suyunun güneş enerjisi ile buharlaştırılması (solar evaporasyon), NaCl'den başka tuzların da doygunluk sınırına yaklaşması nedeniyle, kristalleştirilen NaCl'nin kirlenmesini önlemek için kesilir ve buharlaştırmadan geriye kalan çözeltiler, artık çözeltiler olarak sistemden uzaklaştırılır. Bu çözeltilerde NaCl yanında, MgSO₄, MgCl₂, KCl ve bromürlü tuzlar vardır. Bu çözeltiler genellikle diğer tuzların geri kazanılması yapılmadan denize atılmaktadır. Ülkemizde olduğu gibi, başka bir potasyum kaynağı olmayan ülkelerde, bu artık çözeltilerden özellikle potasyum tuzlarının üretimi 20. yüzyılın başlarından beri düşünölmüştür. Diğer taraftan, deniz suyundan tatlı su üretimi son çeyrek asırdan beri önem kazanmış bir konudur.

Mg tuzları ve bromun tuzla artık çözeltilerinden üretimi, potasyum tuzları yanında ikinci planda düşünölmüştür. Bunun nedeni, hem Mg hem de Br'un doğrudan deniz suyundan üretilme olanağının olmasıdır. Ancak tuzla artık sularında Mg ve Br'lu tuzlar, deniz suyuyla kıyaslanamayacak kadar boldur. Böylece aynı üretim kapasitesi için çok daha az çözeltiler işlenmesi gerekmektedir.

A. POTASYUM BİLEŞİKLERİ:

Çamaltı tuzlasında artık su olarak atılan salamura, zengin potasyum kaynağı olarak görölmüş ve kristalizasyon yöntemi ile %80 verimle KCl elde edilmiştir. Elde edilen bu KCl'den %80 verimle %92 saflıkta K₂CO₃ elde edilmiştir.

Çoğunlukla bir tarım ülkesi görünümündeki ülkemizde yapay gübre tüketimi gün geçtikçe artmaktadır. Azotlu ve fosforlu gübrelerin yurt içinde üretilmelerine karşın potaslı gübrelerin tamamı ithal edilmektedir.

Potasyumun çok önemli olduğu diğer bir bileşiği de potasa (~ %70 K₂CO₃)'dır. Bu madde, ülkemizde üretilen ve başlıca ihraç ürünlerimiz olan incir ve üzüm kurutulmasında kullanılmaktadır.

Bunların ışığında açıkça görölmektedir ki, ülkemizde potasyum kaynağının araştırılması ve potasyum bileşiğlerinin üretilmesi bir zorunluluktur.

Potas mineralleri suda çözünen ve suda çözünmeyen olmak üzere iki grupta toplanabilir;

1. Suda Çözünen Potasyum Mineralleri ve Doğada Bulunuşları:

Başlıcaları Tablo 2'de verilmektedir. Suda çözünen mineraller ya iç denizlerin ya da okyanuslardan ayrılan bölümlerinin buharlaşmaları ile oluşmuştur. Buharlaşma anında tuzlar, çözünlörlükleri ile ters orantılı olarak kristalleşirler. Çökme sırası CaCO₃, MgCO₃, CaSO₄, NaCl, MgSO₄ ve KCl şeklinindedir.

Tablo 2. Suda çözünen potas mineralleri ve K₂O yüzdeleri.

<i>MİNERAL</i>	<i>BİLEŞİM</i>	<i>% K₂O</i>
Silvit	KCl	63,1
Karnalit	KCl.MgCl ₂ .6H ₂ O	17,0
Kainit	KCl.MgSO ₄ .3H ₂ O	18,9
Hanksit	KCl.9Na ₂ SO ₄ .NaHCO ₃ .2H ₂ O	3,0
Polihalit	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .2CaSO ₄ .2H ₂ O	15,5
Langbenit	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄	22,6
Leonit	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .4H ₂ O	25,5
Şönit	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .6H ₂ O	23,3
Krugit	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄ .4CaSO ₄ .2H ₂ O	10,7
Glaserit	K ₂ SO ₄ .Na ₂ SO ₄	42,6
Singenit	K ₂ SO ₄ .CaSO ₄ .H ₂ O	28,8
Aptitalit	(K, Na) ₃ (NaSO ₄)	42,5
Niter	KNO ₃	46,5

Dünyada ilk zengin potas yatağı, 1843 yılında Stassfurt (Almanya)'da tesadüfen bulunmuştur. Liebig'in 1845'de potasyumun önemli bir bitki besini olduğunu bulmasıyla bu elementin önemi artmış ve Stassfurt potas yatakları 1861'den itibaren işletilmeye başlanmıştır. ABD'de ise potas yatakları başlıca Arizona, Kaliforniya, Nebraska, Yeni Meksika ve Utah'tadır.

2. Suda Çözünmeyen Potasyum Mineralleri ve Doğada Bulunuşları:

Suda çözünmeyen potasyum mineralleri ve %K₂O değerleri Tablo 3'de verilmektedir. Bu mineraller volkanik kayalarda bulunur. Potas, bu minerallerden yan ürün olarak elde edilir. Asıl amaç, alümina (Al₂O₃) üretmektir. Bu amaçla da başlıca lösit yatakları G. Wyammng'de, glavkonit yatakları ise New Brunswick, New Jersey ve Pennsylvania'da işletilmektedir.

Ülkemizde de zengin alunit (Şebinkarahisar, Şaphane ve İzmir – Foça yakınında Şaphane ve Kızıldağları'nda), glavkonit ve lösit (Kaman – Kırşehir – Hamitköy, İshocalı, Tilkiş Dağ ve Darıözü Köyü) yatakları vardır.

Tablo 3. Suda çözünmeyen potas mineralleri ve K₂O yüzdeleri.

<i>MİNERAL</i>	<i>BİLEŞİM</i>	<i>% K₂O</i>
Alunit	K ₂ Al ₆ (OH) ₂ (SO ₄) ₄	11,4
Lösit	KAl (SiO ₃) ₂	9,8
Muskovit	H ₂ KAl ₃ (SiO ₄) ₃	11,8
Biyotit	(HK) ₂ (MgFe) ₂ Al ₂ (SiO ₄) ₃	6,2-10,1
Ortoklas	KAlSi ₃ O ₈	16,8
Glevkonit	KFe (SiO ₃) ₂ nH ₂ O	4,2

B. MAGNEZYUM BİLEŞİKLERİ:

Magnezyum, gerek metalik gerekse bileşik halinde bugünkü teknolojinin önemli bir hammaddesidir. Metalik magnezyumun önemi, hafif oluşu ve birçok yerde alüminyuma tercih edilmesidir. Ancak Magnezyum tüketiminin büyük çoğunluğu Mg bileşikleri halindedir. Bunların başında %80'lik bir oranla magnezia (MgO) gelir. Çünkü yüksek ergime noktası nedeniyle refrakter malzeme endüstrisinin en önemli hammaddelerinden biridir. Ülkemizde

krom – magnezit tuğlaları Karabük ve Ereğli demir – çelik fabrikaları, M.K.E., Etibank Ergani ve Murgul İşletmeleri, çimento fabrikaları, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. sanayi birimlerinde tüketilir. Türkiye'nin yıllık krom – magnezit tuğlası gereksinimi gittikçe artmaktadır.

Magnezyum Mineralleri ve Doğada Bulunuşları:

Doğada bulunan Mg mineralleri ve %MgO değerleri Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Doğada bulunan magnezyum mineralleri ve MgO yüzdeleri.

<i>MİNERAL</i>	<i>BİLEŞİM</i>	<i>% MgO</i>
Magnezit	MgCO ₃	48
Dolomit	MgCO ₃ .CaCO ₃	22
Brusit	Mg(OH) ₂	70
Karnalit	MgCl ₂ .KCl.6H ₂ O	15
Kiserit	MgSO ₄ .H ₂ O	28
Epsomit	MgSO ₄ .7H ₂ O	17
Kainit	MgSO ₄ .KCl.3H ₂ O	17
Olivin	MgSiO ₄	35
Enstatit	MgSiO ₃	40

Magnezit madenciliği ve endüstrisini ilk uygulayan ülke olan Avusturya (1.5 milyon ton/yıl)'dır. Dünya üretiminin %24'ünden fazlasını karşılayan Çekoslovakya, yılda 3.5 milyon ton magnezit üretmektedir.

