



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



BOR YATAKLARINI İÇEREN NEOJEN HAVZALARININ JEOLojİK ÖZELLİKLERİ: YATAKLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ VE GELECEK ÖNGÖRÜSÜ, TÜRKİYE

GEOLOGICAL FEATURES OF NEOGENE BASINS HOSTING BORATE DEPOSITS: AN OVERVIEW OF DEPOSITS AND FUTURE FORECAST, TURKEY

Cahit HELVACI^{a*}

^a Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Tınaztepe Yerleşkesi, 35160 Buca/İzmir TURKEY

Anahtar Kelimeler:
Neojen Bor Havzaları,
İzmir-Balıkesir Transfer
Zonu, Menderes
Metamorfik Kompleksi,
Bor Yatakları, Genel
Değerlendirme, Gelecek
Öngörüsü, Batı Anadolu

ÖZ

Batı Anadolu'da bor içeren Neojen havzalarının geometri, stratigrafi ve volkanik bileşenleri, havza evrimi ve bor oluşumu ile Batı Anadolu'nun açılma koşulları arasında önemli bilgi ve ipuçları içerir. Bu bor yataklarının bir kesimi, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) boyunca gelişen KD-GB uzanımlı havzalarda (Bigadiç, Sultançayır ve Kestelek yatakları), diğer yataklar ise Menderes Masifi'nin kuzey kesiminde gelişen KD-GB gidişli hatlar boyunca gözlenen Selendi ve Emet havzalarında yer alır. Kırka bor yatağı ise daha doğuda tamamen farklı bir jeolojik ortam ve volkanostratigrafik istif içinde yer alır. Bor elementi, Yerküreyi oluşturan 92 elementten birisi olarak, tüm çevremizde mevcut olup, toprak, su, bitki ve canlılarda belli oranlarda bulunabilir. Bor doğada serbest halde bulunmaz, diğer elementler ve oksijen ile birlikte genel olarak bor tuzlarını oluşturur. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, yaklaşık iki yüz seksenden fazla bor içeren mineral tespit edilmiştir. Bunlardan sodyum, kalsiyum ve magnezyum tuzları en yaygın olanlardır. Küresel ölçekte kıtasal ortamlarda dört ana metalojenik bor bölgesi bilinir. Bunlar Anadolu (Türkiye), Kaliforniya (ABD), Orta Andlar (Güney Amerika) ve Tibet (Orta Asya)'tır. Bor yataklarının çökeltme ortamı, Senozoyik volkanizması, sıcak su etkinliği, kapalı havzalar ve kurak iklimler ile yakından ilişkilidir. Boraks, borun en önemli ticari kaynağı olmakla birlikte rezervleri Türkiye, ABD ve Arjantin'de bulunur. Kolemanit, Ca borat üretimi için ana üründür ve mevcut rezervleri Türkiye ile sınırlıdır. Datolit ve szaibelyite mineralleri Rusya ve Çin'de bulunmaktadır. Dünyada ana boraks (tinkal) yatakları, Anadolu'da (Kırka), Kaliforniya'da (Boron), ve Andlarda (Tincalayu ve Loma Blanca) bulunmaktadır. Kırka, Boron ve Loma Blanca bor yatakları mineralojik bileşim ve kimyasal özellikleri bakımından birbirleri ile benzerlikler sunarlar. Probertit ve hidroborasit içeren kolemanit yatakları Anadolu, Death Valley (Kaliforniya) ve Sijes (Arjantin) bulunur. Kuvaterner yaşlı bor oluşumları ise Andlardaki salarlarda, ABD ve Tibet'te ise playa göllerinde ve tuz tavarlarında bulunurlar. Bor, yer kabuğunda ender bir element olmasına karşın, belirli yerlerde sıradışı konsantrasyonlarda depolanabilir. Borat yataklarının oluşumu, aşağıdaki gibi sınıflandırılır: demir oksit, silikatları kapsayan intrüziyonlarla ilişkili skarn grupları; denizel evaporit çökelleri içinde oluşmuş magnezyum oksit grubu; ve playa-göl tortulları ve patlamalı volkanik aktivite ile ilişkili, sodyum ve kalsiyum bor hidratlar grubu. Volkanosedimanter playa-göl çökellerinde, ekonomik açıdan önemli bor yataklarının oluşumu aşağıdaki koşullara bağlıdır: playa-göl ortamının oluşması; playa-gölde konsantrasyon, andezitik kaynaklı riyolitik volkanikler, havza içine doğrudan kül ya da graben fayları boyunca hidrotermal çözelti taşınımı; volkanizma çevresinde sıcak su kaynakları; kurak veya yarı-kurak iklim koşulları; ve göl suyunun pH aralığı, 8.5 - 11 arasında olmasıdır. Bor mineralleri, borik oksit (B₂O₃) içeren bileşikler olarak tanımlanır. Minerallerin büyük bir kısmı bor oksit içerir. Bununla birlikte, boraks, üleksit ve kolemanit dünya çapında ticari önem taşıyan üç bor mineralidir. Bu mineraller belirli ülkelerde gözlenir. Türkiye, dünyanın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit rezervlerine sahiptir. Bütün ülkeler Türkiye'nin kolemanit ve üleksit rezervlerine bağımlıdır.

* Başvurulacak yazar: Cahit Helvacı, cahit.helvaci@deu.edu.tr

Dünya'nın en önemli ticari bor yatakları, açık ocak yöntemiyle işletilmektedir. Bor içeren tuzlu çözeltiler Searles Gölü'nden ve muhtemelen Çin kaynaklarından da benzer şekilde, buharlaştırma veya karbonlaştırma yöntemleriyle elde edilir. Borik asit bütün işlemler sonucu elde edilen son üründür. Bor mineralleri ve bunlarla birlikte bulunan mineraller üzerinde gerçekleştirilecek ileri düzeydeki mineralojik ve kimyasal araştırmalar, nihai bor ürünleri ile ilgili bilgileri geliştirecektir. Birçok gelişmiş modern endüstriler bor ve ürünlerini kullanmak zorundadır ve bor ürünlerini Dünya'da kullanmayan insan sayısı son derece azdır. Borun bitki ve diğer yaşamlar üzerinde oynadığı rolü göz önüne alınırsa, Dünya'da boru kullanmadan yaşamayı hayal etmek oldukça zordur. Bu nedenle, bor ve bor ürünleri tüm dünyada sürdürülebilir kalkınma için en önemli çalışma konularından biri olacaktır.

ABSTRACT

Keywords:
Neogene borate basins,
İzmir-Balıkesir Transfer
Zon, Menderes
Metamorphic Complex,
Borate Deposits,
Overview of Deposits,
Future Forecast, West
Anatolia.

The geometry, stratigraphy, tectonics and volcanic components of the borate bearing Neogene basins in western Anatolia offer some important insights into on the relationship between basin evolution, borate formation and mode of extension in western Anatolia. Some of the borate deposits in NE-SW trending basins developed along the İzmir-Balıkesir Transfer Zone (İBTZ) (e.g. Bigadiç, Sultançayır and Kestelek basins), and other deposits in the NE-SW trending basins which occur on the northern side of the Menderes Core Complex (MCC) are The Selendi and Emet basins. The Kirka borate deposit occurs further to the east and is located in a completely different geological setting and volcanostratigraphic succession. Boron is widely distributed; including in soil and water, plants and animals. The element boron does not exist freely by itself in nature, but rather it occurs in combination with oxygen and other elements in salts, commonly known as borates. Approximately 280 boron-bearing minerals have been identified, the most common being sodium, calcium and magnesium salts. Four main continental metallogenic borate provinces are recognized at a global scale. They are located in Anatolia (Turkey), California (USA), Central Andes (South America) and Tibet (Central Asia). The origin of borate deposits is related to Cenozoic volcanism, thermal spring activity, closed basins and arid climate. Borax is the major commercial source of boron, with major supplies coming from Turkey, USA and Argentina. Colemanite is the main calcium borate and large scale production is restricted to Turkey. Datolite and szaibelyite are confined to Russia and Chinese sources. Four Main borax (tincal) deposits are present in Anatolia (Kirka), California (Boron), and two in the Andes (Tincalayu and Loma Blanca). Kirka, Boron and Loma Blanca have similarities with regard to their chemical and mineralogical composition of the borate minerals. Colemanite deposits with/without probertite and hydroboracite are present in west Anatolia, Death Valley, California, and Sijes (Argentina). Quaternary borates are present in salars (Andes) and playalakes and salt pans (USA-Tibet). Boron is a rare element in the Earth's crust, but extraordinary concentrations can be found in limited places. The formation of borate deposits can be classified as follows: a skarn group associated with intrusives and consisting of silicates and iron oxides; a magnesium oxide group hosted by marine evaporitic sediments; and a sodium– and calcium–borate hydrates group associated with playa-lake sediments and explosive volcanic activity. Some conditions are essential for the formation of economically viable borate deposits in playa-lake volcano-sedimentary sequences: formation of playa-lake environment; concentration of boron in the playa lake, sourced from andesitic to rhyolitic volcanics, direct ash fall into the basin, or hydrothermal solutions along graben faults; thermal springs near the area of volcanism; arid to semi-arid climatic conditions; and lake water with a pH of between 8.5 and 11. A borate is defined as any compound that contains or supplies boric oxide (B_2O_3). A large number of minerals contain boric oxide, but the three that are most important from a worldwide commercial standpoint are borax, ulexite, and colemanite, which are produced in a limited number of countries. Turkey has the largest borax, ulexite and colemanite reserves in the world and all the world's countries are dependent upon the colemanite and ulexite reserves of Turkey. Most of the world's commercial borate deposits are mined by open pit methods. Brines from Searles Lake, and presumably the Chinese sources, are recovered by either controlled evaporation or carbonation. Boric acid is one of the final products produced from most of the processes. Further research on the mineralogy and chemistry of borate minerals and associated minerals will the production and utilization of borate end-products. Many modern industries need industrial borate minerals, and many people use their products. In addition, boron is essential to plant life, and by extension, all life so it's hard to imagine our world without using it. Therefore, borates and their products are critical to the Sustainable Development of the world.

1. Giriş

Bor, Farsça burah (borak) kelimesinden türemekte olup, tarihçesi çok eskilere dayanmaktadır. Boraksın, Babilliler tarafından, yaklaşık dört bin yıl önce yüyük, muska ve bilezik yapımında kullanılmak üzere Himalayalar'dan getirilmiş olduğu bilinmektedir. Mısırlılar tarafından mumyalamada kullanılmış ve M.S. 300'lü yıllarda Çinliler boraksın sırları ile tanışmışlardır, Araplar da bundan yaklaşık üç yüzyıl sonra kullanmışlardır. Boraks, Avrupa'ya ilk olarak 13. yüzyılda muhtemelen Marco Polo tarafından daha sonrasında da Tibet ve Kaşmir tüccarları tarafından getirilmiştir.

Fransızlar, 1770'lerde Hindistan'daki Purbet Provansı'nda, ham boraksın eski adı olarak da bilinen tinkal kaynağını geliştirmişlerdir ve aynı zamanlarda İtalya, Tuscany'deki Maremma bölgesinde yer alan sıcak su kaynaklarında doğal borik asit (sassolit) tespit edilmiştir. 19. yüzyılın ortaları, borat yataklarının keşfi ve ticari gelişimi bakımından en aktif yıllar olmuştur. Özellikle, 1852 yılında, Şili'deki Salar de Ascotan borat kaynakları işletilmeye başlanmış ve birkaç yıl içinde yıllık 16.000 ton olan Dünya bor arzının çeyreğini karşılamıştır. 1856 yılında John Veatch, Kaliforniya, County Gölü ve Clear Gölü'nde boraks bulmuş ve bu olay, 1864 yılında Kaliforniya Boraks Şirketinin kurulmasının ve bor endüstrisindeki hakiyetinin başlangıcı olmuştur. Türkiye'de modern bor madenciliği, 1865 yılında Mazures Endüstri Şirketinin (Campagnie Industrielle des Mazures) Susurluk yakınlarındaki Aziziye madeninden bor üretmesi ve cevherin işlenmek üzere Fransa'ya gönderilmesi ile başlamıştır. Bor talebi, Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki büyük ölçekli yatakların işletilmesini teşvik etmiş ve orta ölçekli üreticilerin de ezilmesine neden olmuştur (Travis ve Cocks, 1984).

Bor, Dünya'da bilinen endüstri minerallerinin en ilginçleri arasında yer almaktadır. Geniş mineral grupları oluşturmakla birlikte önemli bor mineralleri sınırlı sayıda olup, kimyaları ve kristal yapıları da sıra dışı ve karmaşıktır. Borun erken keşfi, madenin çıkarılması ve işlenmesi süreçleri etkileyicidir. Çünkü uzak lokasyonlarda bulunması çoğu kez fazladan zorluklara yol açmakta ve istenilen ürünün eldesini zorlaştırmaktadır. İşçilerin Himalaya bölgesindeki göllerden ürettikleri boraks daha sonra koyun ve keçilerin taşıdığı torbalar ile Himalyalardan, "Dante's Inferno (Dante'nin Cehennemi)" diye adlandırılan Larderello borik asit bacalarından, Amerika Birleşik Devletleri'nin batısındaki çok renkli 20 çift katır takımı ile pazarlara taşınmıştır (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 2005).

Türkiye'de bor madenciliğinin ilk tarihçesi Roma dönemlerine uzanmaktadır. 1800'lerin sonundan bu yana, Türkiye'de önemli miktarda bor üretilmiştir. 1885 yılında, bir Fransız şirketi, Balıkesir ilinde yer alan Sultançayır madenini işletmiştir. 1887'den beri üretim kayıtları mevcuttur ve bu kayıtlar, savaş dönemleri hariç üretimin, günümüze kadar devam ettiğini göstermektedir. 1954 yılına kadar olan tüm kayıtlar, Sultançayır madenine aittir, ancak 1950 yılından bu yana gerçekleştirilen kapsamlı arama çalışmaları da çok sayıda önemli yeni yatakların bulunmasıyla sonuçlanmıştır. Balıkesir ilindeki Bigadiç yatağı 1950 yılından beri işletilmektedir ve Bursa ilinde yer alan M. Kemalpaşa (Kestelek) yatağından esas üretim ise 1952 yılında başlamıştır. Kütahya'daki Emet bor yatağı ise, 1956 yılında MTA'nın bölgede gerçekleştirdiği linyit arama çalışmaları sırasında Dr. J. Gawlik tarafından şans eseri keşfedilmiştir. Yatağın keşfinden sonra, Emet bor yatağı batı dünyasının esas kolemanit kaynağı olmuştur. Sonuç olarak, en çarpıcı keşif, tahmini rezervi, Kaliforniya'daki Boron yatağından birkaç kez daha büyük olan ve masif boraks külesine sahip Kırka bor yatağıdır (Arda, 1969; İnan, 1972; Baysal, 1972; Travis ve Cocks, 1984; Dunn, 1986; Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 2005). Bununla birlikte, günümüzde, Türkiye'deki bor madenciliği dört bölge ile sınırlıdır. Bunlar: Emet, Kırka, Bigadiç ve Kestelek'tir. Türkiye, halen en fazla bor minerali üreticisi konumundadır ve dünyadaki en büyük bor rezervlerine sahiptir. 1980 yılında üretim iki kattan fazlaya, bir milyon tonun üzerine (yaklaşık 1.500.000 ton) çıkmış ve daha fazla gerçekleşen artışlar, özellikle Kırka'daki boraks üretimi, Türkiye'nin muhtemelen dünya pazarlarına hakim olmasıyla sonuçlanmaktadır. Türkiye, Dünya'nın en büyük kolemanit üreticisidir ve kolemanitin büyük bir kısmı Emet vadilerinden gelmektedir (Örneğin; 2011 yılında 2500 metrik ton). Eti Maden İşletmeleri, 2013 yılında, dünya bor pazarındaki payını % 36'dan % 39'a çıkartmayı ve üretim aralıkları ve üretim tesislerini de genişleterek, satışlarını 1 milyar dolara artırmayı planlamıştır.

Bor elementinin kimyası ve tepkimesi de ilginçtir çünkü bitmeyen çeşitlilikte basit ve fazlasıyla karmaşık moleküller olarak oluşan çok çeşitli oksijen bileşikleri oluşturmaktadır. Kristal yapılarının belirlenmesi, ayrı bir kristalografi alt dalına yol açmıştır. Doğada fazlasıyla çeşitlilik gösteren bor elementinin izotopları, ¹⁰B ve ¹¹B ve onların fiziksel ve kimyasal değişimler sırasındaki farklı reaktiviteleri, bunların, birçok jeolojik ve diğer olayları tahmin etmekte kullanılan önemli araçlar olduğu anlamına gelmektedir.

Boratlar, endüstride, borik asit (B_2O_3) içeren veya temin eden herhangi bileşikler olarak tanımlanırlar. Çok sayıda mineral borik asit içerir fakat tüm dünyada ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır; boraks, üleksit, kolemanit. Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacının yaklaşık % 90'nını karşılayan başta Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere çok sınırlı sayıda ülkelerde üretilmektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde üretim Kaliforniya'daki Moja ve Gölü'nden; boraks ve kernit ise Boron'daki büyük yataklardan çıkarılmaktadır. Searles Gölü'nden, borat içeren salamuralar pompalanır ve Death Valley bor yataklarından da sınırlı miktarda kolemanit çıkarılır. Arjantin, Bolivya, Şili ve Peru ortak sınırının yakınında yer alan yüksek Andlar'daki 885 km lik trend boyunca yaklaşık 40 borat yatağı bulunmaktadır. Bunlardan en azından 14 tanesinde halen üretim devam etmektedir. Türkiye'deki bor üretimi, ulusal maden kurumu olan Eti Maden İşletmeleri tarafından yapılmakta olup, kurum, ticari olarak Bigadiç ve Emet bölgelerinden üleksit ve kolemanit, Kırka'daki büyük yataklardan da boraks tedarik etmektedir (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı, 2005).

Dünya'da bilinen en önemli bor yatakları Batı Anadolu'da yer almakta ve oluşumları bakımından da çok sayıda makalenin konusunu oluşturmaktadır (Örneğin; İnan, 1972; Baysal, 1972; Helvacı, 1983; 1984; 1986; Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 1995; Palmer ve Helvacı, 1995; 1997; Helvacı ve Orti, 1998; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı, 2004; 2005). Bu yataklar, Batı Anadolu'yu etkileyen şiddetli magmatik aktivitelerin yer aldığı dönemlerde, Tersiyer yaşlı gölsel (lakustrin) havzalarda depolanmıştır. Bu yataklar volkano-sedimanter kayaçlarla aratabakalıdır (interbedded) (Floyd vd., 1998; Helvacı ve Alonso, 2000). Borat yatakları ve onunla ilişkili sedimanter kayaçlar playa-göl ortamında depolanmıştır. Kendi aralarında bazı farklılıklar gösterirler ve bunlarla ilişkili sedimanter kayaçlar esas olarak kilaşı, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşurlar.

Bu çalışmada, bor içeren Neojen havzaların ana hatlarını belirlemek için bu bor havzalarına ait yeni stratigrafik, volkanik ve tektonik gözlemler sunulacak ve Batı Anadolu'daki bor oluşumlarının tektonostratigrafik gelişim modelini oluşturmak için diğer havzalardan elde edilen veriler ile karşılaştırılacaktır.

2. Jeoloji

Batı Anadolu, Ege açılma provensinin en doğu kısmı, hem bilimsel hem de ekonomik anlamda Dün-

ya'da araştırılan en önemli bölgelerden biridir (Helvacı ve Yağmurlu, 1995; Helvacı ve Alonso, 2000; Ersoy vd., 2014). Batı Anadolu'nun jeolojik tarihçesi Alpin-sıkışmalı ve bunu takip eden açılmalı tektonik ile ilişkilidir. Bölge aynı zamanda çok sayıda endüstriyel hammadde (borat, zeolit, kil, kömür vd.) ve metalik maden yatakları da (Au, Ag, Pb, Zn vd.) içermektedir. Bu ekonomik maden yatakları, Oligosen sonrası gelişen Alpin açılma tektoniği ile esas olarak ilişkilidir. Bu zaman aralığı, şiddetli kabuksal deformasyon, plütonik-volkanik faaliyet, karasal sedimantasyon ve bunlara eşlik eden altın, gümüş ve bor gibi metalik maden ve endüstriyel hammadde yatakları ile temsil olunmaktadır. Bölgede, Neojen volkano-sedimanter birimler içinde hem altın hem de bor yatağı içeren alanlar, bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır (Helvacı ve Alonso, 2000; Yiğit, 2009).

2.1. Batı Anadolu'daki Neojen Havzaların Genel Özellikleri

Batı Anadolu, klasik açılma tektoniği ile ilgili çok sayıda jeolojik çalışmalarının odağı konumundadır. Batı Anadolu'yu karakterize eden KD-GB gidişli Neojen volkano-sedimanter havzalar, Menderes Masifi'nin bölgedeki Neojen açılma tektoniğine maruz kalan ve progresif olarak yükselmiş orta kabuk metamorfik birimi- kuzey kısmında yer almaktadır (Yılmaz vd., 2000; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2014). KD-GB gidişli havzalar Bigadiç, Gördes, Demirci, Selendi, Emet, Güre ve Uşak havzalarıdır. Bu sahalarda çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiş ve bu KD-GB gidişli volkano-sedimanter havzaların stratigrafik ve tektonik gelişimiyle ilgili olarak çeşitli araştırmacılar tarafından farklı gelişimsel modeller önerilmiştir. KD-GB gidişli havzalar, Geç Miyosen'deki KD-GB ve KB-GD gidişli faylanmalar ve Pliyosen-Kuvaterner'deki D-B gidişli normal faylanmalarla deforme olmuştur. Bölge, en azından erken Miyosen'den beri K-G yönünde açılmaktadır ve bu açılma episodik olarak birkaç fazda oluşmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalar havza oluşumu ile Menderes Masifi'nin progresif yükselimi arasında zaman ve mekan bakımından yakın ilişki olduğunu göstermiştir (Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2014).

Batı Anadolu'daki Neojen havzaların stratigrafik, tektonik ve volkanik bileşenleri, havza evrimi ve bor oluşumu ile Batı Anadolu'nun açılma durumu arasında önemli bilgi ve ipuçları içermektedir. Günümüz yapılandırılmalarıyla (konfigürasyon), Batı Anadolu'da başlıca iki tip Neojen havza tanımlanmaktadır: (a) KD-GB ve (b) ~D-B gidişli havzalar. KD-GB gidişli havzaların stratigrafik ve tektonik özellikleri, bu

havzaların gelişiminin daha karmaşık olduğunu göstermektedir. D-B gidişli havzalar, ~K-G açılma tektoniği altında halen deforme olan tipik grabenlerdir (Ersoy vd., 2014).

Menderes Çekirdek Kompleksinin (MÇK) kuzey kenarında oluşan KD-GB gidişli havzalar Demirci, Selendi, Uşak-Güre ve Emet havzalarıdır. MÇK üzerinde oluşan havzalar ardışık supra-ayrılma (detachment) havzaları olarak gelişmişlerdir ve başlıca iki sedimanter istif içerirler: Erken Miyosen Hacıbekir Grubu ve Erken-Orta Miyosen İnay Grubu (Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2011). Ayrıca, İzmir-Balkesir Transfer Zonu (İBTZ) (Kestelek, Sultançayır, Bigadiç ve Gördes havzaları) boyunca gelişmiş KD-GB gidişli havzalar da bulunmaktadır. İBTZ’da gelişmiş olan bu havzaların sedimanter dolguları, farklı istiflere işaret etmekte ve doğrultu atımlı faylar ve normal faylar ile kontrol edilmektedir (Helvacı vd. 2006; Ersoy vd., 2012).

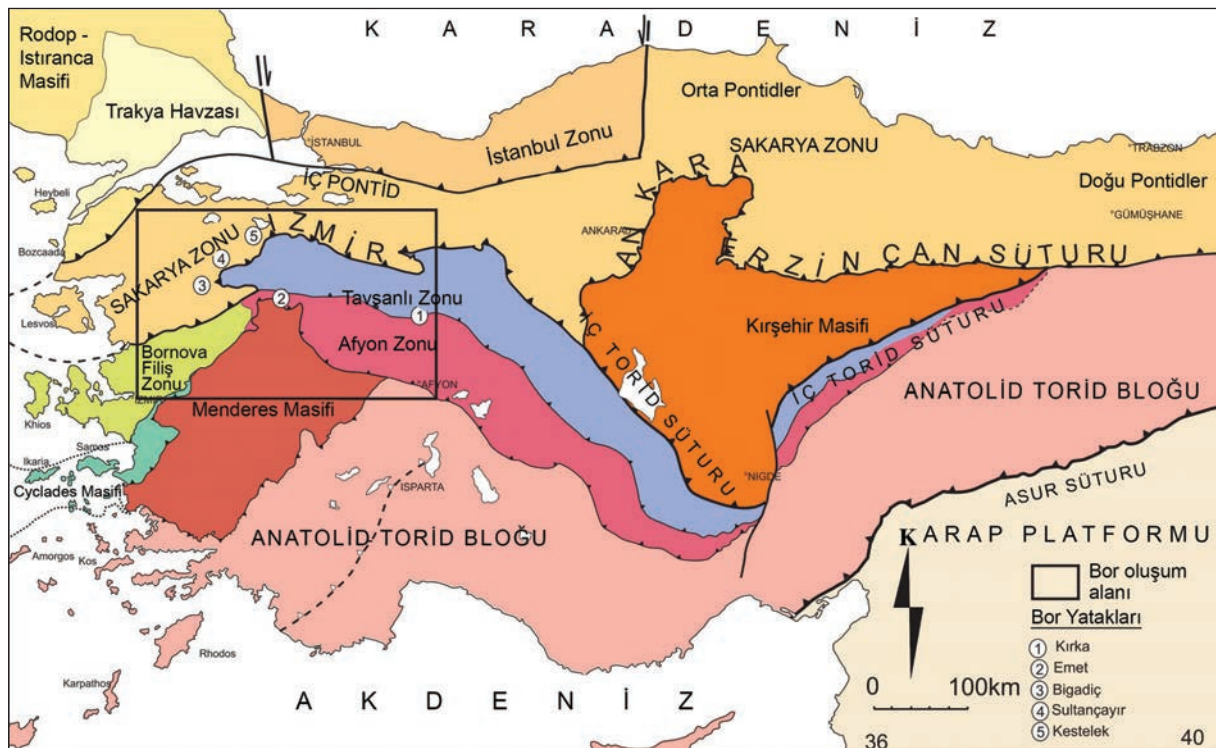
2.2. Neojen Havzaların Temel Birimleri

Ege-Batı Anadolu Bölgesi, günümüzde Vardar-İzmir-Ankara Kenet Zonu olarak işaretlenen Neo-Te-

tiş'in kuzey kolu tarafından ayrılmış, çok sayıda kıtasal bloktan oluşmaktadır (Şekil 1; Şengör ve Yılmaz, 1981). Vardar-İzmir-Ankara Kenet Zonu kuzeyde Sakarya kıtasını ve güneyde de Anatolid-Torid bloğunu ayırmakta olup, Geç Mesozoyik yaşlı kuze-ye dalımlı dalma-batma ve yığılşım sonucu oluşmuştur (Şekil 1; Şengör ve Yılmaz, 1981). Bölgenin en güney kesiminde, Afrika plakasının, Helenik çukuru boyunca dalması ile oluşan, güney Ege volkanik yayı yer almaktadır (Pe-Piper ve Piper, 2007).

Batı Anadolu'nun jeolojisi Tersiyer yaşlı volkanosedimanter çökeller ile temsil edilmekte olup, bu çökel birimler, çok sayıda kıtasal parça ve kenet zonundan oluşan temeli doldurmuştur. Batı Anadolu'nun Geç Senozoyik tektoniği ve magmatik aktivitesi oldukça karmaşıktır. Temel birimler: (1) Menderes ve Cycladic Masifi, (2) İzmir-Ankara Zonu (a) Bornova Fliş zonu, (b) Afyon zonu ve (c) Tavşanlı zonu; (3) Kuzeyde Sakarya zonu kayaçları ve (4) Güneyde Likya naplarından oluşmaktadır (Şekil 1; Şengör ve Yılmaz, 1981).

Bölge, kıtasal bloklar ve suture zonları arasında gerçekleşen dalma-batma, üzerleme (obduction), kı-



Şekil 1- Kuzeydoğu Akdeniz'in kenet kuşakları ve kıtasal bloklarını gösteren tektonik haritası. Kenet kuşakları kalın çizgiler, eski yitim zonu polaritesi içi dolu üçgenle gösterilmektedir. Sakarya ve Tavşanlı zonu plütonik kuşağı mor renkte gösterilmektedir. Harita, Şengör (1984), Okay (1989) ve Okay vd. (1994, 1996)'nın haritaları kullanılarak, Helvacı vd. (2014) tarafından değiştirilmiştir.

tasal çarpışma ve bunu izleyen kabuksal kalınlaşma, genişleme ve kabuksal incelme gibi oldukça fazla tektonik olaya maruz kalmıştır (Şekil 1). Bu olaylar, en sonunda, Neo-Tetis olaylarına bağlı Alpin orojenezine ile şekillenmiştir (Örneğin; Şengör ve Yılmaz, 1981). Başlıca kıtasal bloklar, kuzeyden güneye şu şekilde sıralanırlar: Rodop-Pontid parçasının Sakarya zonu ve Anatolidler'deki Menderes Masifi. Bu iki blok, kuzeye dalımlı Neo-tetis okyanusunun kapanımını temsil eden İzmir-Ankara kenet zonu ile birbirinden ayrılmaktadır. Menderes Masifi, güneyde Likya napları tarafından üzerlenmektedir. İzmir-Ankara zonu, Sakarya kıtası ile Anadolu bloğu arasındaki Neo-Tetis okyanusunun kuzey kolunun, Geç Paleosen-Erken Miyosen'de kapanması ile oluşmuştur. Sonrasında da Menderes Masifi ve Likya naplarını içermektedir (Şengör vd., 1984; Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay vd., 1996). Menderes Masifi kuzeyde İzmir-Ankara zonunun napları, doğu ve güneyde ise Likya napları tarafından tektonik olarak üzerlenir. Batıda, naplar genellikle Bornova fliş zonunun ofiyolitik kayalar ile grovak ve kireçtaşlarından oluşurken, kuzeydoğuda, Afyon zonunun metaklastik, metabazit ve rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır.

İzmir-Ankara zonu Bornova fliş zonu, Afyon zonu ve Tavşanlı zonunu kapsamaktadır. Bornova fliş zonu, yoğun deformasyon geçirmiş, Üst Maestrihtiyen-Paleosen yaşlı grovak ve şeyler ile çapları birkaç kilometre olan Mesozoyik neritik kireçtaşı blok ve dilimlerinden oluşur (Okay vd., 1996). Tavşanlı zonu, Anatolid-Torid platformunun pasif kıta kenarının kuzeye dalımıyla oluşan bir mavişist kuşağıdır (Okay vd., 1996). Afyon zonu, yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş şelf türü Devoniyen-Paleosen yaşlı sedimanter istif içerir.

