

GÜNEY AMERİKA'DAKİ AND DAĞLARININ TEKTONİK VE VOLKANİK GELİŞİMİNE BAĞLI BORAT VE DİĞER TUZ YATAKLARININ OLUŞUMU

Cahit HELVACI Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Bornova - İZMİR

ÖZ: And Dağları, Nazca levhasının Güney Amerika levhası altına dalması sonucu gelişmiştir. 7 km derinliğe erişen Peru-Şili hendeği Nazca levhası ile Güney Amerika levhası arasındaki dokanakta yer alır. Ana volkanik ada yayı, Nazca levhasının bu açı ile dalımı ile magma oluşumu ve volkanik ada yayı gelişmesi için en uygun koşullar sağlanmıştır. Orta Andlar kesiminin 15° güney enleminin kuzeyinde ve 28° güney enleminin güneyinde Nazca levhası çok düşük eğimlidir ve bu kesimlerde volkanik ada yayı bulunmaz. Volkanik ada yayı hendeğe paralel olup, yükseltilerden birisi deniz seviyesinden itibaren 7 km yüksekliğe erişir. Hendeğin ile yayı arasındaki topoğrafik farklılık yaklaşık 14 km ile yerkürenin en önemli özelliklerinden birini oluşturur.

Altiplano-Puna platosu ada yayı ile yakından bağlantılıdır. Plato, doğuda dar, kıvrımlanmış ve faylanmış bir kuşak olan ve Doğu Kordiller olarak isimlendirilen volkanik cevher ile sınırlanmıştır. Plato deniz seviyesinden 4 km yükseklikte olup iç kesimleri büyük düz bir havza ile kaplanmıştır. Bölge çok kurak ve yıllık çok düşük yağışa sahiptir. Bundan dolayı bu havzada çok kalın bir tuz istifi toplanır. Havzaların tabanı, "salares" diye isimlendirilen çok geniş, düz ve beyaz yüzeyler şeklinde beliren tuzlar ile kaplanmıştır. Altiplano-Puna plato 2000 km uzunluk ve 300 km genişlik ile çarpışma türü olmayan dağ kuşağındaki en büyük platodur.

Plato bölgesi kalın evaporit istiflerini içerir. Volkanik ada yayından doğuya doğru gelişen transversal volkanik zincirlerden dolayı bu bölgedeki havzalar çok kapalı bir konumda olduklarından dolayı Puna bölgesinde evaporitler son derece önemlidir. Bu volkanik kuşaklar dalan Nazca levhasında gelişen derin kırıklar sonucunda gelişmişlerdir. Transversal volkanik kuşaklar arasında yer alan bu havzalar yay içi havzaları şeklinde düşünülebilir. Bu havzaların önemi Andların sadece bir bölgesinde Miyosen borat yataklarını içermesindedir.

Miyosen sırasında, bölge günümüzdeki bu bölgede geçerli olan koşullara çok benzer çevre koşullarına sahip olmuştur. Salar veya playa gölü ortamları litoloji, sedimenter yapılar, evaporitlerin tipleri, kuş ayak izleri ve benzeri özelliklerle ayırtılabilir. Küçük göllerde veya göl zincirleri içinde yoğun termal su kaynaklarının aktivitesi ve kurak koşullar sonucunda evaporit depolanması sonuçlanmıştır. Evaporitler başlıca kayatuzu, jips ve borlardır.

Bor yatakları, Güney Amerika'da Orta Andlar Bölgesinde yaklaşık 15° ile 27° güney enlemleri arasında yer alırlar. Andlardaki bütün Tersiyer yaşlı borat yatakları 5 ile 7 milyon yıl arasında depolanmış oluşları boratların oluşumunun Messiniyen yaşlı (Geç Miyosen) olduklarını belirtir. Aralarında yaklaşık 100-150 km uzaklık olan boratlar K-G yönünde üç farklı yerde depolanmışlardır. Bu yataklar kuzeyden güneye doğru şu şekilde sıralanırlar: Loma Blanca, Sijes ve Tincalayu.

Loma Blanca, 1 milyon ton, % 16 B₂O₃ tenörlü, borat içeren 30 m kalınlığında bir istif ve başlıca üleksit, inyoit ve boraks içeren bir yataktır. Radyometrik yaşı 6.9 milyon yıldır. Sijes Andlardaki en büyük kalsiyum ve kalsiyum-magnezyum borat yatağı olup baskın olarak hidroborasit, ikincil olarak kolemanit ve az oranda üleksit ve inyoit içerir Bor düzeyleri içeren Sijes Formasyonunun yaklaşık kalınlığı 1500 metredir. Radyometrik yaşı 6.8 milyon yıldır. Tincalayu 10 milyon ton rezerv ve ortalama % 18 B₂O₃ tenörlü sodyum borat (boraks) yatağıdır. Baskın olan mineral türü boraks, Az oranda kernik ve ender olarak ise, rivadavit, ezkurit, aristarainit, ameghinit gibi bor mineralleridir. Radyometrik yaş 5.8 milyon yıldır.

Birçok evaporit yatağının bulunduğu Neojen diastrofik sahasından sonra ence daralan Andlarda Kuva-
terner havzalar oluşmuştur. Başlıca evaporitler kayatuzu, jips, borlar ve az oranda sodyum sülfat, sodyum
karbonat ve diğerleridir. Boratlar salarların üst kesimlerinde bulunurlar. Üleksit ve boraks olmak üzere iki
mineral türü bulunmuştur. Boraks, çamur içinde büyüyen özbiçimli kristaller şeklinde az oranda bulunur.
Ekonomik oranda boraks sadece Cauchari ve Turi-Lari salarlarında bulunur. Üleksit, nodüller ve masiv kat-
manlar şeklinde olmak üzere başlıca iki şekilde bulunur. Nodüller, "papas" veya patates ve masiv üleksit ise
"barra" diye adlandırılır. Nodüller, 5-10 cm çapında ve güneşte kurutulmuş şekliyle % 30 B₂O₃ tenörlüdür.
Üleksit katmanları salarlarda 1 m kalınlığa kadar erişirler. Üleksit içeren başlıca salarlar Hombre Muerto,
Ratones, Diablillos, Centenario, Pastos Grandes, Pozuelos, Rincon, Cauchari, Olaroz, Salinas Grandes ve
Quayatayoc'dur.

Andlardaki diğer bir özel borat yatağı tipi termal su kaynakları ve gayzerlerle ilişkilidir. Doğrudan
doğruya sıcak sulardan oluşan güncel üleksit yataklarından iki örnek vardır. Bu örneklerden bir tanesi Que-
var Volkanının yamacında bulunan sıcak su kaynağından oluşan Antico, diğeri ise Şili'deki küçük bir hav-
zanın kenarında bulunan sıcak su kaynağından oluşan Salar Suriredir. Sıcak su kaynakları genellikle üleksit,
bazı örneklerde boraks ve bir örnekte ise magnezyum boratları (pinnoit ve inderit) oluşturmuşlardır.

Borat yataklarını içeren salarlar, çözeltilerde mevcut olan lityum yönünden de zengindir. Li ve B
arasında yakın bir ilişki mevcuttur. Gayzerlerde, jeokimyasal analizler B, As ve Sb arasında yakın bir
ilişkinin olduğunu vurgular. Bazı gayzer ve kaynakların çevresinde veya taban kesimlerinde diğer metallerin
epitermal yataklarının bulunuşu önemli niteliktedir. Sıcak su bor yatakları ile yakından ilişkili gümüş yatak-
ları çok yakın tarihte bulunmuştur.

Özetle özgül volkano-tektonik konum, kurak iklim ve aktif sıcak su kaynakları borat ve diğer tuzların
oluşmasına neden olmuştur. Başlıca yataklar, kontinental volkanik ada yayı ve Altiplano-Puna platosu-
nun iç kesimlerindeki havzalarla yakından bağlantılıdır. Andların güncel gelişimi, volkanik ada yayının
oluşumu ve bunlarla bağlantılı gayzer ve sıcak su kaynakları, karasal borat ve diğer tuzların oluşumunu so-
nuçlayan neden ve verilerin çalışılması için en önemli doğal laboratuvar koşullarını sağlarlar.

GİRİŞ

Arjantin Salta Üniversitesi ve araştırma kuru-
luşu olan CONICET'in davetlisi olarak Nisan-
Temmuz 1987 tarihleri arasında yaklaşık ikibuçuk
aylık bir süre içinde, Latin Amerika'da bor yatak-
ları yönünden en büyük potansiyele sahip Arjantin
başta olmak üzere Şili ve Bolivya'da tüm yatakların
jeolojisi, mineralojisi, rezervi ve üretim durumları
hakkında kapsamlı araştırma ve inceleme yapılmış-
tır.

Bu inceleme, özellikle tüm bor yataklarının bu-
lunduğu And dağlarının Altiplano (Puna) bölge-
sinde 45 günlük bir saha çalışması, daha sonra Ar-
jantin, Şili ve Bolivya'daki çeşitli araştırma kuru-
luşları ve bor endüstrilerinin ziyaret ve incelemele-
riyle sürdürülmüştür. Konuyla ilgili olarak dökü-
manlar derlenmiş ve Türkiye'de Üniversite ve Eti-
bank için ileriye dönük bağlantıların ilk adımları
atılmıştır.

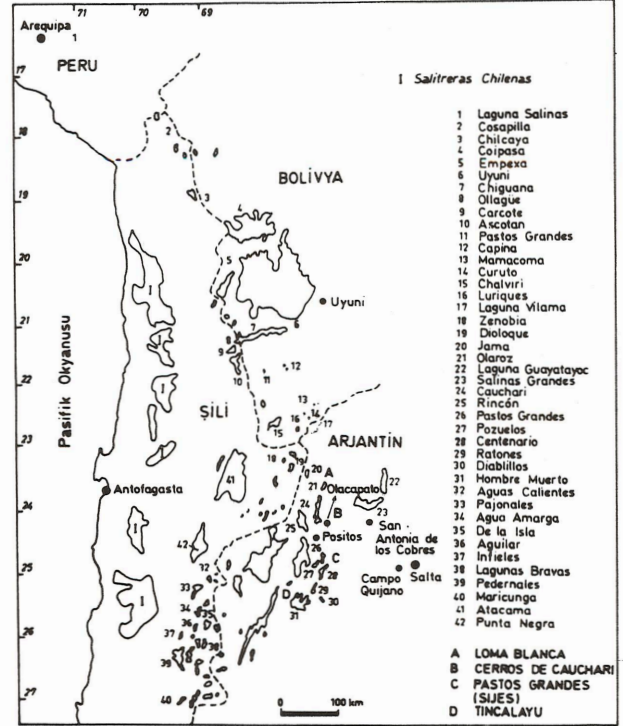
Bu yazıda, Latin Amerika'daki bor yataklarının
bulunduğu bölge jeolojik ve rezerv durumları, mi-
neralojileri ve belli başlı üretilen bor mineralleri ile
bu minerallerden üretilen ürünler ve pazarlama so-
runları irdelenecektir.

LATİN AMERİKA BOR YATAKLARI BÖLGESİNİN (ALTIPLANO=PUNA) GENEL TANITIMI

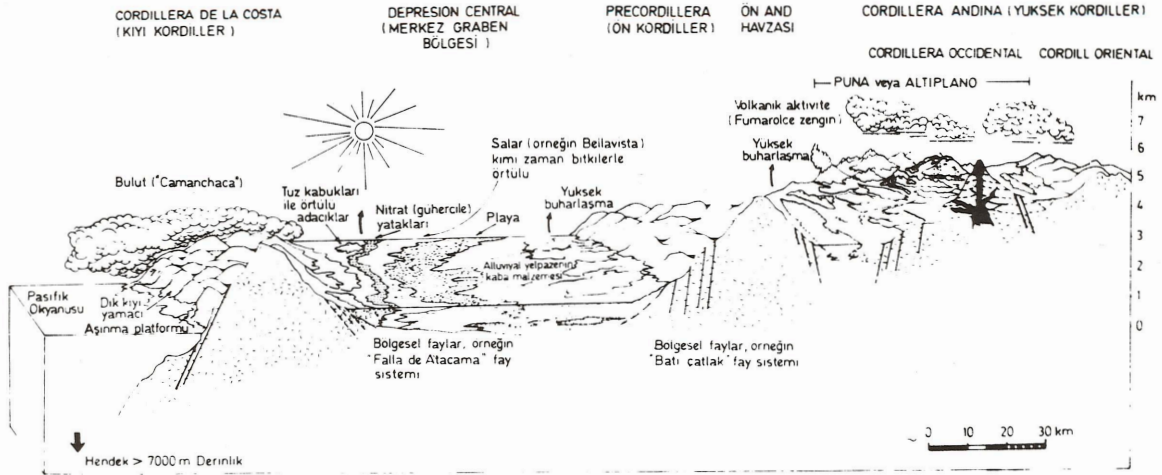
Güney Amerika bor yatakları, And dağlarının
yaklaşık 1000 km²'lik kesiminde Altiplano (Puno)
diye isimlendirilen bölgede Senozoik yaşlı volka-
no-sedimenter kayalar içinde yer alırlar. Altiplano
(Puna) bölgesinde kırktan fazla bor yatağı sap-
tanmış ve bu yataklar Peru, Arjantin, Bolivya ve
Şili'nin birleştikleri genellikle And dağlarının
yüksek kesimlerinde oluşmuştur (Şekil 1 ve 2).
Türkiye, Amerika Birleşik Devletleri, Meksika,
Çin, İran ve Tibet'teki yataklara oranla Güney
Amerika yatakları daha düşük deformasyon ve diy-
agenез geçirmişlerdir. Tüm Güney Amerika bor
yatakları Neojen (Miyosen), Kuvaterner ve güncel
olarak üç farklı zamanda olmak üzere volkano-
sedimenter ortamlarda, playa-göl, sıcak su kaynağı
çevresinde, gayzerlerde ve salarlarda oluşmuş veya
oluşumları halen sürmektedir. Güncel bor yatakları
ya gayzer ve sıcak su kaynaklarının hemen
çevresinde ya da borca zengin sıcak su kaynak-
larının beslediği salarlarda oluşumlarını
sürdürmektedir (Şekil 3).