Magnezia dünyadaki çeşitli yatlardan başlıca deniz, göl suyu ve sondaj çözeltilerinden de üretilmektedir.

ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇİMİNDE TEMEL OLAN FAKTÖRLER

Bu faktörler her ülke için farklı olabilir. Ülkemiz için saptanan temel etkenler şu şekilde sıralanabilir;

1. Üretilecek ürünlerin yurt içinde tüketim alanları:

a. Potasyum- Ülkemizde başlıca kimya sanayiinde KOH, tarımda yapay gübre ve potasa olarak tüketilmektedir. Bu bileşiklerin elde edilmesinde KCl kullanılır. KOH, KCl çözeltisinin elektrolizi ile, K₂CO₃ ise KCl den Engel – Precht yöntemiyle elde edilmektedir. Topraklarımızın genel olarak potaslı olması nedeniyle ülkemizde potaslı gübreler diğer gübrelerle birlikte kullanılır. Bu gereksinimleri karşılamak için KCl üretilmelidir.

b. Magnezyum- Yurtiçinde tüketilen magnezyum bileşiklerinin başında MgO gelir. Metalik magnezyumun da gereksinimi gittikçe artmaktadır. Bu iki maddenin eldesinde MgCl kullanılır. Bu nedenle magnezyum klorür halinde üretilmesi amaçlanmalıdır.

2. Enerji kullanımı:

1973 yılında OPEC tarafından yaratılan petrol krizinden sonra dünyada ve dolayısıyla ülkemizde sanayi ürünlerinin fiyatlarında önemli artışlar kaydedilmiştir. Her ülke kendi enerji sorununu çeşitli yollarla çözme çalışmalarına gitmiştir. Özellikle güneş enerjisinden

faaydalanma bu araştırmaların temelini oluşturmuştur. Güneş enerjisi en fazla tuzla işletmelerinde kullanılmıştır.

3. Kullanılacak ekipman:

NaCl içeren çözeltilerin yüksek korozyona neden olduğu bilinmektedir. Böyle bir kaynağın işletilmesinde korozyona dayanıklı, oldukça pahalı ekipman kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle seçilecek yöntemde NaCl mümkün olduğu kadar doğal koşullarda diğer bileşenlerden ayrılmalıdır.

MAGNEZYUM TUZLARININ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Deniz suyundan magnezyum tuzlarının ve metalinin üretimi uzun yıllardan beri ABD, Almanya, İngiltere ve Rusya'da endüstriyel ölçüde uygulanmaktadır. Bu yöntem, Mg tuzlarının $Ca(OH)_2$ ilavesi ile $Mg(OH)_2$ halinde çöktürülmesine dayanır. Oldukça ekonomik bir yöntemdir. Kullanılan $Ca(OH)_2$, doğrudan kireçten olduğu gibi, dolomitten ve ıstırdye kabuklarından da hazırlanmaktadır.

Dow Chemical Co. tarafından geliştirilen ve "Dow Prosesi" olarak bilinen yöntemde $Mg(OH)_2$ keleği, refrakter üretimi için %84-97'lik MgO 'ya, kağıt, çeker, yapay iplik ve yüksek saflıktaki MgO 'ya, magnezyum metaline ve tuzlarına dönüştürülmektedir.

Tuzla artık çözeltilerinden magnezyum tuzlarının üretimi için kullanılabilecek diğer bir yöntem, sülfat iyonunun giderilmesinden sonra uygulanacak solar evaporasyonla karnalit üretimine dayanabilir. Karnalitin bozundurulması ile ele geçen zeltilerden $MgCl_2$ retilir.

POTASYUM TUZLARININ ÜRETİMİ

Potasyum, tuzla artık çözeltilerindeki en ilgi çeken iyondur. Bu zeltilerden potasyum tuzunun kazanılması için çok sayıda süreç geliştirilmiştir. Bu süreçler üç ana grupta toplanabilir;

a) Kimyasal bir madde ilavesi ile tercihli kristalizasyon:

Potasyumu tercihli olarak çöktürmeyi öngören bu yöntem Fleischer ve Kielland tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan dipikrilamin (heksanitrodifenilamin) bileşiği sadece potasyumu ktrmektedir. Elde edilen çökelek herhangi bir asitle bozundurulur tuz elde edilmekte ve oluşan dipikrilamin sürece geri gönderilmektedir. Süreç daha sonra birçok yönden geliştirilmesine karşın, üretilen potasyum tuzu kullanışta eksema hastalığına neden olmaktadır. Bunun sebebi de son üründe kalan az miktardaki dipikrilaminden dolaydır.

Potasyumun, bizmut tiyosülfat kullanılarak çöktürülmesi önerilmiştir. Ancak bu yöntem de ilgi görmemiştir.

Kimyasal madde ilavesi ile çöktürme yöntemlerinden bir diğeri, fosfat iyonu ilavesi ile $pH= 7.5-9.5$ arasındaki bölgede $MgKPO_4 \cdot 6H_2O$ halinde ktrmektir. Elde edilen çökelek herhangi bir amonyum tuzu çözeltisi ile tepkimeye sokularak znrlğu daha düşük olan $MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$ keleği oluşturulup, potasyum tuzu çözeltiye alınmaktadır. Bu yolla hem istenilen potasyum tuzu üretilmekte hem de elde edilen $MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$ bileşiği yüksek

kaliteli bir gübre olarak kullanılabilir. Bu yöntemle potasyum yaklaşık %75 verimle artık çözeltilerden çekilebilmektedir.

b) Evaporasyon ile fraksiyonlu kristalizasyon yöntemleri:

Bu yöntemlerde, tuzla artık çözeltilerindeki potasyum tuzları saf olarak değil, potasyum tuzlarının kolayca üretilebileceği silvinit, karnalit, şönit ve kainit gibi çifte tuzlar halinde kristallendirilirler. Bu nedenle, bu yöntemlerde genellikle potasyum tuzlarının dışında başka tuzlar da üretilir.

Bu yöntemlerden birinde, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kireç sütü) kullanılarak ortamdaki sülfatlar CaSO_4 , bir kısım magnezyum tuzları da $\text{Mg}(\text{OH})_2$ halinde uzaklaştırılır. Elde edilen çözeltilere solar evaporasyon uygulanarak önce silvinit, daha sonraki aşamalarda da karnalit üretilir. Silvinitten termik, bir işlemle ya da flotasyonla kolayca KCl üretilebilir. Karnalitten, su ile bozundurarak KCl üretimi de eskiden beri bilinen bir yöntemdir.

Diğer bir yöntemde, CaCl_2 ilavesi ile sülfat gidermesi yapılır. Bu yöntem İsrail'deki Kızılderin ve A.B.D.'deki Wendover (Utah)'daki sülfatça fakir çözeltilerden KCl üretimine yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Sülfat giderme işleminden sonra ya solar evaporasyonla çeşitli aşamalarda KCl, silvinit ve silvinit ile karışımı olarak karnalit elde edilir ya da yüksek sıcaklıkta deriştirildikten sonra soğutularak karnalit üretilir. Bu yöntem ancak, tuzla yakınında bir soda fabrikası varsa, soda fabrikasının artık CaCl_2 çözeltisi kullanıldığında ekonomik olacağı belirtilmektedir.

Hiçbir kimyasal madde ilavesi yapılmadan ve solar evaporasyon kullanılarak potasyum tuzlarının üretimi, ekonomik açıdan en ilginç olanıdır. Tuzla artık çözeltilerinden solar evaporasyonla çökecek tuz karışımı NaCl yanında kainitten ibarettir. Solar evaporasyonla elde edilen tuz karışımından ($\text{NaCl} + \text{Kainit}$) gidilerek potasyum tuzlarının üretimi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Karışım tuzdan, ya soğukta çözüp doygun MgSO_4 çözeltisi kullanılarak ya da 110°C 'de buharlaştırılıp soğutularak şönit üretilip, bundan kireç ilavesi ile saf K_2SO_4 üretilmesini öngören yöntemler öne sürülmüştür.

Tuzla artık çözeltilerine solar evaporasyon uygulamanın pratik sakıncası, çözelti yoğunluğu arttıkça evaporasyon hızının düşmesidir.