2.3. Neojen Havzalar ve Batı Anadolu Volkanizması

Menderes Masifi'nin yüzeylemesi, kuzey kesimde KD-GB gidişli birçok havzanın (Demirci, Selendi, Güre ve Emet havzaları) oluşmasına ve beraberinde batıda da İzmir-Balıkesir Transfer zonu boyunca doğrultu atımlı faylar ile bunlara bağlı havza oluşumlarına neden olmuştur (Örneğin; Gördes havzası; Bozkurt, 2003; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2011). Miyosen yaşlı volkanik kayalar, Menderes Masifi'nin metamorfik kayalarında gelişen KD-GB gidişli supra-ayrılma havzalarında oluşmuştur (Yılmaz, 1990; Yılmaz vd., 2000; Hekvacı vd., 2009; Karaoğlu vd., 2010; Ersoy vd., 2010, 2011; Ersoy vd., 2012).

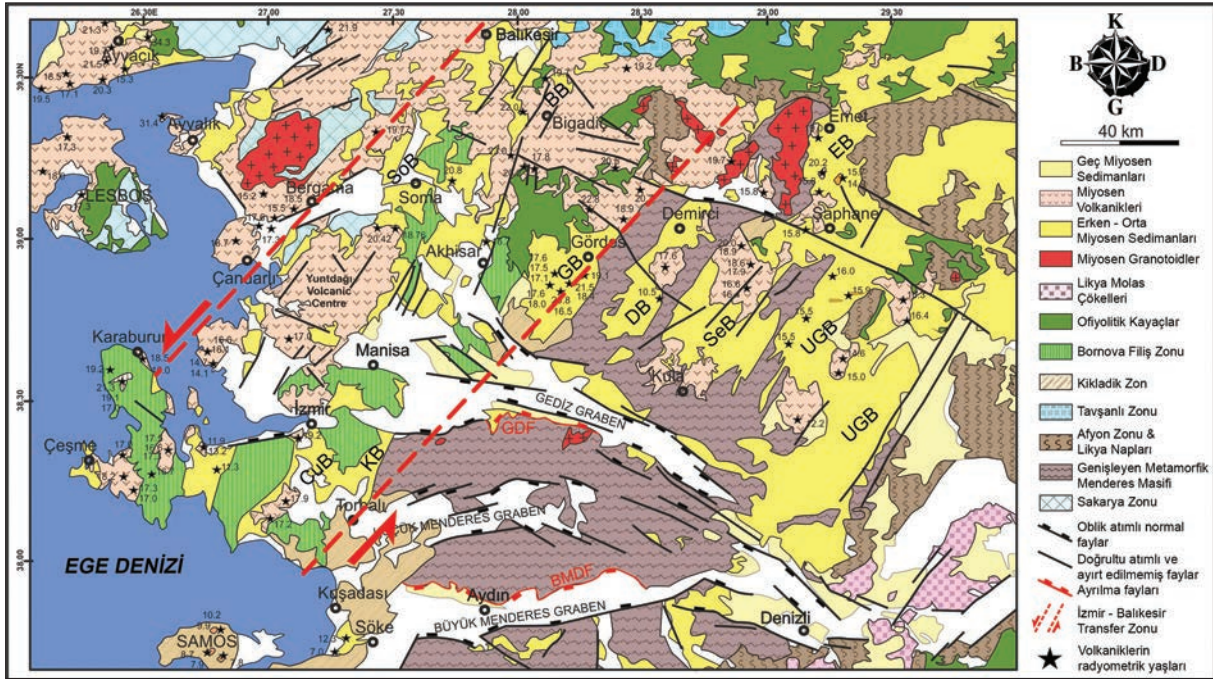
Batı Anadolu'nun Neojen'deki jeolojik evrimi, havza oluşumu ve bununla eş zamanlı yaygın volka-

nik faaliyet ile karakterize edilir. Bölgedeki havzalar, başlıca iki yönde gelişmiştir: KD ve D-B gidişli havzalar. Başlıca KD-gidişli havzalar; Bigadiç, Gördes, Demirci, Selendi ve Uşak-Güre havzalarıdır, D-B gidişli havzalar ise etkin bir deformasyonun olduğu Simav, Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes grabenleri ile karakterize edilmektedir. D-B gidişli havzalar yaş olarak daha gençtir ve KD gidişli havzaları kesmektedir (Şekil 2).

Batı Anadolu'daki bu havzaların gelişimiyle ilgili çok sayıda model önerilmiştir. Bunlar, çapraz-graben modeli, orojenik çökme modeli, iki aşamalı episodik genişleme modeli ve darbeli genişleme modelidir (Şengör, 1987; Seyitoğlu ve Scott, 1996; Purvis ve Robertson, 2004). Bu makalenin de esas konusu olan KD-GB gidişli havzalar, Dünya'daki önemli bor yataklarına ev sahipliği yapmaktadır. Batı Anadolu'daki genişlemeli havzalar, genişlemeli tektonik ortam ve yüksek ısı akıları nedeniyle jeotermal enerji kaynakları bakımından da zengindir (Çemen vd., 2014).

Batı Anadolu'daki Geç Oligosen-Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar kimyasal bileşimlerine göre iki gruba ayrılmaktadır (Yılmaz, 1990; Güleç, 1991; Seyitoğlu ve Scott, 1992; Ercan vd., 1996; Seyitoğlu vd., 1997; Yılmaz vd., 2000; Aldanmaz vd., 2000). Geç Oligosen-Erken Miyosen dönemi magmatik kayaları riolit-bazaltik andezit bileşimde olup, kalk-alkali ve şosonitik karakter göstermektedir. Bu kayalar, büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) ve hafif nadir toprak elementlere (HNTE) kıyasla, ağır nadir toprak elementler (ANTE) bakımından zenginleşmiştir ve daha yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve düşük $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop bileşimine sahiptir (Örneğin; Bingöl vd., 1982; Güleç, 1991; Aldanmaz vd., 2000). Batı Anadolu'da Orta Miyosen'in sonundan Geç Miyosen'in başlangıcına kadar olan dönemde volkanik aktivitede bir boşluk bulunmaktadır (Yılmaz, 1990). Volkanik kayalar genel olarak Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşındadır ve bileşim bakımından daha bazik olup, alkali karakterdedir. Bu kayalar, ANTE bakımından tüketilmiş ve yüksek çekim alanlı elementler (HFSE), LILE, orta nadir toprak elementler (ONTE) ve HNTE bakımından zenginleşmiştir. Geç Miyosen-Erken Pliyosen volkanik kayaları düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve yüksek $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotop bileşimine sahiptir (Güleç, 1991). Ayrıca, Miyosen-Pliyosen alkalin bazaltik volkanizması potasik bileşimden sodik bileşime geçiş göstermektedir (Örneğin; Kula volkanitleri: Güleç, 1991; Alıcı vd., 2002; çizelge 2 ve şekil 8).

Jeolojik bulgular, bölgedeki magmatik faaliyetin gelişiminin çarpışma sonrası genişlemeli tektonik ile



Şekil 2- Batı Anadolu'nun jeoloji haritası. Haritada, Neojen havzalar, Neojen sedimanlarla arakatlı volkanik kayaçların radyometrik yaşları ve başlıca yapılar gösterilmektedir (Türkiye, 1/500.000 ölçekli haritası (MTA); metinde değinilen çalışmalardan değiştirilmiştir). Granitoyitlere ait kısaltmalar: EyG: Eybek, KzG: Kozak, AG: Alaçam, Kog: Koyunoba, EG: Eğrigöz, BG: Baklan, TG: Turgutlu ve SG: Salihli granitoyitleri. Havza kısaltmaları: KB: Kocayay Havzası, BB: Bigadiç Havzası, CuB: Cumaovası Havzası, SoB: Soma Havzası, GB: Gördes Havzası, DB: Demirci Havzası, SeB: Selendi Havzası, UGB: Uşak-Güre Havzası, EB: Emet Havzası. Sıyrılma fayı kısaltmaları: GDF: Gediz (Alaşehir) Sıyrılma Fayı, SDF: Simav Sıyrılma Fayı, BMDF: Büyük Menderes Sıyrılma Fayı (Ersoy vd., 2014'ten).

ilişkili olduğunu ve KD-GB gidişli Miyosen volkanik kayaçlarının da, Menderes Masifi'nin çekirdek kompleksi modeli olarak Erken-Orta Miyosen'de episodik yüzeylenmesi sırasında yerleştiğine işaret etmektedir. Menderes Masifi Erken-Orta Miyosen'de kuzeyden başlayıp güneye devam ederek asimetrik olarak yükselmiş ve çökmüştür. Bu zaman aralığında yüksek potasyumlu kalkalkali, şoşonitik ve ultrapotasik volkanik kayaç grupları oluşmuştur. Jeokimyasal veriler, manto kökenli yüksek potasyumlu kalkalkali kayaçların oluşumunda kabuksal katılımın varlığını ortaya koymaktadır. Erken Miyosen'de riyolitler egemen kayaçlar iken, Orta Miyosen'de daha primitif andezitler gözlenmektedir. Aynı zamanda, utrapotasik ve şoşonitik volkanik kayaç miktarında gözlenen hızlı bir artış litosferik incelleme modeli ile uyumludur (Ersoy vd., 2012).

KD gidişli havzalarda Geç Senozoyik volkanik aktivitesi esas olarak Erken-Orta Miyosen yaşlı orta kalkalkali-felsik volkanik kayaçlar ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı alkali volkanizma ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte, Bigadiç havzasında, Erken Miyosen yaşlı alkali bazaltik volkanizma belgelenmiştir (Hel-

vacı ve Erkül, 2002; Helvacı vd., 2003; Erkül vd., 2005b). Veriler, alkali volkanizmanın, doğuda, KD gidişli havzalarda Erken Miyosen'de başladığını ve alkali lamproitik volkanik kayaçların da katıldığını göstermiştir (Ersoy ve Helvacı, 2007).

KD-GB gidişli Neojen volkano-sedimanter havzalardaki volkanik arakatlıklar; erken Miyosen yüksek potasyumlu kalkalkali andezit, dasit ve riolit; erken Miyosen mafik volkanitler; orta Miyosen yaşlı yüksek potasyumlu kalkalkali andezit ve dasit; orta Miyosen mafik volkanitler; Geç Miyosen mafik lavlar ve Kuvaterner alkali bazaltik volkanizma olarak sınıflandırılabilir.

Bigadiç havzasındaki Erken Miyosen mafik volkanik birimler, Selendi ve Emet havzalarındaki yüksek potasyumlu Erken Miyosen mafik kayaçlarından (şoşonitik-ultrapotasik Kuzayır lamproiti ve Kestel volkanitleri) farklı olarak, Gölcük bazaltlarını (kalkalkalin şoşonitik) içerir. Tüm KD-GB gidişli havzalardaki Erken Miyosen volkanizması bimodal volkanik birliktelikler ile karakterize edilir ve kalkalkali dasitik-riyolitik üyeler egemendir. Bölgede Erken

Miyosen’de, yaygın bir dasitik-riyolitik volkanizma gelişmiştir (Helvacı ve Erkül, 2002; Erkül vd., 2005b; Ersoy ve Helvacı, 2007).

Orta Miyosen volkanizması ikinci faz bimodal volkanik birliktelikler ile temsil edilir. Bu volkanik birliktelikler, yüksek potasyumlu kalkalkali-andezit ve dasit ile lamproit, ultrapotasik şoşonit ve ultrapotasik latit gibi ultrapotasik mafik ve şoşonitik ürünlerden oluşmaktadır. Bu volkanik kayalar, Demirci, Selendi, Güre ve Emet havzalarındaki Orta Miyosen yaşlı İnay Grubu ile girik durumdadır (Ersoy ve Helvacı, 2007).

Geç Miyosen sırasında felsik magmanın yokluğu-na işaret eden bir volkanik kayaç grubu (hafif alkali bazalt, K-trakibazalt ve şoşonit) oluşmuştur ve bu kayalara sadece Demirci ve Selendi havzalarında rastlanmaktadır. Sonuç olarak, Kuvaterner dönemi, Gediz Grabeninin (Kula volkanitleri) kuzey kanadına yerleşmiş olan kuvvetli alkali bazaltik volkanik aktivite (tefrit, bazanit, fonotefrit) ile karakterize edilmektedir. Genel olarak, farklı havzalarda yer alan volkanik kayaçların, jeokimyasal özelliklerine ve püskürme yaşlarına dayanarak farklı gruplar halinde korele edilebildiği açıkça görülmektedir (Ersoy vd., 2014).

Batı Anadolu Neojen volkanik aktivitesi KD gidişli havzaların gelişimiyle eş zamanlı olarak gelişmiş ve bu durum kalın bir volkno-sedimanter istifin ve pek çok mineral yatağının oluşmasına yol açmıştır. Bu bakımdan, Neojen havzaların tektonik gelişimi, özellikle de KD gidişli olanlar, Neojen’deki volkanik gelişim ve buna bağlı mineral yatağı oluşumu çalışmalarının temel konusudur. Havza dolgularının stratigrafisi ve volkanik birimler, şekil 3’te özetlenmiştir. KD gidişli havzaların tektonik gelişiminin, Menderes Masifi’nin yüzeylemesi ile ilişkili olduğu görülmektedir. Bu safha, bölgede Erken Miyosen sırasında meydana gelmiştir. D-B gidişli grabenler, daha sonra gelişmeye başlamıştır. Her iki safhaya da volkanik aktivite eşlik etmiştir. Bu nedenle, havzaların tektonik biçimlenmesi, volkanik evrimin, bor çökeliiminin ve diğer ilişkili maden yataklarının oluşumunda önemli bir rol oynamıştır.

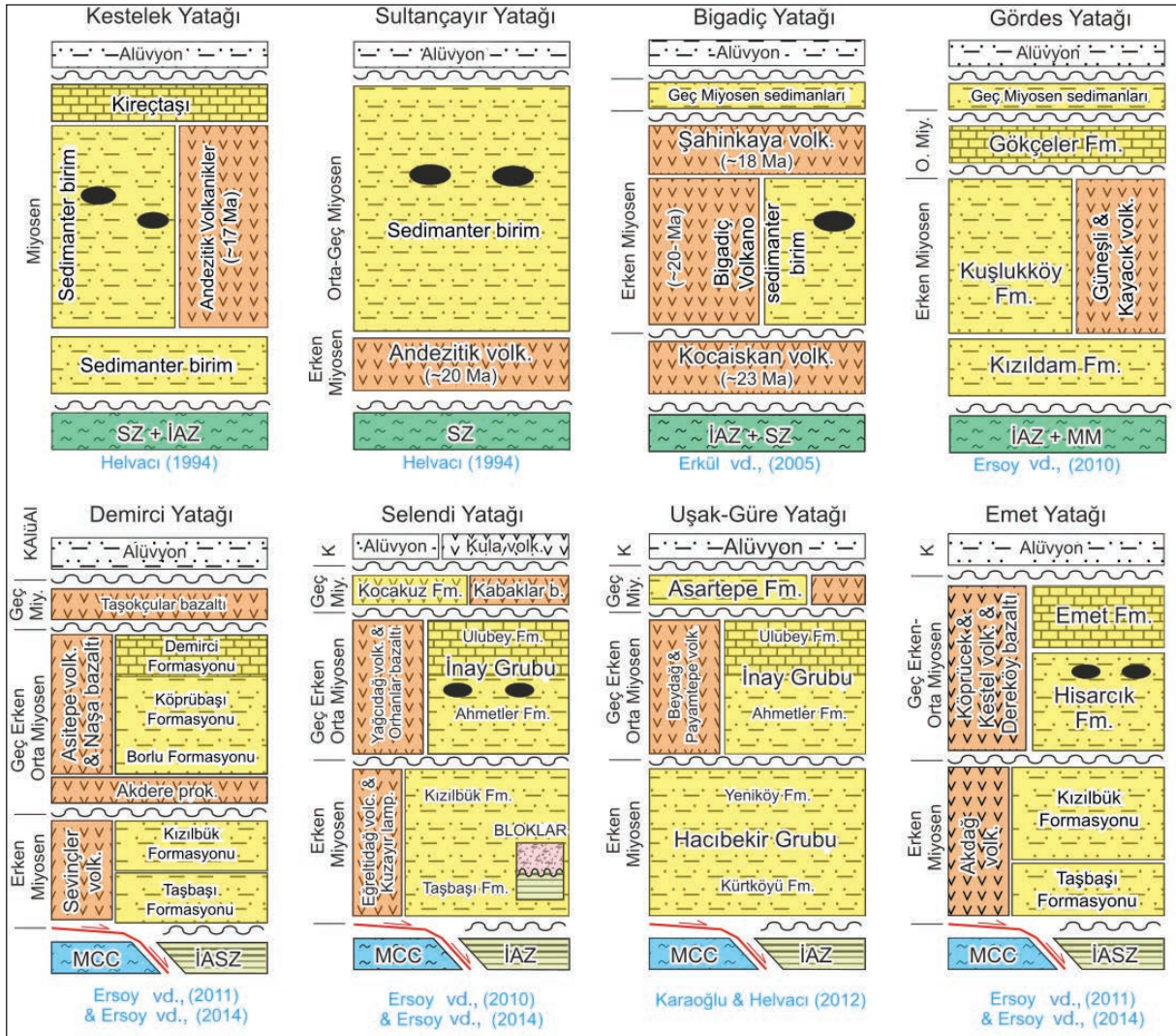
Batı Anadolu’daki Miyosen yaşlı bor yatakları orta-yüksek potasyumlu kalkalkali ignimbiritik volkanizma ve magmatizmayla eş alkali trakibazalt-trakidasit lav serileri ile ilişkilidir. İgnimbiritik patlamaya ait geri-düşme ürünleri ve yeniden depolanmış pomza parçaları, göl sedimanları içerisinde yer alan bor

yatakları ile yakından ilişkilidir. Yerel ignimbiritik volkanizma, Kırka ve diğer bor yatakları için, borun esas kaynağı olarak düşünülmektedir. Bor ile ilişkili ignimbiritlerin kimyasal bileşimi, benzer volkanik alanlarda, bor arama çalışmalarında kullanılabilen bir dizi özellik gösterir. Özellikle, “üretken (fertile)” ignimbiritler genellikle yüksek potasyumlu kalkalkali serilere aittir ve iyi gelişmiş ve fraksiyonlanmış olup (düşük K/Rb), yüksek silisli riyolitik tüm kayaç bileşimine, ayrıca yüksek B, As, F, Li ve Pb içeriğine ve yüksek Br/La ve Br/K oranlarına sahiptir. Hafif fraksiyonlanmış NTE profilleri ve kuvvetli pozitif Eu anomalileri göstermektedir (Floyd vd., 1998). Hem uyumlu hem de uyumsuz elementlerden oluşan diğer ayırtmalar, farklı kısmi ergime derecesi ve fraksiyonlanmanın bir fonksiyonudur. B ve diğer ilişkili elementlerin ilksel kaynağının, dalma-batma zonlarında, pelajik sedimanların ve altere okyanus kabuğunun dehidratasyonu ile serbest kalan LIL bakımından zengin akışkanlar olduğu öngörülmektedir. Dilimli dalma-batma zonlarındaki sediman yokluğu veya varlığı aktif kıta kenarlarındaki bor yataklarının yanall dağılımını etkileyebilir. Kabuğun önceki ve eş zamanlı dalma-batma ilişkili magmatizma ile B bakımından zenginleşmesinden sonra, tektonik ortam, iklim ve hidrotermal aktivite etkisi, yatağın lokal gelişimini etkiler (Floyd vd., 1998).

3. Bor İçeren Neojen Havzaların Stratigrafik Korelasyonu

Şekil 2 ve 3’te, Selendi, Demirci, Emet ve Güre havzalarının stratigrafik ve yapısal özellikleri, bu sahaların yakınında yer alan Kestelek, Sultançayır, Bigadiç ve Güre havzaları ile karşılaştırılmaktadır.

Bigadiç Havzasındaki Neojen volkano-sedimanter istif, Bigadiç volkano-sedimanter istifini uyumsuzlukla örten ve andezitik volkanitlerden oluşan Kocaışkan volkanitleridir (23.6 ± 0.6 - 23.0 ± 2.6 My, çizelge 1). Bunun üzerinde bor içeren gölsel (laküstrin) sedimanlar ve felsik (Kayırlar, Sındırgı ve Şahinkaya volkanitleri; 20.8 ± 0.7 - 17.8 ± 0.4 My K-Ar ve Ar/Ar yaşları) ve mafik (Gölcük bazaltı; 19.7 ± 0.4 K-Ar ve 20.5 ± 0.1 My Ar/Ar yaşları) volkanik kayalar yer alır (Helvacı, 1995; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı ve Erkül, 2002; Helvacı vd., 2003; Erkül vd., 2005a, b). Bu kayalar Geç Miyosen-Pliosen detritik ve alüvyal karasal sedimanlar tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Radyometrik yaşlar ve stratigrafik ilişkiler, bor içeren istifin Erken Miyosen’de çökeldiğini ve Gördes havzasına çok benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Şekil 3).



Şekil 3- Batı Anadolu borat havzalarının stratigrafik dikme kesiti. MM- Menderes Masifi metamorfik kayalar, İAZ- İzmir-Ankara Zonu kayalar, SZ-Sakarya Zonu metamorfik kayalar, MCC- Metamorfik Çekirdek Kompleksi (Ersoy vd., 2014'den değiştirilmiştir).

KD-GB gidişli Gördes havzası, Bigadiç havzasına benzer volkano-sedimanter istif içerir. Her iki havza da Erken Miyosen volkano-sedimanter istif ile karakterize edilir. Gördes havzasının Erken Miyosen volkano-sedimanları KD-GB gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı-oblik atımlı ve D-B gidişli eğim atımlı normal faylarla kontrol edilmiştir. Gördes ve Bigadiç havzaları Erken Miyosen'de gelişmiş transtansiyonel havzalardır (Ersoy vd., 2012). Bu çalışmada sunulan veriler, Demirci, Selendi, Emet ve Güre havzalarının benzer stratigrafik, jeokimyasal ve tektonik özelliklere sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Bu Neojen havzaların dolgu malzemeleri (a) Alt Miyosen Hacıbekir Grubu, (b) Orta Miyosen İnay Grubu, (c) yer yer Geç Miyosen sedimanter ve bazaltik volkanik ka-

yaçları ve (d) bölgesel ölçekteki ana uyumsuzlukla birbirinden ayrılan Kuvaterner sedimanlar ve bazaltik volkanitler ile temsil edilmektedir (Şekil 3; Ercan vd., 1978, 1983; İnci, 1984; Seyitoğlu, 1997a,b; Yılmaz vd., 2000; Ersoy ve Helvacı, 2007; Ersoy vd., 2010). Buna rağmen, Bigadiç ve Gördes havzaları, diğer KD-GB gidişli havzalardan farklı stratigrafik ve tektonik özelliklere sahiptir. Bu havzalar, Erken Miyosen'de gelişen doğrultu atımlı ve bununla ilişkili normal faylar boyunca depolanmış olan Erken Miyosen yaşlı volkano-sedimanter istifler ile temsil edilirler.

Menderes Çekirdek Kompleksinde gelişmiş olan KD-GB gidişli Demirci, Selendi, Emet ve Güre havzaları, Alt Miyosen yaşlı Hacıbekir Grubu ve bunu uyumsuzlukla örten orta Miyosen yaşlı İnay Grubu

Bor Yataklarını İçeren Neojen Havzaları

Çizelge 1- Batı Anadolu’da boratlı Neojen havzalarla ilişkili volkanik kayaçların radyometrik yaş verileri.

Havza ve Birim	Örnek	Kayaç türü	Radyometrik yaş (My), Malzeme	Kaynakça
Kestelek Havzası				
Sultançayır Havzası	KE-1	Trakiandezitik tüf	17.4±0.3 (hornblend, K/Ar)	Helvacı ve Alonso, 2000
	S-1	Riyolitik tüf	20.0 ± 0.5 (feldispat, K/Ar)	
Bigadiç Havzası				
Kocaiskan volkanitleri	F-110	Andezit	23.00 ± 2.80 (biyotit, K–Ar)	Helvacı ve Erkül, 2002; Helvacı vd., 2003; Erkül vd., 2005b
Gölcük bazaltı	F-199	Şoşonit	19.70 ± 0.40 (hamur, Ar–Ar)	
	F-199	Şoşonit	20.50 ± 0.10 (hamur, Ar–Ar)	
Sındırgı volkanitleri	F-194	Riyolit	20.20 ± 0.50 (biyotit, Ar–Ar)	
	F-197	Dasit	20.30 ± 0.30 (biyotit, Ar–Ar)	
Şahinkaya volkanitleri	F-195	Bazaltik andezit		
		Andezit	17.80 ± 0.40 (hornblend, K–Ar)	
Kayırlar volkanitleri	F-214	Latit	20.60 ± 0.70 (biyotit, K–Ar)	Helvacı, 1995
Çamköy bazaltı	B-6	Bazalt	18.30 ± 0.20 (feldispat, K–Ar)	
Gördes Havzası				
Kayacık volkanitleri	LB-1	Dasit	16.90 ± 0.50 (biyotit, K–Ar)	Seyitoğlu vd., 1992
	TSB	Riyolit	18.10 ± 0.50 (biyotit, K–Ar)	Purvis ve Robertson, 2005
	S2/5	Riyodasit	20.45 ± 0.38 (feldispat, Ar/Ar)	
	S2/11	Asidik tüf	21.71 ± 0.04 (biyotit, Ar/Ar)	
	S2/68	Asidik tüf	17.04 ± 0.35 (biyotit, Ar/Ar)	
Güneşli volkanitleri	861	Riyolit	18.91 ± 0.03 (sanidin, Ar/Ar)	
Demirci Havzası				
Sevinçler volkanitleri	721	Dasit	19.06 ± 0.05 (plajiyoklaz, Ar/Ar)	Helvacı ve Ersoy, 2006; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2012
	721	Dasit	19.56 ± 0.04 (biyotit, Ar/Ar)	
Asıtepe volkanitleri	717	Andezit	17.58 ± 0.09 (plajiyoklaz, Ar/Ar)	
Naşa bazaltı	ÖD-50	Şoşonit	15.80 ± 0.30 (tüm kayaç, K–Ar)	Ercan vd., 1996
Selendi Havzası				
Eğreltidağ volkanitleri	SE-1	Riyolit	18.90 ± 0.60 (biyotit, K–Ar)	Seyitoğlu vd., 1997
	521	Dasit	18.90 ± 0.10 (plajiyoklaz, Ar/Ar)	Helvacı ve Ersoy, 2006; Ersoy vd., 2008
	521	Asidik tüf	20.00 ± 0.20 (amfibol, Ar/Ar)	
	518	Lamproit	17.90 ± 0.20 (hamur, Ar/Ar)	
Kuzayır lamproiti	518	Lamproit	18.60 ± 0.20 (filogopit, Ar/Ar)	
Yağcıdağ volkanitleri	SE-3	Trakidasit	14.90 ± 0.60 (biyotit, K–Ar)	Seyitoğlu vd., 1997
	S1/3	Asidik tüf	16.42 ± 0.99 (feldispat, Ar/Ar)	Purvis ve Robertson, 2005
	YF-2	Dasit	16.43 ± 0.32 (plajiyoklaz, Ar/Ar yaşı)	Helvacı ve Ersoy, 2006; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2012
Uşak–Güre Basın				
Beydağ volkanitleri				
Elmadağ volk. merkez	U-31	Trakidasit	16.28 ± 0.05 (biyotit, Ar/Ar)	Helvacı vd., 2009; Karaoğlu vd., 2010
	U-68	Piroklastik	16.48 ± 0.08 (biyotit, Ar/Ar)	
İtecektepe volkanik merkez	UG-63	Dasit	14.60 ± 0.30 (tüm kayaç, K–Ar)	Seyitoğlu vd., 1997
	U-159	Dasit dayk	15.04 ± 0.10 (biyotit, Ar/Ar)	Helvacı vd., 2009; Karaoğlu vd., 2010
Beydağ volkanik merkez	U-161	Dasitik dom	12.15 ± 0.15 (biyotit, Ar/Ar)	
	U-2	Dasit	13.10 ± 0.20 (tüm kayaç, K–Ar)	Ercan vd., 1996
Payamtepe volkanitleri				
Yeniköy dayk	UG-58	Trakidasit	15.10 ± 0.40 (tüm kayaç, K–Ar)	Seyitoğlu vd., 1997
	U-153	Trakit	16.01 ± 0.08 (sanidin, Ar/Ar)	Helvacı vd., 2009; Karaoğlu vd., 2010
Karabacaklar volkanitleri	U-144	Trakit	15.93 ± 0.08 (hamur, Ar/Ar)	
	UG-75	Trakit	15.90 ± 0.40 (tüm kayaç, K–Ar)	Seyitoğlu vd., 1997
Kıran bazaltı	UG-145	UK Latit	15.50 ± 0.40 (tüm kayaç, K–Ar)	
Güre lamproiti	IZ-38	Lamproit	14.20 ± 0.12 (hamur, Ar/Ar)	Innocenti vd., 2005
	05GÜ02	Lamproit	15.54 ± 0.33 (hamur, Ar/Ar)	Preleviç vd., 2012
Emet Havzası ve Gediz–Şaphane Bölgesi				
Akdağ volkanitleri	E6	Riyolit	20.20 ± 0.40 (biyotit, K/Ar)	Seyitoğlu vd., 1997
	E-3	Riyolit	19.00 ± 0.20 (biyotit, K/Ar)	
Köprücek volkanitleri	E-1	Piroklastik	16.80 ± 0.20 (biyotit, K/Ar)	Helvacı ve Alonso, 2000
Dereköy bazaltı	E9	UK latit	15.40 ± 0.20 (feldispat, K/Ar)	
	E3	UK latit	14.90 ± 0.60 (tüm kayaç, K–Ar)	Seyitoğlu vd., 1997
	So7-15	UK latit	15.70 ± 0.50 (tüm kayaç, K–Ar)	
Kestel volkanitleri	821	UK latit	15.91 ± 0.07 (biyotit, Ar/Ar)	Çoban vd., 2012
	821	UK latit	15.73 ± 0.11 (biyotit, Ar/Ar)	Helvacı ve Ersoy, 2006; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2012
Kırka Havzası				
	K-2(1)	Riyolit	18.5±0.2 (biyotit, K/Ar)	Helvacı ve Alonso, 2000
	K-2	Riyolitik ignimbirit	19.0±0.2 (biyotit, K/Ar)	
	2a-1			
	(K1-955.8m)	Bazalt	18.63±0.2 (Yeni Ar/Ar verisi)	
	2a-2			
	(K6-1063m)	Trakit	18.69±0.04 (Yeni Ar/Ar verisi)	Helvacı ve Yücel-Öztürk, 2013; Seghedi ve Helvacı, 2014
	2c	Lamproit lava	16.91±0.05 (Yeni Ar/Ar verisi)	
	2d(K-1)	Trakit	16.1±0.2 (feldispat, K/Ar)	

olmak üzere başlıca iki volkano-sedimanter istiften oluşan benzer stratigrafilere sahiptir. Bu iki grup yer yer Geç Miyosen yaşlı volkanik, sedimanter ve güncel birimler ile üzerlenmektedir. Demirci, Selendi, Emet ve Güre havzalarındaki Alt Miyosen yaşlı Hacıbekir Grubu, Simay ayrılma fayında (SDF) gelişen supra-ayrılma havzasında depolanmıştır. Hacıbekir Grubu, Demirci, Selendi ve Güre havzalarında, Kürtköy formasyonu konglomeralarından ve Yeniköy formasyonuna ait kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasından, Emet havzasında ise Taşbaşı ve Kızılıbuk formasyonlarından oluşur. İnay Grubu, Demirci, Selendi, Emet ve Gördes havzalarında, birçok sin-sedimanter andezitik-riyolitik lav akıntıları, dayklar ve bunlarla ilişkili piroklastikler ile ara tabakalıdır.