Şekil 1 Latin Amerika'daki borat bölgesi. Taralı alan borat bölgesinin yayılımını gösterir.



Şekil 2 Latin Amerika'daki bor yataklarının dağılımı ve önemli salar ve yatakların isimleri şekilde gösterilmiştir (Alonso ve Viramonte 1985'ten alınmıştır).



Şekil 3 And dağlarının Puna (Altiplano) bölgesinde sallarların konumunu gösteren kesit (Chong Diaz, 1984'ten alınmıştır).

And dağlarının Altiplano diye isimlendirilen merkezi bölgesi, yalnızca 2 ile 25 cm yıllık yağış miktarı, soğuk rüzgarlar ve yüksek mevsimsel ve günlük sıcaklık değişimlerine sahiptir. Peru ve Şili bölgesinde And tekto-volkanik kuşak, geniş, çizgisel, sıkça kuzey-güney yönünde uzanan dağ silsileleri ile ayrılan sallarından (playalar) meydana gelen kapalı havzalardan oluşur (Şekil 3). Miyosen

ve Pliyosen devrinde Batı ve Amerika Birleşik Devletlerinin batı kesimlerinde bor yataklarının oluştuğu havzalarda da And dağlarındakine benzer durum geçerli olmuştur.

And dağlarının Altiplano (Puna) bölgesi Şili, Arjantin, Bolivya ve Peru ülkelerinin ortak sınırlarındaki geniş bir alanı kapsar (Şekil 1).

GENEL JEOLJİ

Güney Amerika bor yatakları, Tersiyer'den (Miyosen) Kuvaterner'e kadar değişen zaman sürecinde volkano-sedimenter kayalar içinde, eski playa, sıcak su kaynağı çevresi ve düzensiz katmanlı salar yatakları şeklinde 3000 ile 4400 m arasında değişen yükseklikteki Occidental Cordillera ve Altiplano bölgelerinde gözlenirler (Şekil 3). Salarları kapsayan havzaların temelini genellikle Senozoyik ve yaşlı sedimenter kayalar ve daha yaşlı Prekambriyen ile Mezozoyik zaman aralığındaki yaşlı metaklastik ve plutonik istifler oluşturur (Muessig, 1966; Turner, 1964; Chong Diaz, 1984; Alonso, 1986). Şili'de bazı salarlar hem Mezozoyik hem de Tersiyer'den (Pliyosen) tüm Kuvaterner volkanikleri ile yakından ilişkilidirler. Arjantin de ise, borat ardalanması içeren Tersiyer karasal sedimentlerin yüzlekleri güncel salarların bulunduğu birçok havzanın kenarları boyunca (Muessig, 1966).

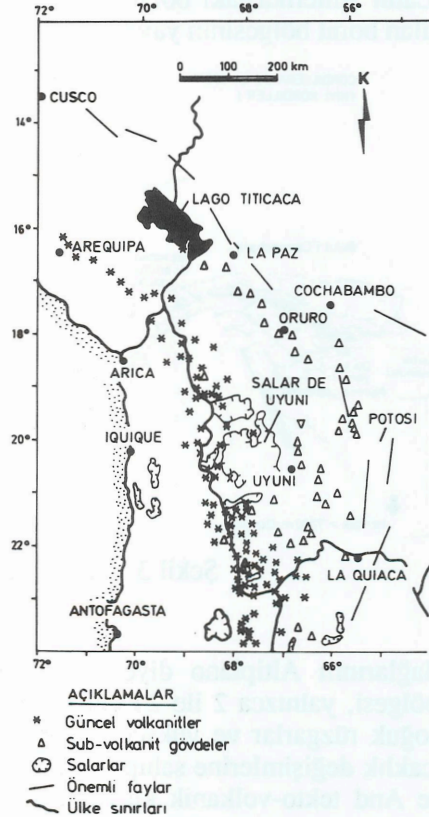
And dağlarının oluşumunda magmatik olayların önemli rol oynamasına karşın, Orta And dağları bölgesindeki bor yataklarının oluşumu ile ilgili önemli volkanik olaylar Miyosenden günümüze dek aktif olanlardır. Bu volkanik aktivite ise Nazca levhasının dalmasına paralel olarak batıdan doğuya, diğer bir deyişle Şili'den Arjantin'e doğru, kayma gösterir. Böylece, Mezozoyik sonu ve Tersiyer başı (Paleosen ve Eosen) volkanizması Şili içinde, Şili-Arjantin sınırında etkili olmasına karşın; Tersiyer sonu (Miyosen ve Pliyosen) ve Kuvaterner volkanizması Şili-Arjantin-Bolivya sınırlarında ve daha çok Arjantin ve Bolivya içlerinde aktif olmaktadır. And dağlarının orta kesimindeki güncel volkanizma Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin'in ortak sınırları bölgesinde olup, bu alan bor dağılım bölgesiyle çakışmaktadır (Şekil 4).

Günümüzde Orta Andlar bölgesinde volkanik aktivite çok azdır. Sadece Peru'nun güneyinde, kuzey Şili ve Şili-Arjantin ortak sınırının kuzey kesiminde volkanizma günümüzde de aktivitesini sürdürmektedir. Geriye kalan kesimlerde ise volkanik faaliyet fumarol, solfataras ve gayzerler ile sınırlanır. Yüksek Cordillera (High Cordillera) boyunca 5000 ile 6800 metre arasında değişen yüksekliklerde 600 civarında ve genellikle lav ve piroklastik ardalanması sunan straktovulkanlar gözlenir (Şekil 3). Volkanik kayaların yaşlı olanları alkanin riyolitik, dasitik birimler, genç olanlar ise baskın olarak andezitlerdir. Orta And dağlarında ignimbirit katmanları, 20 milyon yıldan daha uzun bir süre boyunca Oligosen ve Miyosen

aralığı ile Pleistosen'in başlarında oluşmuştur (Zeil, 1979). Orta Andlarda volkanik aktivite bölgelere göre değişim göstermekte, kuzey ve güney kesimlerinde yaşlı ignimbirit katmanları ile daha genç stratavolkanlar yer alırken, orta kesimde baskın olarak çok büyük oranda riyolitik ignimbirit katmanları ve yüksek silis içerikli andezitlerden oluşan kalk-alkalin kayalar yer alır.

Andların orta kesimindeki tektonik kıvrımda karasal kabuğun kalınlığı, kuzey ve güney kesimlerdeki kabuktan 20 km daha kalın olup 70 km kalınlığa erişir (Zeil, 1979).

Orta Andların Batı Cordillera (Western Cordillera) kesimindeki baskın kalk-alkalin karakterli kayalar, Batı Anadolu ve Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kesimindeki bir model kalk-alkalin volkaniklerine çarpıcı şekilde benzerlik gösterirler. Yaşlı riyolit serisi kayaları genellikle riyolit ve riyodasitik ignimbritlerle temsil edilirler. Genç andezitik volkanikler ise başlıca latit ve andezitlerle karakterize edilirler. Riyolitler ve andezitler yer yer, zaman zaman ve jeokimyasal olarak bağlantılıdır (Zeil, 1979). Her iki grupta kalk-alkalin volkanik serilerine ait olup, iki grup arasında açık



Şekil 4 Andların orta kesimindeki Senozoyik yaşlı güncel volkanitler ve sub-volkanit gövdeler.

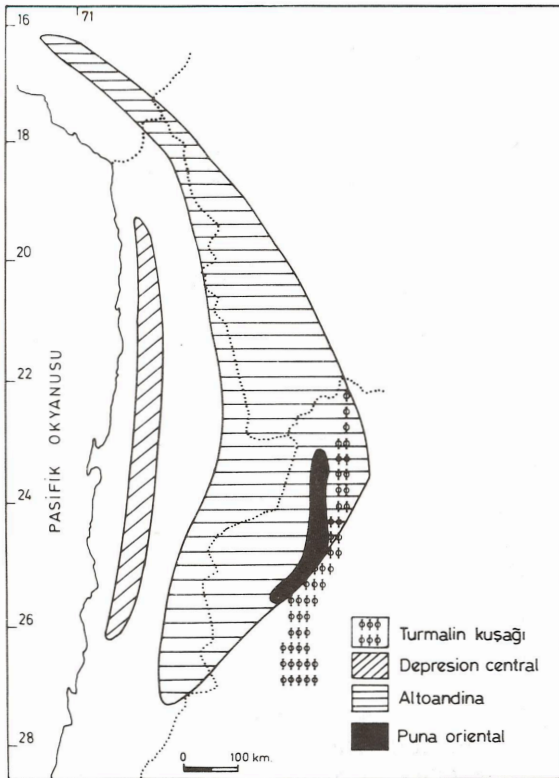
bir petrografik geçiş mevcuttur. Bu volkanik kayalar, bölgedeki kabuksal malzemenin kalın bir kesitinin dalma zonunda ergimesi sonucu oluşmuşlardır (Zeil, 1979).

PUNA BÖLGESİNİN BOR KAYNAKLARI

Orta Andlardaki uzun süren jeoloji ve madencilik çalışmaları sonucu, özellikle Altiplano-Puna bölgesi, "Boratlı Orta Andlar Bölgesi = Provincia Boratifera Centroandina" metalojenik bölgesi olarak isimlendirilmiştir (Alonso ve Viramonte, 1985). Bu metalojenik bölge, Orta Andlardaki Senozoyik volkanik yayın tarihi ve gelişimi ile yakından ilgilidir.

Bölgedeki yatakların yaş, mineraloji, orijin ve jeolojik-tektonik ortamlarına göre bu metalojenik bölge alt bölgelere de ayrılmıştır: Subprovincia Boratifera Altoandina, Subprovincia Boratifera de la Puna Oriental ve Faja Turmalinica (Alonso ve Viramonte, 1985) (Şekil 5).

Bu borat metalojenik bölgesi, 1500 km uzunluğunda, 450 km genişliğinde ve 400 000 km²lik elips şeklinde bir alanı kapsar, Bu bölgede başlıca üleksit, boraks, hidroborasit, kolemanit ve inyoit mineralleri olmak üzere yaklaşık % 20 B₂O₃ tenörlü 100 000 000 ton borat içerir (Alonso, Viramonte, 1985).



Şekil 5 Orta Andlarda (Centroandinas) borat alt bölgelerini gösteren harita (Alonso ve Viramonte, 1985'ten alınmıştır).

monte, 1985).

Latin Amerika'daki borat metalojenik bölgedeki en önemli yataklar Arjantin'in Salta ve Jujuy eyaletlerindeki Miyosen yaşlı Tincalayu boraks, Sijes hidroborasit ve kolemanit, Loma Blanca inyoit ve boraks yataklarıdır. Sijes yatakları çevresinde daha az ekonomik ve teras şeklinde Kuvaterner yatakları mevcuttur. Latin Amerika'daki Salar türündeki güncel yataklarda ise kaya tuzu, sülfat tuzları ve lityum tuzlarının yanısıra başlıca üleksit ve boraks yatakların önemli ekonomik mineral bileşenlerdir. Sıcak su kaynakları ve gayserlerde ise üleksit baskın mineraldir.