Solar evaporasyon hızı meteorolojik faktörlere bağlı olduğuna göre, bu faktörlerin uygun olduğu yerlerde (Hindistan'da olduğu gibi) solar evaporasyonu ilerletmek mümkündür. İzmir Çamaltı tuzlasında, kainitik yapıdaki bir tuzun çöktürülmesi için solar evaporasyonun kullanılıp kullanılmayacağı, yerinde ölçümler yapılarak saptanabilir. Ancak bu yöntemin, ortamdaki NaCl konsantrasyonunu azaltmak için, çözelti yoğunluğu $33-34^\circ\text{Bé}$ olana kadar kullanılabilir beklenmektedir.

c) Kimyasal bir madde ilavesi ile fraksiyonlu kristalizasyon yöntemleri:

Tuzla artık çözeltilerinden potasyum tuzları üretimindeki diğer önemli gelişmeler, bir kimyasal madde ilavesi ile sistemin çözünürlüğünün değiştirilmesine dayanır. Bunlar ya bir çözücü ilavesi ile doğrudan kristalizasyon ya da başka bir tuz ilave edildikten sonra evaporasyon ile yapılan kristalizasyon yöntemleridir.



T.C.
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MADEN FAKÜLTESİ



TÜRKİYE BORAT YATAKLARI

WORKSHOP
(Bildiriler)

Editörler:

Prof. Dr. M. Sezai KIRIKOĞLU - Dr. Murat BUDAKOĞLU - Dr. Ahmet ÇELENLİ

TÜRKİYE BORAT YATAKLARI Jeolojik Konum, Mineraloji ve Depolanma Ortamları

Prof.Dr. Cahit HELVACI
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

ÖZ

Doğada az bulunan ve duraysız elementlerden birisi olan bor, yer kabuğunda ortalama 10 ppm'den az olarak bulunmaktadır. Buna karşın bor, her türlü jeolojik ortamlarda oluşan minerallerde yer alır. Bor elementinin yer kabuğundaki 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, Tersiyer'in gölsel (lakustrin) ortamlarında depolanmıştır. Türkiye borat yataklarının tümü, volkanik aktivite ile ilgili yataklar olarak sınıflandırılır. Bigadiç ve Sultançayırı (Balıkesir), Kestelek (Bursa), Emet (Kütahya) ve Kırka (Eskişehir) borat yatakları, Neojen volkanizması sırasında playa-göl tortulları içinde birikmiştir. Borat mineralleri, çakıltası, kumtaşı, kiltası, marn, kireçtaşı, tuf ve tüfit ardalımalı istifte; çamurtaşı, kiltası ve tüfler içinde oluşmuştur. Neojen volkanosedimenter tortulları içinde yer alan Türkiye borat yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde mercekli yapılar sunmasına karşın sıkça tortullarla ardalımlar, ince bantlar ve yanıl olarak kamalanmalar gösterirler. Türkiye'deki tüm yataklarda, bor içeren birimlerden önce ve sonra yaygın olarak kireçtaşı çökelimi gerçekleşmiştir.

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.

Boratlar, "borik asidin tuzları veya esterleri: B_2O_3 içeren bir bileşik" olarak tanımlanırlar. Endüstride ise boratlar, borik asit içeren veya temin eden herhangi bir bileşik olarak tanımlanırlar. Çok sayıda mineral borik asit içerir, fakat dünyaca ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır: boraks, üleksit ve kolemanit. Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacının yaklaşık % 90'ını karşılayan Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye olmak üzere çok sınırlı sayıdaki ülkelerde üretilmektedir.

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 tanımlanırlar 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.

GİRİŞ

Bor elementi, 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.

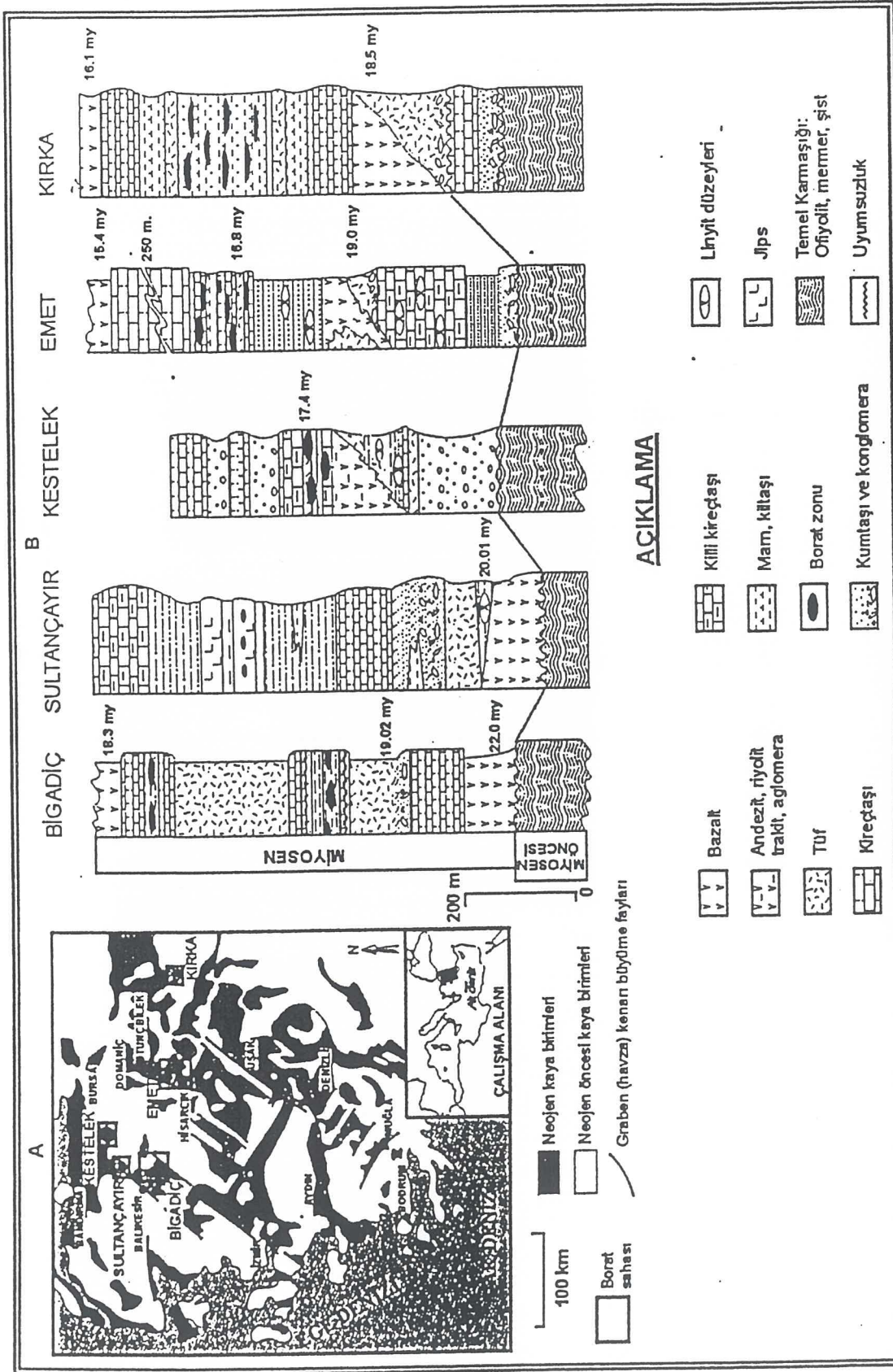
Genç Neojen volkanosedimenter tortulları içinde yer alan Türkiye borat yataklarının geometrisi, genel olarak tortullar içinde merceksel yapılar sunmasına karşın sıkça tortullarla ardalanmalar, ince bantlar ve yanıl olarak kamalanmalar gösterirler. Borat yataklarında ekonomik değeri yüksek olan kolemanit, 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 özgül 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 gölssel 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.