Emet havzasında, Köprücek volkanitleri (16.8 ± 0.2 My K-Ar yaşı; Helvacı ve Alonso, 2000), havzanın kuzey kesiminde yüzeylenmiştir. Birimler andezitik-riyolitik lav akıntıları, dayklar ve bunlarla ilişkili olan ve Hisarcık formasyonu ile girik piroklastiklerden oluşmaktadır. Hisarcık formasyonundaki piroklastik arakatıkların kalınlığı, havzanın kuzeyine doğru artmaktadır (Helvacı ve Ersoy, 2006; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2012; şekil 2 ve 3). Köprücek volkanitleri Emet formasyonu kireçtaşları tarafından üzerlenmektedir. Havzanın güney kesiminde, Hisarcık formasyonu sedimanları, Dereköy bazaltlarının bazaltik lav akıntıları tarafından örtülmektedir. Dereköy bazaltının taban dokanağı buyunca, pek çok peperitik dokular gelişmiştir. Bu dokular lavın sin-sedimanter yerleşimine işaret etmektedir. Dereköy bazaltı, 15.4 ± 0.2 ve 14.9 ± 0.3 My olarak yaşlandırılmıştır (K-Ar yaşları, Seyitoğlu vd., 1997; Helvacı ve Alonso, 2000; çizelge 1).

Kırka bor yatağı daha doğuda oluşmuştur ve tamamen farklı jeolojik ortam ile volkanostratigrafik istifte yer almaktadır.

Batı Anadolu'daki Neojen havzaların, ekonomik potansiyelleri söz konusu olsa da, sadece sınırlı sayıda havza Dünya standartlarında bor rezervine sahiptir ve cevherleşme Neojen volkano-sedimanter istiflerde stratabound yatak olarak bulunmaktadır. Bu sedimanlar, B bakımından zenginleşmiş olduğu gibi, Li, S, Sr ve As bakımından da zenginleşmiştir. Bu elementlerin potansiyel kaynağı, gölsel sedimanlar, yer yer temel kayaçları ve sıcak su kaynağı aktivitesine sahip volkanizmadır. Tüflü sedimanların varlığı, konglomera içindeki volkanik çakıllar, ardalanmalı ve birbirini kesen lav akıntısı-traverten oluşumları, volkanizmanın, havzaların sedimanter dolgusu boyunca oluştuğuna işaret etmektedir. Bu bölgedeki araştırma, volkanik is-

tifin örneklenmesi ve haritalanmasını, kayaçların K-Ar yaş tayinleri ile detaylı jeokimyasal analizleri ve beraberinde girift sedimanlarla olan ilişkilerinin tespit edilmesi çalışmalarını içerir. Bigadiç, Emet ve Kırka havzalarına ait veriler erken volkanizmanın, bazen alkali özellik gösterse de genellikle asidik ve kalkalkali karakterde olduğunu, buna karşın, daha sonra oluşan volkanizmanın ise ortaç ve sadece alkali karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Bor havzalarından alınan volkanik örneklerin K-Ar yaş tayinleri volkanizmanın ilk fazının Erken Miyosen'de, ikinci fazın da orta Miyosen'de olduğuna işaret etmektedir. Arazi bulguları, asidik volkanizmanın bor cevherleşmesi öncesinde ve cevherleşme sırasında oluştuğunu gösterirken, ortaç alkali volkanizma daha sonra gerçekleşmiştir. Volkanik birimlerin jeokimyasal özelliklerinin karşılaştırılması, bölgedeki volkanik evrim, altın cevherleşmesi ve bor yataklarının oluşumu arasındaki ilişkinin anlaşılmasında bize yardımcı olacaktır.

Borun kaynağı olarak, yerel volkanizmanın rolünü belirlemek için, Emet (Kolemanit yatağı), Bigadiç (Kolemanit ve Üleksit yatağı) ve Kırka (borat yatağı) havzalarındaki volkanizma ve onunla ilişkili sedimanlar çalışılmıştır. Kırka, Emet, Bigadiç, Kestelek ve Sultançayır'daki borat yatakları ile ilişkili volkanik kayaçlar üzerinde kimyasal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Jeokimyasal çalışmalar, başlıca, iki fazlı magmatik aktiviteye ait volkanitlerin bor ve iz element dağılımları üzerine odaklanmıştır. Yüksek bor içeriği, bor yataklarını çevreleyen volkanitlerden elde edilmektedir. Alt-Orta Miyosen volkanitleri çoğunlukla andezit-riyolit bileşiminde ve kalkalkali karakterde olup, B içeriği 25-270 ppm arasında değişmektedir. Düşük değerler (19-67 ppm) şoşonitik ve potasik karakterli Üst Miyosen yaşlı volkanitlerde gözlenmektedir (Helvacı, 1977; Fytikas vd., 1984; Floyd vd., 1998; Helvacı ve Alonso, 2000). Ayrıca, NTE'ler de fraksiyonlanma derecesi ve kimyasal bileşimleri ile bağlantılı profiller göstermektedir. Gözlenen bazı Ce negatif anomalilerini açıklamada ikincil mobilizasyondan bahsedilebilir. Yaygın olarak gözlenen ikincil minerallerin varlığı (Örneğin; zeolit, kalsit) sığ suların sirkülasyonu ile etkileşim fikrini desteklemektedir. Mevcut verilerin ışığında, kayaçlardaki yüksek B içeriği, B-bakımından zengin sıcak sular ile volkanitler arasındaki etkileşim ile açıklanabilir. Magmatik aktivite, çalışma sahasında yüksek termal gradyanın oluşmasına neden olmuş olabilir. Oluşan yüksek termal gradyan, sedimanter ve volkanik istiften borun ayrılarak mobilize olmasına neden olan sirkülasyon suyunun hareketi için enerji sağlamıştır. Sedimentler ile girik olan volkanitlerin bulunduğu birçok yataktaki peperitik dokuların varlığı bu tür bor yataklarının

oluşumu ile ilgili bir diğer hipotezdir. Bu durum, volkanik ve magmatik uçucuların gölsel havzalara doğrudan katılımına işaret edebilir (Erkül vd., 2006).

3.1. Bigadiç, Susurluk ve Kestelek Havzaları

Bu havzaların stratigrafisi Helvacı (1983, 1995) ve Erkül vd. (2005b) tarafından çalışılmıştır. Temel kayaçları uyumsuzlukla örten havza dolgusu, Üst Kretase-Plaeosen Bornova Fliş zonu, Alt-Orta Eosen Başlamış formasyonu ve Oligosen detritik kayaçlarından meydana gelmekte (Örneğin; Erdoğan, 1990; Okay ve Siyako, 1991) ve iki farklı volkano-sedimanter birliktelik ile temsil edilmektedir. Bu volkano-sedimanter birliktelikler birbirlerinden geniş-havza açısız uyumsuzluğu ile ayrılmaktadır. Bigadiç yöresindeki volkanizma, birbirlerinden açısız bir uyumsuzlukla ayrılan iki kayaç grubu ile temsil edilir. Bu birimler; (1) 23 My K-Ar yaşı veren Kocaışkan volkanitleri ve (2) Borat yataklarındaki 20.6-17.8 My yaş veren Bigadiç volkano-sedimanter istifidir (Şekil 3). Her iki birim de Erken Miyosen yaşındadır ve Üst Miyosen-Pliyosen karasal çökelleri tarafından uyumsuzlukla örtülmüşlerdir. Kocaışkan volkanitleri, volkanik aktivitenin ilk fazı ile ilişkili olup, karasal koşullarda yerleşmiş andezitik sokulumlar, domlar, lav akıntıları ve piroklastik kayaçlardan oluşan kalın bir volkanojenik sedimanter kayaçlardan meydana gelir.

Çalışma alanında 800 km² den daha fazla alan kaplayan ve andezitik bileşime sahip Kocaışkan volkanitleri, Erken Miyosen dönemi volkanik aktivitesinin ilk volkanik ürünleridir. K-Ar yaş verisi Kocaışkan biriminin 23.0±2.8 My yaşında olduğunu ve önceki yaş verileri ile de uyumlu olduğunu göstermiştir (Çizelge 1). Birim, andezitik intrüzyon, lav, piroklastik kayaçlar ve bunlarla ilişkili volkanojenik sedimanter kayaçlardan oluşmuştur ve Alt Miyosen yaşlı Bigadiç volkano-sedimanter istifi tarafından uyumsuzlukla üzerlenir (Helvacı ve Erkül, 2002; Helvacı vd., 2003; Erkül vd., 2005b).

Bigadiç volkano-sedimanter istifi, Miyosen istifi olup, volkanik (Örneğin; Sındırgı volkanitleri, Gölcük bazaltı; Kayırlar ve Şahinkaya volkanitleri) ve gölsel kayaçlar içerir (Örneğin; alt kireçtaşı birimi, alt tuf birimi, alt borat birimi, üst tuf birimi ve üst borat birimi (Helvacı, 1995; Erkül vd., 2005b)).

Volkanik aktivitenin ikinci fazı bazaltik-riyolitik lav ve piroklastik kayaçlar ve bunlara eşlik eden gölsel evaporitik sedimanasyon ile temsil edilir. Sındırgı volkanitleri olarak adlandırılan dasitik-riyolitik volkanik kayaçlar, KD gidişli intrüzyonlara sahiptir ve lav

akıntısı, ignimbirit, kül-döküntü çökelleri ve bunlarla ilişkili volkanojenik sedimanter kayaçlardan oluşmuştur. Diğer KD gidişli olivinli bazaltik (Gölcük bazaltı – Erken Miyosen alkali bazaltı) ve trakiandezitik (Kayırlar volkanitleri) intrüzyonlar ve lav akıntıları, gölsel sedimanlar içerisine eş zamanlı olarak yerleşmiştir. Sokulumlar, sedimanter kayaçlarla olan dokanıkları boyunca peperitik kayaç özelliği göstermektedir (Helvacı, 1995; Helvacı ve Erkül, 2002; Helvacı vd., 2003; Erkül vd., 2005b, 2006; Şekil 4).



Şekil 4- Gölsel sedimanlardaki bazaltik lav akıntılarındaki gözlenen peperitik doku, Gölcük lokasyonu, Bigadiç yatağı, Türkiye.

Radyometrik yaş verileri, Bigadiç volkano-sedimater istifinin oluşum yaşının 20.6±0.7 ve 17.8±0.4 My arası bir periyodla sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Sındırgı volkanitlerinden alınan riyolit ve dasitler, sırasıyla, 20.2±0.5 ve 19.0±0.4 My K-Ar yaşları vermiştir (Çizelge 1). Toplam gaz yaşı, olivin-bazalt örneğinin 20.5±0.1 My olan K-Ar ve 19.7±0.4 My olan Ar-Ar yaşlarına karşılık gelmektedir. Şahinkaya volkanitleri, 17.8±0.4 My K-Ar yaşı vermiştir (Helvacı ve Erkül, 2002; Helvacı vd., 2003; Erkül vd., 2005b).

Bigadiç yöresinden elde edilen jeokimyasal veriler de açılma rejimi ile ilişkilidir ve ikinci volkanik faz sırasında oluşan eş yaşlı alkali ve kalkalkali volkanik kayaç ekstrüzyonları ile ilişkili bimodal volkanizma ile karakterize edilir. 19.7±0.4 My yaşına sahip alkali volkanik kayaçların oluşumu, Batı Anadolu K-G açılma rejiminin başlangıcı ile doğrudan ilişkilidir. Bigadiç havzasında gözlenen yaygın yüksek potasyumlu kalkalkali andezitik-riyolitik lav akıntısı, dom ve piroklastik kayaçlar, borat içeren gölsel çökellerle arakatmanlıdır (Helvacı 1995; Helvacı ve Alonso, 2000; Erkül vd., 2005b). Ortaç ve asidik volkanizmanın yaşı 23.0 ile 17.8 My arasındadır, havzada ara katmanlar

olarak yer alan yüksek potasyumlu kalkalkali şoşonitler ise 20.5-19.7 My yaşa sahiptir (Helvacı, 1995; Erkül vd., 2005b). Bigadiç havzasındaki üst borat seviyesini kesen volkanik birimin yaşı, jeokimyasal özelliklerine dayanarak Geç Miyosen olarak öngörülmüştür. Bölgedeki şoşonitik kayaların jeokimyasal özellikleri, İzmir-Balıkesir Transfer Zonunda (İBTZ) yer alan diğer Geç Miyosen mafik kayalara benzerlik göstermektedir (Ersoy vd., 2012; Seghedi vd., 2015).

Erken-Orta Miyosen volkanizması KD'ya kadar devam etmekte ve Sultançayır ve Kestelek havzalarında gölsel sedimanlarla arakatmanlı olarak yaygın andezitik-riyolitik lav akıntıları ve bunlarla ilişkili piroklastik kayalardan oluşmaktadır. Sultançayır havzasındaki Miyosen istifi aşağıdan yukarıya doğru; andezit ve aglomera; tuf; kumlu konglomera; kireçtaşı, tuf, tabakalı jips ve boratlı jips içeren kumlu kilaşı ve killi kireçtaşından oluşmaktadır (Helvacı, 1994). Tuf biriminden alınan bir örnek, 20.01 My K-Ar yaşı vermiştir (Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000).

Kestelek havzası Miyosen istifi, temelde konglomera ve kumtaşı; linyit, marn, kireçtaşı ve tuf seviyeli kilaşı; aglomera ve volkanik kayaç; kil, marn, kireçtaşı, tuf ve bor içeren borat zonu ile ince kil ve çört bantlı kireçtaşları içermektedir. Volkanik aktivite gitgide artarak, sedimanlar ile ara tabakalı tuf, tufit ve aglomera ve andezitik, trakitik ve riyolitik kayaç oluşturmuştur. Borat zonundan alınan bir tuf örneği, 17.4 My K-Ar yaşı vermiştir (Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000; şekil 2 ve 3).

3.2. Gördes Havzası

Gördes havzası doğuda Menderes Masifi, batıda Bornova fliş zonu ofiyolitik melanj birimleri ile sınırlanmaktadır (Şekil 2). Nebert (1961), Yağmurlu (1984); Seyitoğlu ve Scott (1994a,b) ve Purvis ve Robertson (2004, 2005) tarafından çalışılmıştır. Seyitoğlu ve Scott (1994a,b), Gördes havzasını 3 ana sedimanter birime ayırmıştır. İstifin taban kesimi güneyde Tepeköy formasyonu ile kuzeyde Dağdere formasyonu kumtaşı ve konglomerası ile temsil edilmekte olup, asidik tüfler ile ara katkılı kumtaşı-çamurtaşı araldanması tarafından örtülür (Şekil 3). Havza sedimanları, dasitik-riyolitik volkanik boyun (neck) (merkez volkanitler; Seyitoğlu ve Scott, 1994b) ile kesilmektedir. Gördes havzasının stratigrafisi Ersoy vd.(2011) tarafından yeni arazi verileri ile revize edilmiştir ve havzanın stratigrafisi, Kuşlukköy formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenen Kızıldam formasyonu ile başlar. Kuşlukköy formasyonu Güneşli volkanitleri ile girik durumdadır ve havzanın merkezinde Kayacık volkanitleri tarafından kesilmiş-

tir (Helvacı ve Ersoy, 2006; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2011). Bu birimler Gökçeler formasyonu ve Geç Miyosen-güncel sedimanlarca uyumsuzlukla üzerlenmektedir.

Gördes havzasının doğu kenarında yer alan Kızıldam formasyonu, Menderes Masifi metamorfik kayalarından türeyen ve alüviyal fan kökenli olan kırmızı-kahve renkli konglomeralardan oluşur. Burada, Kızıldam formasyonu, metamorfik kayaları uyumsuzlukla örter ve gnays, şist ve migmatit gibi metamorfik parçalardan oluşur. Kızıldam formasyonu, Gördes havzasının batı kesiminde, İzmir-Ankara kenet zonu kayalarına ait kireçtaşı parçalarının egemen olduğu iyi taşlaşmış karbonat-çimentolu konglomera ile başlar. Kızıldam formasyonunun tip kesitinin en iyi gözleendiği yer Kızıldam Köyü civarındır. Havzanın merkezinde, birim yanal olarak Kuşlukköy formasyonuna geçer. Kızıldam formasyonu, bölgesel olarak, Demirci ve Selendi havzalarındaki Alt Miyosen yaşlı Kürtköy formasyonu ile korele edilir ve Seyitoğlu ve Scott (1994a,b) tarafından adlandırılan Tepeköy ve Dağdere formasyonlarının alt kesimlerine karşılık gelir. Ayrıca, Purvis ve Robertson (2004)'nın alüviyal fan fasiyesi ile de korele edilir. Seyitoğlu ve Scott (1994a), Kızıldam formasyonuna ait turmalinli lökogradit çakıllarından, 24.2 ± 0.8 – 21.1 ± 1.1 My K-Ar yaşları elde etmiştir (Çizelge 1). Kızıldam formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunan Kuşlukköy formasyonunun volkanik arakatıklarından elde edilen radyometrik yaş verilerine dayanarak, Kızıldam formasyonunun yaşı erken Miyosen olarak kabul edilir (Ersoy vd., 2011).

3.3. Demirci Havzası

Demirci havzası dolgusu, Pliyosen-Kuvaterner Simav yarı grabeni ile iki sektöre ayrılmaktadır. Kuzey sektörü, Seyitoğlu (1997b) tarafından Akdere havzası olarak adlandırılmıştır (Şekil 2 ve 3). Demirci havzasını oluşturan Neojen litolojileri, Oligosen-Miyosen yaşlı Eğrigöz ve Koyunoba granitoidleri ile kesilen Menderes Masifi metamorfik kayaları üzerinde uyumsuz olarak gözlenmektedir.

Demirci havzası birbirinden açılal uyumsuzlukla ayrılan başlıca iki stratigrafik birimden meydana gelir (Şekil 2 ve 3). Havza dolgusu, Kürtköy formasyonu Erken-Orta Miyosen konglomeraları ile başlar, yukarı doğru Yeniköy formasyonu kumtaşı-çamurtaşı araldanmasına geçer. Bu birimler, yukarıdan aşağıya doğru Mahmutlar formasyonu, Demirci formasyonu ve havzanın kuzey kesiminde yüzlek veren Sevinçler volkanitleri tarafından uyumsuzlukla örtülür (İnci, 1984).

Yılmaz vd. (2000) Demirci havzasının stratigrafisini revize etmiş ve havza dolgusunun Borlu formasyonunun bloklu (büyük çakıl) konglomeraları ile başladığını, Köprübaşı formasyonu çamurtaşı ve kumtaşlarına doğru geçiş gösterdiğini belirtmiştir. Köprübaşı formasyonu, havzanın batı-merkez kesimlerinde yüzlek veren Okçular volkanitlerinin andezitik lav ve piroklastik kayaçları ile ardalanmalıdır (intercalation). Yılmaz vd.(2000), bu birimlerin, Demirci formasyonu marn ve şeyleri tarafından uyumlu olarak üzerlendiğini ve tüm birimlerin Erken-Orta Miyosen yaşında olduğunu ileri sürmüştür. Birimler, Demirci civarında yüzlek veren ve kireçtaşlarından oluşan Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı Adala formasyonu tarafından da uyumsuzlukla örtülmektedir.

Demirci havzasının stratigrafisi, geniş-havza açılmal uyumsuzluğu ile birbirinden ayrılan iki farklı stratigrafik birim içerir (İnci, 1984). Yaşlı olan birim, yakındaki Selendi ve Uşak-Güre havzalarının Hacibekir Grubu ile korele edilir (Ercan vd., 1978; 1983), veriler daha genç olan volkano-sedimanter birimin Hacibekir grubunu uyumsuzlukla örttüğünü ve Selendi havzasında yer alan İnay grubu ile korele edilebildiğini göstermektedir. Demirci havzasındaki Hacibekir Grubu, Kürtköyü ve Yeniköy formasyonlarından ve Sevinçler volkanitlerinin riyoitik kayaçlarından oluşur. İnay Grubu, Akdere piroklastiklerinden, andezitik-dasitik Asitepe volkanitleri ile geçişli Borlu, Köprübaşı ve Demirci formasyonları sedimanter kayaçlarından ve havzanın kuzeyinde de Naşa bazaltlarından oluşmaktadır (Şekil 3). Kürtköyü formasyonu Demirci havzasının kuzey kesiminde yüzeylenmiş olup, en büyük mostralalar, Simav yarı-grabeninin güney kenarında yer almaktadır. Birim, kırmızı-kahveaçık sarı bloklu (boulder) konglomeralar (yaklaşık 1 m lik bloklar), çakıltası, taneleri yuvarlaklaşmış çakıltası (cobblestone) ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Konglomeraların kökeni Menderes Masifi metamorfikleri ile Eğrigöz granitoyitidir. Kürtköyü formasyonu, Sevinçler volkanitlerinin riyoitik piroklastik kayaçları ile lav akıntıları ve Yeniköy formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenir (Şekil 3). Yeniköy formasyonu sarımsı kumtaşı ve çamurtaşı ve yer yer tabakalı kireçtaşı ve marndan oluşmakta ve havzanın genellikle kuzeyinde gözlenmektedir.

Demirci havzasında, İnay Grubu Akdere piroklastikleri, Borlu formasyonu konglomeraları, Köprübaşı formasyonu kumtaşı-silttaşı ardalanması ve Demirci formasyonu marn, şey ve kireçtaşlarını içerir. Simav yarı-grabeninin kuzey yamacında, İnay Grubu kayaçlarını, Akdere piroklastikleri, Borlu ve Köprübaşı konglomera ve kumtaşları ile Naşa bazaltı oluşturur (Şekil 3). İnay Grubunun Borlu formasyonu, alüviyal

fan kökenli kumtaşı ile arakatlı olan bloklu konglomera (esas olarak Menderes masifinden türemiş) içerir. Köprübaşı formasyonu Demirci havzasının doğu kenarında, Asitepe volkanitleri tarafından uyumlu olarak örtülür. Naşa bazaltı (15.8 ± 0.3 ve 15.2 ± 0.3 My K-Ar yaşı; Ercan vd., 1996; çizelge 1), Borlu formasyonu sedimanter kayaçları üstünde akmış olan sin-sedimanter bazaltik lav akıntılarından oluşmaktadır. Demirci havzasında, Köprübaşı formasyonu, Demirci formasyonunun marn, bitümlü şeyl ve kireçtaşlarına (kiltası ve kumtaşı arakatlı) geçiş gösterir (İnci, 1984; şekil 3) ve Selendi havzasındaki Ulubey formasyonu ile korele edilebilir (Seyitoğlu, 1997a; Ersoy vd., 2010). Demirci havzası Neojen volkano-sedimanter dolgusu, Selendi ve Uşak-Güre havzalarındaki çok benzerlik göstermektedir (Şekil 3).

3.4. Selendi Havzası

Selendi havzasının Neojen stratigrafisi hem Menderes Masifi hem de İzmir-Ankara zonu kayaçlarını içeren bir temel üzerinde bulunmaktadır (Ercan vd., 1978; Seyitoğlu, 1997; Ersoy ve Helvacı, 2007). Neojen stratigrafisini 3 volkano sedimanter birim oluşturmakta olup, her bir birime farklı volkanik faaliyetler eşlik etmiştir (Ersoy ve Helvacı, 2007). Temelde, Alt Miyosen Hacibekir Grubu, Menderes masifini tektonik olarak, İzmir-Ankara zonu kayaçlarını da uyumsuz olarak üzerler (Şekil 2 ve 3). İzmir-Ankara zonu kayaçları, Hacibekir Grubu içinde olistostromal bloklar olarak oluşur. Erken Miyosen'de Hacibekir Grubu çökellerine eşlik eden iki farklı volkanik birliktelik; Eğreltidağ volkanik birimi ve Kuzayır lamproitidir (Ersoy ve Helvacı, 2007). Hacibekir Grubunu uyumsuz olarak üzerleyen Orta Miyosen İnay Grubu, konglomera, geniş alanlarda yüzlek vermiş kiltası-kumtaşı-marn ardalanması ve kireçtaşı içerir. Kiltası-kumtaşı-çamurtaşı seviyeleri, hovlit ve kolemanit gibi borat oluşumları içerir (Helvacı ve Alonso, 2000). İnay Grubu, iki farklı volkanik birliktelik olan Yağcıdağ volkanik birimi ve Orhanlar bazaltı ile geçişli, girik durumdadır. Bu birimler Üst Miyosen Kocakuz formasyonu ve Kabaklar bazaltı tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Son olarak, Pliyo-Kuvaterner sedimanlar ve volkanik birimler, yaşlı birimleri örter. Son volkanik aktivite, Kula volkanitleri ile temsil edilir (Şekil 5). Havzanın stratigrafisi, Emet havzasına çok benzer. Özellikle, İnay Grubu, Emet havzasındaki borat içeren birimler ile korele edilebilir. Yağcıdağ volkanik birimi de, altın cevherleşmesi (Kışladağ altın yatağı) içeren Uşak-Güre havzasının Beydağ volkanitleri ile korele edilebilir (Helvacı ve Ersoy, 2006; Helvacı vd., 2006; Ersoy ve Helvacı, 2007; Ersoy vd., 2008; Helvacı, 2012).



Şekil 5- Lav akıntısı çıkış alanı, Kula volkanitleri (Türkiye) (Lokasyon: 38.6332 K, 28.7650 D; rakım: 551).

3.5. Emet Havzası

Emet havzası (Akdeniz ve Konak, 1979; Helvacı, 1984, 1986; şekil 3), batıda Menderes Masifi metamorfik kayalarına sokulum yapmış Eğrigöz granitoidi ile doğuda Afyon zonu metamorfik kayalarının arasında yer alır (Şekil 1 ve 2). Emet havzasının stratigrafisi, bölgesel bir uyumsuzluk ile birbirinden ayrılabilen iki Neojen volkanosedimanter birim içerir (Şekil 3). Bu birimler, diğer havzalardaki benzer kayalar ile yaş, litoloji ve deformasyon özellikleri açısından korele edilebilir ve Hacıbekir ve İnay Grubu olarak da adlandırılırlar. Dünya'nın en büyük kolemanit ve probetit borat yatağı, bu havzadaki İnay Grubunda bulunmaktadır (Gawlik, 1956; Helvacı, 1984, 1986; Helvacı ve Orti, 1998; Helvacı ve Alonso, 2000; Garcia vd., 2010).

Hacıbekir, Taşbaşı ve Kızılıbük formasyonları ve Akdağ ve Kestel volkanitlerinden oluşmaktadır (Şekil 3). Taşbaşı formasyonu Emet havzasının güneybatı ve batı kesimlerinde yüzlek vermiştir ve alüviyal fan fasiyesinde çökelmiş grimsi kumtaşı arakatıklı kırmızımsı-kahve konglomeralardan oluşmaktadır. Birim, İzmir-Ankara zonu kayalarını uyumsuz olarak örterken, birimin taban dokanağı, Menderes Masifi ile düşük açılı faylarla temsil olur (Şekil 3).

Taşbaşı formasyonu, Akdağ volkanitlerinin riyoitik piroklastik kayaları ile yer yer girik durumdadır

ve Kızılıbük formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenir. Birimin yaşı, volkanik kayaç ara katkılarının alınan radyometrik yaş verilerine göre Erken Miyosen'dir. Kızılıbük formasyonu, Emet havzasının güneybatısı ve batısında geniş alanlarda yayılım göstermekte olup, kömürlü sarımsı-kumtaşı-siltaşı-çamurtaşı ardalanması ve flüvyal-gölsel kökenli lamine ki-reçtaşlarından oluşur. Kızılıbük formasyonu, riyoitik bileşimli lav akıntıları, domlar, piroklastikler ile epiklastiklerden oluşan Akdağ volkanitleri ile girik durumdadır. Akdağ volkanitleri, 20.3 ± 0.6 (Seyitoğlu vd., 1997) ve 19.0 ± 0.2 My (Helvacı ve Alonso, 2000) K-Ar yaşı vermiştir (Çizelge 1). Kestel volkanitleri, havzanın güneybatısında, KD-GB yönünde yerleşmiş olup, sin-sedimanter mafik lav akıntılarının oluşmaktadır. Hacimsel olarak az olan bu volkanik kayalar, Kızılıbük formasyonunu uyumlu olarak örter. Kestel volkanitlerinin yaşı, stratigrafik ilişkilere dayanarak Erken Miyosen olarak kabul edilmektedir.

Emet havzasındaki İnay Grubu, Köprücek volkanitleri ve Dereköy bazaltları ile girik Emet ve Hisarcık formasyonlarını içerir (Şekil 3). Hisarcık formasyonu (Akdeniz ve Konak, 1979) Emet havzasında geniş alanlarda yüzlek vermiştir ve konglomera, çakıltası ve kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Hisarcık formasyonunun yaşı, İnay Grubundaki volkanik arakatıklara göre Orta Miyosen olarak kabul edilmektedir. Havzanın merkezine doğru, Hisarcık formasyo-

nu, flüvyal-gölsel kökenli olan ve kumtaşı-kiltaşı-çamurtaşı ardalanmasından oluşan Emet formasyonuna yanal geçişlidir. Birimin ince taneli kesimleri özellikle çamurtaşı ve kiltaşı seviyeleri, probertit ve kolemanitin işletildiği büyük borat yatakları içerir (Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı ve Ersoy, 2006; Helvacı vd., 2006; Ersoy vd., 2012).

Köprücek volkanitleri, Emet havzasının kuzey kesimlerinde gözlenmektedir. Birim, andezitik-riyolitik lav akıntıları, dayklar ve bunlarla ilişkili piroklastikler içerir, Hisarcık formasyonu ile girik durumda bulunan piroklastik ara seviyelerin kalınlığının, havzanın kuzeyine doğru artması, Köprücek volkanitlerinin çıkış yerinin bu bölge olduğunu düşündürmektedir. Köprücek volkanitleri, Emet formasyonuna ait kireçtaşları tarafından üzerlenir. Piroklastik ara seviyeler, 16.8 ± 0.2 My K-Ar yaşı (Helvacı ve Alonso, 2000, çizelge 1) vermiştir. Havzanın güney kesiminde, Hisarcık formasyonu, Dereköy bazaltının bazaltik lav akıntısı tarafından uyumlu olarak örtülür. Dereköy bazaltının taban dokanağı boyunca birçok peperitik doku gelişmiş olup, bu durum lavların sin-sedimanter (eş zamanlı) yerleşimine işaret etmektedir. Dereköy bazaltının yaşı 15.4 ± 0.2 ve 14.9 ± 0.3 My olarak belirlenmiştir (K-Ar yaşları; Seyitoğlu vd., 1997; Helvacı ve Alonso, 2000).

Emet borat yatakları, kısmen yüzey suları ve termal kaynak suları ile beslenen, volkanik aktivitenin bulunduğu birbirleriyle bağlantılı iki ayrı havzada oluşmuştur (Helvacı ve Alonso, 2000). Emet'teki tüm lavlar, B (≤ 68 ppm), Li (≤ 55 ppm) ve As (≤ 205 ppm) bakımından zengin, Sr bakımından ise hafif zengindir (580 ppm), fakat nispeten düşük S (≤ 80 ppm) seviyelerine sahiptir. Daha yaşlı olan asidik lavlar, güncel olan alkalin ortaç lavlardan daha yüksek B değerlerine sahiptir. Emet havzasındaki Erken Miyosen yaşlı asidik volkanizmanın, cevherleşme ile ilişkili element değerleri yüksek olup, bor ile zamansal ve mekansal olarak da yakın ilişkiye sahiptir ve bu nedenle, borun kaynağı olarak düşünülmektedir. Havza sedimanlarının B, S, Sr, As ve Li elementleri bakımından beslenmesini sağlayan volkanizma, volkanik kayaçların sıcak meteorik sularla yıkanması, külün göl sedimanlarının içine doğrudan çökelişi veya magmadan gaz boşalımı (degassing) süreçlerini kapsar. Yerel volkanik aktiviteye bağlı termal kaynaklar, borun muhtemel kaynağı olarak düşünülmektedir (Helvacı, 1977; Helvacı, 1984; Helvacı ve Alonso, 2000).