Güney Amerika'nın bor kaynaklarının çok fazla olduğu düşünülmesine karşın kesin rezervleri veren bilgiler son derece eksiktir. U.S. Bureau of Mines, Latin Amerika'daki borat yataklarının rezervini ortalama % 20 B₂O₃ tenörlü olmak üzere 90 milyon ton olduğunu belirtir.

Borax Consilidated Ltd. Şirketi 1852 yılında Güney Amerika'daki çeşitli salar yataklarından üleksit üretmeye başlamıştır. Güney Amerika'daki en eski işletme Şili'deki Salar de Ascotan'da başlamıştır (Şekil 1). Şili dünya üretiminin yaklaşık üçte birini karşıladığı zaman, 1914 yılında 36 000 ton üretime erişmiştir. ABD'de borların fiyatlarının düşmesine paralel olarak Şili'deki üretim azalmıştır ve 1929 yılında durma noktasına gelmiştir (Bain and Read, 1934). 1979 yılında yaklaşık 27 000 ton cevher Atacama ve Ascotan salarlarından üretilmiştir. Yaklaşık yılda 27 000 ton bor cevheri yan ürün olarak Atacama salarlarındaki lityum ve potasyum tuzları işletmesinden üretilmektedir (Dickson and Harben, 1983; Lyday, 1984).

Güney Amerika'daki en önemli bor cevheri üretimi Arjantin'in Salta eyaletinde yapılmaktadır. Hombre Muerto salarının kuzey kesimini oluşturan Tincalayu yatağından yılda yaklaşık 136 000 ton boraks cevheri üretimi yapılabilmektedir. Bu yataktan 1983 yılındaki üretim 140 000 tondur (Lyday, 1983). Peru'daki Laguna Salinas'dan 1894'ten 1920'lere kadar üleksit üretimi ve ihracı yapılmıştır ve Peru'dan toplam üleksit ihracatı, 1930 öncesine kadar yaklaşık 91 000 tona erişmiştir. Peru'nun üretimi halen daha Laguna Salinas'a bağlıdır ve bu salarlardan yıllık üleksit cevheri üretim kapasitesi 27 000 tondur. Şu an için Bolivya'da yapılan bor üretimi son derece limitlidir.

Salar Yatakları

Güney Amerika'daki salar yatakları genel olarak üleksit (NaCaB₅O₉.8H₂O) içerir, fakat inyoit

(Ca₂OB₆O₁₁.13 H₂O) ve boraks (Na₂B₄O₇.10H₂O) bazı salarlarda ekonomik oranda tesbit edilmiştir. Kolemanit (Ca₂B₆O₁₁.5H₂O) çok ender olarak bir iki salarda tesbit edilmiştir (Buttgenbach, 1901; Ericksen, 1963).

Salar yataklarındaki boratlar genellikle Latin Amerika'da "papas" diye tanımlanan salar yüzeyine bir metrelik derinlikte nodüller, merccekler veya ince bant ve düzeyler şeklinde bulunurlar. Bu salar yataklarının bir çoğu salar çevresinde veya içinde tüflerle yakından bağlantılıdır ve bu salarların havzaları sıcak ve soğuk su kaynakları ile beslenmektedir.

Salar borat yataklarının şekilleri ve yayılımları çoğunlukla düzensizdir. Boratlar, genellikle çamur, kil, kum ve silt matriksi içinde bulunur. Jips, halit ve diğer tuzların borat düzeyleri ile yakından ilişkili olduğu çoğunlukla gözlenir. Salarların kuru yüzeyinin (yüzey kabuğunun) altındaki sedimentler genellikle ıslaktır. Salar havzalarının birçoğu sınırlı veya iç drenaja sahip olup, bir kısmı ise eski kıyı çizgilerine veya yaygın ve devamlı borat dağılımı gösterir. Salar içindeki boratların çevredeki eski kayaların aşınma ürünü olduğunu veya salar içindeki durgun derin su gövdesinden çökeldiğini gösteren hiçbir veri yoktur. Borlar, salarları besleyen volkanizma ürünleri ile bağlantılı sıcak suların salar havzası için B ile Ca ve Na elementlerinin konsantrasyon olmaları sonucu çökelmişlerdir. Borat zonları 3 m kalınlığa kadar değişebilir ve yaklaşık olarak % 20 B₂O₃ içerirler. Salar içinde karbonatlar genellikle ya azdır veya hiç bulunmazlar.

Borat içeren salarların coğrafik dağılımı, Andların orta kesimindeki Batı Cordillera'daki (Western Cordillera) Senozoik volkanizmasının çevresinde bulduklarını gösterir (Şekil 2 ve 4). Volkanlardan uzağa gidildikçe, örneğin doğuya doğru Altiplano veya batıya doğru kıyıya giden çöl bayırlarında, salar borat yatakları hızlı şekilde kaybolur (Chamberlain, 1912). Volkanik olmayan Doğu Cordillera (Eastern Cordillera) ile ilişkili hiçbir borat yatağının bulunmayışı da boratların volkanitlerle yakından bağlantılı olduğunu gösterir.

Arjantin, Peru, Bolivya ve Şili'de borat içeren 35 tane salar bilinmektedir (Muessig, 1966; Alonso, 1986). Bu salarların herbiri birkaç binden birkaç milyon tona kadar borat içerir. Salarlar çok geniş (birkaç yüz km²) alanları kapsarlar. Salarların bir çoğunda madencilik koşulları, iklim şartlarındaki çok büyük farklılıklar, yükseklik ve salar

yüzeyine çok yakın yeraltı su tablasının mevsimsel oynamasından dolayı çok zordur. Bunlara ek olarak, liman noktalarına veya rafinerilere uzaklıkları çok fazla olup, dünyanın başka yerlerindeki borat yataklarına oranla ulaşım ve nakliye son derece güçtür. Birçok Güney Amerika borat yatağı mekanik olmayan ilkel yöntemlerle işletilir ve bor cevherleri rafineriler veya limanlara küçük kamyon veya turlarla taşınır. Tren ile taşımacılık sadece belli yörelerden yapılabilmektedir.

Sıcak Su Kaynağı Yatakları (Spring apron deposits=geyser deposits)

Borat sıcak su kaynağı yatakları, bir çatlak, bir zayıflık zonu veya koniden çıkan borca zengin su ve gazların hemen kaynak yerinde veya çok yakın çevresinde kristalleşmesi ve çökmesi sonucu oluşurlar. Bu tür yataklar genellikle küçük boyutlu, borat minerallerinin kesikli düzeyler şeklinde veya termal kaynaklar tarafından getirilen diğer mineralerle karışık şekilde gözlenirler. Arjantin ve Peru'da onbeş adet sıcak su kaynağı yatağı bilinmektedir. Bu yataklar koni ve örtü şeklinde üleksit ve sadece bir yatakta ise boraks içerir. Diğer Senozoik yaşlı borat oluşumlarında olduğu gibi, bu yatakların çevresinde de benzer volkanik kayalardan riyolit ve andezit bileşimli seriler gözlenir.

Güney Amerika'da borat sıcak su yatakları çok güzel şekilde gelişmiş ve korunmuşlardır. Örtü şeklindeki yataklar günümüzde bazı örneklerde görüldüğü gibi halen daha gaz ve çeşitli sıcaklıklarda veya soğuk su üreten baca ve konilerin çevresinde örtü şeklinde gelişmişlerdir. Birçok yatakta, eski borat düzeylerini örten geç evre tüfler bulunur (Kistler ve Smith, 1983). Sıcak su kaynağı örtü yatakları genellikle küçük boyutlu olup, ortalama tenörü % 20 B₂O₃ olan sadece birkaç yüz tondan birkaç bin tona kadar borat kapsarlar. Her ne kadar ayrıntılı kimyasal çalışmalar yeterli olmasa da diğer tipteki borat yataklarında olduğu gibi borun kaynağı bu tür yataklarda da volkanik kökenlidir.

Playa (Salar=Tuzla) ve Sıcak Su Kaynağı Yataklarının Kökeni (Origin of Playa and Spring Apron Deposit)

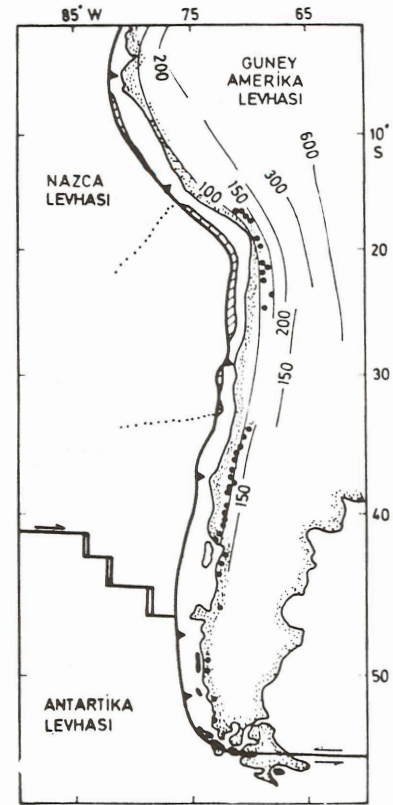
Volcano-sedimanter formasyonlarda bor içeriğinin artışının alta bindiren litosferik levhalarla ilişkili olduğu saptanmıştır (Ozol, 1976), Ayrıca, Tersiyer kayalarındaki bor birikimine karasal, asidik-ortaç karakterli volkanizmanın eşlik ettiği bilinmektedir. Güney Amerika'daki bor yatakları da Orta Andlarda lokalize olmuş Senozoyik volkanik aktivite ve bağlantılı sıcak su kaynakları ile yersel

ve zamansal olarak ilişkilidirler. Salar yatakları, havza içine akan sıcak su kaynağı kökenli bor çözeltilerinin sonuçlarıdır. Bor ve birlikte bulunan klor, volkanik kökenlidirler (Muessig, 1966; Helvacı ve Alonso, 1989).

Güney Amerikan bor yatakları için volkanik olmayan orijin ayrıntılı saha jeolojisi ilişkileri ışığında geçerli değildir. Bilinen bor yatakları çevresinde veya daha alt düzeylerde benzer stratigrafide borca zengin kayalar olmadığı ve çok sınırlı drenaj alanı olduğu için çevre kayaların ayrışması sonucu mevcut bor yataklarının oluşması da söz konusu olamaz. Diğer taraftan çevredeki daha yaşlı bor yataklarının yıkanması sonucu olarak bugünkü yatakların oluşması mümkün değildir. Dünya genelinde, yüzey (effusive) ve piroklastik kayalardaki en yüksek bor içeriği (50-1000 gr/ton), Pasifik Okyanusu ve Alp-Himalaya tektovulkanik kuşaklarda aktif levha sınırlarında ada yayı sistemlerindeki volkanik kayalarda bulunur (Özol, 1976). Bu kayalardaki asıl bor getirici malzeme volkanik camlardır (Berzina ve diğer., 1975). Yüzeyde magma kristalizasyonu sırasında, borun büyük bir kesimi artık ergiyikte, kısmen de uçucularda toplanır. Volkanik patlamalar arasında şayet bor diğer uçucu bileşenler ile toplanırsa, gaz kaçağı ve göçme ile magma çemberinden ayrılır ve kırıklı zonlardan yüzeye doğru gaz buharı kaynağı şeklinde erişir. Bu olasılık, Pasifik ve Alp-Himalaya volkanik kuşağındaki gazlar ve hidrotermal çözeltilerdeki yüksek bor içeriği ile desteklenir. Senozoyik havzalardaki bor içeriği, genellikle alta bindirme zonları ile ilişkili olan volkanik kayalarda en yüksektir. Bor içeriği, rift zonlardaki havzalarda az, volkanik etkinliğin az veya olmadığı sahalarda ise en düşüktür. Ayrıca, yitim tektoniği sahalarındaki termal sulardaki bor kapsamı (600-800 mg/l), Okyanus ortası sirtlarında veya rift zonlarındaki (yanlızca yaklaşık 10 mg/l) bor içeriğine oranla son derece yüksektir (Özol, 1976).