BOR ELEMENTİNİN JEOKİMYASAL DAVRANIŞI, YATAKLARIN DAĞILIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Atom ağırlığı çok küçük (10.811) olan bor elementi, metalik ve metalik olmayan (ametal) özellikler gösterir. Doğada en az bulunan ve en duraysız elementlerden birisi olan borun, yer kabuğundaki ortalama miktarının 10 ppm'den az olduğu öngörülmüştür. Buna karşın bor, her türlü jeolojik ortamda oluşan minerallerde bulunur. Borun çift yönlü özelliği, olağan



Şekil 1. A) Batı Anadolu Neojen havzaları ve bor yataklarının bulunduğu bölgeler B) Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinin Neojen stratigrafik kesitleri ve boratlı fayları

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

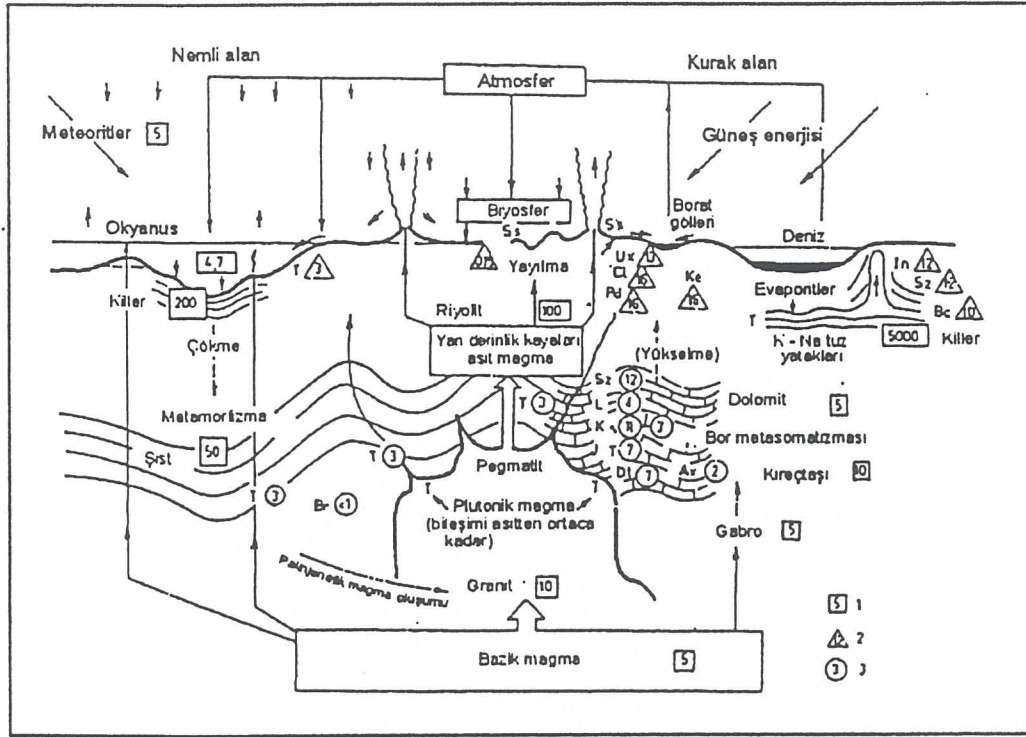
Borun yerkabuğundaki jeokimyasal dağılımı ve devirsel davranışı ile ilgili sorunlar, Goldschmidt, Landergrén, Harder ve Watanabe gibi birçok değişik araştırmacı tarafından tartışılmıştır. Diğer elementlere oranla yerkabuğunda çok az miktarda var olan borun, devirselliği ve konsantrasyonu çok ayrıntılı olarak saptanmıştır (Şekil 2).

Bor mineralleri, eser miktarlarda dünyanın birçok yerinde gözlenmişlerdir. Ekonomik 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.

Borun yerkabuğundaki dağılımı çok az olmasına karşın, belli alanlardaki bor konsantrasyonunun çok fazla olması ve 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 bağıl 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. Buna karşın Skye adasındaki (İskoçya) benzer şekilli borat yatakları ekonomik değildir.

Güney Amerika ve Japonya'daki termal sular ile Tuscany'deki (İtalya) volkanik bölgelerin yoğun volkanik gazları önemli miktarda bor içerirler. Bor yatakları çeşitli ortamlarda ve koşullarda oluşmasına karşın, ekonomik bakımdan en önemli yataklar, Tersiyer'de gelişen karasal evaporit ortamlar (kapalı havzalar) ile, kurak veya yarı kurak iklim koşullarında ve orojenik kuşaklar boyunca gelişen, andezitik-riyolitik magma ile temsil edilen geniş yayımlı genç volkanitler ile yakından ilişkilidir.



Şekil 2. Bor elementinin devirselliği ve konsantrasyonu. Borun kayalardaki bulunuşu, Goldshmidt, Landergren ve Harder'a göredir (Watanabe, 1964'den alınmıştır). 1. Borun kayalardaki ortalama içeriği (g/t); 2. Borun ekzojenik konsantrasyonu (%); 3. Borun endojenik konsantrasyonu (%); Ss-sasolit; Ux-üleksit; Cl-kolemanit; Pd-pandermit; Ke-kernit; İn-inderit; Bc;borasit; Sz-szaibelyit; L-ludvigit; K-kotoit; J-jimboit $[Mn_3(BO_3)_2]$; Dt-datolit; Ax-aksinit; T-turmalin; Br-braunit.

Dünyada bilinen ana bor yatakları için birçok yazar çeşitli jenetik sınıflamalar önermişlerdir (Meixner, 1953; Shabynin, 1957; Watanabe, 1964; Aristarain ve Hurlbut, 1972). En son sınıflama Aristarain ve Hurlbut (1972) tarafından yapılmıştır. Anılan yazarlar, borat yataklarının başlıca üç farklı ortamla ilişkili olduklarını öne sürmüşlerdir.

- Derinlik kayaları ile ilişkili yataklar
- Volkanik etkinliklerle ilişkili yataklar
- Denizel tortullarla ilişkili yataklar

A ve B türündeki yataklar ekonomik bakımdan en önemli olanlardır. Örneğin, Rusya ve Türki 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, fazla başkalaşmış 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 Akitanien; karbonatlı birimlere ise Burdigaliden 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 ayırtdılır (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 bloktaşı, kaba taneli çakıltaşı 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 çakıltası, çapraz katmanlı kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşur.

Batı Anadolu'daki gölsel tortullar egemen olarak alttan üste doğru çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, kireçtaşı ile volkanoklastik ve piroklastik bileşenlerden oluşur. Egemen kaya bileşenleri çamurtaşı, kiltası, kireçtaşı ve volkanitlerdir. İnce taneli tortullarda, varva benzeri düzgün laminalanma ve bitümlü şeyl aradüzeyleri olağandır. Farklı Neojen havzalarında yeralan gölsel kireçtaşları çoğu yerde tatlı-su alglerini ve gastropodları bol miktarda içerir. Gölsel birimler genellikle alüvyonel tortullar üzerine uyumsuz olarak gelir Helvacı ve diğ., 1987; Helvacı ve Yağmurlu, 1995).

