

EMET-HİSARCIK BOR MADENİ HAVZASINDAKİ
SULARIN İNCELENMESİ

Neslihan KARAMAN

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Anabilim Dalı

Mayıs - 2007

EMET-HİSARCİK BOR MADENİ HAVZASINDAKİ SULARIN İNCELENMESİ

Neslihan KARAMAN

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Kimya Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

Mayıs - 2007

KABUL VE ONAY SAYFASI

Neslihan KARAMAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “EMET-HİSARCIK BOR MADENİ HAVZASINDAKİ SULARIN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir

...../...../2007

Üye : Prof Dr. Yunus ERDOĞAN (Danışman)

Üye :

Üye :

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../2007 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof .Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

EMET-HİSARCIK BOR MADENİ HAVZASINDAKİ SULARIN İNCELENMESİ

Neslihan KARAMAN

Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

ÖZET

Türkiye'deki zengin bor madeni bölgelerindeki (Kütahya-Emet-Hisarçık) sularda bor ve ağır metal kirliliği araştırılmıştır. İnsan ve çevre sağlığını tehdit edebilecek ağır metal (Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Al) konsantrasyonları saptanmamıştır. Ancak kabul edilebilir değerlerin üzerinde bor konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Emet-Hisarçık Bor Madeni havzasındaki kaynaklardan alınan suyun uzun süreli kullanımı kronik bor toksikliği açısından çok önemlidir.

Bu çalışmada sulardaki bor ve ağır metal konsantrasyonları ICP-OES spektrometresi kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Bor, ICP-OES, Su.

THE ANALYSIS OF THE WATER IN EMET-HISARCIK BORON MINE BASIN

Neslihan KARAMAN

Department of Chemistry, M. S. Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

SUMMARY

Boron and heavy metal pollution in water in rich boron areas in Turkey (Kütahya - Emet - Hisarcık) has been investigated. Heavy metal (Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Al) concentrations that threaten human and environment health haven't been found. But boron concentrations have been determined to be over acceptable levels.

Long term use of the water taken from the sources from Emet - Hisarcık boron mine basin is very important for chronic boron toxic.

In this study, boron and heavy metal concentrations in water have been investigated with ICP - OES spectrometer.

Key Words: Boron, water, ICP - OES

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana ışık tutan değerli bilim adamı Sayın Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN hocama sevgi ve saygılarımı sunarım.

Emet Belediyesi'ne, Hisarcık Belediyesi'ne ve Eğrigöz Belediye Başkanı Sayın Mehmet ALKAN'a, Sayın Arş. Görv. ığdem ÖMEROĞLU'na Sayın Arş. Görv. Vedat ÇETİN'e ve arkadaşlarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Dostluğunu hiçbir zaman esirgemeyen çok sevdiğim aileme, özellikle kardeşim Özcan'a ve Pınar'a en içten şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | iv |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xvii |
| | |
| GİRİŞ | 1 |
| 1. BOR | 3 |
| 1.1. Bor Elementi | 1 |
| 1.2. Dünya Bor Kaynakları | 5 |
| 1.3. Türkiye Bor Kaynakları | 7 |
| 1.3.1. Türkiye Bor Yataklarının Genel Özellikleri | 7 |
| 1.3.2. Kırka Bor Yatakları | 8 |
| 1.3.3. Emet Bor Yatakları | 8 |
| 1.3.4. Bigadiç Bor Yatakları | 8 |
| 1.3.5. Kestelek Bor Yatakları | 9 |
| 1.3.6. Sultançayır (Susurluk) Bor Yatakları | 9 |
| 1.4. Türkiye Bor Endüstrisi | 10 |
| 1.4.1. Türkiye’de Bor Madenciliğinin Tarihçesi | 10 |
| 1.4.2. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü | 12 |
| 1.4.3. Emet Bor İşletme Müdürlüğü | 13 |
| 1.4.4. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü | 13 |
| 1.4.5. Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü..... | 13 |
| 1.4.6. Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü | 13 |
| 1.4.7. GZFT Analizi | 17 |
| 1.4.8. Bor Endüstri Atıkları | 19 |
| 1.5. Bor Bileşikleri ve Kullanım Alanları | 21 |
| 1.5.1. Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları | 30 |
| 2. BOR VE AĞIR METALLERİN ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİSİ | 34 |
| 2.1. Borun Canlılara Etkisi | 35 |
| 2.1.1. Borun Bitkilere Etkisi | 35 |
| 2.1.2. Borun Hayvanlara Etkisi..... | 38 |
| 2.1.3. Borun İnsanlara Etkisi | 39 |

İÇİNDEKİLER (Devamı)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.2. Tayini Yapılan Ağır Metallerin Özellikleri ve Toksik Etkileri | 40 |
| 2.2.1. Bakır (Cu) | 40 |
| 2.2.2. Çinko (Zn) | 40 |
| 2.2.3. Mangan (Mn)..... | 40 |
| 2.2.4. Nikel (Ni)..... | 41 |
| 2.2.5. Krom (Cr) | 41 |
| 2.2.6. Kobalt (Co)..... | 41 |
| 2.2.7. Kurşun (Pb)..... | 41 |
| 2.2.8. Demir (Fe) | 42 |
| 2.2.9. Alüminyum (Al) | 42 |
| 3. ATOMİK EMİSYON SPEKTROMETRESİ..... | 43 |
| 3.1. Perkin Elmer Optima 4300 DV ICP-OES..... | 45 |
| 4. MATERYAL VE YÖNTEM | 48 |
| 4.1. ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer)..... | 48 |
| 4.2. Numune Alma | 49 |
| 4.3. Numunelerin Analizi | 53 |
| 4.3.1. Analiz Numunesinin Hazırlanması | 53 |
| 4.3.2. Standart Çözeltilerin Hazırlanması | 53 |
| 4.3.3. Su Numunelerindeki Elementlerin Miktar Tayini | 54 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 56 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ..... | 57 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 1.1. Dünyada önemli bor yatakları haritası | 6 |
| 1.2. Türkiye bor yatakları haritası | 7 |
| 3.1. İndüklenmiş Eşleşmiş Plazma | 44 |
| 3.2. ICP Optima 5X000 Cihazı | 46 |
| 4.1. Eğrigöz Su Numunelerinin Alındığı Yerler | 50 |
| 4.2. Eğrigöz Su Numunelerinin Alındığı Yer Haritası | 51 |
| 4.3. Emet İçme Suyu Kaynaklarını Gösterir Kroki | 52 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 1.1. Bor Elementinin Özellikleri | 1 |
| 1.2. Dünya Bor Rezervleri ve Kaynakları | 5 |
| 1.3. Türkiye Bor Tuzu Rezervi (x100 ton) | 9 |
| 1.4. Türkiye Bor Tuzu Rezervleri ve B ₂ O ₃ bazında rezervlerin havzalara göre dağılımı | 10 |
| 1.5. Mineral Bazında Türkiye Bor Rezervleri Tipi (Ton B ₂ O ₃ bazında)..... | 10 |
| 1.6. Konsantre ve Rafine Bor Ürünleri Kurulu Kapasiteleri (Bin Ton/Yıl) | 14 |
| 1.7. Eti Maden Bor İşletme Müdürlükleri ve Ürünleri..... | 15 |
| 1.8. Yıllar itibariyle dünya bor pazarındaki payımız (miktar bazında) | 16 |
| 1.9. Dünyada Başlıca Bor Üreticileri | 17 |
| 1.10. GZFT Analizi | 18 |
| 1.11. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları | 23 |
| 1.12. Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları..... | 24 |
| 1.13. Bor Bileşikleri ve Özellikleri | 25 |
| 2.1. Çeşitli Bitkilerin Sulama Suyundaki Bora Karşı Dayanıklılıkları..... | 37 |
| 2.2. Sulama sularının bor derişimine göre sınıflandırılması | 37 |
| 2.3. DSİ Teknik Şartnamesine Göre Sulama Suyu Standartlarında Bor Değerleri | 38 |
| 4.1. Su numunelerinin alındığı yerler | 49 |
| 4.2. Elementler ve Elementlerin Analizi İçin Tavsiye Edilen Dalga Boyu..... | 53 |
| 4.3. Taze Su Referans Standardı; içermesi gereken elementler sertifika değerleri ve ICP-OES’de okunan değerleri..... | 54 |
| 4.4. TSE, WHO, ve EPA için Toksik Maddelerin Sınır Değerleri..... | 54 |
| 4.6. Su Numunelerinin Analiz Sonuçları (pbb)..... | 55 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|------------------------|------------------------|
| ppm | Milyonda kısım |
| ppb | Milyarda kısım |
| ⁰ C | Celcius derecesi |
| mg | Miligram |
| L | Litre |
| µg | Mikrogram |
| M | Molarite |
| ml | Mililitre |
| HNO ₃ | Nitrik Asit |
| nm | Nanometre |
| Kw | Kilowatt |

Kısaltmalar

| | |
|---------------|--|
| Ar-Ge | Araştırma Geliştirme |
| BCL | Borax Consalidated Limited |
| BNCT | Boron Neutron Capture Therapy (Bor ile nötron yakalama terapisi) |
| BOREN | Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü |
| CCD | Charged Coupled Devices |
| ÇED | Çevresel Etki Değerlenmesi |
| DSİ | Devlet Su İşleri |
| EPA | Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı) |
| GZFT | Güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar, tehditler |
| ICP-OES | Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer |
| ISO 9001:2000 | International Organization for Standardization |
| MTA | Maden Tetkik Arama |
| MHz | Mega Hertz |
| NIST | National Istitute of Standards and Technolgy |
| RF | Radyo Frekansı |
| TSE | Türk Standartları Enstitüsü |
| TÜBİTAK | Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu |
| WHO | World Health Organization (Dünya Sağlık Teşkilatı) |

GİRİŞ

Yerkabuğu, denizler yeraltı-yerüstü suları bor içermektedir. Bor elementi doğal koşullarda serbest değil, oksijenle bağlanmış olarak bulunur ve bileşiğe borat adı verilir. Bor yerkabuğu dolayısıyla bitki, hayvan ve insanların, yaşadığı ortamlarda bulunan metal olmayan bir madendir [1].

Dünyadaki önemli bor yataklarının Türkiye, Rusya ve ABD’de olduğu bilinmektedir. Türkiye’deki bilinen borat yatakları Kırka-Eskişehir, Bigadiç-Balıkesir, Kestelek-Bursa ve Emet-Kütahya’da bulunmaktadır. Türkiye’de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ve kolemanittir [2].

Bor, içinde yaşadığımız bilim ve uzay çağında nükleer sanayiden uzay araçlarına, gübre sanayiden, ilaç sanayine kimya sanayiden otomobil sanayine kadar 400’ü aşkın alanda kullanılan ve bilim adamları tarafından geleceğin beyaz petrolü olarak nitelendirilen bir madendir [3].

Türkiye, bor mineralleri rezervlerinin büyüklüğü, kalitesi ve çeşitliliği açısından dünyada ilk sırada yer almaktadır ve dünya toplam bor rezervinin %72’sinden fazlasına sahiptir. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Türkiye’deki tek bor üreticisi olup, dünya bor pazarında da %35 payla birinci şirket konumuna gelmiştir [4].

Ülkemizde ham cevheri konsantratörlerde zenginleştireceğimiz 4 bor işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerde üretim sırasında milyonlarca ton atık malzeme oluşmaktadır. Bu atıklar büyük bir ekonomik kayıp olduğu kadar çevre kirliliğine sebep olan önemli miktarda bor içermektedir [5].

Madenlerin işletilmesi sırasında çıkan atıklar su kirlenmesi sorununun büyük boyutlara ulaşmasına neden olmaktadır. Bor endüstri atıklarında bor derişimi limit değerleri aştığında suda yaşayan canlılara veya tarımsal sulamada kullanılması halinde bitkilere zarar vermektedir. Endüstride, tarımsal alanlarda ve evlerde kullanılan sulardaki bor konsantrasyonu çevresel açıdan oldukça önemlidir [6].

Sularda ağır metal kirliliğinin sebepleri arasında esas olarak madencilik endüstrisi yer almaktadır. Kirliliği oluşturan Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Co, Fe, Pb, Al, gibi ağır metal iyonlarıdır. Canlılar için yaşamsal bir değere sahip olan su içerisinde mevcut olan her türlü madde belirli bir konsantrasyonu aştığı zaman sağlık için zararlıdır [7].

Bu alışma, Türkiye'deki zengin bor madeni bölgelerindeki (Kütahya-Emet-Hisarcık) sularda bor ve ağır metal kirliliğini tespit edip, su kalitesinin duyarlı olarak bilinmesi ve denetlenmesi amacıyla yapılmıştır.

1. BOR

1.1. Bor Elementi

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Bor, tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir.

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, endüstride birçok bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır ancak farklı olarak saf bor karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir.

Borun saf elementi ilk kez 1808 yılında Fransız Kimyager J.L.Gay Lussac ve Boron L.J. Thenard ile İngiliz Kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir [8].