Güney Peru ve Kuzey Şili'de bazı kesimlerde fümerol ve solfatara etkinlikleri olmasına karşın, Güney Amerika'nın orta kesimlerindeki volkanik etkinliğin bugünkü düzeyi düşüktür. And Dağları, morfolojik olarak yüksek dağları oluşturan volkanik ve magmatik yapılarla karakterize edilir. Bu malzemenin büyük bir kesimi Miyosen'den günümüze dek süren volkanik olaylarla üretilmiştir. Bu volkanizma, And dağ silsilesinin fay tektoniği ve yükselmesi ile doğrudan doğruya, ilişkilidir. Orta Andlarda, Senozoik volkanizmasının merkezi Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin

sınırlarındaki bölgede bulunmaktadır (Zeil, 1979). Bu bölge veya zon 2000 km uzunluk ve 100 veya 200 km genişlikte olup (Şekil 4) dünyanın en yüksek ve en büyük sayıdaki volkanlarını kapsar (Zeil, 1979). Francis ve Rundle (1976), sadece son 10 milyon yılda, 21 ve 22 güney enlemleri arasındaki Kuzey Şili'nin Yüksek Kordillera (High Cordillera) kesiminde yaklaşık 2000 km³ volkanik malzemenin oluştuğunu öngörmüşlerdir. Volkanik kayaların kalın kesiti kaynak köklerini tayin etmeyi zorlaştırır, fakat volkanik malzemenin bu tür büyük miktarın kırık sistemi ile bağlantılı olduğu sanılmaktadır. Güney Amerika bor yatakları, zaman ve yer yönünden orojenik kuşağın doğrultusunu izleyen riyolit ve andezitlerle yakından bağlantılıdır. Andezitler, ilksel olarak yakınısyan levha sınırlarıyla bağlantılı olacak şekilde belirgin tektonik yerleşime sahip olup, başka yerlerde sınırlı miktarlarda bulunurlar. Andezitlerin bir dizisi Pasifik levhasının batı ve kuzey sınırları ile Juan de Fuca, Cocos ve Nazca levhalarının doğu sınırları boyunca oluşmuştur. Peru-Şili hendeği,



Şekil 6 Güney Amerika'nın tektonik konumu. Gölge alanların derinliği 3000 kulaçtan (fathoms) büyük kesimleri kapsar. Levha sınırları Forsyth (1975) ten sismik konurlar Barazangi ve Isachs (1976) dan alınmıştır. (Gill, 1981'den alınmıştır).

Güney Amerikan ve Nazca levhalarının sınırında bulunmaktadır (Şekil 6 ve 7).

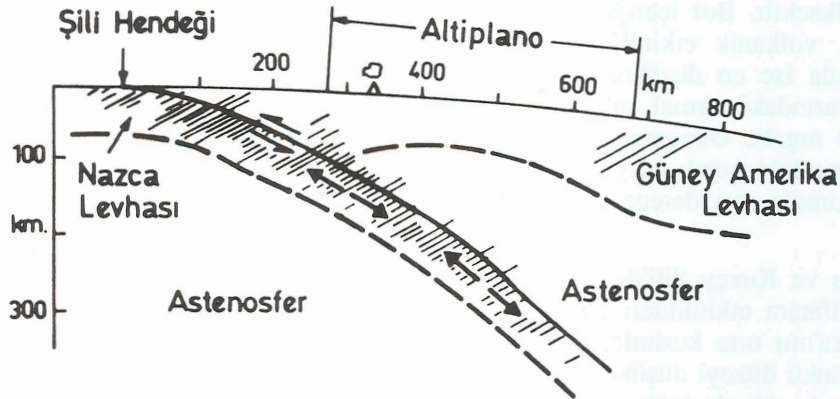
Peru-Şili hendeği, andezitik volkanik cepheden yaklaşık 250 km mesafededir (Şekil 7 ve 8) ve bu bölgede volkanik yay yaklaşık 50 km genişliktedir. Dalan sismik zonun üzerinde volkanların yüksekliği 80 ile 250 km arasında değişir ve sismik zonun eğimi yaklaşık 35 derecedir (Barazangi ve Isacks, 1976). Nazca ve Güney Amerikan levhaları yılda 10.3 ile 10.8 cm arasında değişen bir miktar kadar birbirlerine yaklaşırlar. Orta Andlar bölgesinde kabuk kalınlığı 70 km'ye yaklaşır (James, 1971). Bu bölgede dalma 175 ile 200 milyon yıl arasında değişen bir zamandan beri olagelmektedir (Gill, 1981).

Nazca levhası, Peru ve Şili'nin altında en azından dört parçaya ayrılır ve 25° den daha büyük bir açıyla dalan bu parçalardan sadece ikisinin üst kesiminde aktif volkanik sahalar bulunmaktadır (Barazangi ve Isacks, 1976). Bu volkanik aktif sahalar, Orta Andlardaki bor yataklarının bulunduğu kesimlere karşıt gelir. Peru-Şili hendeğinin bulunduğu sahada, astenosfer karasal ve okyanusal levhalar arasında 90 km derinliğe erişen sandeviç şeklinde sıkıştırılmıştır. Güney Amerika'daki baskın orojenik andezitler ile volkanların 90 veya 200 km derinliklerinde dalan litosferin varlığı arasındaki yersel ve zamansal ilişki, dalan litosferin andezitlere bileşimsel olarak katkıda bulunduğunu vurgular veya yakınsama (yitim) olayının kendisi bu mekanizma içinde ayrımlaşmayla andezitleri sonuçlar.

Güney Amerika ve dünyanın diğer kesimlerinde bor yatakları yukarıda sözü edilen tektonik model ile yakından ilişkili olarak görüldüğünden, andezit ergiyiğinin kökenini ve göç etme mekanizmasını anlamak önemlidir. Ergiyiğin kökeni yitim olaylarına bağlı görünmesine karşın, orojenik kalk-alkalin volkaniklerin kökeni ve buna bağlı yüksek bor konsantrasyonu için değişik çeşitli teoriler ve görüşler mevcuttur. Gill'in (1981) bu konudaki görüşleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Oksitlenme koşulları altında bazaltik bileşimli yarı kabuksal ilksel magmanın kristalleşerek ayrımlaşması.
2. Derinlerde bulunan kabuksal malzemenin kısmen veya tamamen anateksiye uğraması.
3. Simatik bazaltik magmanın sialik malzemenin anateksisinden ikincil asit ergiyiklerle karışması.
4. Sialik malzemenin simatik bazaltik magma tarafından özümlemesine (assimilation) ek olarak kristalleşerek ayrımlaşması.
5. İlksel andezitik magmanın oluşumu ile üst manto malzemesinin karışımı.

Elde olan güncel veriler, bir andezit ve borun ortak ergiyiğinin mantodan mı yoksa kabuktan mı türediği; volkaniklerin ayrımlaşma ürünü mü yoksa bir kesim karasal kabuğun kısmen veya tamamen ergimesinden mi oluştuğu; ya da kökenin bir kıtadan kenarında dalan okyanusal litosferik levhanın kesikli olarak eklenmesi mi olduğu konusun-

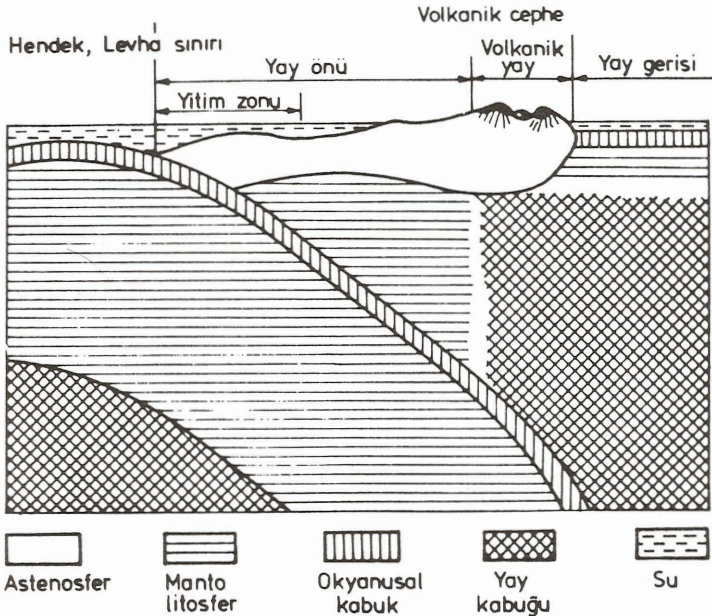


Şekil 7 Orta Andlardaki levhaların tektonik konumu. Profil, Kuzey Şili'de Nazca levhasının dalma geometrisini gösterecek şekilde kuzeye bakılarak çizilmiştir. İnce çizgiler hiposentirleri, oklar ise dalan Nazca levhasındaki gerilme kuvvetlerini gösterir (Zeil, 1979'den alınmıştır).

da tüm veriler son derece kesin ve açık değildir.

Bu ergiyiklerdeki bor içeriğinin konumunu açıklamak çok daha zordur. Şayet bor, bir magma çemberinin ilksel ergiyiğinde uçucu olarak bulunursa magma çıkışı sırasında veya öncesinde ek-solüsyon olarak kaybedilmesi büyük bir olasılıktır. Magma çıkışı sonrasında camlaşma (devitrifikasyon), ayrışma veya alterasyon ile de bor kazanılır veya kaybedilir. Böylece Güney Amerika ve dünyanın diğer kesimlerindeki büyük Senozoyik bor yatakları ile yakından ilişkili olan orojenik andezitlerdeki magma çıkışı öncesi bor konsantrasyonlarını tayin etmek veya saptamak oldukça güçtür.

Orta Andlarda salarlar (tuzlalar) ve sıcak sular-daki çok büyük bor konsantrasyonları ile Senozoyik volkanizmasının merkezleri arasında çok belirgin bir korelasyonun varlığı mevcuttur. Buna ek olarak, volkanik bölgeler ile olasılıkla kabuğun derinlerine kadar inen kırık zonlarıyla bağlantılı olan Orta Andlardaki grabenler arasında çok yakın bir ilişki vardır. Volkanikler ile levha tektoniği arasındaki bağlantı daha çok yorumsaldır. Senozoyik volkanik malzemenin yaklaşık 200 km'lik bir derinlikten kaynaklandığı (Benioff zonunun üst kesimine kadar olan bir derinlikten), yitim olayının Miyosen'den önce başladığı ve birçok milyon yıl aralıksız kesilmeden devam ettiği şeklinde yorumlanması bazı çalışanlar tarafından olanaksız olarak değerlendirilmektedir (Zeil, 1979). Ozol'unda



Şekil 8 Yakınsayan levha sınırları (Okyanusal levhalar) için terminoloji (Gill, 1981'den alınmıştır).

(1977) dahil olduğu diğer çalışanlar, Güney Ame-rikan kalk-alkalin magmasının okyanusal kabuğun 150-200 km derinliklere kadar yitimi ve yeniden ergimesi sonucu oluşan andezitlerle yakından bağlantılı olduğu fikrini benimserler. Borca zengin her iki serpantin ve denizel killeri de içerebilen okyanusal kabuk malzemesi, Güney Amerika'da olduğu kadar Kuzey Amerika ve Alp-Himalaya bölgelerinde de Benioff zonlarının üstünde belirgin bor yatakları oluşumu için gerekli olan bor miktarını üretebilir.

Orta Andlardaki bor yatakları ile ilişkili kalk-alkalin volkaniklerin kökenine bakılmaksızın, Güney Amerika'daki tüm veriler dalan levha tektoniğiyle ilişkili derin kırıklardan gelen hidrotermal çözeltiler termal kaynakları ve kalk-alkalin volkanikler ise kaynak örtü (spring apron) ve salar (tuzla) tipi bor yatakları için bor kaynağı oluşturduğunu gösterirler.

MİNERALOJİ

Latin Amerika'daki Neojen yaşlı yataklar, Ku-vaterner ve güncel yaşlı salarlar ve gayzerlerin tümünde gözlenen en önemli ve ekonomik değeri olan mineraller boraks, üleksit, hidroborasit, kolemanit, kemit ve inyoittir. Neojen yaşlı yataklarda işletilen en önemli ekonomik mineraller sırasıyla boraks, üleksit, hidroborasit, kolemanit, kemit ve inyoittir. Bu önemli ekonomik bor minerallerinin yanısıra az ve eser miktarda çok değişik bor mineralleri var olup bunlar Çizelge 1, 2 ve 3'te her yatak için ayrı ayrı verilmiştir.

Salarlarda (=tuzlalarda) ekonomik olarak en önemli bor mineralleri üleksit ve boraktır. Bunların yanısıra az oranda inyoit, ve eser miktarda kolemanit ve hidroborasit tespit edilmiştir*. Gayzerlerde ise baskın mineraller üleksit, boraks ve pinnoittir. Çizelge 4'te Arjantin'deki gayzer tipi bor oluşuklarındaki minerallerin listesi verilmiştir.

* Kuzey Arjantin'deki bir güncel playada saptanan inyoit Helvacı ve Alonso (1989) tarafından tanımlanmıştır.