TÜRKİYE BORAT YATAKLARININ DAĞILIMI VE JEOLÖJİK KONUMU

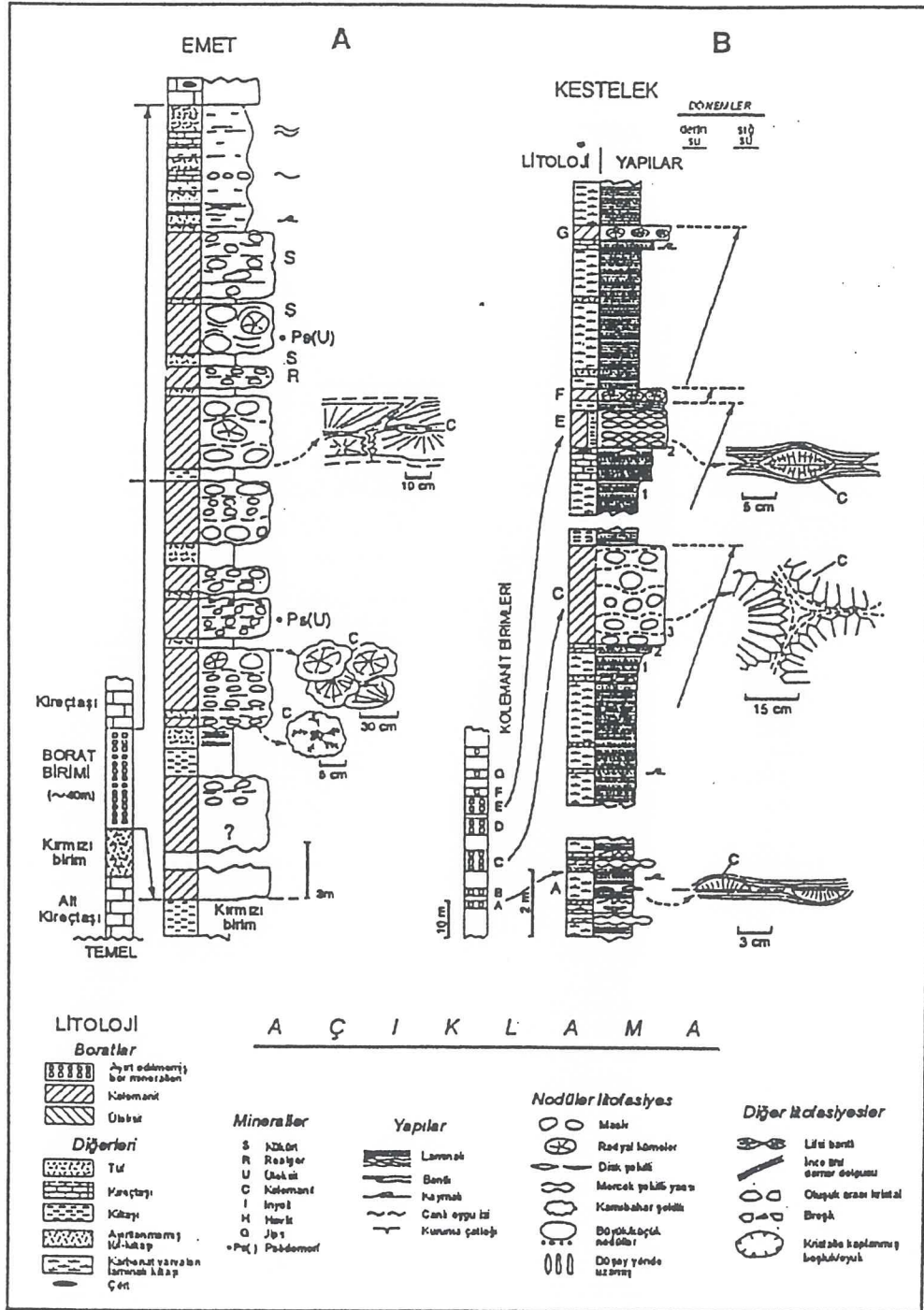
Türkiye'nin bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu'da yer almaktadır. Günümüze dek saptanmış olan borat yatakları, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayırı, Kestelek, Emet ve Kırka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

Borat yataklarını oluşturan playa göllerindeki tortulların litolojisi, birbirlerinden az çok farklılıklar göstermesine karşın, genellikle çakıltası, 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 bazı 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).

Bigadiç borat yatakları Neojen yaşlı playa göl tortullarından yapıldığı 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 istif, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı temel karmaşığı üzerine uyumsuzlukla oturur (Helvacı ve Alaca 1984; Helvacı, 1995). Alt ve üst borat yatakları, kurak iklim koşullarında, yerel volkanizmle bağlantılı olan hidrotermal çözeltiler ve sıcak su kaynakları ile beslenen sahalarda gelişmiş, ayrık veya birbirleriyle bağlantılı olabilen playa göllerinde oluşmuşlardır. Yataklar tuf, tüfit, kil, marn ve kireçtaşları ile arakatlıdır (Şekil 1).

Sultançayırı (Susurluk), Türkiye'nin bilinen en eski borat yatağıdır. Sultançayırı'ndaki Neojen istif 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 ardalanması oluşturur (Helvacı, 1994; Orti ve diğ., 1998) (Şekil 1). Bu yataklar 1954 yılında rezervin bittiği gerekçesiyle kapatılmıştır. Fakat bu bölgede daha yaygın yatakların bulunacağını kanıtlayan verilerin bilinmesi, bu bölgelerin yeniden önem kazanacağını kanıtlamaktadır (Helvacı, 1994).



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

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, mar, kireçtaşı, tuf ve aglomera ile devam eder. Daha

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		
BİGADİÇ							
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	TRAK(ANDEZİTİK 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	ALKALI 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	>2000	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

sonra ortamın tektonik duraylılık kazandığı dönemde çökelen ilk 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 riyolitik bileşimli volkanitler gelişmiştir. Bu dönemden sonra bölgedeki istif, gevşek çimentolu konglomera, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanması ile tamamlanır (Özpeker, 1969 ; Helvacı, 1994).

Emet bölgesindeki Tersiyer istifi, Paleozoyik yaşlı mermer, mikaşist, kalkışist ve kloritşist gibi metamorfik kayalar üzerine uyumsuzlukla gelir (Şekil 1). Helvacı'ya (1977) göre, bu bölgedeki istif alttan üste doğru aşağıdaki birimlerden oluşur.. (a) çakıtaşı ve kumtaşı (b) marn ve tuf mercekleri içeren ince katmanlı alt kireçtaşı, (c) ortaç ve asit volkanitler, tuf ve aglomeralar, (d) kömür ve jips bantları içeren çakıtaşı, kumtaşı, kiltası, marn ve kireçtaşından oluşan kırmızı birim, (e) borat yataklarını içeren kiltası, tuf, tüfit ve marn, (f) kiltası, 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 istifi, 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 istifi, Eosen fosilli kireçtaşları üzerine gelen tuf ve volkanikler ile başlar, üste doğru alt kireçtaşı, marn ve tuf, kiltası - borat zonu, üst kiltası, tuf, marn ve ince kömür bantları ile çört düzeyleri içeren üst kireçtaşı ve bazalt birimlerini kapsar (İnan, 1972; Helvacı, 1977; Sunder, 1980).

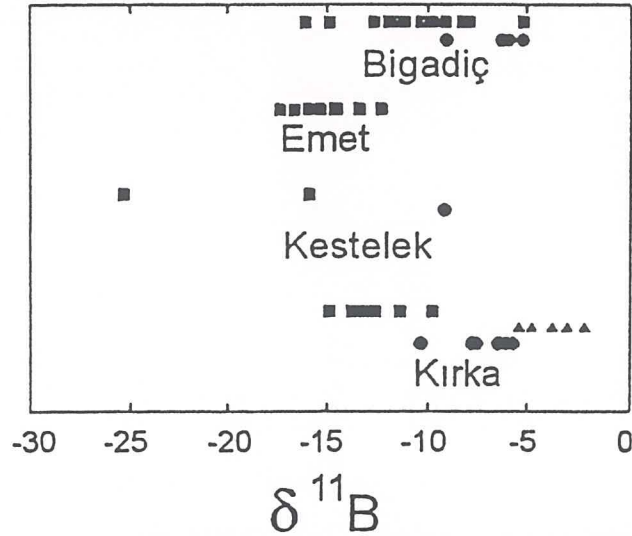
Borat yatakları, Tersiyer başlangıcından Kuvaterner'e kadar devam eden volkanik aktivitelerin yer aldığı bölgelerde, kıta-içi playa-göl tortulları içinde oluşmuşlardır. Borat yataklarının litolojisi birbirlerinden farklılıklar göstermelerine karşın, genellikle çakıtaşı, kumtaşı kiltası, tuf, tüfit, marn 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 düşüğe 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, minerolojik 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 çökelen ilk bor mineralleri Ca-boratlardır. Çökelişin 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 çözeltilerden ilksel olarak çökebileceği, kolemanitin üleksite göre daha düşük, boraksın ise üleksite göre daha yüksek pH değerlerinde çökeceği 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 çökelişine neden olurlar (Şekil 5). Buna göre Türkiye'deki Kırka yatağı dışındaki tüm yataklar eksikli bir borat istifi 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, Sultançayırı), 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).