Bor elementinin ya da boratların zehirli olmadığı düşünülmektedir. Buna karşılık hidrojenli bor bileşikleri belirgin ölçüde zehirlidir [9].

Çizelge 1.1. Bor Elementinin Özellikleri

| Özellikler | Değeri |
|----------------------------------|---|
| Atomik yapısı | |
| Atomik çapı | 1,17 Å |
| Atomik hacmi | 4,6 cm ³ /mol |
| Kristal yapısı | Rhombohedral |
| Elektron konfigürasyonu | 1s ² 2s ² 2p ¹ |
| İyonik çapı | 0,23 Å |
| Elektron sayısı(yüksüz) | 5 |
| Nötron sayısı | 6 |
| Proton sayısı | 5 |
| Valans elektronları | 2s ² 2p ¹ |
| Kimyasal özellikler | |
| Elektrokimyasal eşdeğer | 0,1344 g/amp-hr |
| Elektronegativite(pauling) | 2,04 |
| Füzyon ısısı | 50,2 kJ/mol |
| İyonizasyon potansiyeli: | |
| Birinci: | 8,298 |
| İkinci: | 25,154 |
| Üçüncü: | 37,93 |
| Valans elektron potansiyeli(-eV) | 190 |
| Fiziksel özellikler | |
| Atomik kütlesi | 10,811 |
| Kaynama noktası | 4275K 4002 °C 7236 °F |
| Termal genleşme katsayısı | 0,0000083 cm/cm/°C(0°C) |
| Kondüktivite: | |
| Elektriksel: | 1,0E ⁻¹² 10 ⁶ /cm |
| Termal: | 0,274W/cmK |
| Yoğunluk | 2,34 g/cc@300K |
| Görünüş | Sarı-kahverengi ametal kristal |
| Elastik modülü: | |
| Bulk: | 320/GPa |
| Atomizasyon entalpisi | 573,2 kJ/mole@ 25 °C |
| Füzyon entalpisi | 22,18 kJ/mole |
| Buharlaşma entalpisi | 480 kJ/mole |
| Sertlik: | |
| Mohs: | 9,3 |
| Vickers: | 49000 MN m-2 |
| Buharlaşma ısısı | 489,7 kJ/mol |
| Ergime noktası | 2573 K 2300 °C 4172 °F |
| Molar hacmi | 4,68 cm ³ /mole |
| Fiziksel durumu | (20 °C & 1 atm) katı |
| Spesifik ısı | 1,02 J/gK |
| Buharlaşma ısısı | 0,348 Pa@2300 °C |

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin Batı bölgeleri ve

Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı sularda ise 0,01-1,5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bölgelerinde bulunmaktadır [2].

1.2. Dünya Bor Kaynakları

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

Bor, yer kabuğundaki dağılımı çok az olmasına karşın, belli alanlardaki bor konsantrasyonunun çok fazla olması ve olağanüstü artışı ekonomik bor yataklarının oluşumunu sonuçlar. ABD, Güney Amerika, Türkiye ve diğer ekonomik anlamdaki bor yatakları volkanik aktivitelerin etkin olduğu acı ve tatlı su koşullarında oluşmuşlardır [9].

Çizelge 1.2. Dünya Bor Rezervleri ve Kaynakları

| Ülke | Görünür rezerv (milyon ton) (B ₂ O ₃) | Muhtemel +Mümkün rezerv (milyon ton (B ₂ O ₃)) | Toplam (milyon ton (B ₂ O ₃)) | Toplam Rezerv içindeki Payı (%) |
|-------------|--|---|---|------------------------------------|
| Türkiye* | 227 | 624 | 851 | 72,2 |
| ABD | 40 | 40 | 80 | 6,8 |
| Rusya | 40 | 60 | 100 | 8,5 |
| Çin | 27 | 9 | 36 | 3,1 |
| Arjantin | 2 | 7 | 9 | 0,8 |
| Bolivya | 4 | 15 | 19 | 1,6 |
| Şili | 8 | 33 | 41 | 3,5 |
| Peru | 4 | 18 | 22 | 1,9 |
| Kazakistan | 14 | 1 | 15 | 1,3 |
| Sırbistan** | 3 | | 3 | 0,3 |
| Toplam | 369 | 807 | 1.176 | 100 |

Kaynak: Roskill, 2002; Industrial Minerals March 2001, <http://minerals.usgs.gov>, 2005

* Eti Maden İşl. Gen. Müd. Rezerv bilgileri kullanılmıştır.

** Eti Maden Raporları "Bor Sektörüne Genel Bakış, 2002"

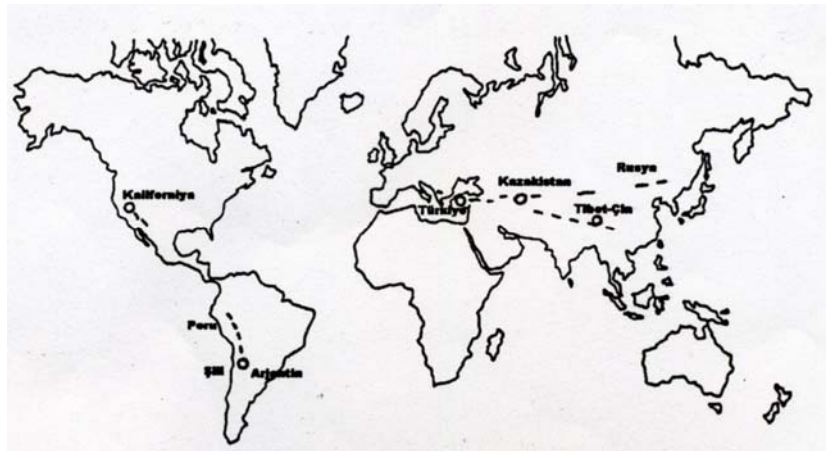
Ülkemizden sonra; dünyanın bilinen en önemli bor yatakları ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Çölündedir. Yine aynı bölgede Searles Gölünde önemli borat yatakları mevcuttur. US Geological Survey'e göre Amerika'nın bor rezervinin B_2O_3 bazında 40 milyon tonu görünür olmak üzere toplam 80 milyon tondur. ABD'nin önemli bor mineralleri; tinkal, kernit ve bor içeren tuzlu sulardır. Başlıca bor kaynakları; Kramer (BoronCA) bor yatağı, Death Valley'de bulunan üleksit-proberit bor yatağı, Fort Caty kolemanit yatağı ve Searles gölünün borlu sularındır [2].

Rusya'nın toplam bor rezervinin B_2O_3 bazında yaklaşık 100 milyon ton olduğu belirtilmektedir. Rusya'nın bor minerallerinin tamamına yakını Japon Denizi yakınında Primorks'taki Dalnegoroks bor yataklarından üretilmekte ve hemen madenin yanında bulunan zenginleştirme tesisinde işlenmektedir [2].

Kazakistan'da Kuzey Hazar Denizi'ndeki Inder Bölgesinde 50 m. derinlikte; % 20 B_2O_3 içerikli 7 milyon ton bor rezervi mevcuttur.

Çin'de bor üretimi yapılan yerler, Liaoning, Jilin, Qinghe ve Xizang'tadır. Çin'in bor rezervi 36 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Rezervin %59'unu ortalama %8,4 B_2O_3 tenörlü bor ve magnezyumlu yataklar oluşturmakta ve bu yataklar Tingkou ve Liaoning bölgelerinde bulunmaktadır. Rezervlerin %29'u ise Da Gaitam ve Qinghai bölgesindeki tuz gölünde olup 2,6 B_2O_3 içeriklidir [2].

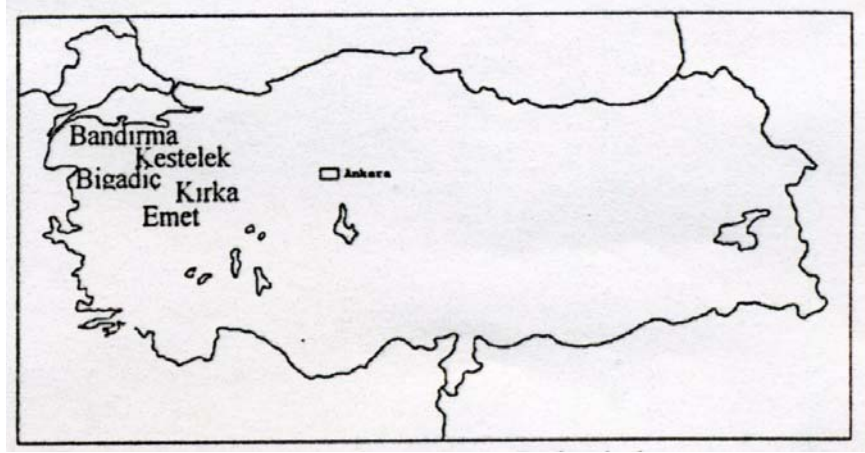
Kuzeybatı Arjantin'deki borat mineralizasyonu küçük ve dağınık yataklar halindedir. En önemli yataklar Salar del Hombre Muerto havzasındaki Tincalayu'dadır. Şili, Antofagasta Eyaletinin Salar de Ascaten yöresinde üleksit yataklarına sahiptir [9].



Şekil 1.1. Dünyada önemli bor yatakları haritası

1.3. Türkiye Bor Kaynakları

Türkiye'nin bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu'da yer almaktadır. Günümüze dek saptanmış olan borat yatakları, Marmara Denizi'nin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km'lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km'lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır [9].



Şekil 1.2. Türkiye bor yatakları haritası

1.3.1. Türkiye Bor Yataklarının Genel Özellikleri

Bor yataklarının özellikleri genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Türkiye bor yatakları miyosen yaşlı playa-göl ortamlarında oluşmuştur.
- Yatakların tümünde bor elementinin kökeni volkanik aktivite ve hidrotermal sistemleridir.
- Yataklardaki bor mineralleri; çamurtaşı, kıltaşı, şeyl, tuf ve ince bantlı kireçtaşları gibi tortul kayalar içinde gelişmiştir.
- Bor yatakları, tortul kayalar içinde, mercekli yapılar sunar.
- Bor yataklarında, bor minerallerinden önce ve sonra yaygın olarak kireçtaşı ve kıltaşı çökelimi gelişmiştir.
- Bor yataklarında, bor çökeliminden önceki evrede değişik boyutlarda kömür yatakları gelişmiştir.

- Yataklarda bor minerallerinin çökelim istifi Ca-boratlar ile başlar ve sırasıyla Ca-Na ve Na-boratlar olarak devam eder.
- Türkiye, dünyada ekonomik (Na-borat) olarak en çok kullanılan boraks, üleksit (Na-Ca-borat) ve kolemanit (Ca-borat) yataklarına sahiptir [9].

Türkiye’de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) tir. Türkiye’de önemli tinkal yatakları Kırka’da, kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak Bigadiç’te az miktarda üleksit rezervleri mevcut olup Kestelek gibi işletmelerde de zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir [2].

1.3.2. Kırka Bor Yatakları

Eskişehir ilinin 70 km. güneyinde Seyitgazi ilçesine bağlı Kırka bucağının 4,5 km batısında Sarıkaya adlı yörede bulunmaktadır. Yataktaki başlıca bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bu minerallere ilaveten yataкта tinkalkonit, tünelit, kurnakovit, inyonit meyerhofferit ve hidroborasit mineralleri de oluşmuştur. Boraks konsantrasyonunun en yüksek olduğu yer yatağın merkezi olan Sarıkaya’dır [10].

1.3.3. Emet Bor Yatakları

Kütahya il sınırları içinde Kırka ve Bigadiç cevherleştirme zonları arasında yer almaktadır. Bölgedeki başlıca borat zonları; Hisarcık, Espey, Killik, Hamamköy yörelerindedir. Yataklarda en çok bulunan bor minerali kolemanit olduğundan, ticari açıdan kolemanit yatakları olarak adlandırılır. Yataklarda yan bor mineralleri olarak meyerhofferit, üleksit, tünelit, terugut, hidroborasit ve veatcit görülür. Emet borat yataklarının toplam rezervi 345 milyon ton dolayındadır. Ortalama B_2O_3 %40’tır [11].

1.3.4. Bigadiç Bor Yatakları

Yataklar, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Başlıca mineraller kolemanit ve üleksittir. Kolemanit yataklarındaki arsenik oranı çok düşüktür ki bu özellik cevherin önemini artırmaktadır [11].

Yatakların rezerv durumu;

Kolemanit : Toplam 58 milyon ton ortalama % 30 B_2O_3

Üleksit : Toplam 11 milyon ton ortalama % 30 B_2O_3

1.3.5. Kestelek Bor Yatakları

Bursa ilinin Mustafa Kemal Paşa ilçesinin güneydoğusunda yer almaktadır. Başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, probertit, meyerhafferit ve üleksit yan mineraller olarak görülür. Yatağın ortalama % 29,4 B₂O₃ tenörlü toplam 7 milyon ton rezervi vardır [11].