ÜRETİM

Şili

1950 öncesine kadar Şili'nin en önemli borat üretimi Salar de Ascotan'dan gelmekteydi. Ascotan'daki bor madenciliği 1883'te başladı, 1913'te yılda 36.000 ton ile en yüksek notaya erişti ve 1967'de durdu. Salar de Ascotan'daki üleksitin büyük bir kesimi, sıcak su kaynağı ortamlarında

Çizelge 1. Tincalayu yatağındaki bor mineralleri

Mineral İsmi	Kimyasal Formül
Boraks veya Tinkal	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Tincalkonit	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Kernit	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Üleksit	$\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Ezkurit	$\text{Na}_2[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_5] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Ameghinit	$\text{Na}_2[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_4]$
Rivadavit	$\text{Na}_6\text{Mg}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_2] \cdot 8.14\text{H}_2\text{O}$
Aristarainit	$\text{Na}_2\text{Mg}[\text{B}_{12}\text{O}_{20}] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Makallisterit	$\text{Mg}[\text{B}_6\text{O}_9(\text{OH})_2] \cdot 6^{1/2}\text{H}_2\text{O}$
Inderit	$\text{Mg}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Kurnakovit	$\text{Mg}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Inyoit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Ginorit	$\text{Ca}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4][\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Estronsioginorit	$(\text{Sr}, \text{Ca})_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot [\text{B}_6\text{O}_6(\text{OH})_4] \cdot 2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Probertit	$\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Searlesit	$\text{NaB}[\text{Si}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$

sıkça gözlenen ve çiçeksi formları içeren diatome toprağı içinde bulunur (Muessig, 1966). Kistler ve Smith (1983), üleksit'in Ascoton'da salar (tuzla) yüzeyinin hemen altında başlıca düzensiz kütleler ve 1 metre kalınlığa kadar değişen katmanlar şeklinde bulunduğunu belirtir. Diğer borat üretilen Şili salarları Chilcaya ve Pedernales salarlarını kapsar (Şekil 2).

Birçok Şili salarları çok yüksek jips kapsarlar. Sülfatların büyük bir kesiminin volkanik kükürtün oksitlenmesiyle oluştuğunu birçok araştırmacı belirtir. Bazı Şili havzaları ise aktif kaynaklara sahiptir. Salar ve Zenobia, Salar de Aguilar gibi kenarları boyunca sıcak su kaynakları ve gayzerler kapsar. Salar de Maricunga'nın yüzeyini traverten ve tüf konileri sınırlar.

Ascotan ve Carcote salarlarından, bugünkü salar yüzeyinden birkaç metre yukarıda da bulunan eski kıyı çizgileri bir zamanlar sığ-göl ortamının varlığını belirtir. Bu salar, Güney Amerikan salarları içinde farklı bir konuma sahip olup, salarlarda bulunan boratların laküstrin suyun belli bir doygunluğa eriştikten sonra çökeldiğini gösteren veriler bulunmamaktadır (Muessig, 1966).

Antofagasta ve Tarapaca eyaletlerindeki diğer önemli üleksit içeren salarlar Atacama, Quiro, Puntra Negra ve Pedernales salarlarını kapsar (Şekil 2). Güncel araştırmalar daha çok bu salarlar üzerinde yoğunlaşmış olup, borlar genelde yan

Çizelge 2. Sijes yataklarında bulunan bor mineralleri

Mineral İsmi	Kimyasal Formül
Hidroborasit	$\text{MgCa}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Kolemanit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$
Üleksit	$\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Inyoit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Meyerhofferit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_3(\text{OH})_5] \cdot \text{H}_2\text{O}$
Tobleit	$\text{Ca}[\text{B}_6\text{O}_9(\text{OH})_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
İoverit	$\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_2]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Probertit	$\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

ürün olarak alınmaktadır. 3000 km²'lik bir yayılıma sahip Salar de Atacama lityum ve potasyum tuzlarının yanısıra 11 milyon ton borik aside eşdeğer üleksit içermektedir. Corporacion de Fomento de la Produccion, Saline Processes Inc. ve Foote Mineral Co. Şirketleri karışık tuz komitesi kurarak bu yatağı ortak işletmek için yatırım yapmışlardır. Sociedad Chilena de Litic (S.C.L.) ortak adıyla dünya lityum ihtiyacının % 25'ini (yılıda 1000 ton lityum); ve yan ürün olarak ta yılıda 28.000 ton borik asid ve ayrıca bir miktar potasyum üretimi yapılmaktadır. 1981 yılında Salar de Pedernales'te yapılan çalışmalar da lityum ve potasyumun yanısıra çok az boraksın varlığı ortaya koyulmuş, fakat bu salar üzerindeki çalışmalar her nedense devam ettirilmemiştir. Daha birçok salarlarda bor minerali bulunmasına karşın ekonomik önemi bulunmamaktadır. Yeni bir İngiliz Şirketi yörede araştırmalarına devam etmektedir.

Arjantin

Güney Amerika'da en fazla bor üreten ülke Arjantin olup, dünya sıralamasında da üçüncü sıraya erişmektedir (Helvacı, 1989). Yıllık bor üretimi yaklaşık 150.000 tona erişmiştir. Arjantin'in 40 dan fazla büyüklü küçüklü bor yatakları var olup, hepsi Andların yüksek kesiminde ve Şili, Peru ve Bolivya sınırlarına yakın kesimlerinde yer alırlar. Bu bölge eski Neojen yatakları, Kuvaterner ve güncel playa veya salarları (tuzlalar) yatakları ve sıcak su kaynakları çevrelerinde oluşan güncel bor yatakları kapsar (Şekil 2). Bor mineralleri ile birlikte genel olarak en çok halit (kaya tuzu) ve jips bulunmaktadır. Bu yörede Salta, Jujuy ve Catamarca eyaletlerinde, eski bor yataklarının oluşum şekline benzer şekilde güncel sıcak su kaynakları bor mineralleri oluşturmaya devam etmekte olup, henüz hiç birinin bor konsantrasyonu ekonomik önemde değildir.

Çizelge 3. Loma Blanca yatağında bulunan bor ve diğer mineraller

Mineral İsmi	Oksit Formülü
Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Inyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Terujit	$\text{Ca}_4\text{MgAs}_2\text{B}_{12}\text{O}_{22}(\text{OH})_{12} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Realgar	AsS
Orpiment	As_2S_3
Jips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Sülfür	S
Kalsit	CaCO_3
Aragonit	CaCO_3
Montmorillonit	$(\text{Mg},\text{Al})_2\text{SiO}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
İllit	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Klorit	$(\text{SiAl})_8(\text{Mg},\text{Fe})_6\text{O}_{20}(\text{OH})_4$

Neojen Yaşlı Bor Yatakları

Tincalayu Yatağı

Tincalayu madeni, salt Arjantin değil aynı zamanda Güney Amerika'nın da en büyük borat yatağı olup 4118 metre yükseklikte bulunur. Bu yatak Salta eyaleti sınırları içinde olup Salar de Hombre Muerto'nun hemen kuzeyinde yer alır. Tincalayu madeni, RTZ Borax Şirketinin bir branşı olan Boroquimica SAMICAF tarafından açık ocak yöntemiyle ve oldukça modern ekipman ile işletilmektedir. Bu yataktaki borat gövdesi Pliyosen yaşlı kumtaşı, kilitaşı, tüf, kireçtaşı ve çakıltası gibi tortulların altında, boyutları 500 m uzunluğunda (D-B yönünde), 350 m genişliğinde (K-G yönünde) ve 50 m kalınlığındaki bir mercek şeklinde gözlenir. Boraks yatağı, 100 m kalınlığındaki NaCl tuz (halit) zonuun üstünde yer alır. Boraks zonuun üstünde ise çok az oranda kemit, kurnakovit, üleksit ve inyoit içeren 50 metre kalınlığındaki kırıntılı tortullar bulunur. Bu tortulları da yaşı 0.75 my olan bazaltlar üstler. Mercek şeklinde boraks gövdesi kuzey-güney eksenli antiklinalde tektonik olarak denetlenmiştir. Yan taraflardaki iki fayla yükselerek bugünkü konumunu almıştır. Bu yatakta ekonomik olarak bulunan boraks ve az orandaki kemit'in yanısıra mevcut diğer ender mineraller rivadavit, ezkurit, ameghinit, makallisterit vs. Çizelge 1'de verilmiştir.

Bu yaktan üretim kapasitesi yılda 150.000 ton olmasına karşın 1980'li yıllarda ortalama 130.000 ton üretim yapılmıştır. 1982 yılında yapılan çalış-

Çizelge 4. Sıcak su kaynakları ve gayzerlerde tespit edilen bor mineralleri

Yatak İsmi	Mineraloji	Yatak Tipi	Aktivite
Coyahuaima	Ux - Bx	G - M	R - E
Canuelas	Ux - Bx	M	E
Volcancito	Ux	G - M	R - E
San Marcos	Ux	G	R - E
Daniel	Ux	M	E
Aristusa	Ux	G	R
Ojo de Agus	Ux	G	E
Toro	Ux	M	E
Libertad	Ux	M	E
Lari	Ux - Bx	M	E
Los Bayos	Ux	M	E
Tropapete	Bx	G	R
Adriana	Ux	G	E
Antuco	Ux	M	A
Socacastro	Ux - Pn	G - M	E
Blanca Lila	Ux	G - M	R - E
Oire	Ux	M	E

AÇIKLAMALAR

Bugünkü aktivite: A: Aktif, R: Kalıntı, E: Durmuş

Tip: G: Gayzer (koni şeklinde çıkışlar), M: Sıcak su kaynağı (plato şeklinde oluşumlar)

Mineraloji: Ux: Üleksit, Bx: Boraks veya tincal, Pn: Pinnoit

malarla da bu yatakta 2 milyon görünür, 3,5 milyon muhtemel ve 5 milyon mümkün toplam olarak 10,5 milyon ton boraks rezervi tespit edilmiştir. Bu yatakta üretilen boraks (ortalama % 16 - % 18 B_2O_3 tenörlü) iki kısma ayrılarak cevherlerin bir kesimi hemen yatağın yanındaki bir kesimi ise yataktan 400 km uzaklıktaki ve Salta yakınlarındaki Campo Quijano'daki konsantrasyon fabrikalarında işlenmektedir. Tincalayu'da önceleri çalışmakta olan küçük çaplı bir borik asit fabrikası olmasına karşın bugün artık bu fabrikada üretim yapılmamaktadır. Tincalayu'da ürünler % 28 ve % 32 tenörlük konsantrasyonla yapılıyor, fakat enerji ile su sorunlarından dolayı borik asit fabrikası çalıştırılmıyor. Tüm ürünler 100 km uzaklıktaki Salar de Pocitos tren istasyonu oradan da tren ile Salta yakınındaki Campo Quijano'ta taşınmaktadır.

Sijes Yatakları

Bu bölgedeki işletilmekte olan yatakların tümü Boroquimica SAMICAF ait olup, bu yöreden başlıca hidroborasit, üleksit, inyoit ve kolemanit üretilmektedir. Bu bölgede, tüm borat yatakları kilitaşı, çamurtaşı ve tüfler ile ardalanmalı olarak bulunurlar. Hidroborasit başlıca Monte Azul, Monte Amorillo ve Monte Verda ocaklarından, kolemanit

ise başlıca Esperanza ocağından üretilmektedir. Yatakların genel yaşı Üst Miyosen-Pliyosen olup, yatakların içinde bulunduğu Sijes formasyonu yaklaşık kuzey-güney yönünde uzanır ve doğuya doğru eğimlidirler. Bu bölgedeki yataklarda yer yer arsenik yüzdesi 5000 ppm'e kadar erişir.

Sijes bölgesinde en önemli yatak Monte Amarille olup, bu yatak aynı zamanda dünyanın en büyük hidroborasit yatağıdır. Yatakta baskın olan hidroborasit, az oranda inyoit, kolemanit ve üleksit mineralleri bulunur ve yatağın toplam rezervi 19 milyon tona ulaşır. Bu yataktaki hidroborasitin rezervi ise 15 milyon tondur. Bu yatakta en kalın damarın kalınlığı 2 m olmak üzere 22 ayrı hidroborasit damarı var olup, yatağın uzunluğu 4 km dolayındadır.

Santa Rosa yatağı Sijes'in tam kuzeyinde bulunur ve yatakta hidroborasit kolemanit, inyoit ve üleksit mineralleri bulunur. Ayrıca yatakta realgar, orpiment, jips ve anhidritte bulunmaktadır. Yatakta herbiri yaklaşık 6 metreye erişen en az üç bor zonu vardır ve borat zonları Salar Santa Maria batı kenarı boyunca en az yedi kilometre uzanır. Bu yatakta toplam 5 milyon ton görünür rezerv saptanmıştır.