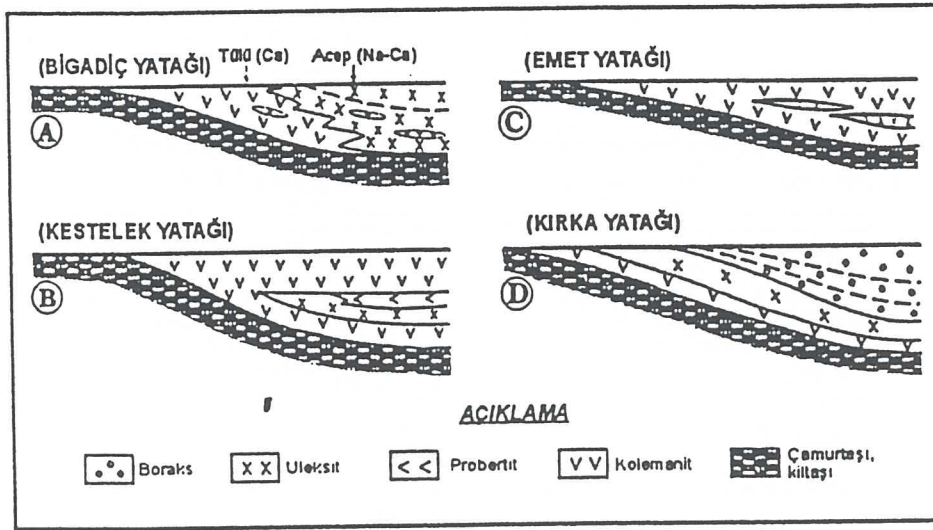


Şekil 4. Önemli bor minerallerindeki bor isotoplarının aralıkları (kareler=kolemanit, yuvarlaklar=üleksit, üçgenler=boraks) (Palmer ve Helvacı, 1997'den alınmıştır).

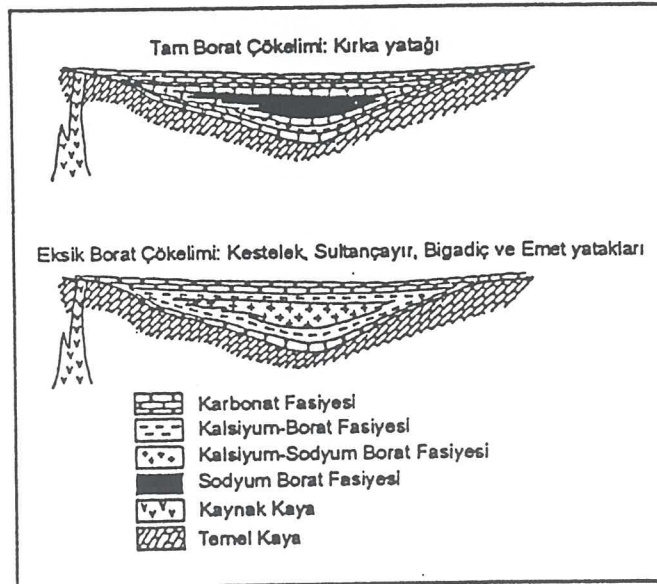
Türkiye'deki yataklarda gözlenen borat mineralleri, başlıca Ca, Na-Ca, Na ve Mg- boratlarıdır. Kırka, Emet ve Bigadiç'te ender olarak Sr-borat (tünellit) bulunmaktadır. (Baysal, 1972; Helvacı 1984, 1994, 1995; Helvacı ve Alaca 1984). Bunun yanısıra Emet yöresinde Ca-As-boratların varlığı bilinmektedir (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,

pandermit, 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, höylandit, 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 sınıflandırılması ve havzalardaki mineral fasiyeslerinin dağılımı.

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

	MİNERAL	FORMÜL	TÜRKİYE'DEKİ BOR YATAKLARI			
			BİGADİÇ	SULTANÇAYIR	KESTELEK	EMET KIRKA
Ca-boratlilar	Inyoit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 13H_2O$	+	-	-	+
	Meyerhofferit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 7H_2O$	+	-	-	+
	Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	+	+	+	+
	Terşit	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 20H_2O$	+	-	-	-
	Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$	+	+	-	+
	Üleksit	$NaCaB_3O_9 \cdot 8H_2O$	+	-	+	+
Ca/Na-boratlilar	Proberitit	$NaCaB_3O_9 \cdot 5H_2O$	+	-	+	-
	Boraks	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	-	-	-	+
Na-boratlilar	Tinkalkonit	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	-	-	-	+
	Kermit	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$	-	-	-	+
Diğer borlar						
(Mg)	Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$	+	-	+	+
(Mg)	Inderbonit	$CaMgB_6O_{11} \cdot 11H_2O$	-	-	-	+
(Mg)	Inderit	$Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$	-	-	-	+
(Mg)	Kurnakovit	$Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$	-	-	-	+
(Mg)	Rivadavit	$Na_6MgB_{24}O_{40} \cdot 22H_2O$	+	-	-	-
(Sr)	Tünellit	$SrB_6O_{10} \cdot 4H_2O$	+	-	-	+
(Sr)	Viçit-A	$Sr_4B_{22}O_{37} \cdot 7H_2O$	-	-	-	+
(As)	Temujit	$Ca_4MgAs_7B_{12}O_{28} \cdot 20H_2O$	-	-	-	+
(As)	Kahnit	$Ca_2BAsO_6 \cdot 2H_2O$	-	-	-	+
(Si)	Havlit	$Ca_4Si_2B_{10}O_{23} \cdot 5H_2O$	+	+	-	-
(Si)	Bakerit	$Ca_8B_{10}Si_6O_{35} \cdot 5H_2O$	-	+	-	-

+ var, - yok

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, 1985). Sultançayırı 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, anhidrit, jips, globerit ve kalsedondan oluşan gang mineralleri eşlik ederler. (İnan, 1972; Helvacı, 1977; 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 ve tabii kükürt Kırka yatağında görülmemektedir. Buna karşın bu mineraller bütün Emet yataklarında bol olarak bulunmaktadır. Dolomit Emet yataklarında gözlenmemektedir. 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 ve Emet yataklarında sülfid ve kükürt mineralleri her zaman bulunmaktadır (Çolak ve diğ., 2000).

Borlarla ardalanmış tuf ve tufce zengin kayalar, boratlar ile genetik ilişkisi olan zeolit, K-feldispat ve opal-CT gibi otijenik silikat minerallerince zengindirler. Karasal kapalı havzalarda, otijenik boron içeren K-feldispatların bulunması, evaporitlerin özellikle de bor minerallerinin varlığını ortaya koyan en önemli belirteçlerdir. Otijenik silikatların oluşumu ve parajenetik topluluğu için pH değerleri en az 8'den başlayıp 10 değerini geçmelidir. Borat havzalarında bor minerallerinin çökebilmesi için pH'nın 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, Sultançayırı yatağında pandermit, 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 küllerin ve 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 değillerdir 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 Numarası	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} (2μHCl)	Kf, sm, ill
B ₄	Hs, biot, sm, Kf
B ₅	cl, heul, qtz
E ₁	Kf, qtz, ill, sm, mc, hs
E ₁ (2μ)	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} (2μ)	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 = klinoptilolit, er = erionit, chab = şabazit, ac = analsit, heul = höylandit, o-CT = opal-CT. 2 μ HCl = 1N HCl ile çözünmüş 2 mikron karışım.