Emet havzasında yer alan ve borat yataklarının kaynağı olarak düşünülen volkanik aktivite, Uşak-Güre havzalarındaki Orta Miyosen volkanik aktivite-

sine benzer özelliklere sahiptir. Jeolojik veriler, Emet havzasının Selendi ve Uşak-Güre havzaları ile korele edilebildiğini açıkça göstermektedir. Bu havzalar, kuvvetle muhtemel, Orta Miyosen boyunca birbirleriyle bağlantılı çökel merkezleriydi (Ercan vd., 1978; Seyitoğlu, 1997; Ersoy ve Helvacı, 2007).

3.6. Uşak ve Güre Havzaları

The Uşak-Güre havzasının stratigrafisi, Selendi havzasının stratigrafisine benzerlik göstermektedir. Uşak ve Güre havzalarında, üç farklı volkanik merkezde çökelmiş kalın flüvyo-laküstrin dolgu yığılmıştır ve bunların çökelleri birbirleriyle ve geçmiş sedimantasyondan türeyen sedimanlarla üst üste gelebilmektedir. Karmaşık bir silisiklastik ve volkanoklastik karışım üreten KD gidişli bir zon içerisinde bulunan üç büyük kompleks volkan (Elmadağ, İtecektepe ve Beydağı), volkanizmanın yer aldığı havzaları doldurmaktadır. Bu üç volkanik merkez, efüzif ve patlamalı volkanizma ve bunların reworked çökellerinden oluşan karmaşık bir volkanik diziyeye sahip olup, çökellerde, gölsel suya doymuş sedimanlarla magma-su etkileşimini gösteren yaygın kanıtlar gözlenmektedir (Şekil 2 ve 3). Bu üç volkanik merkez daha sonra, 17 ve 15 My önce bozulma ve volkan büyümesine maruz kalmış olup bu durum büyük ihtimalle KD-GB gidişli faylardaki tektonik hareket kombinasyonu ile ilintilidir (Helvacı vd., 2009; Karaoğlu vd., 2010; çizelge 1).

Alt Miyosen Hacıbekir Grubu, Orta Miyosen latitik volkanitleri (Beydağı volkanitleri) içeren Orta Miyosen yaşlı İnay Grubu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Beydağı volkanitleri, Batı Anadolu'daki en büyük porfiri altın yatağını (Kışladağ Au yatağı) barındırmaktadır (Helvacı, 2012). Kışladağ altın yatağı, Orta Miyosen yaşlı latitik Beydağ volkanik kayaçları içerisinde gelişmiştir (Ercan vd., 1978; Helvacı vd., 2009; Karaoğlu vd., 2010). Beydağ volkanitleri, yukarıdan aşağıya taban konglomerası; kumtaşı-silttaşı ardalanması; marnlı, tuf seviyeli ve silttaşı-çamurtaşı ardalanması içeren Orta Miyosen yaşlı gölsel sedimanlar ile girik durumdadır kireçtaşlı (İnay Grubu, Ercan vd., 1978; Seyitoğlu, 1997; Ersoy ve Helvacı, 2007; Helvacı vd., 2009).

3.7. Kırka Havzası

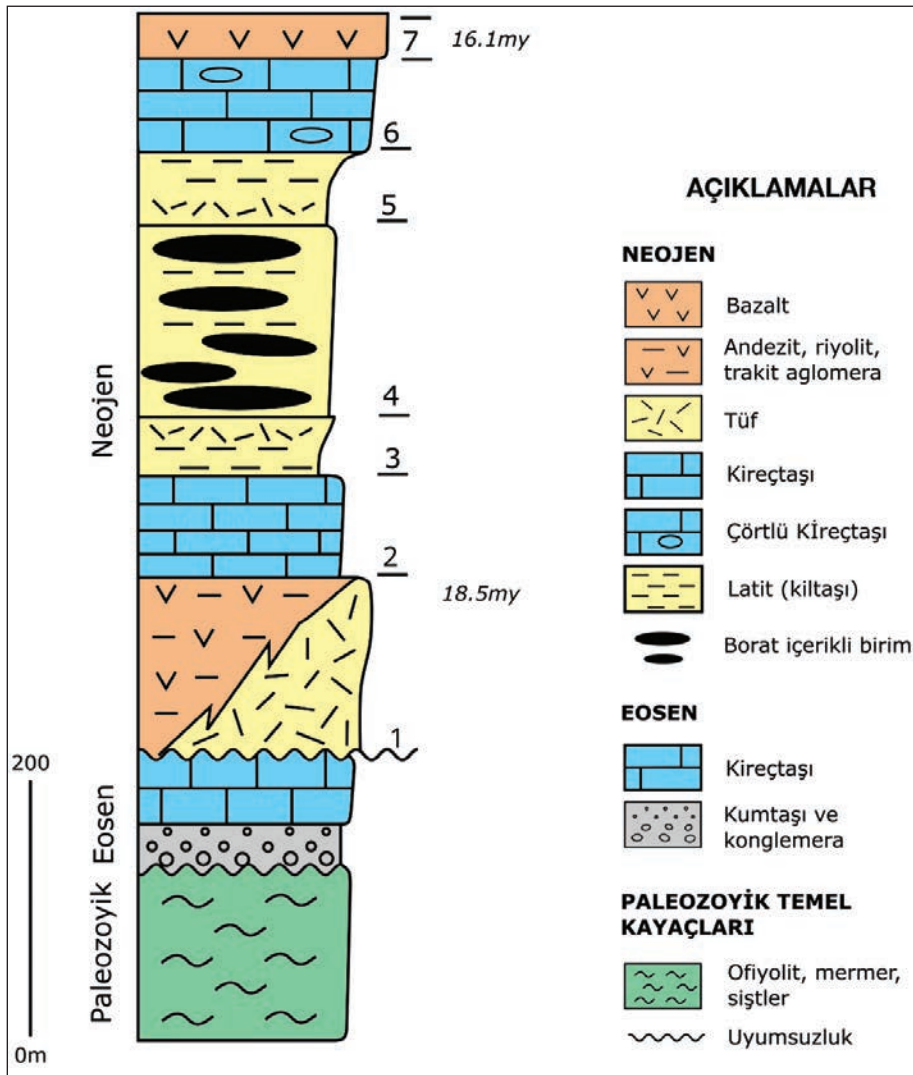
Kırka havzasının Miyosen dizisi, Paleozoyik metamorfikleri, Mesozoyik melanj birimi ve Eosen sedimanları üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır ve volkanik kayaç ve tuf, marnlı ve tuf ara seviyeli alt kireçtaşı, borat zonu, üst kilttaşı; çört bantlı tuf ve marn içeren üst kireçtaşı ve bazaltlardan oluşmaktadır (Ar-

da, 1969; İnan vd., 1973; Helvacı, 1977; Gök vd., 1980; Sunder, 1980; Palmer ve Helvacı 1995). İnan vd. (1973), Helvacı (1977), Palmer ve Helvacı (1995), Floyd vd. (1998), Helvacı ve Alonso (2000), Helvacı ve Orti (2004 ve Garcia-Veigas vd. (2011) tarafından yapılan çalışmalarla, Kırka borat yatağının stratigrafisi ve mineralojisi ortaya konulmuştur.

Geniş riyoitik ignimbirit oluşumları, Tavşanlı-Afyon zonu boyunca orta-batı Anadolu'daki gerilme rejiminin erken Miyosen başlangıcı ile yakından ilişkilidir (Floyd vd., 1998) (Şekil 1 ve 6). Arazi korelasyonları, petrografik, jeokimyasal ve jeokronolojik veriler, yakın zamana kadar bilinmeyen ancak şimdilerde "Kırka-Frig kalderası" olarak adlandırılan kaldera çöküntüsü ve dünya standartlarında borat yatağı içe-

ren Kırka yöresindeki ignimbiritlerin, ciddi bir şekilde yeniden yorumlanmasını sağlamaktadır. Kabaca oval (24 km x 15 km) şekilde olan kaldera, Türkiye'deki en büyük kalderadır ve 19 My'da gerçekleşen büyük hacimli ignimbirit çıkışı sonucu gerçekleşen tek safhalı çökme olayıyla oluştuğu düşünülmektedir (Floyd vd., 1998; Seghedi ve Helvacı, 2014).

Çöküntü sonrası kaldera içi sedimantasyon ve volkanizma (~18 My), çökme ilintili faylarla kontrolüdür ve silisçe doymuş riyoitlerden kristal bakımından zengin trakit-doygun olmayan lamproite kadar geniş bir bileşimsel aralığa sahip bir dizi volkanik yapı (çoğunlukla domlar) oluşmuştur (Şekil 6; çizelge 1). Volkanik istif, kaldera ve kaldera-sonrası yapılar oluşturan patlamaların magmatik sisteminin durumu-



Şekil 6- Kırka bor yatağının stratigrafik dikme kesiti. Neojen kayaç birimleri: 1: Tüf, 2: Alt kireçtaşı, 3: Alt kil, marn ve tüf, 4: Borat birimi, 5: Üst kil, tüf, marn ve kömür bantları, 6: Üst çörtlü kireçtaşı, 7: Bazalt [İnan vd. (1973), Helvacı (1977) ve Sunder (1980)].

nu ortaya koymakta ve çarpışma sonrası gerilme bölgelerinde gözlenen silisli magma oluşumları ve bunlarla ilişkili potasik ve ultrapotasik ortaç mafik kayalar için mükemmel bir örnek teşkil etmektedir (Seghedi ve Helvacı, 2014).

Kırka bölgesi, yani yeni keşfedilmiş kaldera alanı, Miyosen yaşlı Eskişehir-Afyon volkanik alanının (EAV) en kuzeyinde yer almakta ve Ersoy ve Palmer (2013) tarafından son yıllarda tanımlanmaktadır. Bölge, Dünya'daki en büyük borat yatakları ile tanınmaktadır (Örneğin; İnan vd., 1973; Helvacı, 1977; Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı, 2005; Helvacı vd., 2012; Garcia-Veigas ve Helvacı, 2013). Borun, kapalı sistem ortamlarında oluştuğu ve marn, çamurtaşı, kireçtaşı ve kumtaşı ile ilişkili kalın kalk-alkali volkano-sedimanter istifeye bağlı olarak geliştiği kabul edilmiş, buna karşın kaldera sistemi daha önceden tanımlanmamıştır (Seghedi ve Helvacı, 2014).

Kaldera oluşumlarına bağlı geniş volkanik çökeller, kalderanın tüm çevresine dağılmış ignimbiritler ile temsil edilir (Floyd vd., 1998). Buna rağmen, en iyi korunmuş piroklastik çökeller genelde kalderanın güneyine doğru dağılım göstermektedir

(Floyd vd., 1998). Volkanik istifin tabanının, kalderanın yapısal sınırında ortaya çıktığı ve bazen lag-breş ile ilişkili olduğu görülmektedir. Arazi gözlemleri, kaldera oluşturan ignimbiritlerin yüzlek kalınlığının tahminen 160-200 m olduğunu göstermiştir (Floyd vd., 1998). Kalderanın dışında batı, kuzey ve doğusu hafif-orta kaynaklı ignimbirit fasiyesi ile tem-

sil edilmekte ve buna çoğunlukla kalın döküntü çökelleri eşlik etmektedir. İgnimbiritler, döküntü çökelleri ile ilişkilidir. Trakit domları, kalderanın (10-15 / 7 km) kuzey kenarında K-G uzanımlı iki ana yapı olarak gelişmiştir ve kaldera oluşturan ignimbiritleri, ve bunlarla ilişkili çökelleri, riolit domlarını ve temel çökellerini de örtmektedir. Hem trakitik tüf çökellerinin hem de lamproitik lav akıntılarının kuzey yamacı, Geç Miyosen kireçtaşları ile örtülmüştür. Kaldera-içi çökellerin yeniden yapılanması mostra yüzleklerine ve sondajlara dayanmaktadır (Seghedi ve Helvacı, 2014).

4. Bor Yataklarının Mineralojisi, Oluşumu ve Çökme Modeli

Bor elementi, yer kabuğunda nadir ve düzensiz dağılmış elementlerden biri olmasına rağmen, bazı lokal alanlarda, ekonomik ölçekte sıra dışı bor konsantrasyonları bulunmaktadır (Şekil 7). 150'den fazla mineralin bor içerdiği bilinmektedir ve bunlar değişik jeolojik ortamlarda bulunmaktadır (Şekil 8 ve çizelge 2). Ekonomik olarak en önemli yataklar, orojenik kuşaklardaki Tersiyer yaşlı volkanik aktivite ile yakından ilişkilidir. Bunlar, yakınsayan levha kenarlarına yakın bölgelerde bulunmakta ve andezitik-riyolitik magma; kurak veya yarı-kurak iklimler ve denizel olmayan evaporit ortamları ile karakterize edilmektedir. Türkiye, Birleşik Devletler, Güney Amerika ve birçok diğer ekonomik borat yataklarının tümü volkanik aktivite ile ilişkili ve denizel olmayan evaporitlerdir (Ozol, 1977; Jackson ve McKenzie, 1984; Floyd vd., 1998; Helvacı, 2005).



Şekil 7- Dünya'daki başlıca bor yatakları.

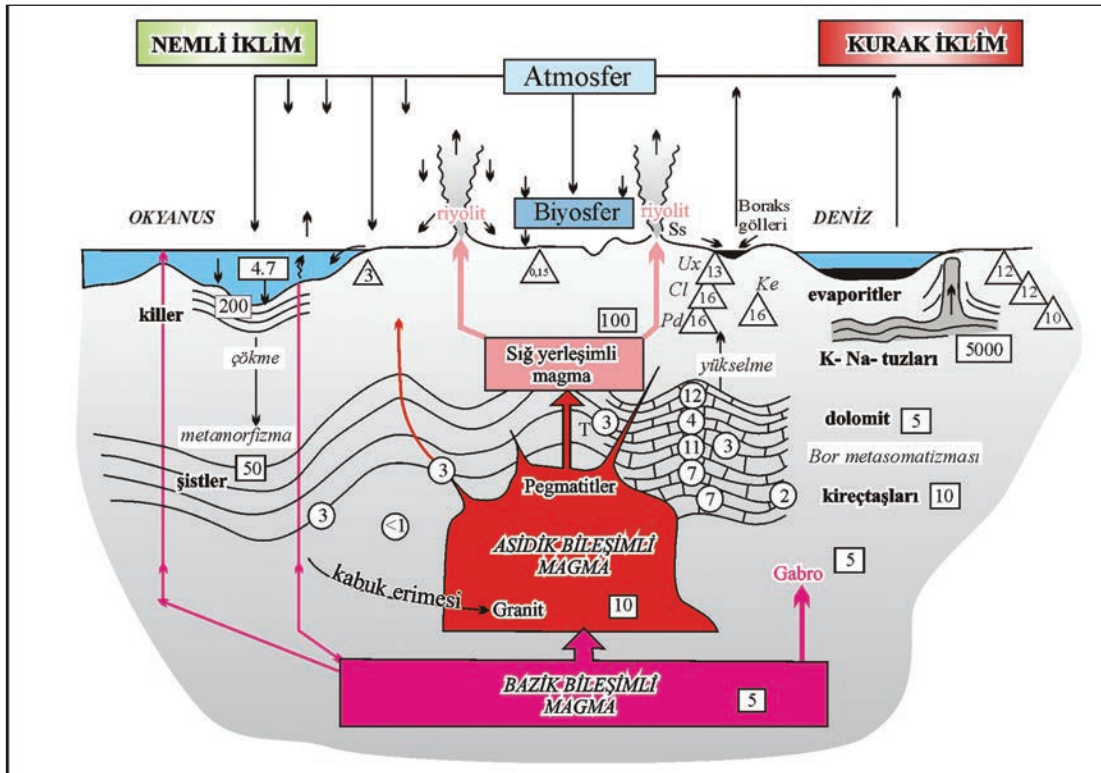
Bor, periyodik tablodaki 5. element olup, eksik elektronlu metalik olmayan elementtir. Bu nedenle, bor elementinin, oksijene olan yatkınlığı yüksektir ve böylelikle borat olarak bilinen bileşiklerde güçlü bor-oksijen kovalent bağları oluşturur. Sulu akışkanlar ve ergiyiklerde kuvvetli fraksiyonlandıklarından, kısmi ergime ve uçucuların emisyonu gibi, kıtasal kabuk oluşumuna neden olan süreçlerde zenginleşirler ve ilksel mantoda <0.1 ppm, kıtasal kabukta ortalama 17 ppm ve evaporit ve pegmatitlerde ise birkaç % ağırlığa kadar çıkar. Dünyadaki başlıca borat yatakları, çarpışmalı levha sınırları ile ilişkili tektonik olarak aktif açılma bölgelerinde yer alır (Ozol, 1977; Floyd vd., 1998; Helvacı, 2005). Amerika, Güney Amerika ve Türkiye'deki birçok ekonomik borat yataklarının, karasal sedimanlar ve Neojen yaşlı volkanizmayla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Birçok eski skarn yataklarının da karasal volkanik kaynaklara bağlı olduğu görülmektedir. Denizel borat yatakları, sınırlı havzadaki deniz suyu evaporasyonunun ürünleridir ve bunlar, muhtemelen deniz tabanı borat kaynakları ile ilişkilidir ve/veya doğal deniz suyu konsantrasyonu ile boratlar birçok kez konsantre olur. Ancak, bu tür oluşumlar denizel olmayan boratlara göre daha az oranda bulunmaktadır.

Magmatik ve bazı metamorfik kayaçlarla ilişkili boratların, magmatik segregasyonun son fazı olduğu veya sokulum yapmış kayaçlardan hidrotermal akışkanlarla süzülmesi düşünülmektedir (Şekil 8).

Güney Amerika'daki yatakların birçoğu kalkerli tüflerle ilişkilidir. Bu tüfler, boratların üzerinde son safha şapkası (last-stage capping) olarak oluşur ve bazı durumlarda halit ve jipse de rastlanır. Borların kaynağı olarak düşünülen çevredeki son volkanik aktivite, bazalttan riolite kadar değişen bileşimdeki lav akıntılarıyla temsil olur. Güney Amerika'daki Salar yatağı, başta çamur, silt, halit ve jips olmak üzere Holosen playa sedimanları ile ilişkilidir ve az oranda boraks ve inyonit de içeren üleksit nodüllerinden oluşur.

Boratlar, birçok farklı yolla konsantre olurlar:

- Playa-tip havzalarda bor içeren sıcak su kaynaklarının yakınında kimyasal çökeltme ile (Örneğin; Kaliforniya'daki Boron, Searles Gölü ve Billie yatakları ile Türkiye'deki Kırka, Sultançayır, Bigadiç ve Emet yatakları);
- Tuz oluşturan evaporit döngülerinin kapalı fazlarında deniz suyundan çökeltme ile (Örneğin; Almanya'daki Satssfurt yatağı);



Şekil 8- Bor elementinin devirselliği. 1. Skarn yatakları; 2. Denizel yataklar; 3. Playa-göl yatakları (Watanabe, 1964'ten alınmıştır).

Çizelge 2- Bor mineralleri, formülü ve kimyasal bileşimi.

	YAPISAL FORMÜL	EMİRİK FORMÜL	OKSİT FORMÜLÜ
CA-BORATLAR			
<i>Preseit</i>	$\text{Ca}_2(\text{B}_5\text{O}_7(\text{OH})_5) \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$4\text{CaO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
<i>Kolemanit</i>	$\text{Ca}(\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$2\text{CaO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<i>Meyerhofferit</i>	$\text{Ca}(\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5) \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$2\text{CaO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
<i>İnyoit</i>	$\text{Ca}(\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	$2\text{CaO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
CA-NA-BORATLAR			
<i>Probertit</i>	$\text{NaCa}(\text{B}_5\text{O}_7(\text{OH})_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}_2\text{CaO}_5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
<i>Üleksit</i>	$\text{NaCa}(\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}_2\text{CaO}_5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
NA-BORATLAR			
<i>Kernit</i>	$\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}_2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
<i>Tinkalkonit</i>	$\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}_2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<i>Boraks</i>	$\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}_2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
MG-BORATLAR			
<i>Szaybelit</i>	$\text{Mg}(\text{BO}_2(\text{OH}))$	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$2\text{MgOB}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
<i>Pinnoit</i>	$\text{Mg}(\text{B}_2\text{O}(\text{OH})_6)$	$\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{MgOB}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
<i>Mcasllisterit</i>	$\text{Mg}(\text{B}_6\text{O}_7(\text{OH})_6) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}_2\text{B}_{12}\text{O}_{20} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	$2\text{MgO}_6\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
<i>Hungchaoit</i>	$\text{Mg}(\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{MgB}_4\text{O}_7 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	$\text{MgO}_2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
<i>Kurnakavit</i>	$\text{Mg}(\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	$2\text{MgO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
<i>İnderit</i>	$\text{Mg}(\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	$2\text{MgO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
MG-NA BORATLAR			
<i>Aristarainit</i>	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{B}_6\text{O}_8(\text{OH})_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{MgB}_{12}\text{O}_{20} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{OMgO}_6\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
<i>Rivadavit</i>	$\text{Na}_6\text{Mg}(\text{B}_6\text{O}_7(\text{OH})_6) \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_6\text{MgB}_{24}\text{O}_{40} \cdot 22\text{H}_2\text{O}$	$3\text{Na}_2\text{OMgO}_{12}\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
MG-CA BORATLAR			
<i>Hidroborasit</i>	$\text{CaMg}(\text{B}_6\text{O}_8(\text{OH})_6) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaOMgO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
<i>İnderborit</i>	$\text{CaMg}(\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaOMgO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$
MG-K-BORATLAR			
<i>Kaliborit</i>	$\text{KHMg}_2(\text{B}_{12}\text{O}_{16}(\text{OH})_{10}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{Mg}_4\text{B}_{24}\text{O}_{41} \cdot 19\text{H}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}_4\text{MgO}_{12}\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$
SR-BORATLAR			
<i>Viçit – A</i>	$\text{Sr}_2(\text{B}_{11}\text{O}_{16}(\text{OH})_5) \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Sr}_4\text{B}_{22}\text{O}_{37} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$4\text{SrO}_{11}\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
<i>Tünellit</i>	$\text{Sr}(\text{B}_6\text{O}_9(\text{OH})_2) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{SrB}_6\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{SrO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
BOROSİLİKATLAR			
<i>Bakerit</i>	$\text{Ca}_4\text{B}_4(\text{BO}_4)(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_8\text{B}_{10}\text{Si}_6\text{O}_{35} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$8\text{CaO}_5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<i>Havlit</i>	$\text{Ca}_2\text{B}_5\text{SiO}_9(\text{OH})_5$	$\text{Ca}_2\text{SiHB}_5\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$4\text{CaO}_5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<i>Searlesit</i>	$\text{NaBSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$	$\text{NaBSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{OB}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
BOROARSENATLAR			
<i>Kahnit</i>	$\text{Ca}_2\text{B}(\text{AsO}_4)(\text{OH})_4$	$\text{Ca}_2\text{AsBO}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$4\text{CaOB}_2\text{O}_3\text{As}_2\text{O}_5 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
<i>Terrujit</i>	$\text{Ca}_4\text{MgAs}_2\text{B}_{12}\text{O}_{22}(\text{OH})_{12} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}_4\text{MgAs}_2\text{B}_{12}\text{O}_{28} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	$4\text{CaOMgO}_6\text{B}_2\text{O}_3\text{As}_2\text{O}_5 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
BOROFOSFATLAR			
<i>Lüneburgit</i>	$\text{Mg}_3\text{B}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}_3\text{P}_2\text{B}_2\text{O}_{11} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$3\text{MgOP}_2\text{O}_5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
BOROSÜLFATLAR			
<i>Fontarnauit</i>	$\text{Na}_2\text{Sr}(\text{SO}_4)(\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{SrSB}_4\text{O}_{11} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{OSrOSO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

- Dolomit veya manyezit ile kontakt metasomatizma sonucu ludvigit, kotoyit ve aşarit gibi magnezyum borat oluşumu (Örneğin; Rusya, Yakutia'daki Teazhone yatağı ve Kuzey Kore Hol-Kol yatağı);
- Kireçtaşı ile kontak metasomatizma sonucu datolit ve danburit gibi bor silikat oluşumları (Rusya, Pamir ve Dalnegorskoye, Primorsky yatakları);
- Volkanik gaz çıkışları ile borik asit çıkışı, örneğin süblimatlar (Örneğin; Kaliforniya, clear lake'de Lake county, Şili, Salar de Surire ve İtalya, Tuscany'de Maremma Bölgesi);

Boratlar, ekonomik getirisi fazla olan, bir maden yatağı grubu oluştururlar. Çeşitli genetik türleri tespit edilmiştir (volkanik, hidrotermal, metamorfik, sedimentar) ve bu yataklardan en önemlisi, denizel olmayan evaporitik ortamlarda oluşuma karşılık gelir. Borat yataklarının oluşumu 3 ana grup altında özetlenebilir (Şekil 8):

1. Silikat ve demir oksit içeren ve sokulumlar ile ilişkili olan skarn grubu;
2. Denizel evaporitik sediman ana kayalı magnezyum oksit grubu;
3. Gölsel (playa gölü) sedimanlar ve patlamalı volkanik aktiviteye bağlı sodyum ve kalsiyum borat hidratları grubu.

Boratların çökeldiği volkanik alanlarla ilişkili gölsel havzalar, stratigrafik kayıtlarda Oligosen'den bu yana bilinmesine rağmen, bunlardan Miyosen yaşında olanlar ekonomik olarak daha önemlidir. Bu havzalardaki bor mineralleri, kurak-yarı kurak koşullar altında ve bazen düşük sıcaklıklarda, şiddetli hidrotermal etkilerin olduğu volkanojenik alanlarda yer alan tuzlu göllerde oluşmuştur (Şekil 9). Playa-göl volkano-sedimanter sedimanlardaki ekonomik borat yataklarının oluşumu için gerekli koşullar aşağıda verilmektedir:

1. Playa-göl ortamının oluşumu;
2. Andezitten riyalite kadar bileşim sunan volkanik kaynaklı borun, playa-gölde zenginleşmesi, graben faylar boyunca hidrotermal çözeltiler veya kül-döküntü çökellerinin doğrudan havza içinde depolanması;
3. Volkanizmanın yakınlarında termal kaynaklar;

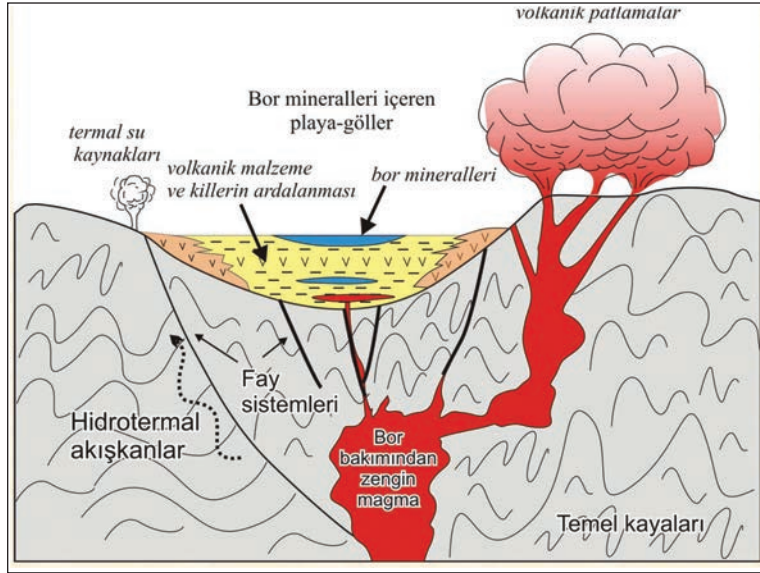
4. Kurak-yarı kurak iklim koşulları; ve

5. 8.5 ve 11 arasında değişen pH değerine sahip göl suyu.

4.1. Denizel Olmayan Havzalardaki Borat Yatakları

Borun başlıca ekonomik kaynağı, denizel olmayan borat yataklarıdır. Ekonomik boyutlu büyük borat yataklarının oluşumu için bor bakımından zengin kaynağa gereksinim vardır ve sınırları belirli bir ortam borun taşınması ve burada zenginleşmesi gerekmektedir. Bu koşulların yanı sıra, kurak ve yarı-kurak iklim koşulları da borun depolanması ve ekonomik miktarda çözünebilir borat konsantrasyonu için gerekli gözükmemektedir. Bu çözünür boratlar, uzun vadede, sadece gömülme ile korunabilir; buna karşın, Orta Tersiyer'den daha yaşlı çözünür borat yataklarının bulunmaması, gömülme mekanizmasının bile, bu yatakların uzun jeolojik süreler boyunca korunmasında etken olmadığına işaret edebilir. Elementin, ekonomik olarak yeterince zenginleştiği, nispeten birkaç oluşum vardır. Nerede zenginleşme derecesi oluşursa, bu genellikle lokal bir volkanik aktivitenin (borun kaynağı olarak), göl suyu gibi bir su kütlelerinin (bor bileşiklerini çözmek için), evaporitik koşulların (çözeltiyi, çökeltme noktasında zenginleştirmek için) ve koruyucu sediman tabakasının çökmesinin (kuvvetli çözünür-lüğe sahip bor minerallerinin korunması için) bir sonucudur. Bu koşullar, çarpışmalı tektonik ortamlarda bulunmaktadır ve Batı Anadolu buna başlıca örnek olup, bu bölgedeki çarpışma ve genişleme tektoniğinin ve kabuksal metasomatik süreçlerin zamanlamasının anlaşılmasında önemli gelişmeler olmuştur. Bu nedenle, Batı Anadolu'daki bor yataklarının oluşumu, eski mobil kuşaklardaki çarpışma ile ilişkili tektonik ortamlarda yer alan bor konsantrasyonunun tespit edilmesi ve anlaşılması açısından iyi bir örnektir (Şekil 9).

Kimyasal çökeltme olarak oluşan en büyük bor yatakları, kil, çamurtaşı, tuf, kireçtaşı ve benzer gölsel sedimanlar ile ardalanmalı olarak bulunur. Bu yatakların birçoğunun, aktif volkanizma ile zaman bakımından yakın ilişkili olduğuna dair güçlü kanıtlar vardır. Volkanik aktiviteye bağlı termal kaynaklar ve hidrotermal çözeltiler, borun en olası kaynağı olarak kabul edilmektedir (Şekil 9). Güney Amerika'da volkanik olarak aktif bölgelerde yer alan bazı kaynaklarda boratlar halen çökeltmektedir ve ABD'de keşfedilen ilk boraks yatağı da, volkanik olarak aktif olan Kaliforniya, Clear Lake'deki sıcak kaynaklarla ilişkili çamurlarda yer almaktadır. Buna karşın, başka bir tip borat göl yatağı bulunmakta olup, bunlar karışık



Şekil 9- Batı Anadolu'da Neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren genelleştirilmiş playa gölü çökelim modeli (Helvacı, 2005).

tuzlar ve/veya yeterli miktarda borat içeren salamuralardan oluşmaktadır. Kaliforniya, Searles Gölü, göl sularının evaporasyonu ile oluşan çok bileşenli göller bir örnektir. Benzer şekilde, Konya-Karapınar havzası (Türkiye), Geç Miyosen'den günümüze kadar aktif olmuş volkanlarla çevrilidir. Sıcak ve mineralli su ve magmatik gaz çıkışı, aktif volkanizmanın varlığını göstermektedir. Bu volkanizmayla ilişkili termal ve mineralli sular, havzaya Na, B, Cl, SO₄ ve CO₂'yi taşımaktadır. Havzada, halen bu volkanik aktivite ile ilişkili ekonomik bor yatağı ve klorit, sülfat ve karbonat tuz oluşumları gerçekleşmektedir (Helvacı ve Ercan, 1993).