Esperanza yatağında genel olarak kolemanit egemen mineral olup yaklaşık rezervi 1-2 milyon tona ulaşır. Munte Azul yatağında baskın olarak tüflerle ardalanmış ilksel hidroborasit içerir. Bu yatakta işletme yapılmamaktadır. Monte Vende yatağı ise genel olarak kolemanit ve inyoit minerallerini içerir. Tüm Sijes bölgesinde saptanan bor mineralleri Çizelge 2'de verilmiştir. Yılda 5 bin ton hidroborasit, 2 bin ton kolemanit ve değişen oranlarda üleksit üretilmektedir. Ürünler 40 km uzaklıktaki Salar de Positos tren istasyonundan Campo Quijano'daki borik asit fabrikasına taşınır.

Loma Blanca Yatağı

Bu yatak, Salta'dan 440 km uzaklıkta ve Jujuy eyaletinin Bolivya sınırındaki Coranzuli volkanının yakınında yer alır. Yatak şu anda Industrias Quimicas BARADERO'ya ait olup, 1987 başında işletmeye açılmıştır. Daha eski tarihlerde çok küçük çapta bu yataktan inyoit üretimi yapılmıştır. 4000 metre yükseklikteki ve Neojen yaşlı (6.99 milyon yıl) bu yatakta önceleri yalnızca inyoit üleksit ve terujit minerallerinin saptanmasına karşın, son yıllarda yapılan çalışmalarla yatağın bütün bir kesiti ortaya çıkarılmıştır. Böylece yatağın alt kesimleri ile birlikte boraks ve kolemani-

tin de varlığı ortaya konmuştur. Yapılan gözlemler, bu yatağın borat çökelişi ve mineral bileşimi yönünden Kırka yatağının küçük bir modeli olduğunu göstermektedir (Alonso ve diğer., 1987).

Yataktaki en önemli bor mineralleri boraks, inyoit ve üleksit olup, gözlenen tüm mineraller Çizelge 3'te verilmiştir. Yataktaki toplam rezerv maksimum 1 milyon tondur. Paleozoik bir temel üzerine oturan bu küçük havzada bor mineralleri volkanoklastiklerle birlikte bulunurlar. Alt kesimde kolemanit ve inyoit, daha sonra sırasıyla üleksit, boraks, üleksit ve inyoit zonları özellikle yeşil renkli kiltaşları içinde gelişmişlerdir. Bor mineralleri genellikle killer içinde 10 cm büyüklüğe kadar varan düzgün kristaller şeklinde ve maksimum 1 metreye erişen zonlar şeklinde gözlenirler. Bu yatağın uzun süre ekonomik olarak işletilmesi cevher/matriks oranının düşük oluşundan dolayı olanaklı değildir. Yatağın değişik düzeylerinden alınan temsili örneklerin kimyasal analizleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Salar Yatakları

Bu tür yataklar salar: playa: tuzla diye adlandırılan çok genç (Kuvaterner'den günümüze) yataklar olup, bu yataklardan bazılarının oluşumu halen devam etmektedir. Bu tür çok sayıda yatak olmasına karşın birçoğu önemsiz oranda bor içerir. Bu tür salar yataklarından lityum, potasyum, sodyum tuzları ile jips üretimlerinin yanısıra boraks ve üleksit üretilir. Salarlarda eser oranlarda inyoit, kolemanit ve hidroborasit mineralleri de saptanmıştır.

Çizelge 5. Loma Blanca yatağının farklı zonlarından alınan temsili örneklerin kimyasal analizleri

	1	2	3	4	5	6
B ₂ O ₃	14.24	12.28	10.75	16.58	23.19	19.49
CaO	6.06	4.80	6.82	6.87	6.82	6.02
Na ₂ O	3.42	3.29	3.72	2.42	2.36	3.27
Cl	1.02	0.28	0.22	0.29	0.36	0.22
Fe	0.05	0.10	0.15	0.04	0.02	0.15
Çözünmeyen kesim	66.07	60.04	66.38	53.66	34.74	66.33

- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. Üleksit zonu | 4. Inyoit zonu |
| 2. Üleksit zonu | 5. Inyoit zonu |
| 3. Üleksit zonu | 6. Boraks zonu |

Arjantin'deki salarlarda boratlar, genellikle sodyum ve kalsiyum sülfat, sodyum ve magnezyum klorit, demir oksit, kum ve kil ile birlikte kalın katmanlı, düzensiz seviyeler şeklinde gözlenirler. Üleksitler ya düzensiz katmanlar ya da nodüller şeklinde bulunurken boraks hemen hemen tüm yataklarda çok düzenli kristaller şeklinde bulunur. Arjantin'deki salarların jips içerikleri Şili'deki salarlara göre daha azdır. Bor mineralleri çoğunlukla salarların yüzeyinde veya yüzeyine yakın olarak bulduklarından işletilmeleri oldukça kolaydır. Büyük salar yatakları, Şili ve Bolivya sınırlarına yakın olan Altiplano boyunca ve 3650 ile 4000 m arasında değişen yüksekliklerde bulunurlar.

Salar de Cauchari, 53 km uzunluğunda, 3 ile 8 km arasında değişen genişlikte ve 10 cm'den 2 metre kalınlığına kadar değişen borat zonları içerir. Salarlarda Boroquimica SAMICAF ve diğer küçük şirketler üleksit ve boraks üretirler. Üleksit, yersel olarak "papas" diye adlandırılan 10 cm çapına kadar erişen patates şeklindeki yumrular şeklinde gözlenir. Inundada madeninde (Saların orta kesimleri) çamurtaşları içinde 10 cm'den büyük çok düzenli boraks kristalleri gelişmiştir. Saların kenar kesimlerinde ise taravertenler gözlenir. Tüm boratları içeren sedimentler Paleozoyik yaşlı bir temel üzerinde gelişmiştir. Bu salar Olacapato tren istasyonundan 72 km uzaklıktadır. Bu yataktaki güneşte kurutulan üleksit cevherinin tenörü ortalama % 35 B₂O₃ olup, yataktan ilk çıkarıldığında % 60 civarında su kapsarlar.

Salar de Rincon, baskın olarak üleksit ve az oranda boraks içeren 50 cm kalınlığında bir bor zonu içerir. Pocitos tren istasyonundan 30 km uzaklıktaki bu salardan genellikle üleksit üretilmiştir. Günümüzde bu salardan tuz üretilmektedir. Sodyum klorür, kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat ve sodyum sülfat mineralleri bu salarda yaygın olarak bulunurlar.

Salar de Turi-Lari'de karbonat, lityum ve arsenik içeren yeşil, bentonitik çamurların içinde boraks kristalleri bulunur. Bir veya iki kilometre çapında ve küçük kuru bir göl görünümünde olan bu salarda üleksit işletilmiştir. Cauchari salarının kuzey ucunun 60 km kuzeyinde bulunur (Şekil 2). Saların kuzeydoğu ucu hariç her tarafı tüflerle çevrilmiştir. Güneydoğu kesiminde borat üretimi yapılmaktadır. 5 cm'e erişen boraks kristalleri gri-yeşil killer içinde bir metrelik bir zonda bulunurlar. Cevher düzeyinin altında seyrek olarak boraks kristallerinin bulunduğu yarım metrelik bir kil ve ondan sonra da su tablası bulunur. Coyaguaima

volkanik merkez, bu salardan yaklaşık 10 km kuzeyde bulunur ve oldukça genç volkanik akıntılar saların iki kilometre yakınına kadar uzanır. Taze olivin bazalt, boraks sahasının kenarına kadar gelmiştir.

Salar de Pastos Grandes ve Salar de Diablillos'da genel olarak üleksit ve çok az oranda boraks gözlenir. Bazı küçük şirketler yalnızca üleksit üretirler. Boroquimica SAMICAF Salar de Diablillos da bazı sahalara sahiptir. Yüzeyden itibaren 2 milyon ton üleksit saptanmıştır..

Salar de Centenario'nun temelinde Copalayo kuşağını oluşturan metamorfikler ve onları kesen intrusif pegmatitler bulunur. Kuzeyden ise borca zengin Sijes formasyonundan oluşan Tersiyer kayaları ile sınırlanır. Doğu kesimde kuzey-güney yönünde uzanan fay boyunca büyük kesimi kurumuş olan sıcak su kaynakları gözlenmektedir. Holosen'den güncele kadar bir zaman aralığında oluşum mevcuttur. Espinoza Şirketi, Maggie ocağında her ay 500 ton üleksit üretmektedir. Üretim doğrudan doğruya Brezilya'ya gitmektedir. Salarlarda ayrıca sülfat mineralleri ve çok az boraks bulunur.

Salar de Ratonos bol üleksit minerali içerir. Bu saların hemen güney ucunda Cerro Ratonos volkanı, doğu tarafında ise metamorfik ve intrüsipleri bulunur. Batı kesimde ise alüvyon yelpazeler oluşmuştur. Saların güney ucunda kayatuzu (NaCl) ile üleksit oluşurken kuzey ucunda güncel trona oluşuklarına rastlanır. Bu inceleme sırasında bu salarda ilk defa tronanın varlığı tespit edilmiştir.

Salar de Hombre Muerto, Positos tren istasyonunda 140 km uzaklıkta (güneye doğru) ve Tincalayu boraks yatağının hemen güney bitişiğinde yer alır. Cerro Ratonos volkanı (5 500 m) bu saları kuzeydeki Salar de Ratonos'ten ayırır. 4000 metre yükseklikteki bu salar, batıdan Del Gallego sırtı, güneyden Incahuasi kuşağı ve doğudan ise sırtlarla Calchaquies vadisinden ayrılır. Hombre Muerto veya Limon tepesi ile Farallon Catal Hombre Muerto yaylasını Oriental ve Occidental olmak üzere ikiye böler. Bu yörede Ordovisiyen yaşlı kayaların üzerine önce Tersiyer yaşlı Sijes formasyonunun benzeri volkano-sedimenter kayalar oturur. Bu formasyon içinde Tincalayu madeni yer alır. Ondan sonra Cerro Ratonos ve Hombre Muerto volkanları faaliyete geçerek andezitik bileşimli volkanik malzemeyle Ratonos ve Hombre Muerto havzalarını ayırmıştır. Incahuasi formasyonuna ait bazalt akıntıları ise geniş alanları kaplamıştır. Daha sonra bu salar çevresinde alüvyon yelpazeleri

oluşurken içinde ise evaporitler oluşmaya başlamıştır.

Bu salarda kayatuzu (NaCl), jips ve lityum tuzlarının yanısıra üleksit ve boraks oluşmaktadır. Bu salardan bazı ufak şirketler ile Boroquimica SAMICAF üleksit ve boraks üretmektedir.

Yukarıda sözü edilen salarlara ek olarak daha birçok salardan çeşitli ufak şirketler boraks ve üleksit üretmeye çalışmaktadırlar. Fakat, bu salarlarda ne önemli derecede bor oluşumu, ne de önemli oranda bor üretimi vardır. Ayrıca bu konuda kesin veriler de bulunmamaktadır.

Sıcak Su Kaynağı Yatakları (Spring Apron Deposits)

Rio Alumbrio yatağı, dünyadaki en güzel ve tipik sıcak su kaynağı türünden bir yataktır. Herbiri birkaç yüzden birkaç bin ton üleksit kapsayan ve birkaç kilometre karelik alan kapsayan onbir adet örtü yatağı şekindedirler. Düzensiz üleksit katmanları ve yer yer onları örten tüfler yer almaktadır. Jips ve diğer sülfatlar bulunmamaktadır. Bu bölgedeki en büyük yatak halen daha aktif ve 18°C sıcaklığındaki bir kaynaktan beslenir. Bütün örtü yatakları temel kayalar üzerinde ve kaynak çevresinde örtü şeklinde gelişmişlerdir. Bazaltlar, Coyaguaima volkanik karmaşığının yöredeki en genç kayalarındır. Bütün bu kaynaklar, suları içinde

üleksitin oluştuğu Laguna de Guayatayoc'ta son bulurlar. Bu yörede % 35 B₂O₃ tenörlü (güneş kurutulma sonunda) toplam 40 000 ton üleksit mevcuttur.

Volcanicito, Rio Alumbrio yataklarının 6 km batısında küçük ve tablamsı şekilde bir üleksit yatağıdır. Üleksit ve tüf konisinin her iki tarafında kaynaklar halen aktiftir. Üleksitin kaynağı kaynak sularıdır. Üç adet sıcak su kaynağına bağlı olarak gelişen bu üleksit yatağı 200 m uzunluğunda, 40 m genişliğinde ve 2 m kalınlığındadır. Üleksit saf, ipeğimsi ve pamuksu bir görünüme sahiptir. Volcanicito'nun drenaj suları da Laguna de Guayatayoc'a erişir. Sıcak su kaynağının akıntısı boyunca efflorescences olarak (yüzey kabuğu şeklinde) üleksit oluşmaktadır. Çizelge 4 bu tür yataklarda tespit edilen mineralleri vermektedir. Çizelge 6 ise bu tür yataklarda tespit edilen inyoit ve üleksit minerallerinin kimyasal analizlerini vermektedir.