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

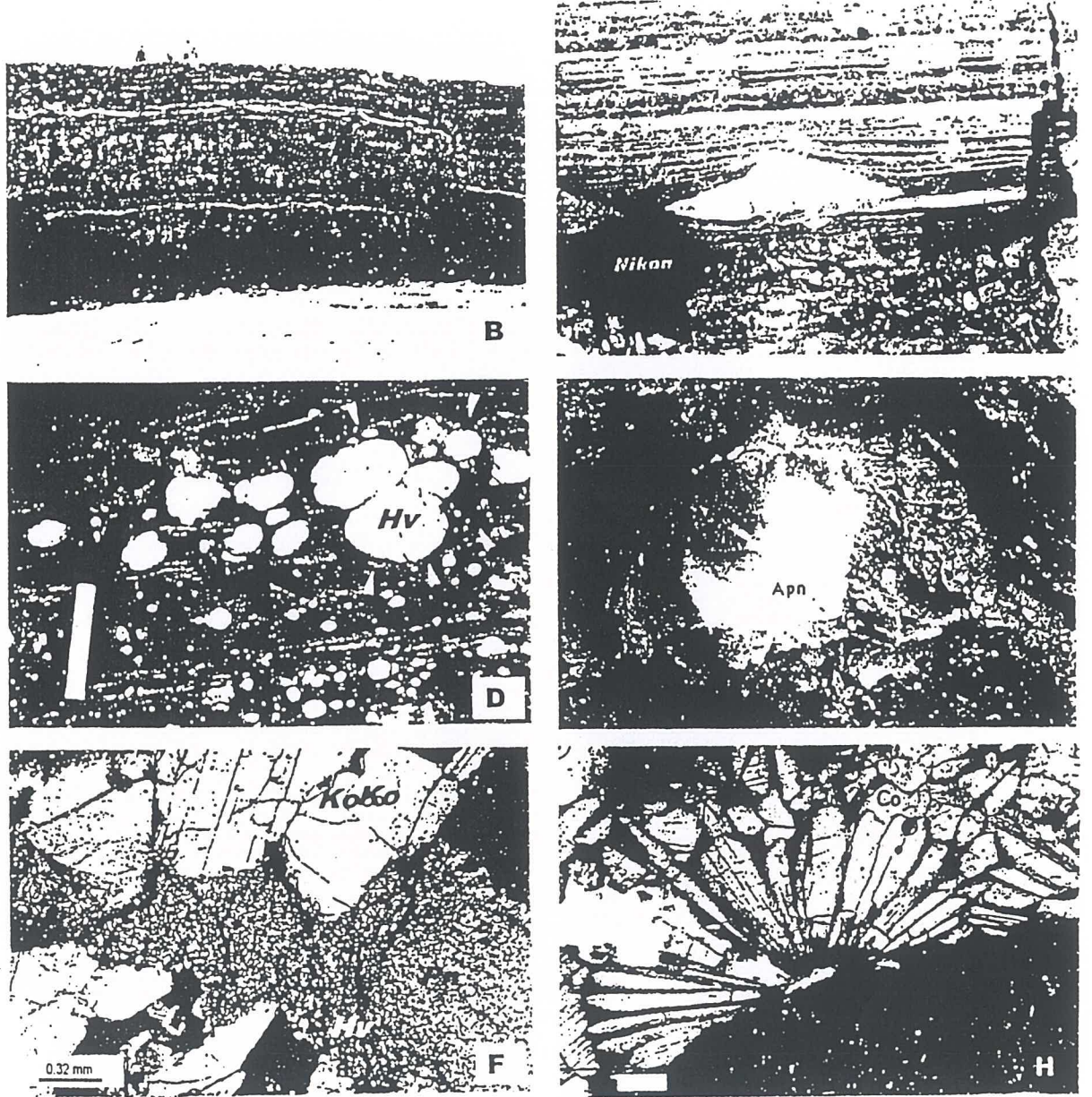
Çizelge 5. Borat yataklarının mineralojik, petrogratik ve sedimentolojik özellikleri (Helvacı ve Ortı, 1998'den alınmıştır).

ÖZELLİKLER	BORAT BÖLGELERİ, borat birimleri, yatak isimleri					EMET Espey	KESTELEK Kestelek
	Alt borat	Ustı borat			Kireçlik		
	Tolu	Acep	Simav	Kurtınmar			
MİNERALOJİ¹							
Baskın boratlar	C	U,C	U,C	C,U	C,U	C	C
Aksesuar boratlar	U	I	LM	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
	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı	Tabakalı
YATAKLANMA ŞEKLİ	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi	merceksi
KOLEMANİT	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Nodüller, bantlı-nodüller	++	+	+	+	+	++	++
Lifi-bantlı	+	-	-	-	-	-	-
Oluşuklu kristaller	-	++	-	-	-	-	-
Masiv, breşleşmiş	++	+	+	+	+	-	+
Üleksit üzerinde yerdeğiştirme	-	+	-	-	-	-	-
(nodüller, düzensiz)	++	-	-	-	-	-	-
ÜLEKSİT LİTOFASİYELERİ²							
Nodüller, bantlı-nodüller	-	++	++	++	++	-	-
Düşey uzamış	-	+++	+++	-	+++	-	-
Laminallı	-	++	-	-	-	-	-
Masiv-bantlı	-	+	-	-	+	-	-
		(Kolemanit)	Meyerhofferit	Kolemanit			
	Kolemanit	Üleksit	Üleksit	+(havlit)	Kolemanit	Kolemanit	Kolemanit
	Karbonat	Karbonat	(Kolemanit)	Karbonat	Karbonat	Karbonat	Karbonat
	Kil/varva	Kil/varva	Kil/varva	Kil/varva	Kil/varva	Kil/varva	Kil/varva
DEPOLANMA SERİLERİ³							
TORTUL YAPILAR							
İnce laminasyon, varva	++	++	+	++	-	-	+++
Yumuşak tortul kaymalar	++	++	++	++	++	-	++
Çamurtaşları	+	+	+	-	-	+	-
GÖL ORTAMI⁴	Sığ geçici	Sığ geçici	Sığ geçici	Sığ geçici	Sığ geçici	Geçici (playa)	Derin-sığ/Geçici
YERDEĞİŞTİRME							
U - C tarafından, makroskobik	-	++	-	-	-	-	-
U - C tarafından, mikronodüller	+	++	-	-	-	++	-
U - C tarafından, kalıntılar	-	++	-	-	-	++	-
I(?) - C tarafından, mikropsödomorflar	?	+	-	-	-	-	-
U - Pr tarafından, makroskobik	-	-	-	-	-	-	+
Diğerleri	-	-	-	Ca - Ce, Qz	-	Ge - C tarafından	Ar - Ca

(1) Mineraller: C, kolemanit; U, üleksit; I, inyoit; M, meyerhofferit; Hw, howlit; Pr, pricit (pandermit); Pb, probertit; Tu, tunelli; 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 siglaşan seri. (4) Borat sahasındaki göl ortamı. Kısaltmalar: +++, baskın; ++, yaygın; +, ender.



Şekil 7. Türkiye'deki borat yataklarında gözlenen bor minerallerinin genel özellikleri. (A) Nodüler-bantlı kolemanit litofasiyesi, Tülü (Bigadiç) borat yatağı. (B) Laminalı-bantlı boraks (br) litofasiyesini ornatın nodüler üleksit (Ül) minerali, Kırka borat yatağı. (C) Laminalı-bantlı jips litofasiyesini ornatın nodüler havlit (Hv) mineralleri, Sultançayırı borat yatağı. (D) Kalsit (Ka) tarafından ornatılan nodüler pandermit (Pn) minerali, Sultançayırı borat yatağı. (E) Pandermit (Pn) litofasiyesini ornatın kolemanit (Ko) mineralleri, mikroskop fotoğrafı, // nikol, Sultançayırı borat yatağı. (F) Havlit (Hv) nodülü üzerinde büyümüş fan şekilli/işınsal kolemanit (Ko) mineralleri, mikroskop fotoğrafı, // nikol, Sultançayırı borat yatağı.

karşın Türkiye'deki yataklarda bu durum yaygın olarak gözlenmez (Helvacı, 1978). Ayrıntılı çalışmalar, Ca-boratlara 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 kayaçlardan olan killere 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 kısmı kolemanit ile Mg'ca zengin killerin reaksiyonları sonucu oluşmuştur (Çizelge 6).

Diğer taraftan, Emet yataklarında ender olarak gözlenen viciit-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 Sultançayırı yataklarında gözlenen havlit minerali de diyajenez sırasında kolemanitin, çevresindeki kil ve tüfler ile reaksiyona girmesi sonucu oluşabilir (Çizelge 6).

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.