1.3.6. Sultançayır (Susurluk) Bor Yatakları

Sultançayır (Susurluk) Türkiye'nin bilinen en eski borat yatağıdır. Bu yataklar 1954 yılında rezervin bittiği gerekçesiyle kapatılmıştır. Fakat bu bölgede daha yaygın yatakların bulunacağını kanıtlayan verilerin bilinmesi bu bölgenin yeniden önem kazanacağını kanıtlamaktadır [10].

Çizelge 1.3. Türkiye Bor Tuzu Rezervi (x100 ton)

| Yeri | | Görünür | Muhtemel | Mümkün | Toplam | % B ₂ O ₃ | Cinsi |
|------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|---------------------------------|-----------|
| Emet KÜTAHYA | Hisarcık 1 | 29.107 | | | 29.107 | 27 | Kolemanit |
| | Hisarcık 1 | 2.795 | | | 2.795 | 16 | Kolemanit |
| | Espey | 157.188 | 53.129 | | 210.917 | 40 | Kolemanit |
| | Doğanlar | 77.688 | 172.312 | 393.924 | 643.924 | 40 | Kolemanit |
| | İğdeköy Üleksit | | | | | | |
| Bigadiç BALIKESİR | Üst boratlı seyive üleksit | 80.012 | 8.056 | 7.060 | 95.128 | 35 | Kolemanit |
| | Alt boratlı seyive üleksit | 364.990 | 316.614 | 252.990 | 934.594 | 35 | Kolemanit |
| M.Kemal Paşa BURSA | Kestelek | 4.290 | 920 | 2.932 | 8.142 | 40 | Kolemanit |
| Seyitgazi ESKİŞEHİR | Kırka | 62.341 | 437.747 | 18.457 | 518.535 | 25 | Tinkal |
| Toplam Rezerv | | 778.441 | 989.378 | 675.353 | 2.443.142 | | |

Çizelge 1.4. Türkiye Bor Tuzu Rezervleri ve B₂O₃ bazında rezervlerin havzalara göre dağılımı

| YERİ | REZERV | TENÖR % B ₂ O ₃ | B ₂ O ₃ bazında rezerv | Toplam Rezervde % oranı |
|---------------|------------------|--|---|----------------------------|
| EMET | 886.743 | 35 | 310.360 | 38,64 |
| BİGADİÇ | 1.029.722 | 35 | 360.403 | 44,86 |
| KESTELEK | 8.142 | 35 | 2.850 | 0,36 |
| KIRKA | 518.535 | 25 | 129.634 | 16,14 |
| TOPLAM | 2.443.142 | | 803.247 | 100,00 |

Çizelge 1.5. Mineral Bazında Türkiye Bor Rezervleri Tipi (Ton B₂O₃ bazında)

| Mineral Tipi | Toplam Rezerv | Mineral tipinin toplam rezerv içindeki payı % |
|-----------------|---------------|---|
| Kolemanit | 643.245.236 | 75,59 |
| Boraks (Tinkal) | 193.660.056 | 22,76 |
| Üleksit | 14.033.601 | 1,65 |
| Toplam Rezerv | 850.938.893 | 100,00 |

Kaynak : Eti Maden İşl. Gen.Müd., 2004.

1.4. Türkiye Bor Endüstrisi

Türkiye bor rezervi açısından dünyada ilk sırada yer almaktadır. Ülkemizdeki yataklar, işletme kolaylığı, üretim maliyetinin düşüklüğü, cevher mineralojisi ve yüksek dereceli olması, pazarlara yakınlık, bor ürünleri üretiminde ve pazarlanmasında bilgi birikimi, ürün üretim teknolojisinin maliyetinin düşük olması gibi fevkalade üstün avantajlar sağladığından Türkiye'nin bor pazarında rekabet olanağı çok yönlüdür ve ülkemizin lehinedir [13].

1.4.1. Türkiye'de Bor Madenciliğinin Tarihçesi

- 1861 İlk Osmanlı Maden Yasası
- 1865 Aziziye/Susurluk bölgesindeki pandemit adlı kalsiyum boratın işletme hakkının Compaigne Industrielle Desmazures şirketine verilmesi, böylelikle Türkiye'de ilk bor madenciliğinin başlaması şirketin Türkiye orijinli madeni kullanarak Fransa'da bir boraks rafineri tesisi kurması,

- 1887 Compaigne Industrielle des Mazures'e Aziziye rezervi işletme hakkının 50 yıllık süre ile verilmesi
- 1887 Sultançayır rezervinin Charles Hanson & Co. Şirketi tarafından işletmeye alınması
- 1887 İngiltere'de kurulan The Borax Company şirketinin Compaigne Industrielle des Mazures Aziziye rezervinde çoğunluk hissesini alması
- 1889 Borax Consolidated Limited (BCL) şirketinin kurulması
- 1899 Desmazures'e ait sahaların BCL tarafından alınması
- 1935 Türkiye'de maden arama ve işletme faaliyetlerini yapmak üzere Etibank ve MTA'nın kurulması
- 1951 Bigadiç Kolemanit rezervlerinin özel şirketler tarafından işletilmeye başlanması
- 1954 BCL'in Türkiye'deki madencilik faaliyetlerini geliştirmek amacı ile Türk Boraks Madencilik A.Ş.ni kurması
- 1954 Sultançayır maden ocağının kapatılması
- 1958 Etibank Emet yataklarından ilk cevherin üretimi
- 1959 Türkiye'nin ilk cevher ihracatı
- 1960 Türk Boraks Madencilik A.Ş. ve Türk ortakları tarafından Kırka Sodyum Borat yataklarının bulunması
- 1964 Etibank'ın 20.000 t/y boraks dekahidrat kapasiteli ilk tesisinin işletmeye alınması
- 1968 Etibank'ın 6.000 t/y kapasiteli ilk borik asit tesisinin devreye alınması
- 1968 Bakanlar Kurulu karar ile Türk Boraks Madencilik A.Ş.nin tüm maden arama ve işletme haklarının Etibank'a devri
- 1975 Bandırma Sodyum Perborat Tesisinin İşletmeye Alınması
- 1978 2172 sayılı yasa ile Bor rezervlerinin tüm madencilik ve işletme haklarının Etibank'a verilmesi
- 1984 Kırka I. Bor Türevleri Tesisinin işletmeye alınması

- 1987 Bandırma II. Borik Asit Tesisinin işletmeye alınması
- 1996 Kırka II. Boraks pentahidrat tesisinin işletmeye alınması
- 2001 Kırka III. Boraks pentahidrat tesisinin işletmeye alınması
- 2004 Emet Borik Asit Tesisinin devreye alınması [8].

21.yüzyılın madeni olarak adlandırılan ve geniş bir kullanım alanına sahip olan bor minerallerinin üretilmesi işletilmesi ve pazarlanması görevini bir devlet kuruluşu olan Eti Maden gerçekleştirmektedir [2].

Türkiye’de bor ürünleri Ar-Ge çalışmaları Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü ile Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN)’nün kontrol ve koordinasyonunda üniversiteler, TÜBİTAK, MTA ve bağımsız çalışan bazı özel şirketler tarafından yürütülmektedir [2].

Boratlar, genelde içerdikleri B_2O_3 içeriğine göre tanımlanmakta ve satılmaktadır. Diğerleri içinde en fazla ticareti yapılan bor ürünleri boraks pentahidrat ve borik asit olmaktadır. Bu nedenle hemen tüm bor üreticileri, bünyelerinde bir borik asit tesisi bulundurmaktadır [12].

Bor üretim yöntemlerinin ilk basamağını madencilik oluşturmaktadır. Üretilen mineraller kırma ve cevher zenginleştirme ve/veya rafinasyon işlemlerinden geçirildikten sonra pazara arz edilmektedir [2].

Bor mineralleri, doğada diğer mineral ve kayaçlarla birlikte veya çözelti olarak sulara bulunmaktadır. Karada bulunan bor bileşikleri, cevherin bulunduğu derinliğe ve fiziksel yapısına bağlı olarak açık ocak ve kapalı ocak yöntemi veya çözelti madenciliği yöntemi ile üretim yapmaktadır [2].

Eti Maden Türkiye’deki tek bor üreticisi ve pazarlayıcısı durumundadır. Eti Maden’e ait beş işletme müdürlüğünde bor cevherleri işletilmekte ve üretilmektedir [2].

1.4.2. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

Bigadiç ilçesinin 12 km kuzeydoğusundaki Osmanca Köyü hudutları içinde kurulmuş olan işletmede kolemanit ve üleksit konsantreleri üretilmektedir. 2005 yılı itibariyle Bigadiç’te üç adet açık (Tülü, Acep, Simav) ocak mevcuttur. Ocaktan çıkarılan cevherler konsantratör tesisinde zenginleştirildikten sonra bir bölümü konsantre ürün olarak satılmakta diğer bölümü ise öğütülmüş kolemanit ve rafine bor ürünleri üretiminde kullanılmaktadır [2].

1.4.3. Emet Bor İşletme Müdürlüğü

Tesisler Emet İlçesinin 4 km kuzeyindeki Espey ve 12 km güneyindeki Hisarcık İlçesinde kurulmuş olup, Kütahya'ya 100 km mesafededir. Emet bölgesinde yapılan kolemanit üretimi iki adet açık işletmeden (Espey ve Hisarcık Açık Ocakları) yapılmaktadır. Ocaktan çıkarılan cevherler konsantratör tesislerinde zenginleştirildikten sonra bir bölümü konsantre ürün olarak satılmakta diğer bölümü ise İşletme bünyesindeki tesiste borik asit üretiminde kullanılmaktadır [2].

1.4.4. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Kırka Boraks İşletmesi Eskişehir ilinin 70 km Güneyindeki Kırka Beldesinin 4,5 km batısında kurulmuş olup, Eskişehir iline 74 km mesafededir. Dünyanın en büyük tinkal rezervine sahip maden ocağından açık işletme yöntemi ile üretilen tinkal cevheri, konsantre tinkal haline dönüştürüldükten sonra tamamına yakını işletme bünyesindeki bor türevleri tesislerine beslenerek boraks pentahidrat üretilmektedir. Ayrıca Tek Kademedede Penta üretim tesisinde de tüvenan tinkal beslenerek elde edilen çözelti ile boraks pentahidrat üretilmektedir. Bir kısım tinkal (Tüvenan/Konsantre) ise Bandırma'da boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat üretiminde kullanılmaktadır [2].

1.4.5. Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü

Tesisler Mustafakemalpaşa ilçesinin Güneydoğusunda 23 km mesafedeki Kestelek'te kurulmuş olup, Bandırma'ya 83 km mesafededir.

Kestelek'te yalnızca kolemanit minerali, bir adet açık ocaktan üretilmektedir. Ocaktan üretilen kolemanit cevheri konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemine tabii tutularak kolemanit konsantresi elde edilmekte ve konsantre ürün olarak satılmaktadır [2].

1.4.6. Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü

Bandırma'daki tesisler, Bandırma Balıkesir yolu üzerinde ilçe merkezine 4 km mesafede 677.350 m²'lik bir alanda bulunmaktadır. Tesislerde boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, borik asit, sodyum perborat monohidrat ve sodyum perborat tetrahidrat ürünleri üretimi yapılmaktadır. Ayrıca, 2005/Kasım ayında devreye alınmış olan tesiste bor oksit üretimine başlanmıştır [2].

Çizelge 1.6. Konsantre ve Rafine Bor Ürünleri Kurulu Kapasiteleri (Bin Ton/Yıl)

| İŞLETME | ÜRÜN | KONSANTRE BOR | RAFİNE BOR |
|---|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | | KURULU KAPASİTE | KURULU KAPASİTE |
| Kırka Bor işletmesi | Tinkal Konsantresi | 800 | |
| | Boraks Pentahidrat | | 480 |
| Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları işletmesi | Boraks (Deka + Penta) Hidrat | | 55 |
| | Borik Asit | | 85 |
| | Bor Oksit | | 1 |
| | Sodyum Perborat | | 20 |
| Bigadiç Bor İşletmesi | Konsantre Kol.+Ulek. | 650 | |
| | Öğütülmüş Kolemanit | | 90 |
| Emet Bor İşletmesi | Konsantre Kolemanit | 900 | |
| | Borik Asit | | 100 |
| Kestelek Bor işletmesi | Konsantre Kolemanit | 100 | |
| TOPLAM | | 2.450 | 831 |

Kaynak: Eti Maden İşl. Gen. Müd., 2005

Çizelge 1.7. Eti Maden Bor İşletme Müdürlükleri ve Ürünleri

| | | ÜRÜN CİNSİ |
|-------------------------------|-----------------|------------------------------|
| RAFİNE BOR ÜRÜNLERİ | BANDIRMA | Boraks Dekahidrat |
| | | Boraks Pentahidrat |
| | | Borik asit |
| | | Bor Oksit |
| | | Sodyum Perborat (Tetra) |
| | | Sodyum Perborat (Mono) |
| | KIRKA | Boraks PH (Etibor 48) |
| | EMET | Borik Asit |
| | BİGADIÇ | Öğütülmüş Kolemanit |
| KONSANTRE BOR ÜRÜNLERİ | BİGADIÇ | Konsantre Kolemanit |
| | | Konsantre Uleksit |
| | EMET | Konsantre Hisarcık Kolemanit |
| | | Konsantre Espey Kolemanit |
| | KIRKA | Konsantre Tinkal |
| | KESTELEK | Konsantre Kolemanit |
| | | Konsantre Uleksit |

Borun çok sayıda bileşiği olmakla beraber teknik olarak büyük miktarlarda üretilen ve uluslararası pazarda söz sahibi olan beş ana bileşiği vardır. Sanayide kullanılmak üzere veya laboratuvar araştırmaları için üretilen diğer bor ürünleri ise genellikle bu 5 ana bileşikten üretilir.