Coyaguaima, 4600 metre yükseklikteki Coyaguaima volkanik kütlesinin yaklaşık 40 km kuzeyinde yer alır. Demirli bir tüf örtüsüyle kaplanmış üç ayrı yatak bulunmaktadır. Bu yataklarda üleksitin yanısıra boraks da vardır. Bu yataklardaki sıcak su kaynağı faaliyeti durmuştur. Temel kayalar üzerinde ıslak ve yumuşak üleksit, az oranda halit ile birlikte düzensiz tüf mercekleriyle aralanma gösterirler. Yatağın doğu kesiminde ve üst düzeylerinde boraks saçılmış (dissemine) kristaller şeklinde bulunur. Buradaki yatakların toplam bor rezervi 9000 tondur. Kaynakların aşağı kesimlerinde üleksit yüzeyde kabuk şeklinde gelişmektedir.

Antuco'da, Salar de Cauchari'den 15 km kadar güneyde volkanik ortama bağlı olarak küçük bir üleksit yatağı gözlenir. Bu yatak 4-5 hektarlık bir alanda 50 cm'lik bir kalınlık gösterir. Yatağın büyük kesimi üretilmiş olup, zaman zaman çok az oranda üretim yapılmaktadır. Çünkü bu su kaynağı halen daha aktif olup borat çökeltmeye devam etmektedir. Kaynak suları kuzeye doğru akarak Salar de Cauchari'ye erişir. Antuco kaynağı dasitik ve bazaltik akıntıların yaygın olduğu bir alandan kaynaklanmaktadır. Kaynak, bor içeriğini volkanik kaynaktan getirmektedir. Yöredeki tüm volkanik malzeme Quevar volkanından türemiştir.

Arjantin bor kaynakları yönünden Türkiye ve Amerika Birleşik Devletlerinden sonra üçüncü sırayı almaktadır (Helvacı, 1987) (Şekil 9). 1983'te 140 000 tona erişen bor üretiminin yanısıra yılda 4000 veya 5000 ton borik asit üretilmiştir. Küçük şirketlerin üretimleri hakkında kesin bilgi olmasına karşın yukarıdaki rakamlar ortalama olarak verilebilir.

Çizelge 6. Sıcak su kaynaklarında tespit edilen inyoit ve üleksit minerallerinin kimyasal analizleri

%	Inyoit I	Inyoit II	Inyoit III	Üleksit
MgO	0.27	0.06	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	1.42	1.11	0.25	0.00
SiO ₂	1.08	0.34	1.08	0.00
CaO	30.60	22.72	19.58	10.00
B ₂ O ₃	22.27	32.06	35.69	0.00
K ₂ O	0.17	0.17	0.25	0.00
Na ₂ O	0.36	0.27	0.50	0.00
SO ₃	0.24	0.27	0.24	0.00
Fe ₂ O ₃	0.00	0.39	0.00	0.00
TiO ₂	0.15	0.15	0.28	0.00
Mn ₂ O ₃	0.00	0.02	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	0.0009	0.0014	0.0011	0.0007
Toplam H ₂ O	25.12	36.29	40.15	35.69
CO ₂	18.08	5.30	1.36	0.00
Kız. Kaybı (1000°C) (CO ₂ +H ₂ O)	43.20	41.59	40.51	35.69

Bolivya

Güneybatı Bolivya'da borat içeren birçok salar bulunmaktadır. Bunlardan en önemli olanları Laguna ve Uyuni salarlarıdır. Bu salarlar Şili ve Arjantin'deki salarlara çok benzerlik gösterirler (Şekil 2 ve 4).

Bolivya'da çok az olan üretim ancak iç tüketimi karşılayacak niteliktedir. Madenciler birliği tarafından üretilen bor, Corporacion Minera de Bolivia (COMIBOL) tarafından işletilen bizmut ve Empresa Nacional de Fundiciones (ENAF) tarafından işletilen kalay ve antimon izabelerinde kullanılmaktadır.

Üretimin az olmasına karşın güneybatı Bolivya'nın Altiplano kesimindeki salarlar borca oldukça zengindir. 7 milyon ton olarak bilinen rezervlerinin yanısıra toplam rezervin 65 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu yatakların en önemlisi lityum ve potasyum tuzlarının yanısıra üleksit ve boraks salarlar Salar de Uyuni'dir (Şekil 4).

1984'ten sonra Bolivya hükümeti ülkenin güneyindeki salarlardan lityum üretecek projeleri destekleyeceğini açıklayınca en az oniki şirket sa-

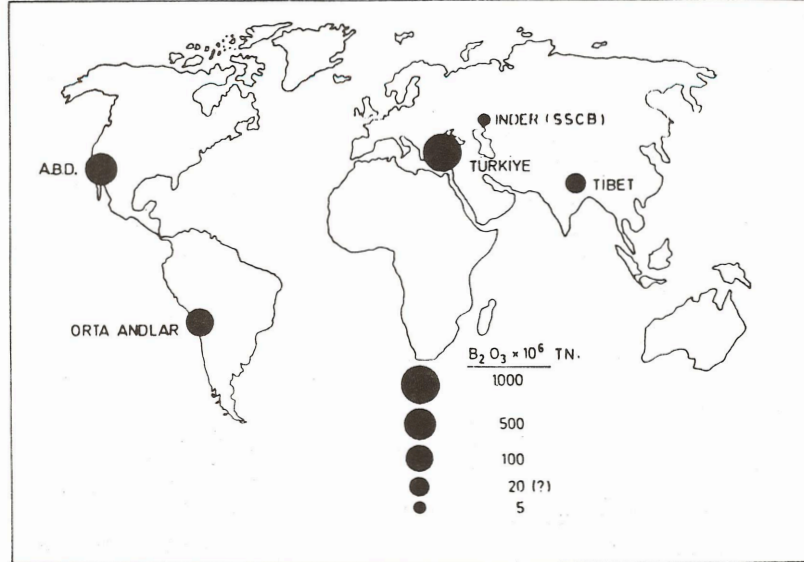
larlarda lityum tuzları ile birlikte potasyum ve bor araştırmasına başlamıştır. Hiç şüphesiz Salar de Uyuni en önemlisi olup, orta Altiplano'da 9000 km² lik bir alanı kapsar ve 5 metrelik bir tuz kabuğuna sahiptir. Bu salarda 64 000 milyon ton halitin (NaCl) yanısıra 3.2 milyon ton bor, lityum ve potasyum tuzları olabileceği hesaplanmıştır.

Peru

Peru'nun güney kesiminde salar ve sıcak su kaynağı yatakları gözlenir. Bunların en önemlileri ise Laguna Salinas ve Chillicoipa'dır.

Laguana Salinas, Arequipa'nın 80 km doğusunda olup, egemen olarak üleksit minerali içerir. 4328 metre yükseklikteki bu salar, mevsimsel olarak sularla kaplanır (Şekil 10).

Salardaki tortullar içinde birkaç seviye olarak düzensiz ve merceksel üleksit katmanları bulunur (Şekil 11). Sülfat ve halitin yanısıra saların doğu kesiminde inyoit bulunur. Kuru mevsimlerde salar kenarlarından elle veya basit yöntemlerle üleksit üretimi yapılır. Açık havada kurutulan üleksitler, Arequipa'ya taşınır. Salar, 1926'dan 1974'e kadar Borax Consolidated Limited tarafından, 1975'ten



Şekil 9 Dünyanın önemli bor bölgelerini gösteren harita TÜRKİYE: Batı Anadolu Bor Yatakları; A.B.D.: Amerika Birleşik Devletlerinin batısındaki başlıca Kaliforniya'dakiler olmak üzere yataklar; ORTA ANDLAR: Arjantin, Şili, Peru ve Bolivya'daki tüm yataklar; İNDER (S.S.C.B.) Verilen rakam kesin değildir; TİBET: Bu yöreden başka kesimlerde küçük boyutlu yatakların olduğu tahmin edilmektedir.

1981'e kadar Boratos del Peru S.A. tarafından ve 1981 de ise Barex de Peru ile Boroquimica tarafından işletilmiştir. Foote Mineral Company salarda çalışmalar yapmış, 1982'de ise Anaconda Mineral Company salardaki maden işletme haklarına sahip olmuştur.

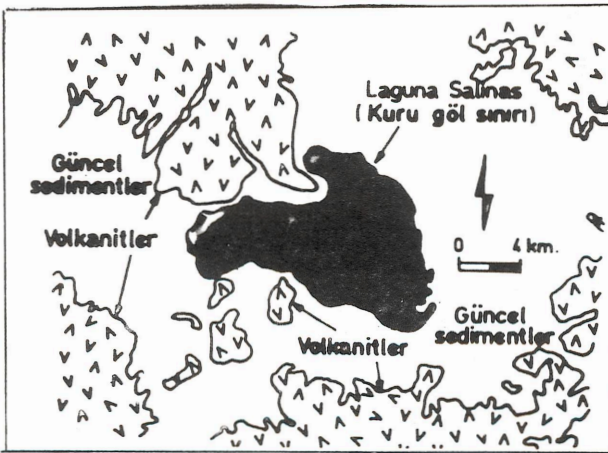
Laguna Salinas'ta tenörü % 10 ile % 23 B_2O_3 arasında değişen 9 milyon ton üleksit mevcuttur. Üretimden sonra elle ayıklama yöntemiyle tenör % 35 B_2O_3 kadar çıkarılmaktadır.

Arequipa çevresinde Barex de Peru şirketi tarafından yapılan diğer çalışmalarla, sondaj vs. rezervlerin artabileceği ortaya konmuştur. Salarların yanısıra Chillicoipa üleksit yatağı gibi sıcak su yatakları da saptanmıştır. Bu yatakta üleksit aktif sıcak su kaynağına bağlı olarak oluşmaktadır.

Son zamanlarda artan rezervlere bağlı olarak borik asit fabrikası kurulması planlanmışsa da bu proje 1983'te durdurulmuştur. Peru, yılda 10 000 ile 27 000 ton arasında üleksit üretmekte ve bu üretimin büyük bir kesimi yöredeki cam imalinde kullanılmaktadır.

TEKNOLOJİ

Latin Amerika'nın Puna ve Altiplano bölgesinde yer alan ve Arjantin başta olmak üzere Şili, Peru ve Bolivya sınırları içinde gözlenen birkaç farklı türdeki bor yataklarını irili ufaklı birçok şirket işletmektedir. Fakat tüm Puna bölgesinde bor yatağı işleten büyük şirketlerin sayısı son derece sınırlıdır. Örneğin bu sayı dünyanın üçüncü büyük bor ülkesi olan Arjantin'de Boroquimica SAMICAF ve Industas Quimicas BARADERO olmak üzere iki adettir. Buna karşın Arjantin'in Puna bölgesinde işletme kapasitesi veya kapitali olmayan birçok kişi ve kuruluş saha kapatmış durumdadır.

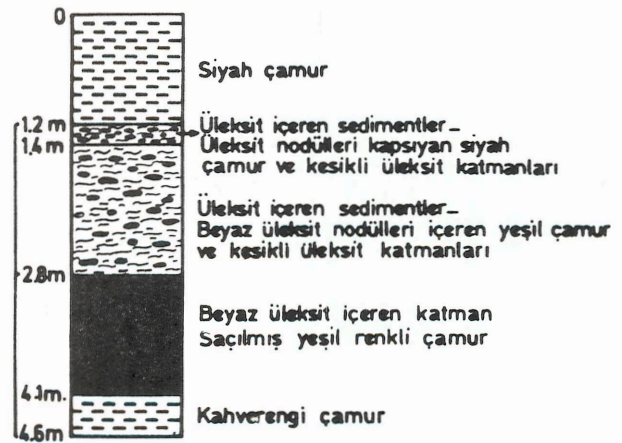


Şekil 10 Laguna Salinas'ın basitleştirilmiş jeolojik haritası

Puna veya Altiplano diye adlandırılan ve bor yataklarının bulunduğu bölgelerde yükseklikler genel olarak 3000 metrenin üzerindedir. Özellikle 3000 ile 4500 metre arasında tipik çöl iklimi sürdüğünden iklim koşulları madenciligi olumsuz şekilde etkilemektedir. Buna ek olarak su, enerji ve olası olanakları oldukça kısıtlıdır. Bu yüzden birkaç büyük şirketin dışında üretim çok ilkel koşullarda yapılır. Ayrıca küçük şirketlerin hiçbirinin kendilerine ait konsantratör ve buna benzer borla ilgili fabrikaları yoktur. Bu tür küçük şirketler çıkardıkları ham ürünleri ya büyük şirketlere veya doğrudan doğruya yabancı ülkelere pazarlarlar.