Sassolit elde edilen İtalyan (Tuscany) buhar bacaları, aktif volkanik kaynağı temsil etmektedir. Hidratlı boratlar, denizel olmayan ortamlarda çeşitli yollarla birikirler. Bunlar, başlıca bor mineralleri olan ülkesit, boraks veya inyoit ile birlikte, borat kaynaklarının çevresindeki kaynak apronlarındaki seviyelerde, çökebilirler. Boratlar, borat kaynakları ile ağırlıklı olarak beslenen havzularda boraks kristalleri ile birlikte oluşabilir ve boraks kristalleri çamurun tabanında veya kesintili kurumuş kenarlarda oluşabilir (Clear Lake ve Şili'deki Salar de Surire gibi). Uyuni ve Atacama gibi, büyük Güney Amerika salarlarında yer alan boratlar, çevre kayalarından süzülme ve sonrasında evaporasyon ile oluşmuş olabilir.

4.2. Denizel Evaporitler

Ekonomik ölçekte denizel kökenli boratlara, sadece Avrupa'da rastlanılmıştır. Bunlar, magnezyum bo-

ratlar olup, Permien yaşlı tuz yatakları ile ilişkilidir. Almanya'da potas madenciliğinde yan ürün olarak ve Kazakistan'ın da Inder bölgesinde üretilmiştir. Boratların, tuz domu kompleksinin şapkasında damarlar şeklinde olduğu Inder yatağının remobilize olduğu ve tuz domunun sokulumu sırasında tuzlardan ayrılarak konsantre olarak geliştiği belirtilmiştir. Çin'de, Liaoning Peninsula'daki bazı yataklar, (büyük ihtimalle Prekambriyen yaşlı metamorfe olmuş denizel olmayan evaporitler) Prekambriyen yaşlı metamorfe kireçtaşları ve manyezitlerde damarlar şeklinde oluşmasına rağmen benzer kökene sahip olabilir (Peng ve Palmer, 1995; 2002). Kazakistan üretimini de kaynağı olan Inder Gölü salamuraları, büyük tuz domu kompleksinden süzülen borat birikimleri olarak gözükmektedir. Hazar Denizi'nin doğu kıyılarında yer alan Kara-Boğaz-Göl Lagünü boratlarının da denizel salamuralardan süzülme ile oluştuğu görülmektedir.

4.3. Magmatik Kaynaklar (Skarn yatakları)

Pegmatitler ve kontak metamorfik kayalar, datolit, ludvigit, paigeyt ve turmalin gibi mineraller içeren çeşitli bor topluluklarından oluşur (Şekil 8; çizelge 2). Bu durum, intrüzif granitik magma kristalizasyonuna bağlı bor konsantrasyonunu gösterir. Granitler, birkaç istisna dışında, ortalama yaklaşık 10 ppm bor içerirler ve nadiren 300 ppm'e kadar ulaşmaktadır. 300-400°C gibi yüksek sıcaklık koşulları ve sokulum dokanağı boyunca yüksek basınç altındaki akışkanlar, borun, çevre kayalarından özümlemesini sağlar. Doğu Rus-

ya ve Çin’de bu tür borat skarn yatakları işletilmekte olup, bunların bazıları demir cevheri ve ekonomik tenörlü magnezyum yatakları ile ilişkilidir.

5. Mineraloji

En azından 3.9 Ga, bor elementi, kendi minerallerini oluşturmak için konsantre olmuştur ve ribonükleik asitin başlıca bileşeni ve hayat öncüsü olan ribozomu stabilize ettiği düşünülmektedir. Bor elementinin iki yaygın izotopu bulunmaktadır, ^{10}B ve ^{11}B ; bunlardan ^{10}B izotopu, büyük bir yakalama kesitine sahip olup bu durum onu mükemmel bir nötron soğurucu yapmaktadır. Bu iki duraylı izotop atomik ağırlıklar bakımından belirgin olarak farklıdır ve böylece minerallerin ve kayaçların bor izotop bileşimi, onları oluşturan süreçlere ait izleri bünyesinde tutar. Bor bileşik-leri, büyük çeşitlilikte kristal yapıları içerir. Evaporitler, dünyada en zengin bor konsantrasyonu teşkil eder ve bu nedenle, tıp, elektronik ve nükleer sanayinde birçok alanda kullanılan borun da başlıca kaynağını oluşturur.

Bor elementi, doğada fazlasıyla dağılmış durumda olup, yüzey sularında ortalama 0.1 ppm, yer kabuğunda 3 ppm ve deniz suyunda 4.6 ppm’dir. Düşük seviyelerde, suda çözülebilen bor, bitkilerin yaşamı ve gelişimi için temel mikrobeseindir; yetersiz ve aşırı bor içeriği aralığı dardır (0.25 – 15.0 ppm) ve birçok toprağın bor içeriği genellikle bu aralık içerisinde. Hayvansal dokularda yaklaşık 1 ppm borat bulunmakta olup, bu durum hayvanların yediği sebze ve meyvelerden kaynaklanmakta ve her ne kadar kalsiyum kullanımında vücut becerisinde bir rol oynasa da gerekli biyokimyasal fonksiyon olarak bilinmemektedir. Borat, genellikle polialkoller ile kompleks hale gelmiş sulu fazlarda bitkilerde ve hayvanlarda taşınır.

Bor mineralleri, doğada 3 ayrı formda bulunmakta olup, bunlar; genellikle silikat ve demir oksitlerden oluşan ve intrüziyelere bağlı skarn mineralleri; denizel sedimanlar ile ilişkili magnezyum-oksitler ve karasal sedimanlar ve volkanik aktivite ile ilişkili sulu sodyum ve kalsiyum boratlarıdır (Şekil 8, çizelge 2). Bazı skarn mineralleri, Rusya ve Çin’deki bor üretiminin kaynak mineralidir olup datolit ve szaybelit bunlardan en önemli olanıdır. Boraks, kernit, kolemanit ve üleksit başlıca evaporit mineralleridir ve Türkiye, Güney Amerika ve Amerika Birleşik Devletleri’ndeki bor üretiminin esas kaynağını teşkil etmektedir (Çizelge 3). (Palache vd., 1951; Muessig, 1959; Watanabe, 1964; Aristarian ve Hulburt, 1972; Helvacı, 1978; Kistler ve Helvacı, 1994; Grew ve Anovita, 1996; Helvacı, 2005; Garret, 1998; Helvacı, 2012).

Çizelge 3- Ticari bor mineralleri.

Mineral Adı	Empirik Formülü	B_2O_3 İçeriği (ağ.%)
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	50.8
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	43.0
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	35.5
Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_{14}\text{O}_{39} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	51
Pandermit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{29} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	49.8
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50.5
Szaybelit (aşarit)	$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	41.4
Datolit	$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$	21.8

Doğada çoğunluğu sodyum, kalsiyum ve magnezyum tuzlarından yapıyla yüzelliden fazla bor mineral tespit edilmiştir (Çizelge 2). Günümüzde, boraks, üleksit, kolemanit ve datolit ticari olarak önemli olan minerallerdir (Çizelge 3). Doğal sodyum borat dekahidrat olan boraks veya tinkal, borun başlıca ekonomik kaynağı olup, Amerika Birleşik Devletleri, Arjantin ve Türkiye’de üretilmektedir. Sodyum-kalsiyum borat karışımı olan üleksit, ekonomik olarak Türkiye’de ve Güney Amerika’daki birkaç ülkede işletilirken, başlıca kalsiyum borat minerali olan kolemanit üretimi ise Türkiye ile sınırlıdır.

Boraks, bor endüstrisi açısından en önemli mineraldir. Kolayca ufalanır ve suda rahatlıkla çözünür; çözünürlüğü ve çözelti miktarı su sıcaklığına bağlı olarak artar. Kaliforniya (ABD)-Boron, Türkiye-Kırka ve Arjantin-Tincalayu’da, büyük rezervli boraks yatakları mevcuttur. Kırka ve Tincakayu’daki yataklarda az miktarda kernit bulunurken, Boron (Kaliforniya) yatağında toplam rezervin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır ve borakstan daha fazla B_2O_3 içeriğine sahiptir.

Kolemanit, sodyumsuz fibercam endüstrisinde tercih edilen ve kullanılan kalsiyumlu bor mineralidir. Asitte kolaylıkla eriyebilmesine karşın sudaki çözünürlüğü düşüktür. Kolemanitin bir kısmı, Türkiye’den düşük maliyetle B_2O_3 sağlanması nedeniyle, Avrupa’daki kimya fabrikalarında borik asit üretmek için kullanılmaktadır. Türkiye, yüksek tenörlü kolemanitin dünyadaki başlıca kaynağıdır. Amerika Birleşik Devletleri, Death Valley Bölgesi’nde önemli rezervlere sahip olmasına karşın, günümüzde sadece sınırlı miktarda üretim yapmaktadır. Arjantin’de sınırlı miktarda yüksek oranda su içeren inyoit üretilmekte olup, kolemanitin Türkiye ve Kuzey Amerika dışındaki büyük yataklarının varlığı bilinmemektedir.

Üleksit, yüzey veya yüzeye yakın kesimlerde, playa tipi göllerde, dünyada Kuvaterner'den günümüze kadar gelişen bataklıklarda bulunan, yumuşak, genellikle pekişmemiş ve lifsi kristal toplulukları şeklinde bulunan yaygın borat mineralidir. Pamuk topları veya "papas" Güney Amerika ve Çin'de büyük miktarlarda üretilmektedir. Neojen yaşlı üleksit, Türkiye'de, ABD'deki Boron ve Death Valley'de yer alan yataklardan üretilmektedir. Üleksit bu yataklarda iyi pekleşmiş, sert, daha yoğun ve genel olarak daha iyi tabakalanmıştır.

Szaybelit (aşarit) minerali, Çin ve Rusya'nın esas bor hammaddesidir. Suda, kolemanit gibi düşük çözünürlüğü olan bir magnezyum borat mineralidir. Boraks ve kolemanite göre yüksek magnezyum içeriğine sahip olması nedeniyle az kullanım alanı olmakla birlikte, Doğu Avrupa, Rusya ve Asya'da az miktarlarda değerlendirilmektedir. Büyük ölçekte konsantre mineral olarak uluslararası ticareti yoktur. Ayrıca, Rusya'da az miktardaki danburit, ludvigit ve turmalin gibi minerallerden oluşan skarn borosilikatları da tali olarak işletilerek borat üretilmektedir. Bir silikat minerali olan datolit üretimini ise Rusya ile sınırlıdır. Bu minerallerin, cam fırınlarında kullanılan diğer minerallere göre daha yüksek ergime sıcaklıklara sahip olması nedeniyle kullanılabilir bir ürün olabilmesi için, öncelikle serbestleştirilip, konsantre edildikten sonra asitte çözündürülmesi gereklidir.

Pandermit Türkiye'de, hidroborasit ise Rusya ve Arjantin'de işletilmektedir. İnyoit, havlit, meyerhofferit ve kurnakovit gibi diğer mineraller yer yer baskın cevher mineralleri ile birlikte bulunurlar.

Borasit, Almanya'da 1945 öncesinde, potasyum madeninden yan ürün olarak borasit ve az miktardaki magnezyum boratlar olarak üretilerek kullanılmıştır. Rusya'daki borosilikatlar cevherleri ile birlikte bulunan aksinit, suanit, kotoit ve diğer mineraller literatürde verilmiştir.

Sasolit, birçok zuhurda az miktarda bulunması nedeniyle sadece mineralojik öneme sahiptir. Ancak, İtalya'nın Lardarello Bölgesi'nde doğal buhar, sasolit olarak işletilebilen borik asit içermektedir ve 1965 öncelerinden beri yılda binlerce ton üretilmiştir.

6. Başlıca Bor Yatakları

Başlıca dört ana metalojenik borat provensi bulunmakta olup, bu provensler dünyadaki en önemli bor rezervlerini içerir. Bunlar; Anadolu (Türkiye),

Batı Amerika (ABD), Orta Andlar (Güney Amerika) ve Tibet-Qinghai Platosu'dur (Orta Asya) (Şekil 7). Borat yataklarının oluşumu Senozoyik volkanizma, termal kaynaklar, kapalı havzalar ve kurak iklimlere bağlıdır. Çarpışma platosu olan Tibet-Qinghai Platosu dışındaki diğer provensler, kıtasal çarpışmanın olmadığı dalma-batma ortamlarında gelişmiştir (Şekil 10, 11 ve 12).

Anadolu, Tibet-Qinghai Platosu ve Kaliforniya, Kuzey Yarımküre'de, Andlar ise Güney Yarımküre'de yer alır. Borat yataklarının yaşı Senozoyik olup, esas olarak Miyosen ve Kuvaterner yaşındadır. Anadolu (Yaklaşık; 18-14 My), Kaliforniya (Yaklaşık; 22-6 My) (Şekil 11) ve Andlar'da (Yaklaşık; 7-5 My) Miyosen yaşlı borat yatakları mevcuttur. Tibet-Qinghai Platosu'nda sadece Kuvaterner borat yatakları vardır. Anadolu'da asıl olarak Miyosen borat yatakları mevcut olup, ekonomik olmayan Kuvaterner oluşumlar da bulunmaktadır.

Dünyada dört tane başlıca boraks yatağı bulunmaktadır. Bunlar; Anadolu'da Kırka yatağı, Kaliforniya'da Boron yatağı ve Andlar'daki Tincalayu ve Loma Blanca yataklarıdır (Şekil 7). Kırka, Boron ve Loma Blanca yataklarında, bor mineralleri kimyasal ve mineralojik bileşim açısından benzerlik sunmaktadır ve mineral serileri Ca/Ca-Na/Na/Ca-Na/Ca (kolemanit ve/veya inyoit//üleksit//boraks//üleksit//kolemanit ve/veya inyoit) şeklindedir. Bor mineralleri az oranda tektonik deformasyona maruz kalmış yeşilimsi volkanoklastik gölsel evaporitik istiflerde gözlenmektedir (Şekil 13). Tincalayu yatağı daha farklı olup, evaporitler, kırmızı tabakalarda hapolmuştur, düzensiz deformasyon gözlenmektedir ve tabandan tavana doğru halit/jips/boraks/üleksitten oluşan bir litolojik istif hakimdir. Bu yataklardaki boraks dokusu farklıdır; Kırka'da yıllık kimyasal kalınlık ince (mm); Boron'da yıllık kimyasal kalınlık kalın (cm); Tincalayu'da masif (m) ve Loma Blanca'da saçınımlı evapokristaller (mm den cm ye kadar değişen) şeklindedir (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı, 2005).

Anadolu'da ve Kaliforniya-Death Valley'de (Furnace Creek Fm.) probertit ve hidroborasit içeren veya içermeyen kolemanit yatakları vardır, Sijes (Arjantin) Kuvaterner borat yatakları (Andlar) salamuralarda bulunmaktadır, playa-göl ve tuz panlarında (ABD, Tibet-Qinghai Platosu, Orta Anadolu) mevcuttur. Kaliforniya ve Andlar'daki yataklar Tibet-Qinghai Platosu'ndaki gibi (üleksit ve Mg-borat), kalsiyum ve kalsiyum-sodyum boratlarını (üleksit, boraks, inyoit) içerir. Orta Andlar'da borat yataklarını oluşturan ter-



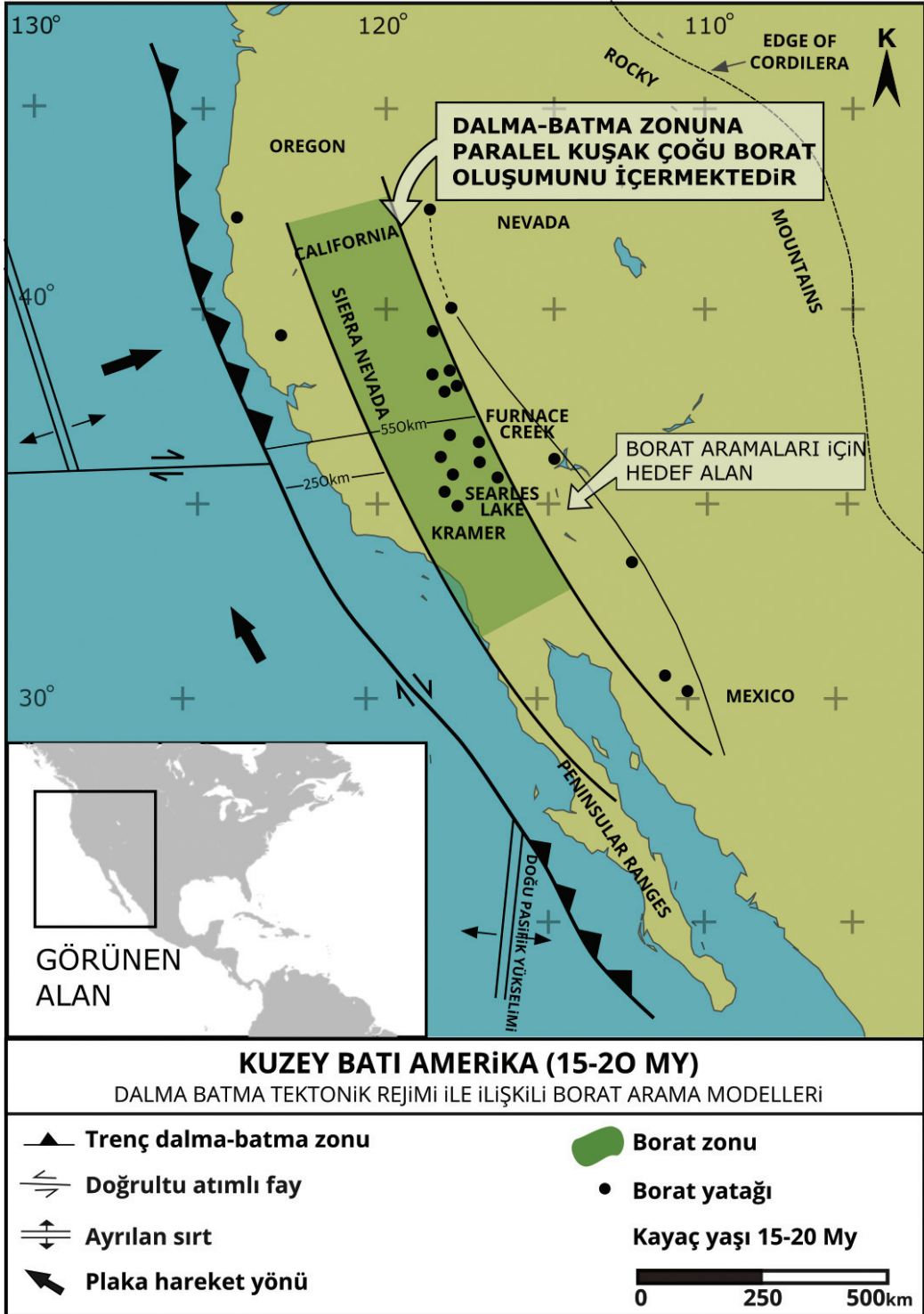
Şekil 10- Doğu Akdeniz'in (15-20 My) bilinen bor yatakları ve yitim tektoniğine bağlı bor arama modeli.

mal kaynaklar ve gayzerler çok yaygındır (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı, 2005).

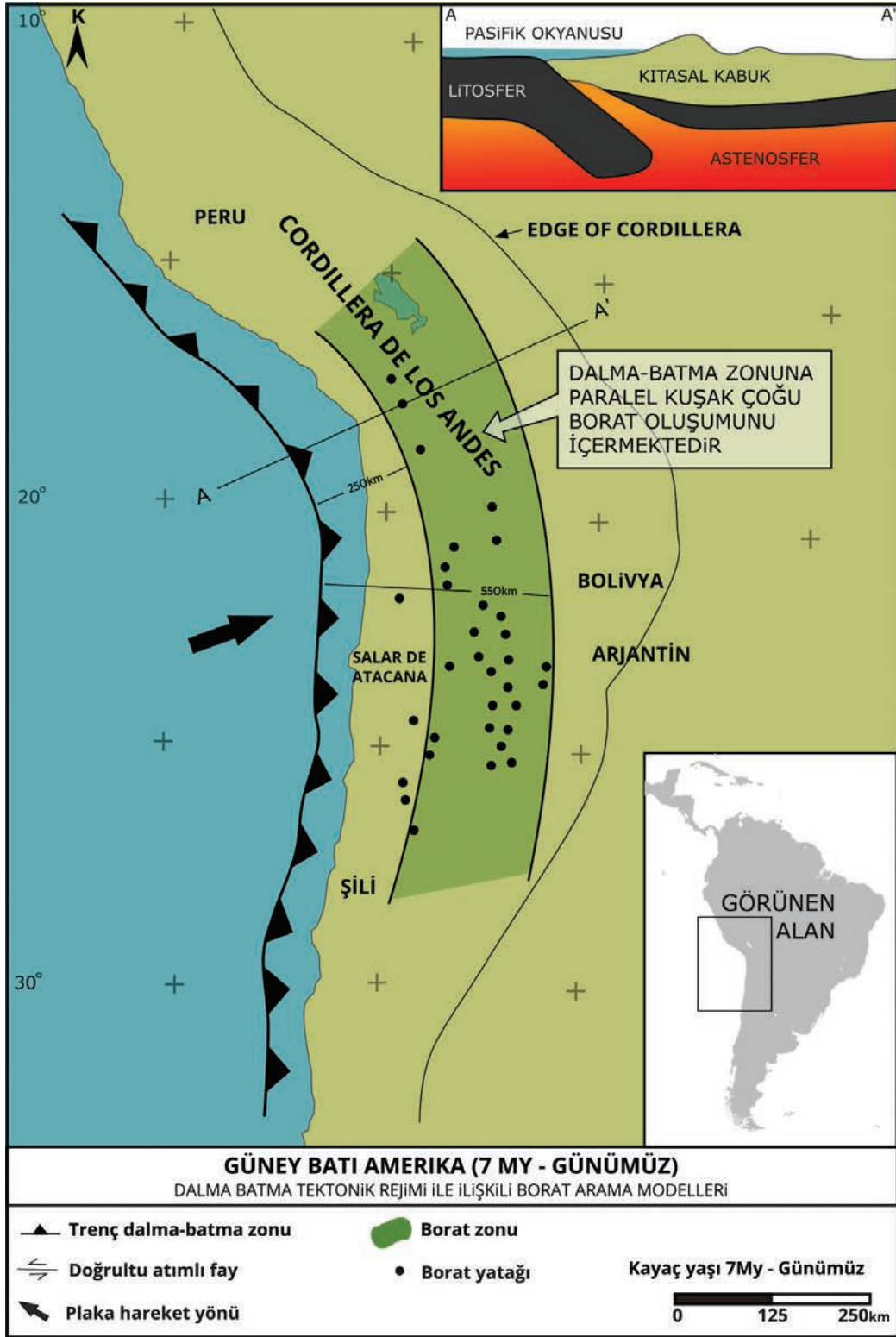
6.1. Türkiye Bor Yatakları

Türkiye borat yatakları, volkanik aktivitelerin yer aldığı dönemlerde Tersiyer gölsel sedimanlar içinde kurak ve yarı kurak iklim koşullarında ayrık veya bir-biriyle bağlantılı olan gölsel havzalarda oluşmuşlardır (Meixner, 1965; Özpeker, 1969; İnan vd., 1973; Helvacı ve Firman, 1976; Helvacı, 1986, 1989, 1995;

Kistler ve Helvacı, 1994; Palmer ve Helvacı, 1995, 1997; Helvacı ve Orti, 1998; Helvacı ve Alonso, 2000; Şaylı, 2003; Helvacı ve Orti, 2004; Helvacı, 2005; Helvacı, 2012). Borat göllerindeki sedimanlar, açık bir devirsellik gösterir ve bor havzasındaki sedimanların birçoğunun volkanik sahalardan türemiş olduğu gözükmemektedir (Şekil 13 ve 14). Tüm borat sahalarında, şiddetli bir kalkalkali volkanik aktivite, borat sedimantasyonu ile eş zamanlı olarak gerçekleşmiştir. Borat yataklarının yer aldığı yakın civar havzalarda, asitten bazıge kadar değişen bileşimde kalkalkali seriler ile temsil edilen yaygın bir volkanizma



Şekil 11- Batı Kuzey Amerika'nın (15-20 My) bilinen bor yatakları ve yitim tektoniğine bağlı bor arama modeli.



Şekil 12- Batı Güney Amerika'nın (7 My - günümüz) bilinen bor yatakları ve yitim tektoniğine bağlı bor arama modeli.



Şekil 13- Borat yatakları ile ilişkili volkanoklastik gölsel evaporitik istif, Bigadiç bor yatağı, Türkiye.



Şekil 14- Borat göllerinde devirselliği gösteren sedimanlar ve borat birimindeki sedimanlar ile arakatlı volkanik tüfler. Killi tüflü matriks içinde oluşmuş kolemanit nodülleri, Hisarcık açık ocak işletmesi, Emet, Türkiye.

yer almakta ve bunların piroklastik kayaçları sedimanlar ile ardalanmalı bulunmaktadır.

Riyolitik, dasitik, trakitik, andezitik ve bazaltik bileşimli volkanik ve piroklastik kayaçlar, bu gölsel sedimanlar ile geçişlidir (Şekil 3 ve 6). Tüm borat bölgelerinde volkanik kayaçların bulunması, volkanik aktivitenin bor oluşumları için gerekli olduğu fikrini ortaya koymaktadır. Tüm yataklarda, günümüzde traverten çökeltten termal kaynaklar yaygın olarak gözlenmektedir.

Sedimanter istif kalınlığı yataktan yatağa değişmektedir, muhtemelen birbiriyle bağlantılı göller zincirinde çökeltme ve volkano-sedimanter istif nedeniyle, kalınlık yataklarda 1000 m'yi geçmektedir. Yataklar KD-GB ve KB-GD uzanımlı gravite fayları tarafından ornatılmışlardır (Şekil 2, 3 ve 6). Emet, Bigadiç ve Kırka'daki borat zonunun fazlasıyla kalın olması, bu yatakların oluşumu sırasında mevcut farklı koşulların olduğuna işaret etmektedir. Borat yataklarının ortak özellikleri şu şekildedir; yataklar kurak veya yarı kurak iklim koşullarında denizel olmayan ortamlarda çökeltten gölsel sedimanlar içinde yer alır. Yataklar, kapalı çökelt havzalarında depolanmışlardır ve bu yataklarda, borat oluşumundan önce ve sonra yaygın olarak tatlı su kireçtaşı çökeltimi gerçekleşmiştir. Paleocoğrafik senaryonun kısmen sıcak sular ve çevredeki volkanik, kireçtaşı ve temel kayaçlardan gelen sedimanların taşındığı akarsularla beslenen sığ göllerden oluştuğu düşünülmektedir (Şekil 9).

Dünya'daki en büyük bor rezervi Batı Anadolu'dadır ve tüm yataklar aşırı tuzluluk ve alkaliniteye sahip kapalı havzalarda Miyosen döneminde oluş-

muştur. Borat yataklarının bulunduğu bu Neojen havzalar, KKD gidişli fayların oluşumuna neden olan açılmalı tektonik rejim sırasında, Türkiye'nin KB'sında gelişmiştir. Tüm bu havzalar tüflü kayaçlar ve lav serileri ile kısmen doldurulmuştur. Bor bakımından zengin akışkanların havzalar içinde faylar boyunca dolaştığı varsayılmaktadır (Şekil 9). Borat göllerinde çökeltten sedimanlar genelde tüflü kayaçlar, kilaşı, kireçtaşı ve Ca-, Na-, Mg-, Sr-boratlar ile temsil edilmektedir (Çizelge 2). Kumtaşı ve konglomeralar, havzanın kenar kesimlerinde oluşur. Boratlar tuf ve kilce zengin seviyeler arasındadır (Şekil 3, 6 ve 14). Borat havzalarında, borat çökeltimi ile eş zamanlı yaygın bir kalkalkali volkanik aktivite gerçekleşmektedir. Volkanik kayaçlar, alkalkali karakterli ve asitten bazı kadar değişen bileşimdeki akıntılar ve sedimanlar ile ardalanmalı bulunan piroklastiklerden oluşur (Şekil 3 ve 6).

Türkiye borat yataklarının mineralojisi önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir ve Türkiye'deki yatakların borat mineralleri esas olarak Ca; Ca-Mg; Na ve Mg boratlarıdır. Kırka yatağında ender olarak Sr borat bulunmaktadır (Baysal, 1972; Helvacı, 1977), bunun yanı sıra Emet yöresinde Ca-As ve Sr-boratların varlığı bilinmektedir (Helvacı ve Firman, 1976; Helvacı, 1977). Kırka yatağı, boraks, tinkalkonit, kernit, inderit, inderborit ve kurnakovit minerallerini içeren Türkiye'deki tek yatak olarak bilinmektedir. Borat mineralleri genellikle kalsit, dolomit, jips, söleştin, realgar, orpiment ve sülfürle birlikte bulunmaktadır (Helvacı vd., 2012; çizelge 2).

Türkiye'nin bilinen borat yatakları KD gidişli Neojen havzalarda ve 5 ayrı bölgede oluşmuştur

(Şekil 1 ve 10). Bunlar; Bigadiç oleanit ve üleksit yatağı (Ca ve Ca-Na borat); Sultançayır pandermit yatağı (Ca-tip); Kestelek kolemanit yatağı (Ca-tip); Emet kolemanit yatağı (Ca-tip) ve Kırka boraks yatağıdır (Na-tip).