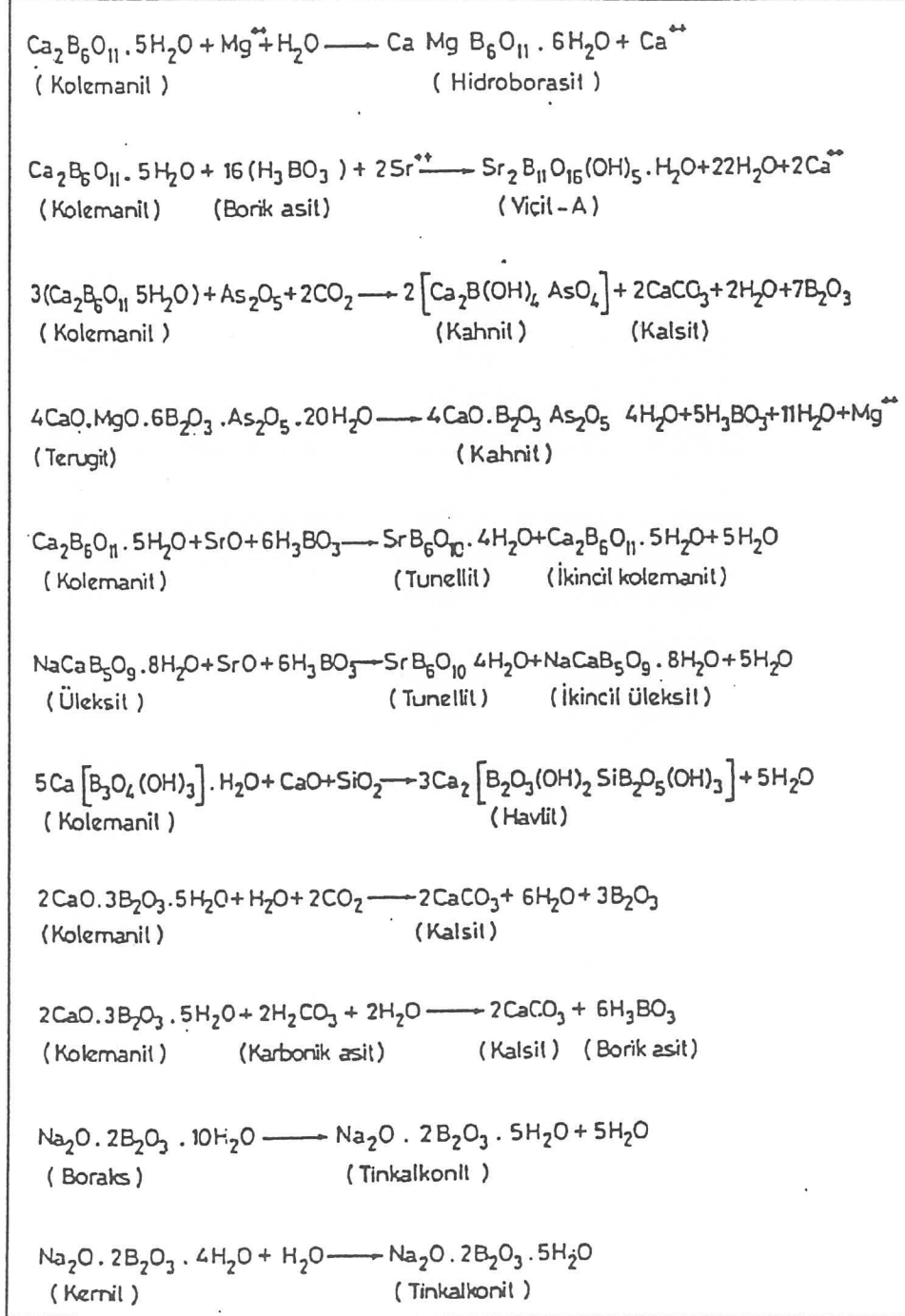
Tüm evaporit yataklarında olduğu gibi, boratlar da çok çabuk ayrışmaya uğradıklarından yüzeyde gözlenmesi oldukça zordur. Yüzeyleyen veya herhangi bir şekilde su ve hava ile teması geçen bor mineralleri çok kısa zamanda çözünürler ve ayrışırlar. Özellikle suyun ve atmosferik şartların bulunduğu ortamlarda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

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.

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 bağlantılı olabilen playa-göllerinde oluşmuşlardır. (Şekil 8). Bor yataklarını oluşturan playa-göl ortamlarının temelini genel olarak Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler ile Mesozoyik yaşlı ofiyolitik karmaşıklar teşkil ederler.

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

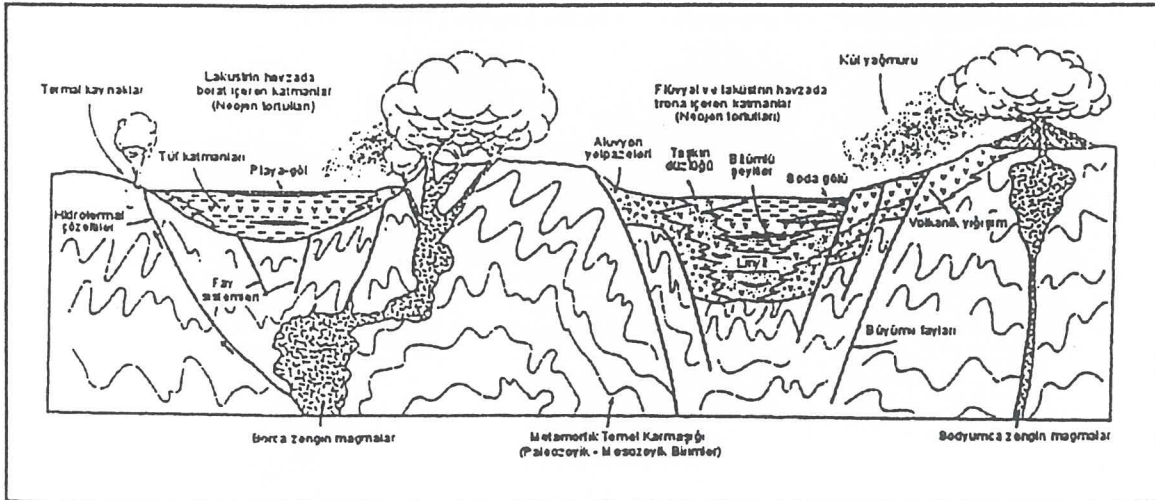


Batı Anadolu'daki Miyosen borat yatakları, geniş yayılım sunan K'lu kalk-alkalin ignimbiritik volkanizmayla birlikte bulunur. İgnimbiritik döküntü ve yeniden işlenmiş pümsü kırıntılı malzemeler, bor yataklarını barındıran göl sedimentleri ile yakından ilişkili ve ardalanmalıdır. Bu volkanik ürünler, 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 çökelişini 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 birliklerinin, 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).



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

SONUÇLAR

Dünyanın en büyük bor rezervine sahip olan Türkiye, üretim bakımından ABD'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Son yıllarda Bigadiç 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

üretim oranla çok büyük olup, en karamsar gözlemciler bile bu rezervlerin birkaç yüzyıl süre ile gerekli talepleri karşılayabileceğine inanmaktadır. Türkiye bor yatakları ile ilgili aşağıdaki 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 çöktü alanlarını, doldurmaktadır. Neojen dolgusu genellikle kırıntılı ve karbonatlı olabilen alüvyonal ve göltsel 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 yeralır. 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 göltsel 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 çökelişinden 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.
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 çökelti ve ppm mertebesinde B içeren termal kaynaklar bulunmaktadır. Halit ve trona gibi çok tipik evaporit mineralleri, Batı Anadolu borat yataklarında gözlenmemektedir.
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 göltsel tortullar içeren, volkanikliğin etkin olmadığı havzalarda depolanmışlardır. Bu havzaların kenar bölümlerindeki flüviyal tortullar içinde uranyum ve linyit yatakları oluşurken, göltsel karakterli iç kısımlarda bitümlü şeyl yatakları gelişmiştir. Volkanizmanın ve hidrotermal faaliyetin aktif olduğu havzalarda playa türü sığ göltsel 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.

KATKI BELİRTME

Şekillerin özenli bir şekilde çiziminde emeği geçen İ. GÜNDOĞAN'a, yazım işlerini gerçekleştiren Y. YÜCEL ve F. İNCEDERE'ye teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- 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 Kanozoikum Südwest Anatolians (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 marina 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.
- Erentöz, L., Öztumur, C., 1964. Apercu general sur la stratigraphie du Neogene de la Turgule et observations su ses limikes interieure et superieure: Institute "Lucas Mallada", C.S.I.C (España) Cursilles 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 stratigrafi 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., Zagouroglou, 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.
- Lutting, 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 ulexit aus neuem Turkischen boratlagerstätten, Heidelb. 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. Distrubution 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.
- 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.