- i. Borik Asit (H_3BO_3)
- ii. Boraks Dekahidrat ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)
- iii. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$)
- iv. Susuz Boraks ($Na_2B_4O_7$)
- v. Bor oksit

Bunlara ek olarak sodyum perborat ($NaBO_2 \cdot H_2O_2 \cdot 3H_2O$) dan da söz edilebilir [2]

Türkiye, dünyanın en büyük ve en iyi kalitede bor rezervlerine sahip olan, büyük bir iç tüketimi olmamasına rağmen, dünyada en yüksek bor üretimi gerçekleştiren ülkedir. Ülkemiz bor üretimi ihracata yöneliktir.

Yurtiçi tüketiminin artırılmasına yönelik olarak yapılan araştırmalar sonucunda, bora dayalı sanayinin gelişmesi kapsamında bor kullanımının artacağı sektörler çimento, gübre ve seramik sektörleri olarak tahmin edilmektedir [2].

Dünyada ticari değer taşıyan 300'den fazla özel bor kimyasallarının mevcut olduğu ve bu ürünlerden özellikle sodyum borhidrür, bor triflorür, bor nitrür, çinko borat, bor karbür ve disodyum oktaborat tetrahidrat'ın gelecekte pazar hacimlerinin artma potansiyelinin yüksek olacağı değerlendirilmektedir.

Hidrojenin yakıt enerjisi olarak kullanılması yönünde yapılan çalışmalar ve gelişmeler dikkate alındığında, hidrojen enerjisi üretiminde kullanılma potansiyeli yüksek ürünlerden biri olan sodyum bor hidrürün gelecekteki tüketim potansiyeli çok daha yüksek seviyelere çıkabilecektir [2].

Türkiye Bor Endüstrisi'nin geliştirilmesi için özel bor kimyasallarının mutlaka ülkemizde üretilmesi gerekmektedir [2].

Türkiye'nin dünya bor pazarındaki dağılım itibariyle değerlendirme yapıldığında 1980'li yılların ortalarında %25,2 olan ülkemizin miktar bazındaki pazar payı % 38 olmuştur.

Çizelge 1.8. Yıllar itibariyle dünya bor pazarındaki payımız (miktar bazında)

| Yıllar | % pay |
|----------|-------|
| 1980'ler | 25,2 |
| 2001 | 31,0 |
| 2002 | 30,0 |
| 2003 | 30,0 |
| 2004 | 35,0 |
| 2005 | 38,0 |

Çizelge 1.9. Dünyada Başlıca Bor Üreticileri

| KURULUŞ | ÜLKE | ÜRETİM 1998 (Bin ton B ₂ O ₃) | % | ÜRETİM 2004 (Bin ton B ₂ O ₃) | % |
|---|----------------|---|-----------|---|------------|
| Rio Tinto US Borax (Borax Arjantina üretimi dahil) | ABD | 587 | | 565 | 33 |
| ETİ MADEN İŞL.GEN.MÜD. | Türkiye | 434 | 30 | 671 | 40 |
| Devlet Organizasyonları | Çin | 140 | 9 | | |
| JSC Bor | Rusya | 73 | 5 | | |
| Searles Lake Valley Co. (IMC Global) | ABD | 27 | 2 | | |
| QUIBORAX | Şili | 44 | 3 | | |
| Sucersal Argentina | Arjantin | 50 | 3 | | |
| SQM Salar (1) | Şili | 16 | 1 | | |
| Inka Bor | Peru | 13 | 1 | | |
| Diğerleri | | 67 | 5 | *460 | 27 |
| TOPLAM** | | 1.438 | 100 | 1.696 | 100 |

Kaynak: Roskill, 1999&2000, Rio Tinto 2000 Annual Reports of Fin. Statemants,

<http://minerals.usgs.gov>,2005

(1) Üretime Mayıs 1998'de başladı.

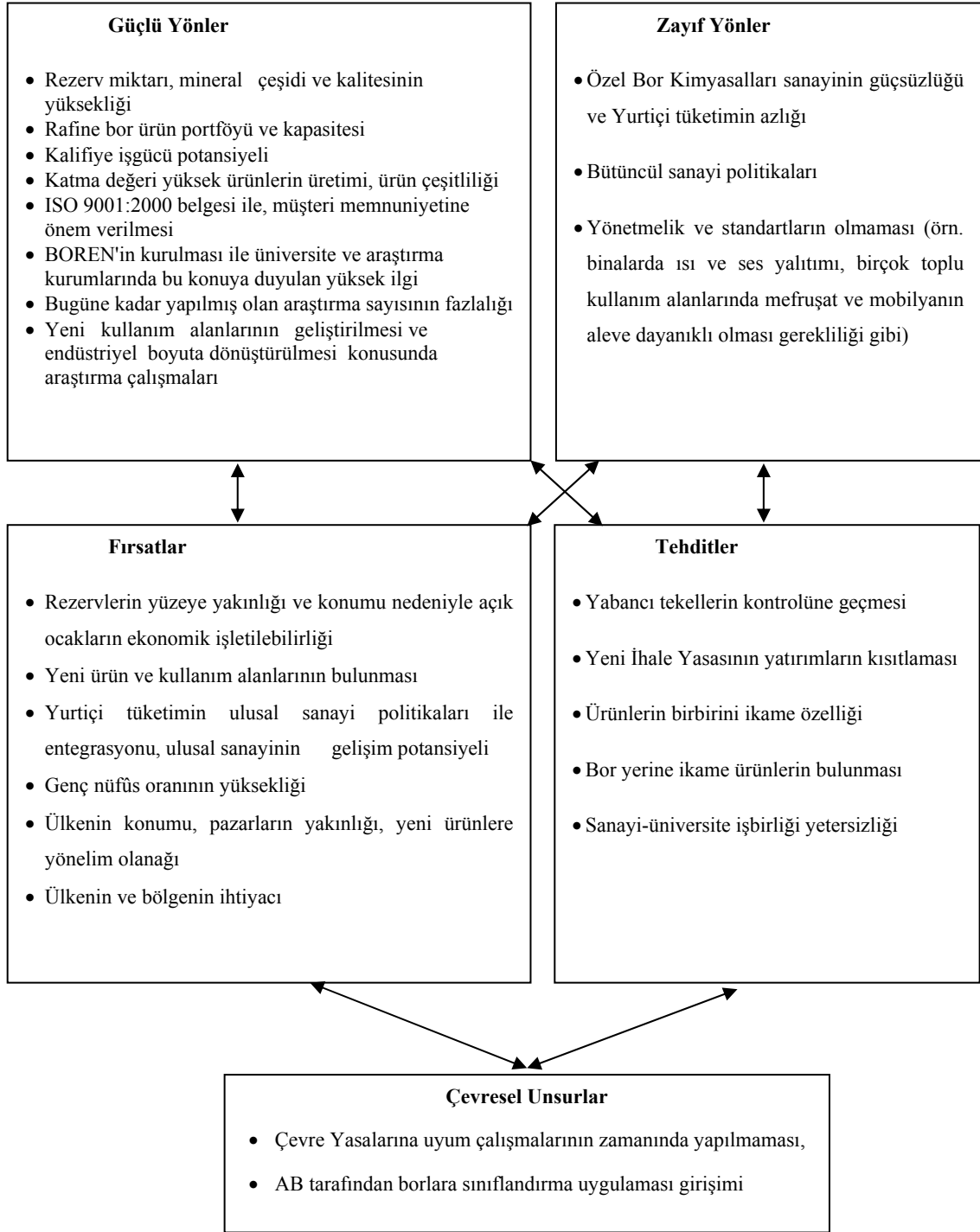
*Diğerleri ve Rio Tinto ile Eti Maden İşi. dışındaki firmalar toplamı

** Tahmini

1.4.7. GZFT Analizi

Türkiye'nin dünya bor sektöründeki konumu bakımından en güçlü yanı bor rezervlerinin fazlalığı, B₂O₃ içeriği bakımından üstünlüğü, rezervlerinin işletilme kolaylığı ve maliyeti, kolemanit rezervleri bakımından rakipsizliğidir [2].

Çizelge 1.10. GZFT Analizi



Eti Maden'in bor sektöründeki politikası; bugüne kadar kazanmış olduğu bilgi birikimini ve ileri teknolojiyi kullanarak verimlilik ve karlılık ilkeleri içinde uluslararası

pazarlara sunarak ülke ekonomisine sürdürülebilir bir dinamik içerisinde daha fazla katkı sağlayan, finansal açıdan güçlü ve kurumsallaşmış yapıya sahip bir dünya şirketi olmaktadır [14].

Ancak bu hedefi gerçekleştirirken doğal çevreye zarar vermeden, bilim ve teknolojinin sağladığı imkanlar ölçüsünde atıkların çevre mevzuatında belirlenen limitlere uygun olması yönünde gerekli tüm önlemleri alarak üretim faaliyetlerinin çevre mevzuatına uygun gerçekleşmesini sağlamalı ve çevresel etki değerlendirme yönetmeliği gereğince, ÇED izinlerinin alınması için gerekli çalışmaların yapılmasını sağlamalıdır [14].

Türkiye bor üretimini elinde bulunduran Eti Maden A.Ş. ekonomik ve siyasal baskılardan korunmalı, bağımsız ve özerk bir yapıya kavuşturulmalıdır. Eti Maden A.Ş. Üniversite araştırma kuruluşları ve özel sektör ile bağlantı kurarak daha etkin üretim ve yapılanma içine girmelidir. Eti Maden'in edilgen bir pazarlama ve satış faaliyetleri yerine etkin ve pazarı belirleyici satış imkanlarının geliştirilmesinin önü açılmalıdır [16].

1.4.8. Bor Endüstri Atıkları

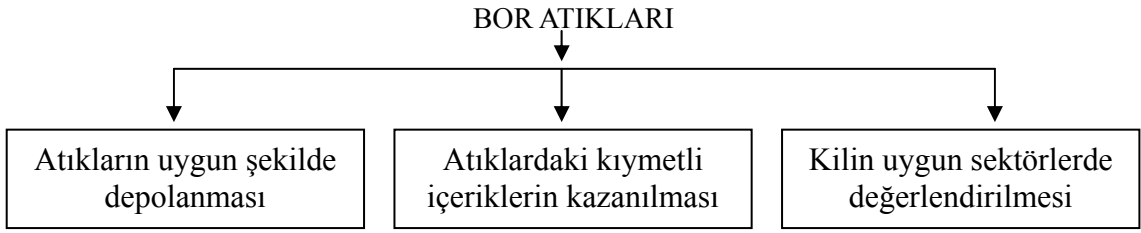
Bor, içinde yaşadığımız bilim ve uzay çağında çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bor madenciliği ve işlenmesi sırasında kil içeren oldukça fazla miktarlarda atık üretilmektedir. Bu atıklar büyük bir ekonomik kayıp olduğu kadar çevre kirliliğine sebep olan önemli miktarda bor içermektedir [5].

Endüstriyel atıklar dünyada olduğu gibi ülkemizde de küçümsemeyecek boyutlarda çevre kirlenmesine neden olmaktadır.

Türkiye'de özellikle Kırka İşletme Müdürlüğünde ciddi çevre problemleri bulunmaktadır. Atık barajları neredeyse %100 doluluk oranına ulaşmıştır. Bu durumun yaratacağı tehlikelerden korunabilmek için tek kademedeki pentahidrat üretimi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak şu ana kadar kesin bir sonuç alınamamıştır. Yeni atık sahaları oluşturulmaya çalışılmaktadır [10].

Bor atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili olarak ülkemizde araştırma aşamasında olan ve laboratuvar çapta başarı sağlanan çalışmalar mevcuttur.

Bor atıkları ile ilgili yapılan çalışmalar üç ana grupta toplanabilir. Bunların ilki atıklardaki borun geri kazanılması, ikincisi atıkların çevreye zarar vermeden depolanması, üçüncüsü ise atıkların seramik ve inşaat sanayinde kullanılmasıdır [17].