6.1.1. Bigadiç Yatağı

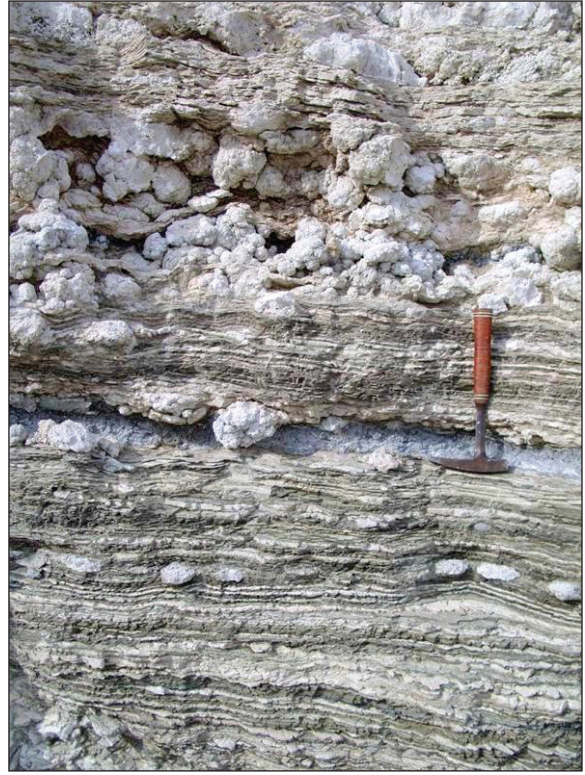
Bigadiç, Dünyanın bilinen en büyük kolemanit ve üleksit yatağıdır. Borat mineralleri alt ve üst zon olmak üzere iki farklı zonda oluşmuştur. Bu zonlar, diyajenez sırasında montmorillonite ve klorite ve zeolite dönüşen kalın tuf seviyeleri ile ayrılmaktadır. Her iki borat zonunun egemen minerali kolemanit ve üleksittir (Şekil 3, 15 ve 16) bunun yanı sıra, havlit, probertit ve hidroborazit alt borat zonunda; inyoit, meyerhofferit, prisit (pandermit), terçit, hidroborasit, havlit, tünellit ve rivadavit ise üst borat zonunda yer almaktadır (Özpeker, 1969; Helvacı, 1995; Helvacı ve Orti, 1998; Yücel-Öztürk vd., 2014) (Çizelge 2). Bigadiç borat yatakları, kurak iklim koşullarında, yerel volkanizmaya bağlı termal kaynaklar ile beslenen havzada oluşmuştur.

6.1.2. Sultanyaçır Yatağı

Boratlar, jips, kilaşı, kireçtaşı ve tüfler ile arakatlıdır. Pandermit, yaygın mineral olup, diğer borat mineralleri ise kolemanit ve havlittir (Çizelge 2). Jips baskın olarak bulunmakta, bunu yanı sıra kalsit, zeolit, simektit ve klorit de, yataktaki diğer minerallerdir (Orti vd., 1998; Gündoğan ve Helvacı, 1993; Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000). Killer içinde gelişen havlit mineralleri ince pandermit ve kolemanit bantları ile aralanmalıdır. Diyajenetik süreçler sonucu, bazı küçük havlit nodülleri pandermit ve kolemanit nodülleri içinde hapsolmüştür.

6.1.3. Kestelek Yatağı

Borat zonu kil, marn, kireçtaşı, tüflü kireçtaşı, tuf ve borat içerir. Volkanik aktivite, tuf ve aglomera ile andezitik ve riyoitik volkanitler oluşturur ve bunlar sedimanlar ile ilişkilidir (Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000). Bu istif, gevşek çimentolu konglomera, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan bir birim tarafından örtölür. Borat mineralleri, nodüller veya kütleler ve lifsi, özşekilli kristallerin ince seviyeleri şeklinde killer ile arakatlı olarak oluşmuştur. Kolemanit, üleksit ve probertit mineralleri egemendir, hidroborasit ise ender olarak gözlenir. Nodüllerin boşluklarında, çatlaklar ve boşluklarda ise saydam ve özşekilli kristaller şeklinde ikincil kolemanit minerali gelişmiştir (Şekil 17; Çizelge 2).



Şekil 15- Değişik boyutlarda kolemanit nodülleri, sedimanlar ile arakatlıdır. Tüflü açık ocak işletmesi, Bigadiç Türkiye.



Şekil 16- Sedimanlar ile arakatlı üleksit cevheri mercekleri, Kurtpınarı yatağı, Bigadiç, Türkiye.

6.1.4. Emet Yatağı

Neojen istif, Paleozoyik yaşlı mermer, mikaşist, kalkışist ve klorit-şistten oluşan metamorfik kayalar üzerine uyumsuzlukla gelr ve borat içeren sedimanlar kil, tuf, ve marn ile aralanmalı olup birim mercek biçimli borat oluşumları içerir (Şekil 3 ve 14). Borat yatakları içeren ve kil, tuf ve marnndan oluşan birimin bazı seviyelerinde realgar ve orpiment çok yaygındır



Şekil 17- Nodül boşlukları, çatlaklar ve boşluklarda gelişen ikincil kolemanit kristalleri, Kestelek, Türkiye.

ve bu durum Emet'te arsenik ve borun, benzer volkanik köken ve genetik ilişkiye sahip olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 2).

Emet havzası, Batı Anadolu'nun, başlıca kolemanit olmak üzere önemli miktarlarda borat mineralleri içeren Neojen havzalarından biridir. Boratlar, tuf, kil, ve marn ile ara seviyeli olup, borat merceklerinin alt ve üstünde kireçtaşı oluşumları gözlenmektedir. Başlıca bor mineralleri kolemanit ve probertittir, bunun yanı sıra az oranda üleksit, hidroborasit ve meyerhofferit bulunmaktadır (Şekil 18). Emet borat yatağı, viçit-A, tünellit, terrujit ve kahnit gibi nadir gözlenen bazı bor mineralleri içermektedir (Helvacı ve Firman, 1976; Helvacı, 1977; Helvacı, 1984; Helvacı, 1986; Helvacı ve Orti, 1998; Veigas vd., 2011).

Doğanlar sektöründeki arama kuyularından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen optik ve elektron mikroskop çalışmaları, karmaşık bir mineral toplulu-

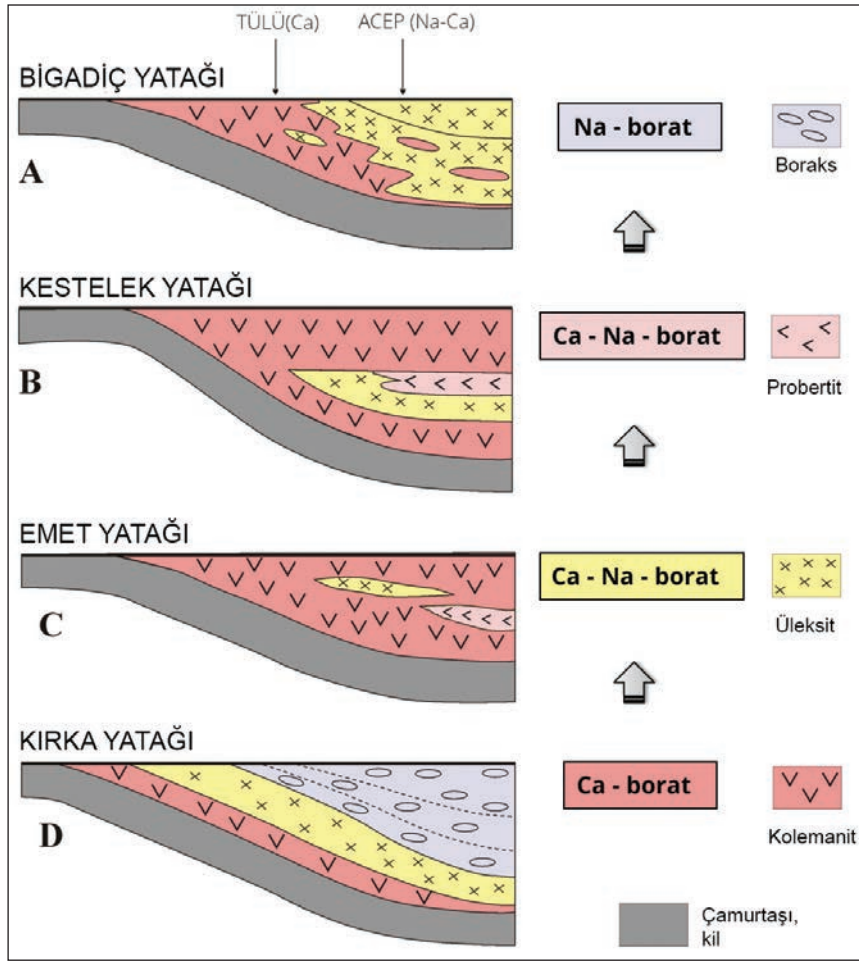


Şekil 18- Başlıca bor minerali olan kolemanit. nodüller ve eliptik mercekler şeklinde ve yeşil killere arakattır. Espey açık ocak işletmesi, Emet, Türkiye.

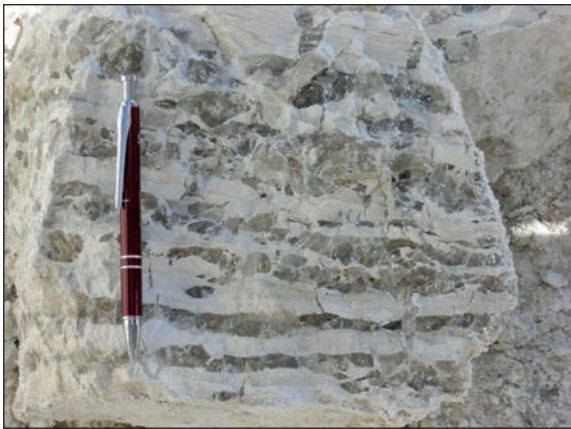
ğunun varlığını ortaya koymuştur. Buna göre, probertit, glauberit ve halit, volkano-sedimanter bir ortamdaki tuzlu gölde çökelen esas mineral fazını oluşturmaktadır. Diğer sülfatlar (anhidrit, jips, tenardit, sölestin ve kalistrontit), boratlar (kolemanit, üleksit, hidroborasit, tünellit, kaliborit ve aristarainit) ve sülfidler (arsenopirit, realgar ve orpiment) ise erken diyajenez işaret eder. Doğanlar yatağı, bugüne kadar bilinen en önemli probertit yatağıdır (Garcia-Veigas vd., 2011). Yatakta, yeni bir sülfat-borat minerali (fontarnaut) tespit edilmiştir ve bu minerali konu alan makale Canadian Mineralogist (Cooper vd., basıkda) dergisinde baskı aşamasındadır. Montmorillonit, illit ve klorit, tespit edilen kil mineralleridir. Tuf seviyelerinde zeolitlere yaygın olarak rastlanmaktadır. Nabit sülfür, realgar, orpiment, jips ve sölestin, saha boyunca borat zonlarında oluşmaktadır.

6.1.5. Kırka Yatağı

Neojen volkano-sedimanter istif, Paleozoyik yaşlı metamorfikler, Mesozoyik yaşlı ofiyolit karmaşığı ve fosilli Eosen kireçtaşı üzerine uyumsuzlukla gelir. Neojen istif, alttan üste doğru volkanik kayalar ve tuf; marn ve tuf ara katkılı alt kireçtaşı; borat zonu; üst kilaşı; çört batlı marn ve tuf içeren üst kireçtaşı ve bazaltlardan oluşur (Şekil 6). Kırka borat yatağının başlıca minerali boraks olup, buna az miktarlarda kolemanit ve üleksit eşlik etmektedir. Ayrıca, inyoit, meyerhofferit, tinkalkonit, kernit, hidroborasit, inderborit, inderit, kurnakovit ve tünellit de bulunmaktadır (Baysal, 1972; İnan vd., 1973; Helvacı, 1977; Sunder, 1980; Palmer ve Helvacı, 1995; Floyd vd., 1998; Helvacı ve Orti, 2004; Seghedi ve Helvacı, 2014; çizelge 2). Kırka yatağı, sodyum borat (boraks, tinkalkonit ve kernit) içeren ve beraberinde inderborit, inderit ve kurnakovit de bulunduran Türkiye'deki tek yataktır. Boraks kütleleri ince üleksit ve onu takiben daha dışta kolemanit fasiyesleri tarafından sarmalanmıştır (Şekil 19). Kırka yatağının mineral oluşum sırası $Ca/Ca - Na/Na/Ca - Na/Ca$ (kolemanit ve/veya inyoit/üleksit/boraks/üleksit/kolemanit ve/veya inyoit) şeklindedir. Borat seviyeleri eser miktarda sölestin, kalsit ve dolomit içermektedir ve kil ayrımları da bazı tuf seviyelerinden kuvars, biyotit ve feldispattan oluşmaktadır. Killer genel olarak simektit grubu minerallerden, ender olarak da illit ve kloritten oluşmuştur. Zeolitlere tuff seviyelerinde rastlanmaktadır. Kırka yatağı, çok küçük boyutlarda, kristaller arası kil içermesi nedeniyle, Boron ve Tincalayu'daki boraks yaaklarından farklıdır. Kırka'daki killer açık gri ve beyaz renktedir ve dolomitik karbonatlarda fazladır (Şekil 20). Boraks kristalleri ince taneli olup, düzgün ve 10 mm den 20 mm ye kadar değişen boyutlardadır (Şekil 20).



Şekil 19- Türkiye borat yataklarındaki bor minerallerinin dağılımı.



Şekil 20- Kırka borat yatağındaki (Türkiye) ardalanmalı boraks ve dolomitik kil seviyeleri.

Cevher kalınlığı 145 m ye kadar çıkmakta ve ortalama %20 – %25 bor oksit (B_2O_3) içermektedir.

6.2. ABD Bor Yatakları

In J.A. Veach, 1856 yılında, mineral kaynakları ile ilişkili çamurlarda boraks keşfetmiştir. Bu bölge şimdilerde Kaliforniya-Lake County, Clear Gölü'dür. Prospeksiyon çalışmaları Batı Nevada ve Güneydoğu Kaliforniya'daki çöllerde büyük yatakların keşfine olanak sağlamıştır. 1864 yılında küçük ölçekli üretimler başlamıştır. Yerli üretimin ilk 63 yılında, işletilen maden yataklarının yeri ve tipi açısından birçok değişiklikler gözlenmiştir fakat genel anlamda üretim artmış ve daha büyük ve daha iyi yataklar bulunduğça, rafineri teknikleri geliştirildikçe, boraks fiyatları da düşmüştür. Boron'daki büyük boraks yatağının ve boraks içeriğinin tekrar kazanıldığı Searles Gölü tuzlalarının büyük ölçekli üretimlere girilmesi ve bunların kısa zamanda birçok yerli kaynakların yerini alması nedeniyle, 1927 yılı, Amerika borat tarihinin referans yılıdır. Günümüzde, boratlar, Güney Kaliforniya'da yer alan üç lokasyonda üretilmektedir. Bunlar; Boron,

Searles Gölü ve az olarak da Death Valley'dir (Bower, 1965; Kistler ve Helvacı, 1994; Garrett, 1998; Grew ve Anovita, 1996; Helvacı, 2005; şekil 11).

6.2.1. Boron, Kaliforniya (Kramer)

Bu yatak, Los Angeles'ın 15 km kuzeydoğusunda, Kuzeybatı Mojave Çölü'ndeki Mojave ve Bortow şehirlerinin arasındadır. Boron yatağı, mercekli boraks ve kernit kütlelerinden ve arakatkılı montmorillonit-illit türü killerden oluşur. Yaklaşık 1.6 km uzunlukta, 0.8 km genişlikte ve 100 m ye varan kalınlıktadır. Merkezdeki boraks çekirdeğinden dışa doğru, üleksit ve kile doğru giden fasiyes değişimleri gözlenmektedir. Bu durum üst ve alt boraksta da gözlenmektedir. Kolemanit fasiyesi, çok ince, mercekli seviyeler şeklinde bulunmaktadır.

6.2.2. Searles Gölü, Kaliforniya

Searles Gölü playası, güneydoğu Kaliforniya'da, Boron ve Death Valley arasındaki küçük bir çöl vadisinin ortasındaki kısmı teşkil etmektedir. Göl, merkezi bir tuz düzlüğünden oluşur ve başta sodyum karbonat olmak üzere boraks, kil ve salamuralar içeren karışım halindeki kristalin tuz kütesini örter. Tuzlar ve salamuraların, Sierra Nevada'nın doğu cephesi boyunca uzanan Geç Kuvaterner göl serilerindeki konsantrasyon, kurutma ve süzme süreçlerinin nihai sonucu olduğu düşünülmektedir. Playa-tip boraks, 1863 yılı gibi oldukça erken zamanda, Searles Gölü'nün kıyılarında keşfedilmiştir. 1919 yılına kadar, playa yüzeylerinden küçük miktarlarda boraks üretilmiş, gölün merkez kısmında gömülü olan salamura kuyulardan, trona ve diğer tuzlarla birlikte boraks elde edilmesiyle, 1927 yılında büyük ölçekli üretime başlanmıştır. Günümüzde, Kuzey Amerika Chemicals Co. Şirketi, gölden borat üreten tek şirkettir.

6.2.3. Death Valley, Kaliforniya

Death Valley, güney Kaliforniya ile Nevada sınırı yakınında, uzun, kuzey gidişli bir vadidir. Hem doğu, hem de batı yakası aktif faylarla sınırlandırılmış ve bölge deniz seviyesinin 86 m altına, Badwater yakınlarına kadar alçalmıştır. Vadide, Pleyistosen dönemlerinde çok sayıda göl bulunmaktadır ve o dönemde Badwater'da 300 m den fazla tuz, esas olarak halit ve jips, birikmiştir. Yüzey çamurları ve sızıntılarda da bu tuzlarla birlikte oluşan, eser miktarlarda playa borat, boraks ve üleksit, birikmiş ve 1880'lerin başlarında toplanmıştır. Mevcut milli park merkezinin yakınında Badwater'ın 32 km kuzeyinde, Harmony yakınlarındaki en üretken playa sahası, ünlü 20 katır timi boratlarının (1883-1897) kaynağıdır. Vadi tabanının

bu alanının, yakınlardaki borat içeren Tersiyer yaşlı birimlerden yıkanma ve süzülme ile türeyen akışkanlarla zenginleşmiş olduğu görülmektedir (Kistler ve Helvacı, 1994). Geç Neojen'de Furnace Creek Wash'de 2130 m den fazla göl sedimanları çökelmiştir. Bunlar, tabakalı borat içeren Furnace Creek Formasyonu'nun göl sedimanları olup, bu tabakalı boratlar (Tersiyer kolemanit, üleksit yatağı) 1907'den 1927 yılına kadar yerli borat üretiminin ana kaynağı olmuştur ve halen de işletilmektedir (Şekil 11). Death Valley Bölgesi'nde ekonomik olarak işletilen ve ortalama % 18-24 B₂O₃ arasında tenöre sahip 16 yatağın boyutları 181 kt'den 13.6 Mt'dan fazlaya kadar değişen aralıktadır. Newport Mineral Ventures tarafından yer altı madenciliğiyle işletilen Billie yatağından ve bu yatağın yaklaşık 50 km güneydoğusunda yer alan, Shoshone (Kaliforniya) yakınındaki US Boraks'a ait Gerstley yer altı madeninden üretimler hâlihazırda neredeyse kapanmıştır (Kistler ve Helvacı, 1994).

6.2.4. Güney Amerika

Arjantin, Bolivya, Şili ve Peru ortak sınırları yakınında, yüksek Andlar'da 885 km bir hat boyunca 40 dan fazla borat yatağı yer almaktadır (Şekil 12). Burası, And tektonik-vulkanik kuşağının kurak segmanı olup, sıkışmalı tektonik ile ve "salar" da denilen playatuz düzlüklerine sahip birçok kapalı havzalarla karakterize edilmektedir. B₂O₃ rezervlerinin, toplamda milyonlarca ton olduğu söylenmektedir. Uzun yıllar boyunca (1852-1967) Şili, önemli borat üreticisi konumunda olmuş fakat sanayi yavaşça Arjantin'in yakın bölgelerine kaymıştır. Günümüzde, Şili yine önemli bir borat üreticisi haline gelmiştir (Chong, 1984; Alonso, 1986; Alonso vd., 1988; Alonso ve Viramonte, 1990; Helvacı ve Alonso, 1994; Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000; Helvacı, 2005).

Sıcak su kaynaklarının oluşturduğu bor yatakları Dünyadaki diğer bölgelere göre, Güney Amerika'da, daha gelişmiş durumdadır. Bu yataklar, üleksit örtü ve konilerini içerir. Birçok yatak, boratları örten ve son safha şapkası olarak oluşan kalkerli tufalarla ve bazen halit ve jipslerle de ilişkilidir. Son volkanik etkinlik komşu yörelerdeki bazaltik-riyolitik akıntılarla temsil edilir ve boratların kaynağı olduğu varsayılır (Şekil 12). Halihazırda oluşan yataklar oldukça küçük boyutlu olup, birkaç yüzden yaklaşık 9 kt'a kadar değişen rezerv ve ortalama % 20 B₂O₃ tenörüne sahiptir.

Güney Amerika salar yatakları, biraz boraks veya inyoit ile birlikte üleksit nodülleri ve tabakalarından oluşur ve başta çamur, silt, halit ve jips olmak üzere

güncel playa sedimanları içinde gelişir. Kaynaklar ve sızıntılar, boratların kaynağı olarak görülmektedir. Atacama-Şili ve Uyini-Bolivya salamuraları, olası ekonomik öneme sahip boratlar içerir.

Arjantin borat yatakları Geç Senozoyik dönemlerinde çarpışma olmayan sıkışmalı orojenezinde gelişen yüksek plato alanları ile sınırlıdır (Şekil 10). Monde Verde, Espanza ve Santa Rose yataklarının başlıca minerali kolemanittir, buna karşın Monte Amarillo yatağının baskın minerali ise hidroborasittir. Tincalayu ve Loma Blanca sahaları özellikle boraks oluşumları bakımından önemli iken, salarlarda ise esas olarak boraks ve üleksit mevcuttur (Şekil 12) (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı ve Alonso, 2000). Boratlar Üst Miyosen yaşlı Sijes formasyonu'nda bulunur ve bölgede kolemanit, inyoit ve hidroborasit üreten en az 6 küçük açık ocak bulunmaktadır. Pastos Grandes Çöküntüsünde yer alan borat yatakları Latin Amerika'nın en büyük rezervli Ca ve Ca-Mg borat yataklarıdır (Şekil 12; çizelge 5). Sijes formasyonu'nun depolanması sırasında, üç önemli borat oluşumu gerçekleşmiştir. Sijes formasyonunun borat içeren üyeleri alttan üste şu şekildedir: Monte Amarillo (hidroborasit), Monte Verde (kolemanit-inyoit) ve Esperanza (kolemanit). Santa Rosa yatağı başta kolemanit ve hidroborasit olmak üzere beraberinde kayda değer miktarlarda inyoit ve üleksit içerir (Helvacı ve Alonso, 2000; Orti ve Alonso, 2000).

Loma Blanca borat yatağı Geç Miyosen'de playagöl ortamının çamurlarında oluşmuştur ve Dünya'daki dördüncü ekonomik Tersiyer yaşlı boraks yatağıdır. Bu yatak, Arjantin borat yataklarının benzersiz karakteristik mineral dizisi içinde kolemanit, inyoit, üleksit, boraks, tinkalkonit ve terrujit minerallerinden oluşur (Alonso vd., 1988). Bu minerallerin yanı sıra, boraks, tinkalkonit, kolemanit orpiment nabit sülfür, montnorillonit, illit ve klorit mineralleri de tanımlanmıştır. Boraks, inyoit ve üleksit mineralleri, yataktaki egemen minerallerdir. Arsenik sülfürler ve nabit sülfür, eser miktarda bulunur ve boratlar gibi geniş yayılım gösterir (Alonso vd., 1988).

Tincalayu, önemli sodyum borat yatağı bulunan Hombre Muerto Salar'ın kuzeybatı ucunda yer alan alçak tepenin adıdır. Aynı isimde borat yataklarının bulunduğu Tincalayu Yarımadası, Hombre Muerto Salar'ın kuzeybatı kesiminde yer alır. Boraks yatağı yarımada'nın güney kesiminde, 4100 m rakımdadır (Helvacı ve Alonso, 2000; şekil 12).

Arjantin, Şili, Bolivya ve Peru'da yüzden fazla salar vardır fakat bunlardan sadece 40 tanesi borat fasiyesi içerir (Şekil 12). Salarların egemen minerali

üleksittir ve boraks eser miktardadır (Chong, 1984). Üleksit 2 tipte oluşur: 1) nodüller, papas denilen klasik "pamuk topları" (potatoes) ve 2) "barras" adı verilen masif yataklar. Salarlardaki borat yatakları borca zengin termal su sağlayıcılar ile doğrudan ilişkilidir. Şu an dünya piyasasına giren Şili üleksitleri en az 5 yataktan gelmektedir. 31 ktpy olarak tahmin edilen toplam üretimin yaklaşık yarısı Bolivya sınırı yakınında yer alan ve nispeten küçük bir salar olan Salar de Surire'den sağlanmaktadır. Üleksit, düzensiz kütleler şeklinde ve tabakalarda, ortalama 30 cm, yer yer bir metre kalınlıklarda, yüzeyin 6 ile 14 cm altında oluşur.

Laguna de Salinas (Peru) kaynağı, Arequipa'nın doğusundaki büyük bir dağ havzasıdır. Bölgeye, yaklaşık 5200 m lik dağ geçitini kesen 56 km lik dağ yolu ile ulaşılmaktadır (Şekil 12). Üleksit, ince taneli, kumlu detritik yeşil çamurlarda 25-130 cm kalınlıklarda düzensiz kütleler ve merccekler şeklinde oluşmuştur, saçınımlı üleksit, sülfat ve halit içeren siyah-yeşil çamurların yüzey seviyelerinin altında da 0.6-2.9 m kalınlıklardadır. Bolivya'da, çok sınırlı üretim rapor edilmiştir. Salar de Uyuni'deki borat içeren playa borat ve salamuraların rezervleri uzun yıllardır bilinmektedir fakat teçhizat ve taşıma konusundaki zorluklar, üretime engel olmaktadır (Helvacı ve Alonso, 2000).

6.3. Çin

Çin, Liaoning, Xizang (Tibet) ve Qinghai Provanslerinden yaklaşık 27 ktpy borat minerali ve bileşikleri üretmektedir. Liaoning üretimi, Çin'in kuzeydoğusunda Liaodong Yarımadası'ndaki küçük açık ocaklardan ve yer altı madenlerinden sağlanmaktadır. Burada, 112 ayrı yatakta 55'ten fazla işletmenin varlığı bilinmektedir. Bu yatakların onikisi toplam rezervin % 98'ini oluşturmaktadır. Cevher mineralleri Mg-borat, szaybelit (aşarit), ludvigit ve suanit olup, bunlar manyezit, manyetit ve nadir topraklar ile ilişkilidir. Cevher, orta Liaojitite bölgesi erken Proterozoyik (2.3 Ga) yaşlı magnezyum mermerlerinde, damarlar şeklinde oluşmuştur. Cevher kütlesi Liaoji granitleri ile yakından ilişkilidir ve uyumludur. Ortalama tenör, batı standartlarının altında, % 5 ile %18 B₂O₃ arasındadır ve birçok küçük yatak yoğun emeklerle işletilmektedir.

Qinghai üretimi, güney-orta Çin'in (Da Qaidam, Xiao Qaidam ve Mahai) Tsaidam havzasındaki üç playagölünden sağlanmaktadır. Üleksit, pinnoit, hidroborasit ve boraks başlıca minerallerdir. Son raporlar, üleksit ve pinnoit minerallerinin yüzey kabuklarının

çıkarıldığını ve şimdilerde üretimin en fazla tuzlu samlamuralardan gerçekleştiğini belirtmektedir. Bununla birlikte, Çin, borat içeren 57 adet gölün bulunduğu Tibet Platosu'nda da esaslı rezervlere sahiptir. Ancak, taşıma ve teçhizat gibi zorluklardan dolayı, şimdilerde büyük ölçekli bir üretimin olması beklenmemektedir (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 2005).

6.4. Diğer

Kazakistan ve Rusya borat üretimi ile ilgili sınırlı veri mevcut olup, yaklaşık yılda 200.000 ton olarak tahmin edilmektedir (Ozol, 1977). Uzun yıllardır, Kazakistan'ın Inder (Gurvey) Bölgesi başlıca kaynak olarak ele alınmıştır. Boratlar, başta szaybelit ve hidroborasit olmak üzere Permian yaşlı büyük denizel tuz domlarında ve yakınlardaki tuzlu göllerde damarlar ve çatlak dolguları şeklinde gelişmiştir. % 20 B_2O_3 tenörlü 7 Mt'a kadar rezerv tespit edilmiştir. Buna rağmen, Rus yer bilimcilerle son zamanlarda yapılan karşılıklı görüşmeler, Rusya ihtiyacının % 95'inin, Japon Denizi yakınlarındaki Primorsk'ta yer alan Dalnegorsk bölgesindeki bor yatağından temin edildiği ortaya koymaktadır. Cevher, büyük porfiri daykların sokulum yaptığı Triyas yaşlı kireçtaşı ve silttaşı içindeki datolit skarn birlikteliğinden oluşur. Borosilikat skarnlar, 2 km uzunluk ve 500 m ye kadar genişliktedir, cevher malzemesinde 1000 m sondaj

yapılmıştır. Cevher tenörü % 8 ile %10 B_2O_3 (30-45 % datolit) olarak tahmin edilmektedir. 1950'lerde, Kuzey Kore'deki Khol-don (Hol-Kol) ve Raitakuri yataklarının (Pyongyang'ın güneybatısı), baca şekilli küçük kütlelerinden, eser miktarda ludvigit üretiminin yapıldığı bilinmektedir. Yatakların, halen işletildiğine dair herhangi bir rapor yoktur (Kistler ve Helvacı, 1994). US Boraks ve Vitro (Meksika'nın önemli cam üreticisi) ortaklığındaki Magdelana, Sonora yatağında yer alan kolemanit kütlesi, bekleme konumunda olup piyasa durumuna göre yatağın durumu değişecektir. Cevherin nispeten yüksek arsenik içeriğine sahip olması ve işletme problemleri, bu yatağın gelişimine engel olmuştur. Eski Yugoslavya'nın Jarandol havzasında düşük tenörlü borat oluşumu, özellikle havlit ve kolemanit olarak bilinmektedir (Şekil 21). Burada ki boratlar ekonomik kömür damarlarının üzerinde yer alır ve zeolit, tuf, jips, kalsit ve bitüm ile ilişkilidir. Samos Yunan Adası'nın Türk kıyıları tarafında tespit edilmiş olan küçük kolemanit zuhurları, Yunan Adaları'nda tespit edilen ilk borat zuhurudur (Helvacı vd., 1993). Samos Adası'nın (Yunanistan) batı kesimlerinde, üleksit izleri ve kolemanit içeren küçük, borat mercekleri bulunmaktadır. Boratların altında jips seviyeleri gözlenirken, sölestin nodülleri ve mercekleri ise borat kütlelerinin içinde ve üstünde gelişmiştir. İran'ın kuzeybatı kesimlerindeki fay zonun-



Şekil 21- Vardar Zonu borat yataklarının konumu.

da (Tebriiz yakınlarındaki Zencan yatağı) hidrotermal damar tipi borat yatağı oluşumlarıdır.

7. Madencilik, Maden İşleme ve Kullanım Alanları

7.1. Madencilik

Soyum boraks olan boraks (tinkal) ve kernit, kalsiyum borat olan kolemanit ve sodyum-kalsiyumborat olarak üretilir, Dünya sanayiinde kullanılan boratların % 95'ini oluşturmaktadır (Çizelge 3). Boratların birçoğu başta Kaliforniya ve Türkiye olmak üzere, az oranda da Arjantin, Bolivya, Şili, Çin ve Peru'dan üretilmektedir. Bor mineralleri ve bileşikleri yüzey ve yer altı madenciliği ile ve salamuralardan sağlanmaktadır.