Arjantin'de Boroquimica SAMICAF, Güney Amerika'nın 150 000 ton/yıl tincal (boraks) kapasitesine sahip en büyük madeni tincalayı'u işletir. Düşün dereceli cevher madende kırılır, öğütülür ve % 28 ile % 32 B_2O_3 tenörlü iki farklı konsantrasyondaki cevher, Tincalayu'daki borik asit fabrikası enerji ve su sorunundan dolayı çalışmadığından, kamyonlarla Salar de Pocitos tren istasyonuna oradan da tren ile Salta yakınındaki Campo Quijano borik asit fabrikasına taşınırlar. Campo Quijano bor rafinerisi 20 000 ton/yıl'lık boraks ve susuz türevleri üretim kapasitesine sahiptir. Bu tesiste saf boraks, boraks, susuz boraks, boraks penta ve boraks deka üretimleri yapılmaktadır. Ham cevher olarak boraks, üleksit, kolemanit ve hidroborasit kullanılmaktadır.

Industrias Quimicas BARADERO'nun Salta yakınlarında iki ayrı bor işleyen küçük kapasiteli fabrikaları var olup, üleksit cevherini işletmektedir. Fabrikaların birinden borik asit, diğerinde ise boraks dekahidrat üretilmektedir. Günlük 30 ton borik asit ve 10 ton boraks dekahidrat üretimi yapılmaktadır. Kapasite artırma planları cevher



Şekil 11 Laguna Salinas bor yatağının orta kesiminin stratigrafik dikme kesiti.

durumuna bağlıdır. Çünkü bu şirketin Loma Blanca'dan başka işletmeleri yoktur. Genelde şirketlerden aldığı cevherleri işletmektedirler. Boraks dekahidrat üretimi için gerekli sodyum karbonat (trona) dışardan ithal edilmektedir.

Şili'de borik asit, nitrat ve iyot üretiminin bir yan ürünü olarak elde edilir. Sociedad Quimica y Minera de Chile en önemli üreticidir. Bor fiyatları uygun olduğu zaman borit asit yan ürün olarak elde edilir. Sociedad Chilena de Litio Ltda., lityum, potasyum ve borik asit eldesi için bir lityum karbonat tesisi, kuyuları ve dinlenme havuzlarının inşasını 1983'ün sonlarında tamamlamıştır (Chilean Lithium, 1987).

Peru'da, Compania del Boro y Derivados S.A. Laguna Salinas'tan bor üretmektedirler. Üretim kapasitesi 11 ton/yıl olan üleksit cevherlerinin tenörleri % 32 ile % 36 B₂O₃ arasında değişir. 1982 yılında faaliyete geçen Quimica Oquendo S.A. şirketi tesisinde 1984 yılında 660 ton borik asit üretmiştir. Gelecekte bu tesisten 1300 ton/yıl borik asit üretilmesi planlanmaktadır. Peru'da üretilen borit asitin bir kısmı içerde cam yapımında, büyük bir kesimi ise başta Brezilya olmak üzere Kolombiya, Ekvator ve Venezuela'ya ihraç edilmektedir.

PAZARLAMA

Latin Amerika'da bor rezervi ve üretimi yönünden en önemli ülke hiç şüphesiz Arjantin'dir. Bu ülkede üretilen tüm toplam konsantre veya işlenmemiş ürünlerin % 90'ını ihraç edilir. İhraç edilen cevher veya ürünlerin büyük bir kesimi yine bir Latin Amerika ülkesi olan Brezilya'ya gider.

Latin Amerika'da bor ve bor bağlantılı endüstrinin en çok geliştiği ülke Brezilya'dır. Bu ülkenin özellikle Sao Paulo eyaletinde bor ile ilgili birçok cevher hazırlama, rafineri, alüminyum-bor ve alüminyum-titanyum-bor ve diğer önemli alaşım üreten fabrikalar bulunmaktadır. Bundan dolayı, başta Arjantin olmak üzere Peru, Şili ve Boliviya'dan bu ülkeye bor cevherleri ve ürünlerinin ihracı yapılmaktadır.

Başta Arjantin'den olmak üzere Peru ve Şili'den tüm Latin Amerika ülkelerine (Kolombiya, Ekvator, Venezuela, vs.), Amerika Birleşik Devletlerine, İtalya, Alman, Avustralya ve Yeni Zelanda'ya bor cevheri ve ürünleri ihraç edilir.

SONUÇLAR

1. Tüm Latin Amerika bor yatakları, And dağlarının ulaşımı ve çalışma koşulları zor olan yüksek kesimlerinde oluşmuşlardır.

2. Yataklanma şekilleri genellikle merceksi veya yanal geçişli yapılar sunarlar.

3. Bor mineralleri, çoğu kez jips, kayatuzu, lityum ve potasyum tuzları ile birlikte bulunurlar. Ekonomik oranda bulunan ve işletilen önemli bor mineralleri önem sırasına göre boraks, üleksit, hidroborasit, inyoit ve kolemanittir.

4. Cevher mineralleri çoğunlukla safsızlıklar gösterirler. Sijes yatağında oldukça yüksek sayılabilecek As oranları elde edilmiştir. Öte yandan salarların birçoğundan borlar ancak yan ürün olarak alınmaktadır ve tenörleri oldukça düşüktür.

5. Zenginleştirme ile ilgili kurulu tesisler Arjantin de Boroquimica SAMICAF ve Industrias Quimicas BARADERO Şirketlerine aittir. Bor ürünleri elde edilen tesislerin en önemlileri ise Brezilya'nın Sao Paulo ve Arjantin'in Salta şehirleridir. Çok değişik tenörlerde bulunan cevherler zenginleştirme işlemlerine tabi tutularak % 35 veya % 36 tenörlü tüvenan cevherler elde edilir.

6. Arjantin'de bor cevherlerinden yukarıda adı geçen iki önemli şirket tarafından Salta yakınlarındaki fabrikalarda borik asit, saf boraks, boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat üretilmektedir. Bu ülkede üretilen cevherlerin % 90'ı ihraç edilmektedir. Bor türevleri sanayiinin en çok geliştiği ülke Brezilya'dır.

7. Bu tesislerde bor türevleri üretimi için kullanılan sodyum karbonat Kuzey Amerika'dan ithal edilmektedir.

8. And Dağlarının Puna bölgesindeki bor yatakları ve zenginleştirme ünitelerinin çevresinde artık ve çevre kirlenmesi sorunu yoktur. Çünkü bu yörede hiçbir yerleşim birimi olmadığı gibi tarım veya orman alanı da bulunmamaktadır. Bölge çöllerle kaplıdır. Salta yakınındaki fabrikalar ise şehrin çok dışında ve küçük kapasiteli olduklarından dolayı büyük bir çevre sorunu yaratmazlar. Fakat Brezilya'nın Sao Paulo şehrindeki tesisler sanayi kirliliği yaratmaktadır.

9. Tüm Latin Amerika ülkelerinin bor ve bor ürünleri ihtiyacını başta Arjantin olmak üzere Şili ve Peru karşılamaktadır. Arjantin bor üretiminin % 90'ını başta Brezilya olmak üzere Latin Amerika ülkelerine, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya ve Yeni Zelanda'ya pazarlamaktadır. Bor ürünleri torbalanmış olarak satılmaktadır.

10. Genel olarak, Latin Amerika'da bor cevheri ve bor ürünleri üretimi ile bor pazarını bir İngiliz-Amerikan şirketi olan Boroquimica SAMICAF elinde tutmaktadır.

KATKI BELİRTME

Nisan-Temmuz 1987 tarihlerinde Latin Amerika borat yataklarını ziyaret olanağı sağlayan Eti-bank Genel Müdürlüğündeki sayın yetkililere, yatakları ziyaretim sırasında başından beri yardımcı olan meslektaşım Dr. Ricardo Alonso'ya, Salta Üniversitesi, Arjantin yetkililerine ve Industrias Quimicas BARADERO S.A. elemanlarına ayrı ayrı içten teşekkürlerimi sunarım. Çizim işlerini gerçekleştiren M. GÜRLE'ye teşekkür ederim.

DEĞİNİLEN BELGELER

Alonso, R.N., 1986, Occurencia, posicion estratigraficay genesis de los depositos de boratos de la Puna Argentina:

Alonso, R.N., Helvacı, C., Sureda, R.J. and Viramonde, J.G., 1988, A new Tertiary borax deposit in Andes: Mineral Deposita, 23, 299-305.

Alonso, R.N. and Viramonte, J.G., 1985, Provincia boratifera Centroandina: IV Congreso Geologico Chileno, Universidad de Norte, Antofagasta, Şili.

Bain, H.F. and Read, T.T., 1934, Ores and industry in South America: New York, Council on Foreign Relations, pp. 263-264, 294.

Barazangi, M., and Isacks, B., 1976, Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America: Geology, v. 4, pp. 686-692.

Berzina, I.G., et al, 1975, Boron geochemistry in the volcanogenic-sedimentary process: 12 v. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol. No. 5.

Buttgenbach, H., 1901, Gisements de borate des Salinas Grandes de la Republique Argentina: Anales Societe Geologique Belgique, V. 28, pp. 99-116.

Chamberlin, R.T., 1912, The physical setting of the Chilean borate deposits: Jour. Geol., v. 20, pp. 763-768.

Chilean Lithium, 1987, Salar de Atacama: World Mining Equipment.

Chong Diaz, G., 1984, Die Salare in Nordchile-Geologie, Struktur und Geochemie: Geotekt. Forsch., 67, I-II, 1-146, Stuttgart.

Dickson, T., and Harben, P., 1983, Borates and their becalmed markets: Industrial Minerals, No. 184, pp. 23-27.

Ericksen, G.E., 1963, Geology of the salt deposits and the salt industry of Northern Chile: U.S. Geological Survey, Open File Report, No. 698, 164 p.

Forsyth, D.W., 1975, Faulty plane solutions and tectonics of the South Atlantic and Scotia Sea: Journal of Geophysical Research; v. 80, pp. 1429-1443.

Francis, P.W. and Rundle, C.C., 1976, Rates of production of the main magma types in the central Andes: Geological Society of American Bulletin, v. 87, pp. 474-480.

Gill, J., 1981, Orogenic andesites and plate tectonics: New York, Springer-Verlag, pp. 25-314.

Helvacı, C., 1989, Türkiye bor madenciliğinin işletme, stoklama ve pazarlama sorunlarına mineralojik bir yaklaşım: Jco. Müh., Sayı 34-35, p. 5-17.

Helvacı, C., and Alonso, R.N., 1992, Primary inyoite in a recent playa of northern Argentina: Mineralogy and Petrology (baskıda).

James, D.E., 1971, Plate tectonic model for the evolution of the Central Andes: Geological Society of America Bulletin, v. 82, pp. 3325-2346.

Kistler, R.B. and Smith, W.C., 1983, Boron and borates: in Le fond, S.J., ed., Industrial Minerals and rocks, 5 the. ed., v. 1, New York, AIME, pp. 548-550.

Lyday, P.A., 1984, Boron in 1983; Mineral Industry Surveys, U.S. Dept. of the Interior, Jan., 4 p.

Muessig, S., 1966, Recent South American borate deposits: in Rau, J.L., ed., Transactions, Second Symposium on salt: Cleveland, Ohio, Northern Ohio Geological Society, v. 1, pp. 151-159.

Ozol, A.A., 1976, Basic features of boron geochemistry and formation conditions for its deposits of the volcanogenic-sedimentary type: translated from Litologiya Polezne Iskopaemye, No. 3, May-June, pp. 60-74, New York, Plenum, pp. 320-330.

Ozol, A.A., 1977, Plate tectonics and the process of volcanogenic-sedimentary formation of boron: translated from Tectonika pliti protessey volkanogennoosadachnogo obrazovaniya bora, AN USSR Investiya, Ser. Geol., No. 8, pp. 68-75, International Geology, Rev., v. 20, No. 6, pp. 692-696.

Turner, J.C.M., 1964, Descripcion Geologica de La Hoya 7C-Nevado de Cachi: Dir. Nac. Geol., v. 99, 81 p.

Zeil, W., 1979, The Andes, a geological review: Berlin, Gebruder Borntraeger, pp. 56-195.