Atıkların uygun bir şekilde değerlendirilmesinde elde edilecek avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Atıkların stoklamadan doğan sorunları ve stoklama maliyeti azalacaktır.
- Çevre kirliliği en az seviyeye inecektir.
- Üretilen yeni ürünlerle ek bir kazanç elde edilecektir.
- Atıkların yeraltı ve yerüstü sularını kirlilemesi önlenecektir.
- Atıkların atıldıkları göletlerin yapımı için işletmeler büyük meblağlar ödemektedir [17].

Bor atıklarının seramik sanayisinde sır üretimi, çini hamuru ve döküm çamuru yapımı, yer ve duvar karosu üretiminde yapı sektörü için çimento ve tuğla üretiminde, cam emaye ve silika refrakterler için hammadde veya katkı maddesi olarak kullanılabilirdiği tespit edilmiş ve bor atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili bilimsel araştırmaların özellikle seramik sektöründe yoğunlaştığı onu tuğla ve çimento üretim çalışmalarının izlediği görülmüştür [18].

Kırka killilerinin içinde Lityum (Li), Stronsiyum (Sr), Emet killeri içinde bulunan Lityum (Li) gibi elementler değerlendirmeye açıktır [17].

Endüstriyel atıklardan kaynaklanan kirleticiler toprak, hava ve suyun bünyesinde barındırdığı canlı organizmalar için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Bu nedenle zamanımızın en önemli konusu, endüstrileşmenin ve hızlı nüfus artışının ortaya çıkardığı çevre kirlenmesine uygulanabilir, ekonomik ve kesin bir çözüm getirmektir. Kirlenmiş çevreyi temizlemek oldukça pahalı ve kompleks tesisleri gerektiren uzun bir çalışma ile mümkündür. Bu sebeple çevre kirlenmesini önleyici tedbirlerin alınmasına çalışmak daha da önem kazanmaktadır [15].

Bor endüstri atıklarının çeşitli alanlarda değerlendirilmesi hem çevre sorunlarını ortadan kaldıracak hem de ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır [5].

1.5. Bor Bileşikleri ve Kullanım Alanları

Bor bileşiği olarak ilk tanınan ve kullanılan bileşik olan tinkal'ın (sodyum tetraborat-boraks) bazı medeniyetlerce çok eski zamanlardan beri kullanıldığı bilinmektedir. Sümerler ve Etiler dönemlerinde metallerin yüzeyindeki oksit tabakasını çözme işlevi nedeniyle altın ve gümüş işletmeciliğinde lehim olarak, yine Mezopotamya ve Mısır medeniyetlerinde antiseptik olarak, Çin'de seramik ve cam üretiminde, Romalılarda dezenfektan olarak ve cam yapımında, Arap doktorların ise ilaç olarak boraks kullanıldığına dair kaynaklar bulunmuştur. Bu dönemlerdeki bor bileşenlerinin Tibet'ten getirildiği belirtilmekteyse de Romalıların Anadolu kaynaklarını da kullanmış olmaları büyük bir olasılıktır.

Bor ilave edildiği malzemelerin katma değerlerini olağanüstü derecede yükseltmekte, bu nedenle bugün sanayinin tuzu olarak adlandırılmaktadır. Gelişen teknolojiler, bor kullanımı ve bora bağımlılığı artırmakta borun stratejik mineral olma özelliği giderek daha da belirginleşmektedir [18.]

Bor bileşiklerini aşağıdaki başlıklar altında incelemek mümkündür.

Tabii Boratlar

- Tinkal
- Kolemanit
- Üleksit gibi konsantre bor cevherleri

Rafine Boratlar ise, tabii boratların rafinasyonu ya da kimyasal reaksiyonu ile elde edilen,

- Boraks pentahidrat
- Boraks dekahidrat
- Susuz boraks
- Borik asit
- Sodyum perborat gibi rafine bor ürünlerini ifade etmek üzere kullanılmaktadır.

Özel Bor Kimyasalları

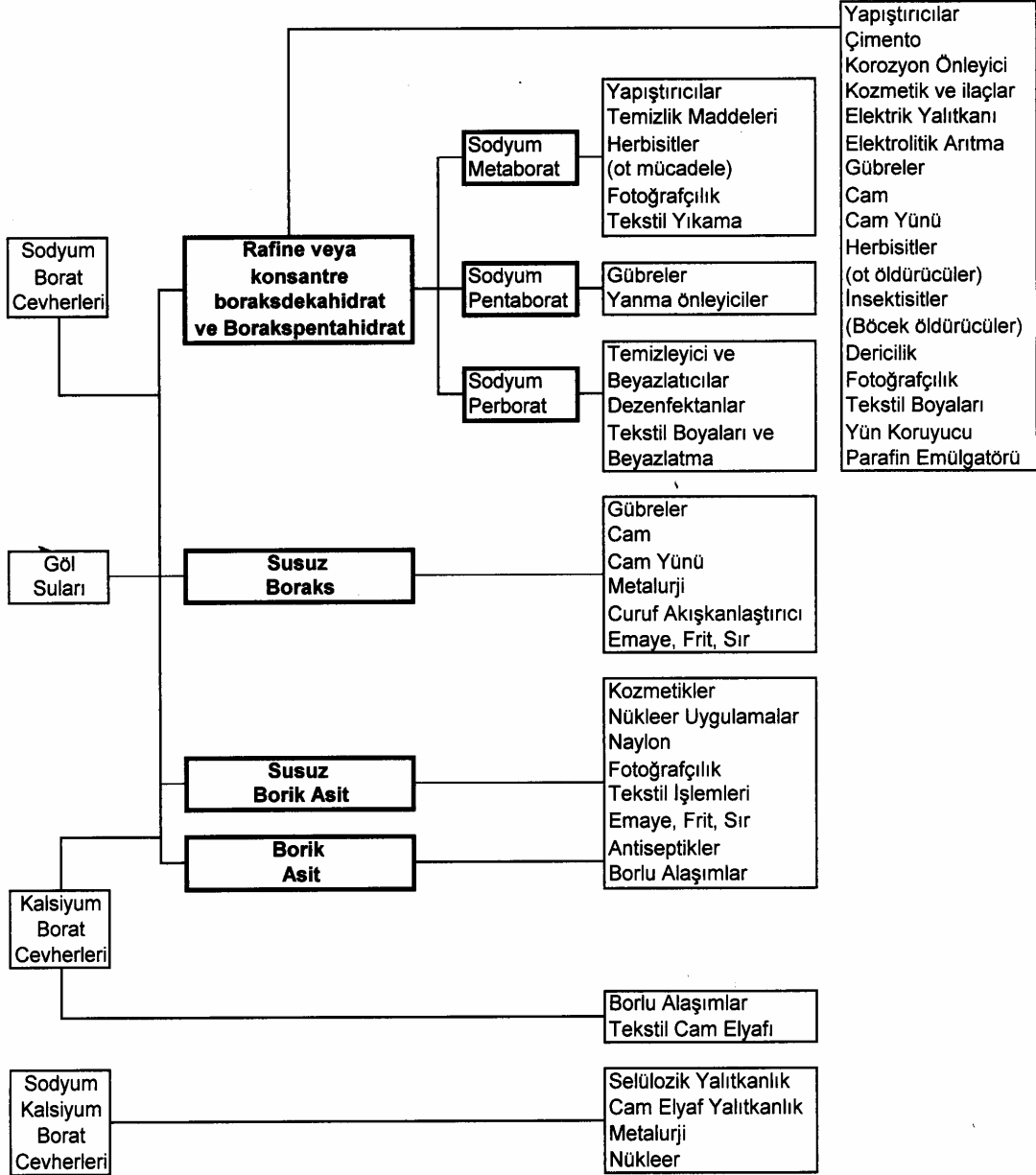
- Elementel bor

- Bor karbür
- Bor halidler
- İnorganik boratlar
- Fluoroboratlar
- Borik asit esterleri
- Bor hidrürler (boronlar)
- Organobor bileşikleri
- Bor-Azot bileşikleri bu ürünler arasında sayılmaktadır [8].

Çizelge 1.11. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları [18]

| | |
|--|--|
| Amorf ve Kristal Bor | Askeri Piroteknik, Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza, Metallerde Alaşım Elemanı ve Deoksidan, Bakır ve Alaşımında Gaz Giderici, Alüminyum Dökümlerinde Tane Rafinasyonu, Yarı İletkenlerde vb. |
| Bor Esterleri | Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri |
| Bor Flamentleri | Havacılık ve Spor malzemeleri için Kompozitler |
| Bor Halidleri | İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler |
| Bor Karbid | Kesme Ekipman Bileycileri, Endüstriyel Yataklar, Çok Yüksek Sıcaklıklarda Korozyon ve Oksitlenme Direnci Gerektiren ekipmanlar. |
| Bor Karbür | Askeri araçlarda Zırh Plakaları, Uzay Mekiklerinde Dış Yüzey Koruyucu, Aşındırıcılar, Tesviye Aksamları, Yüzey Parlaticılar, Yüksek aşınma Direnci ve Esnemezlik Gerektiren Diğer Alanlar. |
| Borazon | Yüksek Hızlı Kesiciler |
| Borik Asit | Antiseptikler, Göz Damlaları, Bor Alaşımaları, Nükleer, Yangın Geciktirici, Naylon, Fotoğrafçılık, Tekstil, Dericilik, Gübre, Nikel Kaplama, kimyasal Katalist, Cam, Cam Elyafı, Emaye, Sır, vb. |
| Fluoborik Asit | Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler |
| Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit) | Tekstil Kalite Cam Elyafı, Bor Alaşımaları, Cüruf Yapıcı, nükleer atık muhafazası |
| Özel Sodyum Boratlar | Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil, "Finishing" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zirai Araçlar |
| Sodyum Bor Cevheri (Üleksit ve Probertit) | Yalıtım Cam Elyafı, Borosilikat Cam |
| Sodyum Bor Hidrürler | Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi |
| Sodyum Metaborat | Yapıştırıcı, Deterjan, Zirai İlaçlama, Fotoğrafçılık, Tekstil |
| Sodyum Pentaborat | Yangın Geciktirici, Gübre |
| Sodyum Perborat | Deterjan ve Beyazlatıcı, Tekstil |
| Sodyum Tetraborat (Boraks) | Lehim ve Kaynak İşlemlerinde, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi, Seramikler, Sırlama, Yüksek Mukavemetli Camlar vb. |
| Susuz Boraks | Gübre, Cam, Cam Elyafı, Metalurjik Cüruf Yapıcı, Emaye, Sır, Yangın Geciktirici |
| Trimetil Borat | Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor |

Çizelge 1.12. Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları



Çizelge 1.13. Bor Bileşikleri ve Özellikleri [19]

| Madde No. | BİLEŞİKLER | ÜRÜN ÖZELLİKLERİ | SON KULLANIM ALANLARI VE AÇIKLAMALAR |
|------------|--|---|---|
| 100 | İNORGANİK BORATLAR | | |
| 101 | Alüminyum Borat $Al_4 B_4 O_{12} \cdot 3H_2O$ | | Cam ve Seramik endüstrileri |
| 102 | Amonyum bitetaborat $(NH_4)HB_4O_7 \cdot 3H_2O$ | | Araştırma |
| 103 | Amonyum pentaborat $(NH_4)_2B_{10}O_{16} \cdot 8H_2O$ | “Taneli, toz” Özel kalite “taneli ve toz” | Bor bileşik ara ürün |
| 104 | Amonyum tetraborat $(NH_4)_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$ | Taneli ve toz | Üre-formaldehit reçine üretimi, yanmaz eşya üretimi |
| 105 | Baryum metaborat $BaB_2O_4 \cdot 2H_2O$ | % 90 saflıkta | Boya, plastik, tekstil ve kağıt endüstrileri |
| 106 | Bizmut oksiborat $(BiO) H_2B_3O_3$ | % 90 saflıkta | Araştırma |
| 107 | Kadmiyum metaborat $CdB_2O_3 \cdot xH_2O$ | | Araştırma |
| 108 | Kobalt tetraborat $CoB_4O_7 \cdot xH_2O$ | | Sentetik reçinelerin tuzlanması katalizör olarak |
| 109 | Bakır metaborat (Bakır borat, kuprik borat) CuB_2O_4 | Teknik hidrat | Yağ pigmentleri Böcek ilaçları |
| 110 | Disodyum oktaborat $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$ | | Kereste ve diğer selülozik maddelerde yanma önleyici, püskürtme ekin gübresi, kerestelerin korunması |
| 111 | Demir borat ($FeB_2O_3 \cdot xH_2O$) | | |
| 112 | Kurşun metaborat $PbB_2O_4 \cdot H_2O$ | | |
| 113 | Kurşun tetraborat $PbB_4O_7 \cdot xH_2O$ | | |
| 114 | Lityum metaborat LiB_2O_2 | Susuz ve dihidrit | Araştırma |
| 115 | Lityum tetraborat $Li_2B_4O_7$ | % 99 saflıkta | x-ışınları yayılımı analizi, cam yapma uygulamaları, araştırma |
| 116 | Magnezyum metaborat MgB_2O_4 | | Koruyucu antiseptik, mantar ilacı |
| 117 | Mangan tetraborat $MnB_4O_7 \cdot xH_2O$ | Saf tetrahidrat Teknik tetrahidrat | Tutucu ve matbaa mürekkebi kurutucusu olarak |
| 118 | Nikel metaborat $NiB_2O_4 \cdot xH_2O$ | | Araştırma |
| 119 | Potasyum pentaborat $K_2 B_{10}O_{16} \cdot 8H_2O$ | Taneli ve toz | Paslanmaz çelik ve demir dışı metaller için kaynak ve lehim flaksı |
| 120 | Potasyum perborat $K_2B_2O_6 \cdot H_2O$ | | |
| 121 | Potasyum tetraborat $K_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$ | Taneli ve saf | Lehim ve özel kaynak flaksı, kazein için çözücü ve diyazo tip çözümlerde. |
| 122 | Gümüş metaborat $Ag_2B_2O_4$ | | |
| 123 | Sodyum metaborat $Na_2B_2O_4 \cdot xH_2O$ x; 0.4 ve 8 değerleri alabiliyor. | Teknik kristal | Tutucu, fotoğraf kimyasalları, yapıştırıcılar, tekstil işleme bileşikleri, deterjan ve temizleyiciler ve tarım ilaçları |