Ekonomik borat yatakları açık ocak yöntemiyle işletilmektedir (Şekil 22). Dünyanın başlıca borat işletmeleri, Boron (Kramer, Kaliforniya)'daki US Boraks'a ait Boron madeni ve Türkiye'de Eti Maden İşletmeleri'ne ait Kırka madenleri olup, bu madenler, örtü kayacın kaldırılmasında ve cevher madenciliğinde başlangıç aşaması yükleyici metodlarının ve büyük kamyonlar ile iş makinelerinin kullanıldığı çok büyük açık ocak işletmeleridir. Cevher ve örtü kayacının kolay elde edilmesi için delme ve patlatmalar yapılmaktadır. Bor işletmelerinde, cevher, bantlı taşıyıcılar vasıtasıyla, ocak içindeki kırıcılardan iri cevher stok sahasına taşınır, burada, cevheri harmanlayan küreme

tekerli makinalar vasıtasıyla, cevherin rafineriye gitmeden önce ıslahı yapılır. Kırka'da, cevherin, cevher kütlelerinin yaklaşık 0.5 km uzağındaki rafinerinin yakınında bulunan kırıcıya nakledilmesi için, kamyonlar kullanılır.

Arjantin, Şili, Çin, Türkiye ve Rusya'daki bazı daha küçük işletmeler de benzer metodları kullanmaktadır. Ancak metodlar işletmenin ölçeğine göre değişmektedir. Güney Amerika ve Çin'deki bazı salar işletmelerinde, örtü kayacın, yükleyicilerle alınmasından sonra, ince salar boratların çıkarılmasında el ile madencilik yapılmaktadır (Alonso ve Helvacı, 1988; Helvacı, 1989; Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 2005).

Kuzeydoğu Çin'in Liaoning sahasında ve Death Valley'deki (Kaliforniya) Billie ve Gerstkey madenlerinde, boratlarda yer altı madenciliği yapılmaktadır. Searles Gölü (Kaliforniya) ve Çin'in Qinghai havzasındaki borat salamuraları yeniden kazanılmakta; Kazakistan'ın İnder bölgesindeki salamuralar da kullanılabilmektedir. Güney Amerika'daki birçok salarlardaki borat içeren salamuralar, üretim için değerlendirilmektedir.

7.1.1. Maden İşleme

Maden işleme teknikleri, işletmenin ölçeğine ve cevher tipine bağlı olarak değişmektedir ve ham veya



Şekil 22- Kil ve tuf arakatmanlı ve kalın bir kireçtaşı örtüsü ile çevrelenmiş borat zonu, Espey yatağı, Emet, Türkiye.

rafine mineraller (boraks, kolemanit, üleksit) veya borik asit birçok maden işletmesinin nihai ürünleridir (Çizelge 4). Boraks-kernit cevheri (Boron, Kırka, Kaliforniya), 2.5 cm olacak şekilde kırılır ve daha sonra sıcak su/geridönüşümlü borat çözeltisi içinde çözündürülür. Elde edilen çözelti, karşı-akım koyulaştırıcılarda saflaştırılıp zenginleştirilir, süzülür, vakumlu kristalizörlere gönderilir, santrifüjlenir ve daha sonra kurutulur. Rafine boraks dekahidrat veya pentahidrat veya erimiş susuz boraks gibi nihai ürünler elde edilir ya da borik asit üretiminde hammadde olarak kullanılır. Kolemanit konsantreleri, doğrudan cam endüstrisinde veya borik asit tesislerinde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Güney Amerika salarlarındaki üleksitler havada atmosferik koşullarda kurutulur, elenir ve paketlenir. Daha sonra, sülfürik asitle birleştirilerek nispeten düşük tenörlü borik asit üretilir veya borik asit tesislerine hammadde olarak gönderilir. Magnezyum boratlar, genelde magnezyumun uzaklaştırılması için asitte çözündürülür, zenginleştirilir ve sonrasında da borik asit veya sodyum boratlara dönüştürülür. Doğu Rusya'daki düşük tenörlü Bor yatağının borosilikatları, kırılır

ve daha sonra manyetik ayırıcılar, ağır minerallerin ayrılması ve flotasyon hücrelerinin bulunduğu kompleks tesislerde işlenir. Elde edilen konsantreler, borik asit veya sodyum borata dönüştürülmeden önce, kurutulur, yıkanır ve kalsine edilir.

Searles Gölü'nü ve muhtemelen Çin kaynaklarını oluşturan salamuralar, kontrollü evaporasyon ya da karbonasyon ile kazanılmaktadır. İkinci işlemde, kireç ocakları veya baca gazından elde edilen karbondioksit sodyum bikarbonatı kristalleşmesi için salamuralara; boraks daha sonra vakumlu kristalizörlere kristalleştirilir. Evaporasyon işleminde ise hızlı ve kontrollü soğutma çeşitli tuzları seçimli olarak kristalleştirir. Arta kalan borat çözeltisi tankalara iletilir, tanklarda, çözeltiden boratların tekrar kazanılmasını sağlayan çekirdek boraks kristalleri bulunmaktadır. Elde edilen çamur filtrelendir, yıkanır, tekrar çözündürülür ve vakumlu kristalizörlere gönderilerek dehidrat boraks ürünleri veya borik asit elde edilir (Kistler ve Helvacı, 1994).

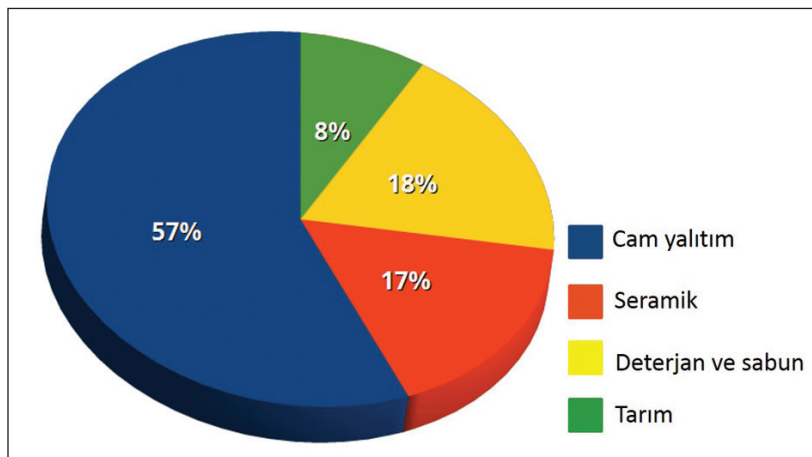
Borik asit, maden işleme süreçleriyle elde edilen nihai ürünlerden biridir (Çizelge 4). Dünyanın en büyük borik asit tesisleri Boron ocağının ve Emet ve Kırka açık ocaklarının yanında yer almaktadır. Dünyadaki diğer küçük tesisler ise, kendi yerel piyasalarında kullanılan ürünlerin üretiminde, mevcut asit besleme stoğu veya dökümcü asitlerinden yararlanmaktadır.

7.2. Kullanım Alanları

8. yüzyılda altın ve gümüş rafinesi ve dökümünde erikten madde olarak kullanılan borat mineralleri, yüzyıllar boyunca geniş aralıkta kullanım alanına sahip olmuştur (Şekil 23).

Çizelge 4- Ticari rafine bor ürünleri.

Ürün	Formül	% B ₂ O ₃
Boraks dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ 10H ₂ O	30,5
Borak pentahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ 5H ₂ O	47,8
Borik asit	H ₃ BO ₃	56,3
Susuz boraks	B ₂ O ₃	100,0
Sodyum perborat	NaBO ₃ 4H ₂ O	22,0
Susuz ham boraks	Na ₂ B ₂ O ₃	69,2

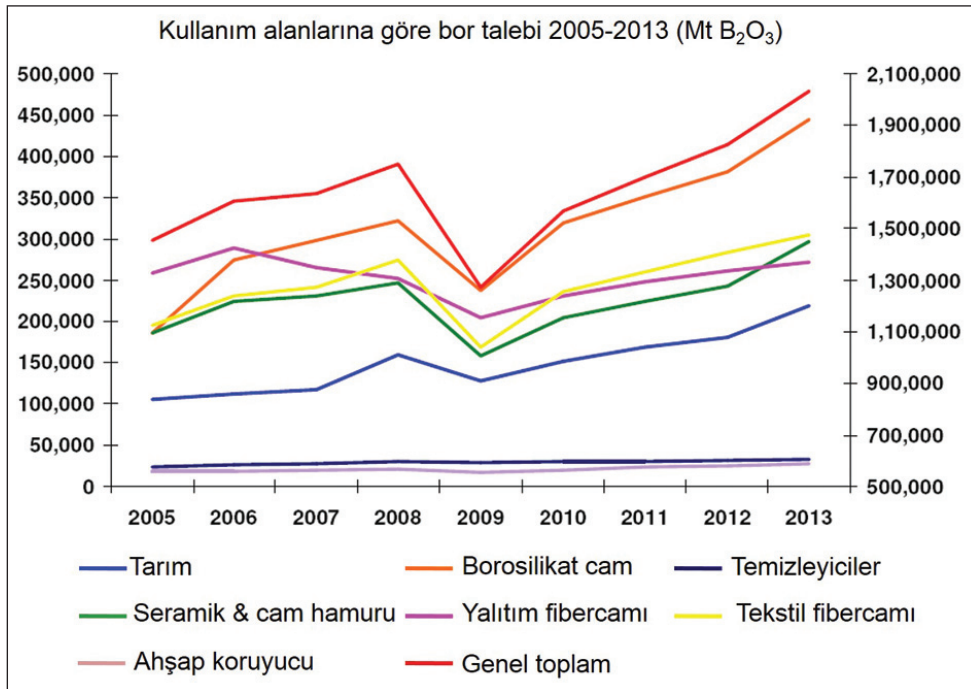


Şekil 23- Borat tüketim alanları (Helvacı, 2005).

Borat, 19. yüzyılın son yıllarında, çok özel uygulamalar için nispeten yüksek fiyatlarda işlem görmüştür. O zamanlarda, borat, tıp, gıda koruyucu, seramik sırlar ve metal eriticiler olarak geniş uygulamalarda kullanım alanı bulmuştur. Boratlar, genellikle borik asit veya B_2O_3 içerikleriyle tanımlanarak, satılmaktadır ve birçok istatistiksel veriler B_2O_3 'ün tonu olarak verilmektedir. Boraks pentahidrat ve borik asit en yaygın ticari ürünlerdir. Borik asit tesisleri, tüm önemli borat üreticileri tarafından işletilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde en çok tüketim cam elyafi izolasyon sanayiinde, sonrasında da tekstil cam elyafi ve borosilikat cam, deterjan ve seramik sanayiinde olmaktadır. Avrupa'da ise deterjan sanayi bor tüketiminde öndedir (Şekil 24).

Gübre sanayii, borun üçüncü en büyük kullanım alanıdır. Cam sanayiinden sonra seramik sanayi-i de ikinci büyük kullanım alanını teşkil etmekte olup, dünya tüketiminin % 10'nuna karşılık gelmektedir. Boratlar, seramik sır ve emayelerin kimyasal, termal ve aşınma dirençlerini artırdığından, bunların yapısında önemli rol oynamaktadır. Boraksın yüksek sıcaklık, kolemanitin ise düşük sıcaklık fırınlamalarda kullanılmasıyla, boraks ve kolemanit, seramiklerde esas olarak erikten madde olarak kullanılmaktadır. Boratlar, yanmayı önleyici (geciktirici) özelliğinden dolayı, selülozik yalıtım, tekstil ve ahşap gibi çeşitli malzemelere ilave edilmiştir. Borik asit, yanıcı buhar transferini engellemek ve yanmanın etkili ısısını

düşürmek için, ahşap-yanma geciktiricilere eklenmekte ve böylece alevin fazlaca yayılması engellenmektedir. Boratların en büyük dördüncü pazarı, deterjan ve sabun sanayii olup, dünya tüketiminin % 4'ünü oluşturur (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 2005). Boratlar, çamaşır deterjanları, sabunlar ve diğer temizlik ürünlerine, alkalın tampon, enzim dengeleyicisi, oksijen bazlı ağartıcı ve su yumuşatıcı olarak katılmaktadır. Sodyum perborat ve perborate tetrahidrat aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır. 2011 yılında, küresel borat tüketiminin yaklaşık % 60'ına karşılık gelen cam sanayii, boratların esas pazarı olmuştur. Camın, dayanımını, kimyasal direnç ve dayanıklılığını artırmak ve ayrıca termal şok, yüksek sıcaklık ve titreşime karşı da direncini sağlamak için cama bor ilave edilmektedir. Bor, aynı zamanda, üretimin geliştirilmesi sırasında, camın viskozitesini azaltan eritici madde olarak da kullanılmaktadır. Camın kullanım alanı ve kalitesine bağlı olarak, boraks, borik asit, kolemanit, üleksit ve sodyum borat kullanılmaktadır. Ferroboron (FeB), %17.5 ve %24 bor içeriğine sahip ikili demir alaşım olup, çelik ve diğer demiri metaller için en düşük maliyetli bor katkı maddesidir. Ortalama olarak, yıllık üretilen ferroborun % 50'sini, çelik endüstrisi kullanır (Eti Maden İşletmeleri, 2003). Çeşitli bor bileşikleri de nükleer tesislerde, nükleer fizyon sırasında üretilen nötronu kontrol etmek için kullanılır. ^{10}B izotopu, özellikle, nötron soğurma sonrası lityum ve alfa tanecikleri üreten,



Şekil 24- Kullanım alanlarına göre bor talebi (2005-2013) (Mt B_2O_3) Kaynak: Rio Tinto).

serbest nötron soğurması yüksek eğilimine sahiptir. Boron karbid içeren kontrol çubukları, nötron yakalayarak fizyon reaksiyonunu kontrol etmek için nükleer reaktörlere salınır. Nükleer reaktörleri çevreleyen soğutma sularında da borik asit kullanır (Ceradyne Inc., 2011).

Bor mineralleri ve ürünleri, günümüzün zorunlu endüstriyel hammaddeleri arasında yer almaktadır. Temizlikten sağlığa, dayanıklı malzemeden uzay endüstrisine kadar çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bor mineralleri ve ürünleri, fibercam, tıp uygulamaları ve eczacılık malzemeleri, nükleer reaktörlerde koruyucu olarak, suni gübre yapımı, fotoğrafçılık, cam ve emaye gibi, endüstrinin çok çeşitli dallarında kullanılmaktadır. Boraks ve borik asit gibi çeşitli bileşik formlarında kullanılan bor, çok yönlü ve kullanışlı bileşenler oluşturur. Bu bileşikler, özellikle kuvvetli lehimlemede, kaynak işlerinde, sürtünmeyi azaltmada ve metal saflaştırma işlemlerinde avantaj sağlar. Boraks ve borik asit, suda kolay çözülmesi, bakteri öldürücü niteliği ve su yumuşatıcı özellikleriyle, sabunlarda, temizliyecilerde, deterjanlarda, ofis ürünlerinde, tekstil boyamalarında, çeşitli malzemelerin korunmasında, düşük dirençli alaşımlarda ve tarım sanayiinde çok yaygın kullanım alanına sahiptir. Bazı bor ürünleri, mükemmel bir ergitmeyi hızlandırıcı madde olmaları nedeniyle, metal arıtma ve çelik üretiminde, atomik reaktörlerde, kontak anahtarları sigortalarında, elektronik aletlerdeki lambalarda ve güneş pillerinde çokça kullanılan vazgeçilmez maddelerdendir. Dibor (B₂H₆), pentaboran (B₅H₉), dekaboran (B₁₀H₁₄) ve alkali borlar gibi bor bileşikleri, geleceğin potansiyel jet ve roket yakıtları olarak görülmektedir (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 2005).

Boratların başlıca kullanımı alanları son on yılda fazlaca değişmemiştir ve esas pazarlarını fibercam, yalıtım, tekstil veya sürekli filament cam elyafı, deterjan ve ağartıcı, emaye ve cam hamuru, gübre ve yangın geciktirici oluşturmaktadır (Şekil 23 ve 24). Ağartıcı ve deterjanlar da önemli kullanım alanları olmakla birlikte cam, cam elyafı ve fibercam dahil olmak üzere satışlar artmaktadır. Havacılıkta, esneklik ve hafifliğin, dayanım ve üretim kolaylığıyla birleştirildiği şasi kaplamalarında, bor elyafı takviyeli plastiklerin kullanımı devam edecektir. Yakın gelecekte artması beklenen kullanım alanları ise gübre, ahşap koruyucular, alaşımlar ve amorf metaller, yangın ve alev geciktiriciler ve böcek ilaçlarıdır. Buna rağmen, bor-demir-silisyum elektrik transformatörlerinin de gelecek vaat eden kullanımları, çeşitli maliyet faktörleri nedeniyle, tahmin edildiği kadar çabuk gelişmemiştir.

Diğer çeşitli kullanım alanları ise eczacılık, kozmetik, anti-korozyon bileşikler, yapıştırıcı, aşındırıcı, böcek ilaçları, metalurjik işlemler ve nükleer korumadır. Halen birçok alanda araştırmalar devam etmektedir. Bunlardan kamuoyunca en çok bilinenlerden biri süper mıknatıslardır. Borun, nadir toprak, nikel ve demir ile birleştirilmesiyle oluşturulan alaşımlar, bilgisayar sürücüler, hoparlörler, otomobil marş motorları ve çeşitli ev aletlerinde kullanılan elektromıknatısların yapımında kullanılır.

Boratlar, ağır metalleri endüstriyel atık akışına dönüştürerek çevreyi korumaya yardımcı olmakla birlikte, kağıt üretiminde, odn hamurunu ağartmada kullanılan polimerlerin impuritelere arındırılmasını da sağlamaktadır. Boratların, aynı zamanda, hassas bir kontrol gerektiren tıbbi araştırmalarda, optik fiberlerin kırılma indeksinin kontrolünde de fayda sağlamaktadır. Diğer tıbbi uygulamalar kanser araştırmaları olup, burada ¹⁰B izotopu, düşük enerji nötronu ile reaksiyona girer ve beyin daha önce müdahale edilememiş alanlarındaki mikrocerrahi işlemleri için gerekli kısa mesafeli alfa parçacıklarını yayar. Bor analoglarının mevcut testleri, onların serum kolesterolde ve hastalık-yapıcı diğer proteinlerin azaltılmasında etkili olabildiğini gösterir. Boron ve Kırka'daki büyük rezervli yatakların geliştirilmesinin ardından, boratlar son zamanlarda nispeten mütevazı fiyatlı endüstriyel mineraller haline gelmiştir. Fiyat, üretim maliyeti ile doğrudan ilişkilidir. Rafine cevherin kurutulması, dehidrasyon ve endüstrinin istediği ürünler dönüştürmek için ergitilmesinde kullanılan yakıt en büyük maliyeti oluşturmaktadır. Çoğu ürünün endüstri fiyatları, enflasyon oranıyla sabit tutulmuştur.

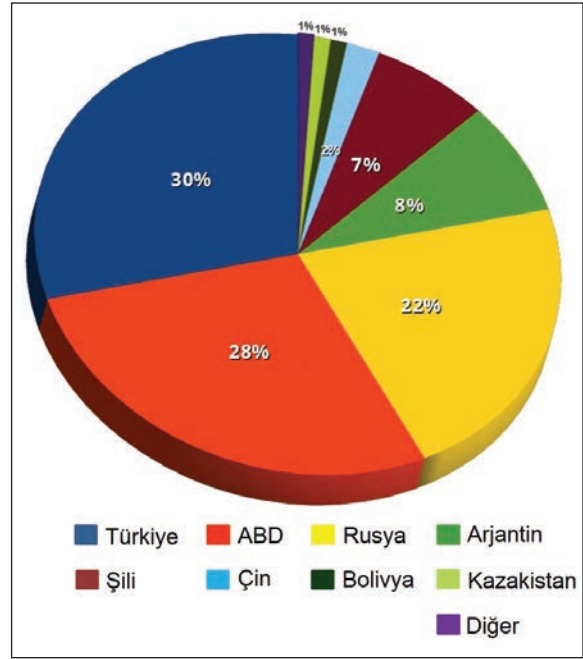
Boratlar, hafif ağırlıkta ürünlerdir ve genellikle orta boyutlu konteynerlar (IBC), super çuval ve paletli çantalar içinde toplu halde demiryolu taşınıp, satılmaktadır. Deniz aşırı gönderiler, Bandırma'dan (Marmara Denizi, Türkiye) ve Los Angeles'taki (Kaliforniya) özel terminallerden Hollanda, Belçika ve İngiltere'deki benzer terminallere mavnalarla ve beraberinde demiryolu ve kamyonla yapılır. Avrupa'ya diğer ithalatlar İtalya ve İspanya'dır. Uzak Doğu ithalatı ise genellikle küçük çanta lotları şeklinde satılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ne yapılan toplu ithalatlar (çoğunlukla kolemanit) griding tesislerinin olduğu Charleston'a, olmakta ve bu kolemanit, daha sonra fibercam üreticilerine sevk edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'ne getirilen boratlar üzerinde hiçbir ithalat vergisi yoktur (Kistler ve Helvacı, 1994; Helvacı, 2005).

8. Gelecek Öngörüsü

Bilinen borat rezervleri başta Türkiye olmak üzere Güney Amerika ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bilinen borat rezervleri büyüktür ve Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri Dünya pazarına hakim olmaya devam edecektir. Bununla birlikte, diğer bölgelerdeki borat rezervleri de muhtemelen Dünya pazarında artan bir paya sahip olacaktır. Bu eğilim, Uzak Doğu ve Avrupa'ya ulaşan Şili ve ihracata başlayan hem Rusya ve Çin'den gelen borik asit ile bellidir (Şekil 25, Çizelge 5).

Herhangi bir borat kaynağına sahip olmayan batı Avrupa ve Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye üretimi için önemli pazarlardır. Güney Amerika, bir şekilde büyük ölçüde kendine yetmektedir, ihtiyaçlarını aşan miktarları ise Avrupa ve Japonya'ya ihraç etmektedir. Rusya ve Çin'de şu anda borat açısından kendine yeterli görülmektedir ancak B_2O_3 ton başına düşen üretim maliyetlerinin nispeten yüksek olduğu düşünülmektedir.

Dünya bor rezervlerinin yaklaşık %75-80'i Türkiye'de bulunmaktadır (Engineering and Mining Journal, 2012) (Çizelge 5). Türkiye'nin başlıca borat üreten bölgeleri Bigadiç (kolemanit ve üleksit), Emet (kolemanit), Kestelek (kolemanit, probertit ve tinkal) ve Kırka (boraks ve tinkal) olup ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilmektedir. Yeni rafineri ve teknolojilere yapılan yatırımlarla, rafine borat üretimi son yıllarda artmıştır. Eti Maden İşletmeleri, 2013 yılı itibarıyla, Dünya bor pazarındaki payını % 36'dan % 39'a genişletmek ve kendi üretim tesisleri ve ürün yelpazesini de genişleterek, satışlarını



Şekil 25- Dünya bor üretiminin ülkelere göre dağılımı (Helvacı, 2005).

1 milyar dolara artırmayı planlamıştır. 2009 yılında, Türkiye, 104 milyon Dolar(\$)'değerinde 4 Mt borat ihraç etmiştir (Uyanık, 2010). Asya ve Güney Amerika'da tarım, seramik ve cam pazarındaki artan talepler ile borat tüketiminin artması beklenmektedir. 2010 yılında 1.5 Mt B_2O_3 olan Dünya borat tüketiminin, 2014 yılına kadar 2.0 Mt B_2O_3 'e ulaşacağı tahmin edilmiştir (Rio Tinto Inc., 2011; Roskill Information Services Ltd., 2010, p. 167; O'Driscoll, 2011).

Çizelge 5- Dünya'daki bor yataklarının rezervi ve tahmini ömrü (Helvacı, 2005).

	Bilinen Ekonomik Rezerv (milyon ton B_2O_3)	Toplam Rezerv (Milyon ton B_2O_3)	Bilinen rezervin tahmini ömrü (yıl)	Toplam rezervin tahmini ömrü (yıl)
TÜRKİYE	224.000	563.000	155	389
ABD	40.000	80.000	28	55
RUSYA	40.000	60.000	28	69
ÇİN	27.000	36.000	19	25
ŞİLİ	8.000	41.000	6	28
BOLİVYA	4.000	19.000	3	13
PERU	4.000	22.000	3	15
ARJANTİN	2.000	9.000	1	6
KAZAKİSTAN	14.000	15.000	10	10
TOPLAM	363.000	885.000	253	610

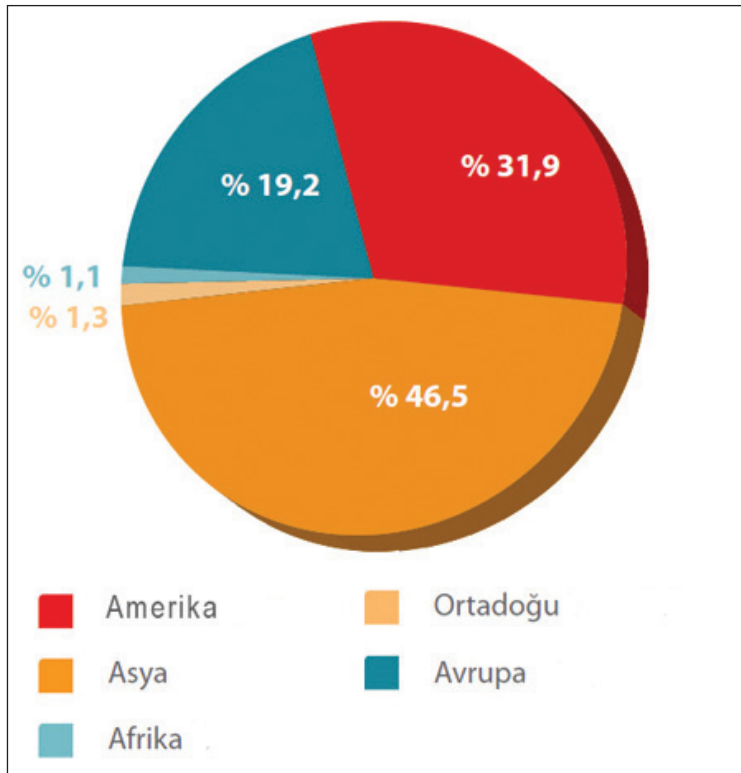
Avrupa Birliği (AB), sürekli maruz kalmanın zararlı olabileceğini belirten AB kararları sonrasında, yasaklı mineraller listesine boratları da eklemiş ve deterjan imalatçıların bor kullanımı azaltması icap etmiştir (Lismore, 2012). Bor bazlı gübre talebinin, gıda ve biyoyakıt mahsülleri talebindeki artışa bağlı olarak yükselmesi beklenmiştir. 2011 yılında Dünya talebinin %60'ını oluşturan seramik sektörünün etkisiyle borat tüketiminin Avrupa'dan Asya'ya kayması beklenmiştir. Yüksek hacimli üretim tekniklerinin yeni teknolojiler yaratılarak geliştirilmesiyle, bor nitrit tüketiminin artması beklenmektedir. Kübik bor nitritin, sertlik, yüksek ısı iletkenliği ve oksidasyon direnci gibi içsel özellikleri, onu, geliştirmekte olan çeşitli uygulamalarda ideal bir malzeme konumuna sokmaktadır. Hekzagonal bor nitrit, termal şok direnci kazandırmak, işlenebilirliği geliştirmek ve sürtünmeyi azaltma amacıyla katkı malzemelerinde, seramikte ve metaller arası kompozitlerde kullanılmaktadır.

Türkiye, ABD, Rusya, Çin, Kazakistan, İtalya, Arjantin, Bolivya, Peru ve Şili bor mineralleri ve ürünleri üreten belli başlı ülkelerdendir. Sassolit, boraks, kernit, üleksit, probertit, pandemit, kolemanit, hidroborasit ve szaybelit ekonomik olarak işletilen bor mineralleri olup, ticari öneme sahiptir. Boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, susuz boraks, boric asit, sodium

perborat, tetrahidrat, sodium perborat monohidrat ve susuz borik asit de ekonomik açıdan önemli kimyasal bor bileşenleridir. Türkiye borat yatakları, Dünya'nın bilinen en büyük ve en yüksek tenörlü (sırasıyla %30, %29 ve %25 B₂O₃) kolemanit, üleksit ve boraks (tinkal) yataklarıdır ve uzun yıllar talebi karşılamak için yeterli potansiyele sahiptir (Çizelge 5).

Bor tüketimi cam, cam elyafı ve seramik kullanımı ile doğrudan ilişkilidir. Bu malzemeler, borat içeren bazı plastiklerle birlikte, inşaat ve ev eşyaları sektörünün gelecekte de istikrarlı tüketici talebi olarak görülmektedir. Boratlar, birçok bitkinin temel besin maddesidir. Nükleer reaktör koruma ve kontrolündeki kullanımı iyi bilinmektedir. Diğer önemli kullanım alanları olan deterjanlarda, bitkisel gıdalarda, ahşap koruyucularda yavaşça artan talep olması beklenmektedir. Sanayii tahminlerine göre, Dünya toplam borat talebinin yakın gelecekte yılda yaklaşık % 3 büyümesi beklenmektedir (Çizelge 5, şekil 26). Gelecek piyasalarını tahmin etmek zordur. Yakın tarihe dayanarak, Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler Dünya'nın başlıca önemli borat tüketicileri olmaya devam edecektir.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), 2008 yılında, pilot ölçekte,



Şekil 26- Dünya bölgesel bor tüketimi (%) (Kaynak: Rio Tinto).

geleceğin en önemli potansiyel hidrojen taşıyıcısı olması beklenen sodyum boron hibridi, sanayi ürünlerine dönüştüren bir proje yürütmüştür. Türk firması NNT tarafından keşfedilen, ileri teknoloji ürünleri olan Borpower motor yağı uç ürünleri, motorlu araçlarda % 20'ye kadar oranda yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

Türkiye AB ülkelerine kendi bor ürünlerinin %51'ini ihraç etmektedir. AB'nin son zamanlarda, borik asit ve sodium boratların insanların üremesinde negatif bir etkiye sahip olduğunu iddia etmesine rağmen, borat yataklarının bulunduğu bölgelerde, bor ve ürünlerinin insan üremesinde belirgin bir etkiye sahip olmadığını gösteren araştırmalar bu görüşü desteklemektedir (Şaylı, 2003).

Türkiye, Dünya'nın en büyük bor madenine sahiptir. Ayrıca, Kırka'daki boraks, Emet, Bigadiç ve Kestelek'teki kolemanit ve üleksit üretimi ile Dünya pazarında önemli bir paya sahiptir. 1980-2008 yılları arasında, Türkiye, Dünya'nın en büyük kolemanit üreticisiydi. Türkiye'nin görünür ve potansiyel rezervi bugünkü üretiminden fazladır. Hatta en kötümser gözlemler bile, bu borat rezervlerinin birkaç yüz yıl daha talepleri karşılayabileceği görüşünde oy birliği içindedir (Şekil 22, çizelge 5). Dünya, kolemanit ve üleksit rezervlerinden dolayı, Türkiye'ye bağımlıdır. Bu mineralleri yaygın olarak kullanan tüm ülkeler Türkiye bor kaynaklarına bağımlıdır. Türkiye, bor madeni rezervlerinin hem işletme maliyeti hem de tenör avantajları açısından, Dünya'da önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye borat yatakları rezerv ve tenörleri dikkate alındığında, Dünya'nın diğer ülkelerindekiler ile kıyaslanmayacak kadar yüksektir. 1979 yılındaki kamulaştırma yasasından sonra, Ulusal bor politikasıyla ilgili, Türkiye bor potansiyelinin değerini belirlemek için çeşitli borat yataklarında yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin elinde bulunan ve nitelik yönünden Dünya'daki eşdeğerlerinden çok üstün olan bu doğal kaynaklar, ülkeyi dünya bor tuzları sektöründe rakipsiz duruma getirebilecek düzeydedir. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü ve özel sektörün, bor minerallerinden sanayiye yönelik uç ürünler üretmek için işbirliği yapmaları ve böylece, ortak ulusal pazarlama ve sanayi odaklı araştırma politikaları izlemeleri uygun olacaktır.