| Madde No. | BİLEŞİKLER | ÜRÜN ÖZELLİKLERİ | SON KULLANIM ALANLARI VE AÇIKLAMALAR |
|------------|--|--|---|
| 100 | İNORGANİK BORATLAR | | |
| 124 | Sodyum pentaborat $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ | Teknik | |
| 125 | Sodyum perborat NaBO_3 | Monohidrat, tetrahidrat, taneli ve tetrahidrat teknik | Yüzey aktifleştirici maddeler, bidon boyları, tekstil beyazlaştırıcısı, mikrop öldürücü, elektrotik kaplama, deodorant, oksitleyiciler, dişçilik malzemesi, ev çamaşırhane deterjanları, bidon boyası oksidasyonu, saç yapımı maddeleri, diş tozu, takma diş temizleyici, leke çıkarıcı maddelerde. |
| 126 | Sodyum tetraborat $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ | Yüksek saflıkta | Araştırma |
| 127 | Çinko boratlar $\text{ZnB}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_3\text{B}_4\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | Toz | Tutuşma sıcaklığını yükseltici araştırma |
| 200 | BOR HALOJENLERİ | | |
| 201 | Bortribromür BBr_3 | %99.999 saflıkta | Geliştirme, araştırma ve elektronik endüstrisi |
| 202 | Bor triklorür BCl_3 | % 99.9 saflıkta | |
| 203 | Bor triflorür BF_3 | Yüksek saflıkta | Katalizör |
| 204 | Bortriiodür BI_3 | | Araştırma |
| 205 | Amonyum floroborat NH_4BF_4 | Kristal ve toz | Alüminyum ve magnezyum döküm flaksı, araştırma |
| 206 | Antimuan floroborat $\text{Sb}(\text{BF}_4)_2$ | Saflaştırılmış çözelti | Kaplama çözeltileri |
| 208 | Kalsiyum floroborat $\text{Ca}(\text{BF}_4)_2$ | | Araştırma |
| 209 | Krom floroborat $\text{Cr}(\text{BF}_4)_3$ | Çözelti | Kaplama çözeltileri |
| 210 | Kobalt floroborat $\text{Co}(\text{BF}_4)_2$ | Çözelti | Araştırma ve kaplama çözeltileri |
| 211 | Bakır floroborat $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ | Saflaştırılmış çözelti | Araştırma ve kaplama çözeltileri |
| 212 | Di-n-Bütülamonyum floroborat $(n\text{-C}_4\text{H}_9)_2\text{NH}_2\text{BF}_4$ | % 93 saflıkta | |
| 213 | Floroborik asit, (Tetrafloroborik asit) HBF_4 | % 48-50 saflıkta, % 48-50 saflıkta borik asit ile karışmış halde ölgül ağırlık; 1.37 (%48'lik) gr/cm^3 | Metal temizleme, kaplama çözeltileri, alüminyumun elektrolizle parlatılması |
| 214 | İndiyum floroborat $\text{In}(\text{BF}_4)_3$ | Teknik çözelti | Kaplama çözeltileri |
| 215 | Bakır floroborat $\text{Fe}(\text{BF}_4)_2$ | Saflaştırılmış çözelti | Kaplama çözeltileri |
| 216 | Kurşun floroborat $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ | Teknik çözelti | Kaplama çözeltileri |
| 217 | Lityum floroborat LiBF_4 | % 98, %90 ve susuz % 99 saflıkta | Pil elektrolitleri ve araştırma |

| Madde No. | BİLEŞİKLER | ÜRÜN ÖZELLİKLERİ | SON KULLANIM ALANLARI VE AÇIKLAMALAR |
|------------|--|---|--|
| 200 | BOR HALOJENLERİ | | |
| 218 | Magnezyum floroborat $Mg(BF_4)_2$ | | |
| 219 | Magnezyum bor florür $MgBFR_5$ | | Metal flaks |
| 220 | Manganfloroborat $Mn(BF_4)_2 \cdot 6H_2O$ | | |
| 221 | Nikel floroborat $Ni(BF_4)_2$ | % 45'lik çözelti (Özgül ağırlığı; 1.50) hegzahidrat. saflaştırılmış çözelti | Araştırma ve kaplama çözeltileri |
| 222 | Nikelhegzamonyum floroborat $Ni(NH_3)_6(BF_4)_2$ | | Araştırma ve katalizör |
| 223 | Nitronyum (nitril) floroborat NO_2BF_4 | %95-96 saflıkta | Araştırma |
| 224 | Nitrozonyum (nitrozil) floroborat $NOBF_4$ | %95-96 saflıkta | Araştırma |
| 225 | Potasyum floroborat KBF_4 | Toz ve % 99 saflıkta | Öğütme çarkları, indirgeyici, flaks, köpürtücü ve kimyasal temizleyici |
| 226 | %20 Potasyum floroborat (KBF_4) ve %80 Potasyum titanyum florür karışımı | | Titanyum ve flaks yapımında alaşım maddesi |
| 227 | Rubidyum floroborat $RbBF_4$ | | Araştırma |
| 228 | Gümüş floroborat $AgBF_4$ | % 97 saflıkta | Kaplama çözeltileri |
| 229 | Sodyum floroborat $NaBF_4$ | Taneli etnik %98 saflıkta | Flaks, indirgeyici, köpürtücü, kimyasal temizleyici ve araştırma |
| 230 | Kalay floroborat $Sn(BF_4)_2$ | Saflaştırılmış çözelti | Kaplama çözeltileri |
| 231 | Çinko floroborat $Zn(BF_4)_2$ | Saflaştırılmış çözelti | Boya ve kaplama çözeltileri, tekstil endüstrisi ve araştırma, |
| 232 | Çinko tetramonyum floroborat (Tetraamonyo floroborat) $Zn(NH_3)_4(BF_4)_2$ | | Araştırma ve katalizör |
| 300 | REFRAKTER BOR BİLEŞİKLERİ | | |
| 301 | Bor karbür B_4C | İnce tabaka ve yüksek saflıkta. | Araştırma, nükleer zırh, aşındırıcı, kimyasal maddeler ve takviye edici. |
| 302 | Bor nitrür BN | Elyaf | Geliştirme -aşındırıcı olarak |
| 303 | Borfosfür BP | | Araştırma |
| 304 | Dibor fosfür B_2F | | Araştırma |
| 400 | REFRAKTER BOR BİLEŞİKLERİ | | BÖRÜRLER |
| 401 | Alüminyum diborür AlB_2 | | Araştırma |
| 402 | Alüminyum dodekaborür AlB_{12} | | Araştırma |
| 403 | Kalsiyum borür CaB_6 | Ca en az % 30 B en az % 50 | Araştırma ve bakır endüstrisi |
| 404 | Krom diborür CrB_2 | | Araştırma |

| Madde No. | BİLEŞİKLER | ÜRÜN ÖZELLİKLERİ | SON KULLANIM ALANLARI VE AÇIKLAMALAR |
|------------|---|--|--|
| 400 | REFRAKTER BOR BİLEŞİKLERİ | | BÖRÜRLER |
| 405 | Krom monoborür CrB | | Araştırma |
| 406 | Diniyobyum borür Nb ₂ B | | Geliştirme |
| 407 | Ditungsten pentaborür W ₂ B ₅ | | |
| 408 | Manganez diborür MnB ₂ | En az % 6 Mn En az % 18 B | Demir alaşımları |
| 409 | Molibden monoborür MoB | | |
| 410 | Molibden diborür MoB ₂ | | |
| 415 | Tantal diborür TaB ₂ | | Geliştirme |
| 416 | Tantal monoborür TaB | | Geliştirme |
| 417 | Titan diborür TiB ₂ | | Geliştirme ve araştırma |
| 418 | Tungsten monoborür WB | | |
| 419 | Vanadyum diborür VB ₂ | | Araştırma |
| 420 | Zirkon diborür ZrB ₂ | | Araştırma |
| 500 | BOR | | |
| 501 | Elementel bor B | Amorf, elektrolitik, % 90-92 saflıkta yüksek saflıkta kristal halde | Araştırma , piroteknikler |
| 502 | Bor-10 izotopu | | Nükleer savunma |
| 600 | BOR ALAŞIMLARI | | |
| 601 | Bor- Alüminyum B-Al | | |
| 602 | Bor-Nikel B-Ni | | |
| 603 | Titanyum-Bor-Alüminyum Ti - B - Al | | |
| 604 | Bor-Kobalt B-Co | | |
| 605 | Bor-Mangan B-Mn | | |
| 606 | Ferrobör Fe-B | % 20-24 B içerir. | Dökümhanelerde ve çelik yapımında katkı maddesi Pıç demir, yumuşak (sünek) demir yapımında |
| 700 | BOR HİDRÜRLER | | |
| 701 | Lityum borhidrür LiBH ₄ | % 90 saflıkta | Roket yakıtı, organik tepkimelerde katalizör organik indirgeyici hidrojen kaynağı ve araştırma |
| 703 | Rubidyum borhidrür | | Araştırma |
| 704 | Sodyum bordöterür NaBD ₄ | | Araştırma |
| 800 | BOR FİLAMANTİ. FİLM VE ŞERİTİ | | |
| 801 | Bor flamenti | | Uzay araştırmalarında malzemenin direncini artırıcı olarak. |
| 802 | Bor filmi | | Direnç artırıcı |

| Madde No. | BİLEŞİKLER | ÜRÜN ÖZELLİKLERİ | SON KULLANIM ALANLARI VE AÇIKLAMALAR |
|-------------|--|---|---|
| 803 | Bor - reçine , tek katlı daktilo şeridi | | Geliştirme ile ilgili |
| 804 | Bor - reçine çubukları | | Geliştirme |
| 805 | Borsik filament | Siliko karbür ile kaplanmış (yayılma engeli olarak) bor filamentleri halinde | Geliştirme ile ilgili |
| 806 | Borsik alüminyum şeridi | Bir alüminyum alaşımı Matris içine gömülü aralıklı paralel borsik filamentler | Yayılma bağı, lehim bağı |
| 900 | BORİK ASİT ESTERLERİ | | |
| 901 | Metilmetaborat (Trimetoksiboroksin) (CH ₃ OBO) ₃ | | Metal alevler için söndürücü |
| 902 | Tri-m ,p-krezil borat C ₂₁ H ₂₁ BO ₃ | | |
| 903 | Trietanolamin borat | | |
| 904 | Tri (Hekzilen glikol) Diborat C ₁₈ H ₃₆ O ₆ B ₂ | | |
| 905 | Triisopropil borat (C ₃ H ₇ O) ₃ B | | Araştırma ve geliştirme |
| 906 | Trimetil borat (Metil borat, Trimetoksibor) (CH ₃ O) ₃ B | | Kaynak flaksı,elektronik endüstrisi uygulamaları, araştırma,tutucu(yağ, reçine ve vakslar için çözücü yüksek bor esterlerinin hazırlanması ve polimerizasyon katalizörü olarak kullanılır.) |
| 907 | Trimetil borat-metanol azeotropu %70 (CH ₃ O) ₃ B %30 CH ₃ OH | | Tutucu (uçucu sert lehim flaksı) |
| 908 | Tri-n propil borat n-(C ₃ H ₇ O) ₃ B | | |
| 1000 | BORANLAR | | |
| 1001 | Amin boranlar (Belirsiz) | | İndirgeyici, fotoğrafçılık, ilaç ve kaplama endüstrileri. |
| 1002 | t-Bütülin boran (CH ₃) ₃ CNH ₂ :BH ₃ | | Araştırma |
| 1003 | Diboran B ₂ H ₆ | | Yüksek ve amin boranlar, borkarbürler ve borhidrürler yapımı için ilk madde, jet ve roket yakıtları için katalizör. |
| 1005 | Yüksek boranlar oktadekaboran B ₁₈ H ₂₂ | %99 saflıkta 100 saflıkta | Araştırma |
| 1006 | Morfolin boran O(C ₂ H ₄) ₂ NH:BH ₃ | Toz halde | Araştırma.indirgeyici,hassas kimyasal madde sentezleri. Hidrokarbon tepkimeleri için diboranın uygun şekli. |
| 1008 | Trietilboran (C ₂ H ₅) ₃ B | | |

| Madde No. | BİLEŞİKLER | ÜRÜN ÖZELLİKLERİ | SON KULLANIM ALANLARI VE AÇIKLAMALAR |
|-----------|---|----------------------|--------------------------------------|
| 1100 | ÇEŞİTLİ BOR BİLEŞİKLERİ | | |
| 1101 | Baryum bortungstat $Ba_9(B(W_2O_7)_6)_2$ | | |
| 1102 | Bor alkiler | | Polimerizasyon katalizörü |
| 1103 | Bor fosfat BPO_4 | | Araştırma |
| 1104 | Bütil borik asit | | Araştırma |
| 1105 | Döteryum borik asit D_3BO_3 | | Araştırma |
| 1106 | Dioksiborinanlar | | |
| 1107 | Fenil civa borat $(C_6H_5 Hg)_2 HBO_3$ | | Ticari |
| 1108 | Sodyum sorbitol borat | | |
| 1109 | Sodyum tetrafenil bor $NaB(C_6H_5)_4$ | Ayıraç; paket olarak | Kimyasal ayıraç, araştırma |
| 1110 | B-Trikloroborazin ($CIBNH_3$) | | Araştırma |
| 1111 | B-Trikloro-N-Trimetilborazin ($CIBNCH_3$) ₃ | | Araştırma |
| 1112 | B-Trikloro-N-Trifenil borazin | | Araştırma |

1.5.1. Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları

Bor ürünlerinin 500'e yakın kullanım alanı olmakla birlikte başlıca kullanım alanları aşağıda verilmektedir.

1.5.1.1. Cam sanayi

Bor oksit özellikle; borosilikat cam, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bazı özel borlu camlar, optik ve elektrik özelliklerinden dolayı uzay sanayinde, elektronik endüstrisinde ve nükleer reaktörlerde kullanılır. Ecza sanayinde kan plazması gibi hassas maddeler daha dengeli olan borosilikat cam kaplarda korunmaktadır [2].

Cam yünü, endüstriyel binaların ve evlerin ısı yalıtımında ses yalıtımında, ateşe dayanıklılıkta kullanılmaktadır [2].

Bor ürünlerinin en önemli kullanım alanlarından biri borosilikat camları üretimidir. Son dönemlerde binalarda kullanımında artış vardır [2].

Son yıllarda LCD (Liquid Crystal Display) olarak adlandırılan likit kristal ekranlar borosilikat camları için önemli bir kullanım alanı olmuştur [2].

1.5.1.2. Seramik sanayi

Bor oksit, boraks, kolemanit ve diğ er sodyumlu borlar seramik sırların üretiminde kullanılmaktadır.

Porselen karo bünyesine borik asit ilavesinin pişme süresini %10-20 oranında düşürerek fırına giren ürün miktarını ve dolayısıyla üretim verimliliğini artırdığı ve enerjiden tasarruf sağlandığı görülmüştür [2].

1.5.1.3. Temizleme ve beyazlatma sanayi

Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü (jermisit) ve su yumuşatıcı etkisi nedeniyle %10 boraks dekahidrat ve beyazlatıcı etkisini artırmak için toz deterjanlara % 10-20 oranında sodyum perborat katılmaktadır [2].

1.5.1.4. Yanmayı  nleyici (geciktirici) maddeler

Borik asit ve boratlar selülozik maddelere, ateş  arşı dayanıklılık sağlarlar. Çinko borat ve antimon trioksitin birlikte kullanılmasıyla bu iki bileşim yanma sırasında dumanın ve zehirin az olmasına neden olmaktadır.

 inkoboratlar plastik malzemelerde, borik asit boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat gibi  z nebilir boratlar ise selülozik malzemelerde kullanılır.

 inkoborat, yangın geciktirici malzemelerde çok yaygın kullanılan bir üründür. Özellikle PVC'lerde kullanılmaktadır [2].

1.5.1.5. Tarım

Bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini artırmak veya zararlı bitkilerin gelişimini önlemek veya zararlı böcekleri öldürmek maksadıyla kullanılmaktadır. Diğ er bir ifadeyle bor ürünlerinin tarım sektöründeki tüketim alanları gübre bitki ve böcek öldürücü ile emprenye sanayinde ahşap koruyucu olarak  arşımıza çıkmaktadır.

Bor, bitkiler için gerekli mikroblesleyiciler arasında yer almaktadır. Bitki gelişiminde önemli bir yere sahip olan bor elementi tarımsal verimde %20'lere varan artışlar sağlayabilmektedir.

Ülkemizde her yıl yaklaşık olarak 18 milyar dolar değerinde bitkisel üretim yapılmaktadır. Bor içerikli gübre ile %10'luk verim artışı sağlanacağı dikkate alındığında ülke ekonomisine doğrudan 1,8 milyar dolar katkı sağlanmış olacaktır [2].

1.5.1.6. Metalürji

Boratlar yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz çapaksız bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle demir dışı metal sanayinde koruyucu bir curuf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Bor bileşikleri, elektrolit kaplama sanayinde, elektrolit elde edilmesinde de kullanılmaktadır.

Çeliğe borun ilave edilmesi temelde alaşımın sertliğini artırmaktadır [2.]

Ulaşım sektöründe ise ileri teknolojiye sahip maglev trenlerinin süper iletken ve yüksek yoğunluklu mıknatıslarda kullanılmaktadır [2].

1.5.1.7. Nükleer uygulamalar

Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titan bor alaşımları kullanılır. Paslanmaz borlu çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir.

Ayrıca nükleer atıkların depolanması için kolemanit kullanılmaktadır [2].

1.5.1.8. Borlu katı yakıtlar

Borun yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olması yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması ulaşım araçlarında bir avantaj olarak kabul edilmektedir [2].

Hücre yakıtları

Sodyum borhidrür güvenli bir hidrojen taşıyıcısıdır. Sodyum bor hidrürün kimyasal bağlarında hidrojen mevcut olup ortamdaki katalizör, hidrojeni açığa çıkarmaktadır. Bu reaksiyondan üretilen hidrojen doğrudan içten yanmalı motorlara beslenebilir veya hücre yakıtlarında kullanılabilir.

Füze/uçuş yakıtları

Bor kimyasalları özellikle füze yakıtı olarak kullanılmaktadır. Sodyum borhidrür özel uygulamalarda yakıt katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

1960'larda üretilen XB-70 valkyrie "Boron Bomber" bombardıman uçağı ve SR-71 Blackbird süpersonik stratejik bombardıman uçaklarında bor katkılı yakıt (pentaboran ve etil boran olarak isimlendirilen) kullanılarak uçakların hem hızları hem de uçuş mesafeleri

artırılmıştır. BGM-109 Tomahaw ve UGM-109 Tomahawk füzelerinde de bor katkılı yakıtlar kullanılmaktadır.

Bu gün Ariane roketlerinde kullanılan yakıtlarda borlu yakıtlardır [2].

1.5.1.9. Sağlık

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) metodu kanser tedavisinde kullanılmaktadır.

Ayrıca kemik gelişimi, alerji gibi sağlık problemleri için bor mineralleri kullanılmaktadır [2].

1.5.1.10. Diğer kullanım alanları

- Kozmetik
- Kauçuk ve plastik sanayi
- Fotoğrafçılık
- Patlayıcı maddeler (havai fişek vb.)
- Antifrizler, hidrolik yağlar
- Boya
- Zımpara ve aşındırıcılar
- Kompozit malzemeler
- Spor malzemeleri
- Manyetik cihazlar
- İleri teknoloji araştırmaları (genetik, moleküler biyoloji vb.)
- Mumyalama

Ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır [2].

2. BOR VE AĞIR METALLERİN ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİSİ

Borun ileri teknoloji gerektiren endüstriyel alanlarda kullanımının gittikçe artması hammadde olarak kullanımını ve değerini daha da artırmaktadır. Bor bileşiklerinin kullanımı yaygınlaştıkça beraberinde çevre problemlerini de getirmektedir. Borlu atık sular genelde bor içeriğine ve atık suyun diğer özelliklerine göre çeşitlilik gösterir ve şu şekilde sınıflandırılabilir.

- Bor madenleri ve tesislerinden kaynaklanan yüksek bor derişimli sular
- Tesislerde ve arıtım tesislerinde biyolojik arıtıma giden sular
- Termal sular
- Nehir ve göllere karışan ve dolayısıyla sulama suyuna karışan düşük bor derişimli sular
- Nükleer güç üretim tesislerinde düşük bor derişimli ama radyoaktif izotop içeren sular [15]

Batı Anadolu'da yer alan zengin bor yatakları ve ilgili neojen havzalarının yanı sıra As, S, Li, Sr, Sb, Pb, Mn gibi elementlerde yaygın olarak değişik miktarlarda mevcuttur. Neojen havzalarındaki bu elementlerin ortak kaynağı, bu havzaların oluşumu sırasında etkili olan volkanik faaliyetler ile bunlarla ilişkili olan hidrotermal veya yüzeye yakın oldukları için yüzey ve yeraltı sularının etkisi altındadır [20]. Ağır metaller, endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla hayvan ve insanlar üzerinde etken olurlar [21].

Su kirlenmesinde önemli bir yer tutan ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında esas olarak madencilik endüstrisi yatmaktadır [7]. Tesis atığı içinde bulunan metaller ve diğer elementlerin büyük çoğunluğu canlılar için zehirleyici özellikte maddelerdir. Bunlar arasında Bor (B), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Krom (Cr), Kobalt (Co), Demir (Fe), Kurşun (Pb) ve Alüminyum (Al) gibi elementler sayılabilir. Bu maddeler, derişimlerinin sınır değerlerini aşması halinde öldürücü etki yapabilirler [22].

Bor içeren gerek kirlenmiş toprak gerekse yüzey suları ve yeraltı suları Pb, Cd, Ni, Cu vs. gibi ağır metallerle kompleksler meydana getirmeye meyillidir [28].

2.1. Borun Canlılara Etkisi

Yerkabuğu denizler yeraltı-yerüstü suları bor içermektedir. Bor yatakları çevresinde içme ve kullanma suları bor yoğunlukları yüksek yerde yaşamını sürdürenler bor ve bileşiklerine çevre yoluyla ve temelde yiyecek ve içeceklerle maruz kalmaktadır [1].

Pek çok araştırmalar borun bitki yaşamında toprakta hatta insan yaşamında belli sınırlarda olmak kaydıyla önemli olduğunu göstermektedir. Bor endüstri atıklarında bor derişimi limit değerleri aştığında suda yaşayan canlılara veya tarımsal sulamada kullanılması halinde bitkilere zarar vermektedir. Endüstride tarımsal alanlarda ve evlerde kullanılan sulardaki bor konsantrasyonu çevresel açıdan oldukça önemlidir [6, 27].

2.1.1. Borun Bitkilere Etkisi

Normal yetişmeleri ve optimal ürün verebilmeleri için bitkiler dünyasının esansiyel bir mikronitrüenti olan elementer bor öte yandan, toprak ve sudaki yoğunluğu yükselince herbisit etki gösterir. Yarar ve zarar aralığı dardır [29].

Borun bitki gelişmesinde 15 değişik etki yaptığı varsayılır.

- i. Bitkilerin çiçek açması
- ii. Meyve bağlaması olayında
- iii. Polen tozu çimlenmesinde
- iv. Hücre bölünmesinde
- v. Azot metabolizmasında
- vi. Karbonhidrat metabolizmasında
- vii. Kökler tarafından kalsiyumun alınmasında
- viii. Aktif tuz absorpsiyonunda
- ix. Hormon hareketinde
- x. Pektik cisimlerin metabolizmasında
- xi. Su metabolizmasında
- xii. Bitkilerin su işlerinde rol oynar
- xiii. Bor hücre zarlarının bir elementidir

xiv. Fazla katyonların çökmesinde tampon vazifesi görür

xv. Bitkilerin şeker iletiminde gerekli bir elementtir.

Bor bitkiler tarafından boraks iyonları halinde alınır [30].

Bitkilerin bor isteği azdır fakat hayatlarını devam ettirmek için devamlı bora ihtiyaç duyarlar. Çünkü en çok hücre duvarında kullanılır ve hareketsiz hale geçer.