Dünya tekeli karşısında tutunabilmek ve onun ayrılıkçı etkilerinden korunabilmek için, ülke yararına yönelik türde bor minerali üretim faaliyetlerinde bulunmak bir yükümlülüktür. Madencilik açısından, bor madenlerimizin işletilmesi, coğrafi, ulaştırma, enerji vs yönünden diğer ülkelere kıyasla (özellikle Latin Ame-

rika, ABD ve Çin) son derece elverişli ve pazarlamaya uygundur. Örneğin, Güney Amerika'daki bor yataklarının 4000 m rakımda, Kuzey Amerika'dakilerin ise çölün ortasında olması çok büyük işletme zorlukları ve sorunları oluşturmaktadır.

Türkiye'nin yeni bir ulusal bor politikası oluşturması gereklidir. Böylece bu doğal kaynaklar en fazla getiri sağlayacak şekilde değerlendirilebilir. Bu hedefe ulaşmada tek yol vardır: bor madenlerinin ülke yararına yönelik işletilmesi ve sahip olduğu avantajların sürdürülmesidir. Ülke kaynaklarının planlı ve programlı bir şekilde değerlendirilmesi gereklidir. Üretim politikası, detaylı ve kapsamlı pazar araştırmaları üzerine kurulmalıdır. Bu önemli endüstriyel hammadde kaynakları ülke ekonomisine en yüksek getiriyi sağlayacak şekilde yeniden yapılandırılmalı ve organize edilmelidir. Ülkemiz yararına olan avantajları korumak için, hammadde ve yarı mamül ürün ihracatından öte katma değeri yüksek uç üyelerin üretimine yönelik araştırma ve teknolojik gelişmeler konusunda yeniden yapılandırma yapılmalıdır.

Sonuç olarak, Eti Maden İşletmeleri ve Bor Enstitüsünün gelişimi için, yatırımlar ve kuruluşlar gereklidir. Borlardan sanayiye yönelik her türlü uç ürünleri geliştirmek, üretmek, kısa ve uzun vadeli çalışma ve projeler yapmak üzere malzeme, makine, kimya ve elektrik-elektronik gibi farklı alanlardaki uzman araştırmacılar bu kurumlarda istihdam edilmelidir. Böylece, araştırma ve uygulama arasındaki boşluklar kapatılarak, gereksinimleri karşılayan ileriye dönük, planlı araştırmalara hız verilmelidir (Şekil 27, çizelge 5). Ekonomik rekabetin daha yoğun hale geldiği ve birçok çalışmanın doğal kaynaklar üzerinde yoğunlaştığı günümüzde, büyük bir bor rezervinin varlığı, Türkiye için büyük bir fırsattır. Bor minerallerinin üretim ve pazarlaması, yarı mamül ürün veya hammadde yerine, yüksek katma değere sahip uç ürünlere yönelik olmalıdır.

Bor ürünleri, yüksek katma değere ve kullanıldığı bölgede stratejik bir role sahiptir. Son zamanlarda, bor ürünleri sanayinin farklı alanlarında da kullanılmaktadır ve teknolojik yeniliklere paralel bir artış göstermektedir. Yaşam standartlarının yükselmesi, bilimsel ve teknolojik keşiflerin gelişimi, ileri bor bileşiklerine talep ve gerekliliğe neden olacaktır. Bor işletmeciliğinin, ülke ekonomisine en fazla getiriyi sağlayacak şekilde yeniden yapılandırılması gereklidir.

Sonuçta, başta bor olmak üzere tüm önemli ve stratejik madenlerimize ilişkin politikaların ulusal ve bilimsel alanda odaklanması gibi bir sorumluluk ve



Şekil 27- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün 2023 Projeksiyonu, Türkiye.

zorunlulukla karşı karşıya olduğumuz gerçeği açıkça ortadadır. Aksi takdirde, zengin doğal kaynakların fakir bekçileri olarak, olumsuz koşullarla karşı karşıya kalma olasılığı vardır. Buradaki temel amaç ülkemizin bor bakımından elverişli konumunun sürdürülmesidir ve bu da her vatandaşın üzerine düşen ulusal bir görevdir.

Katkı Belirtme

Eti Maden İşletmeleri, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, US Borax, Boraks Arjantin S.A. ve Industrias Quimicas Baradero'nun yöneticileri ile çalışanlarına, Türkiye, Amerika ve Arjantin'deki arazi çalışmaları sırasında gösterdikleri çömertlikten dolayı minnettarım. Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi (Proje No: 2005.KB.FEN.053; 2006.KB.FEN.001; 2009.KB.FEN.026; 2010.KB.FEN.009; ve 0922.20.01.36) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu (TÜBİTAK: Proje No: YDAB. AG-100Y044 ve ÇAYDAG-103Y124) tarafından desteklenen bir araştırma projesi ile gerçekleştirilmiştir. Makalenin yazım ve çizim aşamasındaki yardımlarından dolayı Mustafa Helvacı'ya minnetlerimi sunarım. M.R. Palmer, H.G. Dill, Y. Genç ve H. Mutlu'ya, yapıcı görüş ve önerileri ile makalenin gelişmesindeki ve son halini almasındaki önemli katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Geliş Tarihi: 19.12.2014

Kabul Tarihi: 08.02.2015

Yayınlanma Tarihi: Aralık 2015

Değinilen Belgeler

- Akdeniz, N., Konak, N. 1979. Simav–Emet–Dursunbey–Demirci yörelerinin jeolojisi [Geology of the Simav–Emet–Dursunbey–Demirci areas]. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 6547*, Ankara (yayımlanmamış).
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirwall, M.F., Mitchell, J.G. 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102, 67-95.
- Alıcı, P., Temel, A., Gourgaud, A. 2002. Pb-Nd-Sr isotope and trace element geochemistry of Quaternary extension-related alkaline volcanism: a case study of Kula region (western Anatolia, Turkey), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, 487-510.
- Alonso, R.N. 1986. Occurrence, Stratigraphic Position and Genesis of the Borate Deposits of the Puna Region of Argentina. PhD Thesis, *Universidad Nacional de Salta* (in Spanish, yayımlanmamış)
- Alonso, R.N., Helvacı, C. 1988. Mining and concentration of borates in Argentina. In: Aytekin, Y. (ed). *Proceeding of the II International Mineral Processing Symposium*, İzmir, Turkey, 551-558.
- Alonso, R.N., Helvacı C., Sureda, R.J., Viramonte J.G. 1988. A new Tertiary borax deposit in the Andes. *Mineralium Deposita* 23: 299-305.
- Alonso R.N., Viramonte, J.G. 1990. Borate deposits in the Andes. In: Fontbote, L. Et al. (eds), *Stratabound ore deposits in the andes*, Springer verlag, 721-732.
- Arda, T. 1969. Kırka boraks yatağı. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Endüstriyel Hammaddeler Raporu*, No. 436, Ankara (yayımlanmamış).

- Aristarain, L.F., Hurlbut, C.S. Jr. 1972. Boron minerals and deposits. *Mineralogical Record*, v. 3: 165-172, 213-220.
- Baysal, O. 1972. Mineralogic and Genetic Studies of the Sarıkaya (Kırka) Borate Deposits. Ph.D. Thesis. Hacettepe University, Turkey (Türkçe, yayımlanmamış).
- Bingöl, E., Delaloye, M., Ataman, G. 1982. Granitic intrusions in western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area. *Eclogae geol. Helv.*, 75, 437-446.
- Borsi, J., Ferrara, G., Innocenti, F., Mazzuoli, R. 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics in the eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Island). *Bulletin of Volcanology*, 36, 473-496.
- Bowser, C.J. 1965. Geochemistry and Petrology of the Sodium Borates in the Non-marine Evaporitic Environment. Ph.D Dissertation, *University of California, Los Angeles* (yayımlanmamış).
- Bozkurt, E. 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta* 16, 61-81.
- Ceradyne Inc. 2011. Boron products: Costa Mesa, CA, Ceradyne Inc. (Accessed January 5, 2011, at <http://www.ceradyneboron.com/about/boron-products.aspx>).
- Chong, G. 1984. Die salare in Nordchile-Geologie, Structure und Geochemie. *Geotektonische Forschungen* 67; 1-146.
- Cooper, M.A., Hawthorne, F.C., Garcia-Veigas, J., Alcobé, X., Helvacı, C., Grew, E. S., Ball, N. A., (in press). Fontarnauite, $(\text{Na,K})_2(\text{Sr,Ca})(\text{SO}_4)[\text{B}_5\text{O}_8(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_2]$, a new sulfate-borate from Doğanlar (Emet), Kütahya Province, Western Anatolia, Turkey. *Candian Mineralogist*.
- Çemen İ., Ersoy, E. Y., Helvacı, C., Sert, S., Alemdar, S., Billor, Z. 2014. AAPG Datapages/Search and Discovery Article #90194 2014 International Conference and Exhibition, Istanbul, Turkey, September 14-17, 2014.
- Çoban, H., Karacık, Z., Ece, Ö.I. 2012. Source contamination and tectonomagmatic signals of overlapping Early to Middle Miocene orogenic magmas associated with shallow continental subduction and asthenospheric mantle flows in Western Anatolia: a record from Simav (Kütahya) region. *Lithos* 140-141, 119-141.
- Dunn, J. F. 1986. The structural geology of the northeastern Whipple Mountains detachment fault terrane, San Bernardino County, California [M.S. thesis]: Los Angeles, California, University of Southern California, p. 172.
- Engineering and Mining Journal, 2012. Industrial minerals—The boron country: *Engineering and Mining Journal* 213, no. 1, January, p. 61.
- Ercan, E., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, A. 1978. Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi (Geology of the Neogene basins in Uşak region). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 21, 97-106.
- Ercan, E., Türkecan, A., Dinçel, A., Günay, A. 1983. Kula-Selendi (Manisa) dolaylarının jeolojisi [Geology of Kula-Selendi (Manisa) area]. *Geological Engineering* 17, 3-28.
- Ercan, E., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A. 1996. Batı Anadolu'daki Tersiyer ve Kuaterner yaşlı volkanik kayalarda yeni yapılan radyometrik yaş ölçümlerinin yorumu [Some new radiometric ages Tertiary and Quaternary volcanic rocks from West Anatolia]. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi* 119, 103-112.
- Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B. 1985. Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu (Interpretation of new chemical, isotopic and radiometric data on Cenozoic volcanics of western Anatolia). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 28, 121-136.
- Erdoğan, B. 1990. Tectonic relations between İzmir-Ankara Zone and Karaburun Belt. *Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk.* 110, 1-15.
- Erkül, F., Helvacı, C., Sözbilir, H. 2005a. Stratigraphy and Geochronology of the Early Miocene Volcanic Units in the Bigadiç Borate Basin, Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 14, 227-253.
- Erkül, F., Helvacı, C., Sözbilir, H. 2005b. Evidence for two episodes of volcanism in the Bigadic borate basin and tectonic implications for Western Turkey. *Geological Journal* 40, 545-570.
- Erkül, F., Helvacı, C., Sözbilir, H. 2006. Olivine basalt and trachyandesite peperites formed at the subsurface/surface interface of a semi-arid lake: An example from the Early Miocene Bigadiç basin, western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 149, 240-262.
- Ersoy, Y., Helvacı, C. 2007. Stratigraphy and geochemical features of the Early Miocene bimodal (ultrapotassic and calc-alkaline) volcanic activity within the NE-trending Selendi basin, western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science* 16, 117 - 139.
- Ersoy, E. Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F., Bozkurt E. 2008. A geochemical approach to Neogene-Quaternary volcanic activity of the western Anatolia: an example of episodic bimodal volcanism within the Selendi Basin, *Chemical Geology*, 255, 1-2, 265-282.
- Ersoy, E. Y., Helvacı, C., Sözbilir, H. 2010. Tectono-stratigraphic evolution of the NE-SW trending superimposed Selendi basin: Implications for late Cenozoic crustal extension in Western Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 488, 1-4, 210-232.
- Ersoy, E.Y., Helvacı, C., Palmer, M.R. 2011. Stratigraphic, structural and geochemical features of the NE-SW-trending Neogene volcano-sedimentary basins in western Anatolia: implications for associ-

- ations of supradetachment and transtensional strike-slip basin formation in extensional tectonic setting. *J. Asian Earth Sci.* 41, 159–183.
- Ersoy, E. Y., Helvacı, C., Palmer, M. R. 2012. Petrogenesis of the Neogene volcanic units in the NE–SW-trending basins in western Anatolia, Turkey. *Contrib Mineral Petrol* 163, 379–401.
- Ersoy, Y.E., Helvacı, C., Uysal, İ., Palmer M.R., Karaoğlu, Ö. 2012. Petrogenesis of the Miocene volcanism along the İzmir-Balıkesir Transfer Zone in western Anatolia, Turkey: Implications for origin and evolution of potassic volcanism in post-collisional areas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 241-242, 21-38.
- Ersoy, E.Y., Palmer, M.R. 2013. Eocene–Quaternary magmatic activity in the Aegean: implications for mantle metasomatism and magma genesis in an evolving orogeny. *Lithos* 180–181, 5–24.
- Ersoy, E.Y., Çemen, İ., Helvacı, C., Billor, Z. 2014. Tectono-stratigraphy of the Neogene basins in Western Turkey: Implications for tectonic evolution of the Aegean Extended Region. *Tectonophysics* 635, 33–58.
- Eti Maden Inc. 2003. Pre-feasibility report summaries of boron carbide, boron nitride, ferroboron, frit and glaze, textile glass fibre, zinc borate: Ankara, Turkey, *Eti Maden Inc.*, 23 p.
- Floyd, P.A, Helvacı, C, Mittweide, S.K. 1998. Geochemical discrimination of volcanic rocks, associated with borate deposits: an exproation tool. *Journal of Geochemical Exploration* 60, 185-205.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pecceirillo, A., Villari L. 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. In *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Dixon JE, Robertson AHF (eds). *Geological Society of London; Special Publications* 17. 687–699.
- García-Veigas, J., Ortí, F., Rosell, L., Gündoğan, İ., Helvacı, C. 2010. Occurrence of a new sulphate mineral $\text{Ca}_7\text{Na}_3\text{K}(\text{SO}_4)_9$ in the Emet borate deposits, western Anatolia (Turkey). *Geological Quarterly* 54, 431-438.
- García-Veigas, J., Rosell, L., Ortí, F., Gündoğan, İ., Helvacı, C. 2011. Mineralogy, diagenesis and hydrochemical evolution in a probertite–glauberite–halite saline lake (Miocene, Emet Basin, Turkey). *Chemical Geology* 280, 352–364.
- García-Veigas, J., Helvacı C. 2013. Mineralogy and sedimentology of the Miocene Göcenoluk borate deposit, Kırka district, western Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology* 290, 85–96.
- Garrett, D.E. 1998. Borates. Handbook of deposits, processing, properties, and use. *Academic Press, London*, 483 p.
- Gawlik, J. 1956. Borate deposits of the Emet Neogene basin. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor* No. 2479, Ankara (Turkish and German Text) (yayımlanmamış).
- Goldschmidt, V.M. 1954. Geochemistry. *Oxford University Press*, Oxford.
- Gök, S., Çakır, A. DüNDAR, A. 1980. Stratigraphy, petrography and tectonics of the borate-bearing Neogene in the vicinity of Kırka. *Bulletin of the Geological Congress of Turkey*, n. 2, 53-62.
- Grew, E.S., Anovita, L.M. 1996. Boron. Mineralogy, petrology and geochemistry. Reviews in mineralogy, volume 33, *Mineralogical Society of America*, Washington, D.C., 862 .
- Güleç, N. 1991. Crust-mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics. *Geological Magazine* 23, 417-435.
- Gündoğan, İ., Helvacı, C. 1993. Geology, mineralogy and economic potential of Sultançayır (Susurluk-Balıkesir) boratiferous gypsum basin. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 36, 159-172.
- Helvacı, C. 1977. Geology, mineralogy and geochemistry of the borate deposits and associated rocks and the Emet Valley, Turkey. PhD Thesis, *University of Nottingham*, England (yayımlanmamış).
- Helvacı C. 1978. A review of the mineralogy of the Turkish borate deposits. *Mercian Geology* 6, 257-270.
- Helvacı, C. 1983. Mineralogy of the Turkish borate deposits. *Geological Engineering* 17, 37-54.
- Helvacı, C. 1984. Occurrence of rare borate-minerals: veatchite-A, tunellite, teruggite and cahnite in the Emet borate deposits, Turkey. *Mineralium Deposita* 19, 217-226.
- Helvacı, C. 1986. Geochemistry and origin of the Emet borate deposits, western Turkey. Faculty of Engineering Bulletin, *Cumhuriyet University, Series A. Earth Sciences* 3, 49-73.
- Helvacı, C. 1989. A mineralogical approach to the mining, storing and marketing problems of the Turkish borate production. *Geological Engineering* 34-35: 5-17.
- Helvacı, C. 1994. Mineral assemblages and formation of the Kestelek and Sultançayır borate deposits. *Proceedings of 29th International Geological Congress, Kyoto Part A*, 245-264.
- Helvacı, C. 1995. Stratigraphy, mineralogy, and genesis of the Bigadiç borate deposits, western Turkey. *Economic Geology* 90, 1237-1260.
- Helvacı, C. 2005. Borates. In : Selley R.C., Cocks, L.R.M and Plimer, I.R. (editors) *Encyclopedia of Geology. Elsevier*, vol.3, p. 510-522.
- Helvacı, C. 2012. Trip to Kışladağ (Uşak) Gold Mine, Kırka and Emet Borates Deposits. Post Colloquium Field Trip Guide Book. International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, IESCA 2012, İzmir, Turkey, 41p.
- Helvacı, C., Firman, R.J. 1976. Geological setting and mineralogy of Emet borate deposit, Turkey. *Transac-*

- tions/section B, *Institute of Mining and Metallurgy* 85, 142-152.
- Helvacı, C., Ercan, T. 1993. Karapınar (Konya) havzasında oluşan güncel bor tuzları ve volkanizmayla ilişkileri. 46. *Türkiye Jeoloji Kurultayı 1993 Bildiri Özetleri*, Sayfa 102-103.
- Helvacı, C., Stamatakis, M.G., Zagourogrou, C., Kanaris, J. 1993. Borate minerals and related authigenic silicates in northeastern Mediterranean Late Miocene continental basins. *Exploration Mining Geology* 2, 171-178.
- Helvacı C., Alonso, R.N. 1994. An occurrence of primary inyoite at Lagunita Playa, Northern Argentina. *Proceedings of 29th International Geological Congress, Kyoto Part A*, 299-308 Japan.
- Helvacı, C., Yağmurlu, F. 1995. Geological setting and economic potential of the lignite and evaporite-bearing Neogene basins of Western Anatolia, Turkey. *Isr. J. Earth Sci.*, Vol. 44, 91-105.
- 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., Alonso, R.N. 2000. Borate deposits of Turkey and Argentina : a summary and geological comparison. *Turkish Journal of Earth Sciences* 24, 1-27.
- Helvacı, C. Erkül, F. 2002. Soma ve Bigadiç arasındaki (Batı Anadolu) volkanik fasiyeslerin sedimentolojik, petrografik ve jeokimyasal veriler ışığında kökensel yorumu. *DEÜ. 0922.20.01.36 no.lu AFS Projesi*, 2002, 82 s.
- Helvacı, C., Sözbilir, H., Erkül, F. 2003. Soma ve Bigadiç arasındaki (Batı Anadolu) volkanik fasiyeslerin sedimentolojik, petrografik ve jeokimyasal veriler ışığında kökensel yorumu. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu : Proje No: YDAB-CAG/100Y044*, Nisan 2003, İzmir, 155 s.
- Helvacı, C., Ortı, F. 2004. Zoning in the Kırka borate deposit, western Turkey: primary evaporitic fractionation or diagenetic modifications? *Canadian Mineralogists* 42, 1179-1204.
- Helvacı, C., Ersoy, E.Y. 2006. The facies characteristics and geochemical features of the volcanic rocks of the Selendi and Simav area, and their relations with the basin sedimentary rocks, western Anatolia. *DEÜ. Bilimsel Araştırma Projesi No: 03.KB.FEN.058*. January 2006, İzmir, 116 s.
- Helvacı, C., Ersoy, Y., Erkül, F., Sözbilir, H., Bozkurt, E. 2006. Selendi Havzasının stratigrafik, petrografik, jeokimyasal ve tektonik veriler ışığında volkonosedimanter evrimi ve ekonomik potansiyeli. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Proje No:ÇAYDAĞ/103Y124*, Aralık 2006, 134 s.
- Helvacı, C., Karaoğlu, Ö., Ersoy, Y., Erkül, F., Bozkurt, E. 2009. Volcano-Tectonic evolution of the Uşak-Eşme-Banaz Basin: An approach to stratigraphic, sedimentologic and geochemical view. *DEÜ. Bilimsel Araştırma Projesi No: 2005.KB.FEN.053*, September 2009, İzmir, 75 s.
- Helvacı, C., Orti, F., Garcia-Veigas, J., Rosell, L., Gündoğan, İ., Yücel-Öztürk, Y. 2012. NEOGENE BORATE DEPOSITS: Mineralogy, Petrology and Sedimentology; A workshop with special emphasis on the Anatolian deposits. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, IESCA 2012*, İzmir, Turkey, 64p.
- Helvacı, C., Yücel-Öztürk, Y. 2013. Bor minerallerinin fluorescent yöntemiyle çalışılması. 2010 KB FEN 9, 25.03.2013.
- Helvacı, C., Yücel-Öztürk, Y., Satır, M., Shang, C. K. 2014. U-Pb zircon and K-Ar geochronology reveal the emplacement and cooling history of the Late Cretaceous Beypazarı granitoid, Central Anatolia, Turkey. *International Geology Review. International Geology Review* 56, 9, 1138-1155.
- İnan, K. 1972. New borate district, Eşişehir-Kırka province, Turkey. *Inst.Mining and Met.*, 81, p.B163-165.
- İnan, K., Dunham, A.C., Esson, J. 1973. Mineralogy, chemistry and origin of Kırka borate deposit, Eşişehir Province, Turkey. *Transactions/section B, Institution of Mining and Metallurgy* 82, 114-123.
- İnci, U. 1984. Neogene oil shale deposits of Demirci and Burhaniye regions. 27th International Geological Congress, Abs vol. VII, 13-16 (57).
- Innocenti, F., Agostini, S., Di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y., Tonarini, S. 2005. Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology* 221, 397-421.
- Jackson, J., McKenzie, D. 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 77, 185-264.
- Karaoğlu, Ö., Helvacı, C., Ersoy, E.Y. 2010. Petrogenesis and 40 Ar/39 Ar geochronology of the volcanic rocks of the Uşak-Güre basin, western Türkiye. *Lithos* 119, 193-210.
- Kistler, R.B., Helvacı, C. 1994. Boron and borates. In CARR, D.D. (ed) *Industrial Minerals and Rocks*. 6th edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, Colorado, 171-186.
- Lismore, Siobhan 2012. Borates used in detergents added to REACH list: Industrial Minerals, February 13. (Accessed September 27, 2012, at <http://www.indmin.com/>)
- Meixner, H. 1965. Borate deposits of Turkey. *Bulletin of the Mineral research and Exploration Institute of Turkey* 125, 1-2.
- Muessig, S. 1959. Primary borates in playa deposits: minerals of high hydration. *Economic Geology* 54, 495-501.
- Nebert, K. 1961. Gördes (Batı Anadolu) Bölgesi'ndeki Neojen volkanizması hakkında bazı bilgiler. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi* 57, 50- 54.

- O'Driscoll, Mike 2011. Rio Tinto Minerals declares force majeure on sodium borates: Industrial Minerals, January 31. (Accessed October 1, 2012, at <http://www.indmin.com/>).
- Okay, A.I. 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In: Şengör, A.M.C., (ed.), *Tectonic evolution of the Tethyan region*: Dordrecht, Kluwer Academic Publications, 109–115.
- Okay, A.I., Siyako, M. 1991. The New Position of the İzmir-Ankara Neo-Tethyan Suture between İzmir and Balıkesir. In: *Proceedings of the Ozan Sungurlu Symp.*, pp. 333–355.
- Okay, A.I., Şengör, A.M.C., Görür, N. 1994. Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions: *Geology* 22, 267–270.
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R., Akyüz, S. 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints. *The Tectonic Evolution of Asia*, 420–441.
- Orti, F., Helvacı, C., Rosell, L., Gündoğan, İ. 1998. Sulphate-borate relations in an evaporitic lacustrine environment: the Sultancıyır Gypsum (Miocene, Western Anatolia). *Sedimentology* 45, 697–710.
- Ortí, F., Alonso, R.N. 2000. Gypsum-hydroboracite association in the Sijes Formation (Miocene, NW Argentina): Implications for the genesis of Mg-bearing borates. *Journal of Sedimentary Research* 70, 664–681.
- Ozol, A.A. 1977. Plate Tectonics and the Process of Volcanogenic-Sedimentary Formation of Boron. *International Geology Review* 20, 692–698.
- Özpeker, İ. 1969. Western Anatolian Borate Deposits and Their Genetic Studies. PhD Dissertation, *İstanbul Technical University* (Türkçe, yayımlanmamış).
- Palache, C., Berman, H., Frondel, C. 1951. The system of mineralogy, 7th ed., v. 2, John Wiley & Sons, New York, 1124.
- Palmer, M.R., Helvacı, C. 1995. The boron geochemistry of the Kırka borate deposit, western Turkey. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 3599–3605.
- Palmer, M. R., Helvacı, C. 1997. The boron isotope geochemistry of the Neogene borate deposits of western Turkey. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 61, 3161–3169.
- Pe-Piper, G., Piper, D.J.W. 2007. Late Miocene igneous rocks of Samos: the role of tectonism in petrogenesis in the southeastern Aegean. *Geol. Soc. Lond., Spec. Publ.* 291, 75–97.
- Peng, Q.M., Palmer, M.R. 1995. The Palaeoproterozoic boron deposits in eastern Liaoning, China - a metamorphosed evaporite. *Precambrian Research* 72, 185–197.
- Peng, Q.M., Palmer, M.R. 2002. The Paleoproterozoic Mg and Mg-Fe borate deposits of Liaoning and Jilin Provinces, Northeast China. *Economic Geology* 97, 93–108.
- Preleviç, D., Akal, C., Foley, F., Romer, R.L., Stracke, A., van den Bogaard, P. 2012. Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for post-collisional dynamics of orogenic lithospheric mantle: the case of southwestern Anatolia, Turkey. *J. Petrol.* 53, 1019–1055.
- Purvis, M., Robertson, A.H.F. 2004. A pulsed extension model for the Neogene–Recent E–W-trending Alaşehir Graben and the NE–SW-trending Selendi and Gördes Basins, western Turkey, *Tectonophysics* 391, 171–201.
- Purvis, M., Robertson, A.H.F. 2005. Miocene sedimentary evolution of the NE-SW-trending Selendi and Gördes Basins, Western Turkey: implications for extensional processes. *Sedimentary Geology* 174, 31–62.
- Rio Tinto plc 2011. Form 20–F—Annual report for the fiscal year ended December 31, 2010: Washington, DC, Securities and Exchange Commission, March 15. (Accessed September 27, 2012, at <http://www.secinfo.com/>).
- Roskill Information Services Ltd. 2010. Boron—Global industry markets and outlook: London, United Kingdom, *Roskill Information Services Ltd.*, 243 p.
- Seghedi, I., Helvacı, C. 2014. Early Miocene Kırka-Phrigan caldera, western Anatolia - an example of large volume silicic magma generation in extensional setting. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16, EGU2014-5789, 2014 EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2014.
- Seghedi, I., Helvacı, C., Pécskay Z 2015. Composite volcanoes in the south-eastern part of İzmir–Balıkesir Transfer Zone, Western Anatolia, Turkey. *Elsevier, Journal of Volcanology and Geothermal Research* 291, 72–85.
- Seyitoğlu, G. 1997a. Late Cenozoic tectono-sedimentary development of the Selendi and Uşak–Güre basins: a contribution to the discussion on the development of east–west and north trending basins in Western Turkey. *Geol. Mag.* 134, 163–175.
- Seyitoğlu, G. 1997b. The Simav graben: an example of young E–W trending structures in the late Cenozoic extensional system of Western Turkey. *Turk. J. Earth Sci.* 6, 135–141.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine* 128, 155–166.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C., Rundle, C.C. 1992. Timing of Cenozoic extensional tectonics in west Turkey. *J. Geol. Soc.* 149, 533–538.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1992. Late Cenozoic volcanic evolution of the NE Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 54, 157–176.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1994a. Late Cenozoic basin development in west Turkey: Gördes basin tectonics and sedimentation. *Newsletter Stratigraphy* 131, 133–142.

- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1994b. Neogene palynological and isotopic age data from Gördes basin, West Turkey. *Newsletter Stratigraphy* 31, 133-142.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1996. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs. Back-arc spreading vs. Orogenic collapse. *Journal of Geodynamics* 22, 145 - 153.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G., Scott, B.C. 1997. The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in western Turkey: implications for enrichment processes in the lithospheric mantle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 76, 127-147.
- Sunder, M.S. 1980. Geochemistry of the Sarıkaya borate deposits (Kırka-Eskişehir). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 2, 19-34.
- Şaylı, B.S. 2003. Low Frequency of Infertility Among Workers in a Borate Processing Facility, Humana Pres Inc.).
- Şengör, A.M.C. 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia: *Geological Society of America*, Special Paper, 195 p.
- Şengör, A.M.C. 1987. Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. From Coward, M.P., Dewey, J.F., Hancock, P.L. (eds.), 1987, Continental Extensional Tectonics. *Geological Society Special Publication* 28, 575-589.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R. 1984. The timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: implication for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics* 3, 693-707.
- Travis, N.J., Cocks, E.J. 1984. The Tincal Trail. A history of borax. Harrap, London, 311.
- Uyanık, T. 2010. Mining: Ankara, Turkey, Export promotion center of Turkey, August, 7 p. (Accessed October 1, 2012, at <http://www.tcp.gov.tr/Assets/sip/san/Mining.pdf>.)
- Watanebe, T. 1964. Geochemical cycle and concentration of boron in the earth's crust. V.I. Verdenskii Inst. *Geochim. and Anal. Chem. U.S.S.R.* 2: 167-177.
- Yağmurlu, F. 1984. Akhisar doğusunda kömür içeren Miyosen tortulların stratigrafisi, depolanma ortamları ve tektonik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 5, 3-20.
- Yılmaz, Y. 1990. Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 1-19.
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Gürer, O.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A. 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt, E., Winchester, J. A. & Piper, J. D. A. (eds), Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, *Special Publications* 173, 353-84.
- Yiğit, O. 2009. Mineral deposits of Turkey in relation to Tethyan Metallogeny: implications for future mineral exploration, *Economic Geology*, v.104, p.19-51
- Yücel - Öztürk, Y., Ay, S., Helvacı, C. 2014. Bor Minerallerinin Duraylı İzotop Jeokimyası: Bigadiç (Balıkesir) Borat Yatağından Bir Örnek. *Yerbilimleri* 35 (1), 37-54.