Bitkiler için mikrobesein olan borun eksikliği bitki tip ve yaşına göre değişirse de ortak belirti tepe tomurcuk veya sürgününün ölmesidir. Ayrıca bor eksikliği bitkilerde bağlayıcı dokuları etkiler, ürün kalitesi ve verimini azaltır. Köklerin gelişmesi için kalsiyumun yanında bora da ihtiyaç vardır. Gerektiğinde gübreye eklenen borla toprak zenginleştirilmektedir.

Bor fazlalığı bitkilere toksik etki yapar. Yapraklarda sararma yanma meydana gelir, kenarlar kurur. Büyüme durur verim düşer. Bor derişimi arttıkça borun zehirlilik etkisi ortaya çıkar. Bor zehirliliği sorunu genellikle sulama suyundaki borla ilgilidir. Fakat bazen toprakta bulunan borda zehirli etki yapabilir. Bitkilerde bor zehirlenmesi bitki büyüme özellikleriyle toprak ve su analizleriyle belirlenebilir [4, 31].

Türkiye'deki zengin bor rezervlerinden geniş ölçülerde yararlanma çalışmalarının bir sonucu olarak yüzey sularında ve tarım topraklarında bor miktarı bitkiler için toksik seviyelere yükselmektedir. Türkiye'de özellikle Ege Bölgesinde yüzey suları ile sulanan tarım alanları bor ile önemli ölçüde kirlenmiş durumdadır [32].

Çizelge 2.1. Çeşitli Bitkilerin Sulama Suyundaki Bora Karşı Dayanıklılıkları [33]

| Dayanıklı Oldukları Maksimum Bor Konsantrasyonları | | |
|--|-------------|---------------|
| Sulama suyu | Sulama suyu | Sulama suyu |
| 1 ppm Bor | 2 ppm Bor | 4 ppm Bor |
| Ceviz | Ayçiçeği | Kuşkonmaz |
| Karaağaç | Patates | Palmiye |
| Erik | Pamuk | Hurma |
| Armut | Domates | Şeker pancarı |
| Elma | Bezelye | Yonca |
| Üzüm | Turp | Bakla |
| İncir | Zeytin | Fasulye |
| Kiraz | Arpa | Soğan |
| Şeftali | Buğday | Şalgam |
| Kayısı | Mısır | Lahana |
| Portakal | Yulaf | Marul |
| Limon | Biber | Havuç |

Çizelge 2.2. Sulama sularının bor derişimine göre sınıflandırılması [33]

| Bor (B) Derişimi (mg/L) | | | |
|-------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| Suyun sınıfı | Duyarlı bitkiler | Yarı duyarlı bitkiler | Dayanıklı bitkiler |
| I. Çok iyi | <0,33 | <0,67 | < 1,0 |
| II. İyi | 0,33-0,67 | 0,67-1,33 | 1,0-2,0 |
| III. Kullanılabilir | 0,67-1,0 | 1,33-2,0 | 2,0-3,0 |
| IV. Şüpheli | 1,0-1,25 | 2,0 -2,5 | 3,0-3,75 |
| V. Uygun değil | > 1,25 | >2,5 | >3,75 |

DSİ Genel Müdürlüğünce belirlenen "Kıta içi Su Kaynaklarının Kirlenmesinin Kontrolü Hakkındaki Teknik Şartname" de sulama amaçlı kullanılan sular için standart değerler Çizelge 2.3'te verilmiştir [33].

Çizelge 2.3. DSİ Teknik Şartnamesine Göre Sulama Suyu Standartlarında Bor Değerleri

| Bitki Türleri | Kritik Bor Derişimi (mg/L) |
|-----------------------|----------------------------|
| Duyarlı Bitkiler | 0,35-1,25 |
| Yarı Duyarlı Bitkiler | 0,7 - 2,5 |
| Dayanıklı Bitkiler | 1,0-3,75 |

2.1.2. Borun Hayvanlara Etkisi

Borun hayvanlara etkisini incelemek amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar borun hayvanlar üzerindeki etkisinin bor miktarı ve temas süresine bağlı olduğunu göstermiştir.

Borik asidin hayvanlar için öldürücü dozu hayvanın türüne bağlı olarak hayvanın her kg'ı için 1,2 - 3,45 g arasında değişmektedir. Hayvanın içtiği suda 2500 mg/L borik asit bulunması büyümeyi engellediği için zararlıdır. Küçük deniz balıklarının 20 °C'de 6 saat süreyle damıtık suda 18 g/l – 19 g/l veya sert suda 19-19,5 g/l bor iyonu ile teması öldürücü doz olarak tespit edilmiştir [34].

Laboratuvar hayvanlarına kısa ve uzun periyotlarda ağız yoluyla borik asit veya boraks verilmesi halinde zarar gören asıl organın testisler olduğu belirlenmiştir. Testisler dejenerasyona uğrar ve sonunda cinsel fonksiyonunu yitirirler. Yüksek dozlar gebelere uygulandığında yavruların gelişme düzenini bozar. Gelişme ile ilgili toksisite özellik fare, sıçan ve tavşanlarda gözlenmiştir.

Sıçanların içme suyuna katılan kg ağırlığa 0,84 mg miktardaki bor herhangi bir zarar yapmazken miktar artar, süreç uzarsa başta erkeklik organları olmak üzere çeşitli sistemlerin harabiyeti görülür [4].

Dünyada sucul ortamlardaki bor kirliliğinin kaynakları ikinci kullanım atık sular olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'de ise sucul ortamlardaki bor kirliliği direkt olarak bor üretimi yapılan işletmelerden atık ve yıkama suları yoluyla olmaktadır. Bor elementinin mikroorganizmalar üzerindeki olumsuz etkilerinin 0,515 - 0,667 ppm'den başladığı saptanmıştır. Sucul ortamlarda kabul edilebilir bor konsantrasyonu 0,75 - 1,0 mg/L arasındadır [36].

Hayvanlar üzerinde borun kanserojen etkisini saptamaya yönelik araştırmalar borik asit ve boraksın genotoksik olmadığını göstermiştir. Bor bileşikleriyle temasın kansere yol açmadığı

genleri değiştirmediği ve yüksek yoğunluklarda bile kromozom düzensizliğine sebep olmadiği saptanmıştır [4].

2.1.3. Borun İnsanlara Etkisi

İnsan vücuduna bor 3 farklı yolla alınabilir;

- a) İçme suyu ile
- b) Yiyecekler ile
- c) Soluma (havadaki tozmadan) ve deri yoluyla

Ancak solunum sistemi ve deri yoluyla vücuda giren bor miktarı az miktarlarda olup esas maruziyet içme suyu ve yiyeceklerden kaynaklanmaktadır. Ağız borun vücuda girdiği asıl yoldur. Ancak bor hangi yolla vücuda girerse girsin vücuda giren borun %85-90 kadarı ilk 24 saatte hiç değişmeden idrar yoluyla vücuttan atılır. Bor yumuşak dokularda birikmemekte, sadece az miktarda kemik dokusunda birikmektedir [4].

Yapılan çalışmalarda bitkilerden, sudan ve diğer yiyeceklerden 1-3 mg düzeylerinde borun insanlar tarafından beslenmesinde kullanıldığı ortaya çıkarmıştır. Henüz insan sağlığı için borun gerekli olduğu konusunda kesin kanıtlar olmasa da bilim çevrelerinde ve Dünya Sağlık Örgütünde insan sağlığının devamı için borun gerekli olduğu konusunda genel bir inanış bulunmaktadır.

İnsanların günlük olarak aşağıda belirtilen miktarlarda bor tüketmeleri de tıbbi çevreler tarafından tavsiye edilmektedir.

Çocuklar için 1,5 mg

Erkekler için 2,0 mg

Kadınlar için 2,0 mg

Hamile bayanlar 2,5 mg

Borun kalsiyum ve D vitamini olmak zer vücut minerallerinin düzenlenmesinde rol oynadığı, kalsiyum ve magnezyum azalmasını önleyerek kemik yapısını koruduğu belirlenmiştir. Ayrıca ocukların öğrenme yetenek ve okul becerilerinin artmasına katkıda bulunduğu bilinmektedir [34, 37].

Halkın kullandığı su kaynaklarındaki yüksek bor konsantrasyonunun varlığı bazı ülkelerin belli bölgelerinde yerel bir sorun olarak rapor edilmiştir.

Yüksek dozda bor alımının testis ve üreme işlevlerinde kronik ve akut bozukluklar üzerinde bir etkiye sahip olabileceği gözlenmiştir. Diğer taraftan düşük dozda bor yaralarının iyileşmesinde ve beyin fonksiyonlarında olumlu bir etkiye sahiptir. Ayrıca borun genotoksik ve kanserojen olmadığı bulunmuştur [35]. İçme sularında borun kullanılması genellikle canlılar için zararlı görülmektedir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde doğrudan içme suyu olarak kullanılacak I.su kalite sınıfına giren suda bor için izin verilen sınır değer 1 mg/l'dir. İçilebilir sularda (TSE 266 1984) bor için bir sınırlama getirilmemiştir [6].

2.2. Tayini Yapılan Ağır Metallerin Özellikleri ve Toksik Etkileri

2.2.1. Bakır (Cu)

Bakır doğal olarak bitki ve hayvanlarda bulunan, insanlar ve diğer bütün canlılar için esansiyel bir elementtir. Tarımsal yüzey akışlarından çözülebilir bakır bileşikleri son derece zararlı olabilir. Bakırın kanserojen olmadığı bildirilmektedir. Yüksek düzeylerde bakır içeren su, kusma, ishal, mide bulantısı ve kramplara sebep olmaktadır [23].

Yüksek dozda bakırın zehirlenmelere sebep olduğu yüzyıllardan beri bilinmektedir. Bununla beraber çok az dozların uzun süre alındığında ciddi etkilere sebep olduğu bildirilmiştir. Sürekli ihtiyaçtan fazla alınan bakır karaciğer ve diğer dokularda birikmeye başlar ve karaciğerdeki miktarı arttıkça fizyolojik düzensizlikler ortaya çıkar [24].

2.2.2. Çinko (Zn)

Çinko, yüzyıldan fazla zamandır bilinmesine rağmen bitki, hayvan ve insanlar için temel element olduğu son 50-60 yılda aydınlatılabilmektedir. Çinko element halinde zehirli değildir. Başlıca toksitesisi çözünebilir tuzlarında kirlilik halinde içerdiği arsenik, kurşun ve kadmiyum gibi metallerden kaynaklanır [24].

İştah ve bağışıklık sistem aktivitesinin azalması, yaraların geç iyileşmesi ve derideki aşırı hassasiyetler, kolesterolün yükselmesi, insanlardaki aşırı çinko alımında gözlenen genel problemlerdir [23].

2.2.3. Mangan (Mn)

Kayaların çoğunda doğal olarak bulunur. Saf manganiz kırmızı-gri renkli olup doğal olarak bulunmaz ancak oksijen sülfür ve klor gibi diğer maddelerle bileşik halinde bulunur. Yaşam için gerekli olup hububat, tahıl ve çay gibi pek çok gıdalarda bulunan esansiyel bir iz elementtir. Suya ve toprağa karışımı doğal kaynaklardan atıkların deşarjıyla ve atmosferik taşınımına olur. Nehir, göl ve yeraltı sularında doğal olarak bulunur ve sudaki bitkiler tarafından

bir miktar alınarak birikebilir. Su hava ve gıda yoluyla düşük miktarlarına herkes maruz kalabileceği gibi, madenlerde çalışanlara çok yüksek düzeylerde etkilenebilir. Manganın insanlarda kanserojen olmadığı bildirilmiştir [23].

2.2.4. Nikel (Ni)

Esas olarak çevrede oksijen ve sülfürle bileşik oluşturan bir element olup volkanlardan kaynaklanır ve bütün topraklarda bolca bulunur. Havada çok düşük miktarda bulunabilir, balık bitki ve hayvanlarda pek bulunmaz. İnsan ve hayvanlar için esansiyeldir. Bazı nikel bileşikleri kanserojen olarak kabul edilebilir [23].

2.2.5. Krom (Cr)

Krom, kayalar, hayvan, bitki, toprak, volkanik toz ve gazlarda doğal olarak bulunan bir element olup çevrede birkaç formu olabilir. Bunlardan en yaygını Cr^0 , Cr^{+3} , Cr^{+6} dir. Kromun farklı tipleri organizmalarda farklı toksik etkilere sahiptir. Dünya sağlık örgütü, nefes yoluyla alınan yüksek dozlarda kromun akciğer kanseri riskini artırdığını su ve gıdayla alımların ise mide ülserine böbrek ve karaciğer hastalıklarına hatta ölümlere sebep olduğunu bildirmektedir. Bazı Cr^{+6} bileşikleri kanserojendir. Akciğer kanserine neden olduğu bilinmektedir [23].

2.2.6. Kobalt (Co)

Havada parçacık halinde bulunup, birkaç günde su veya toprağa düşerek, parçacıklara bağlanır. Bazı kobalt bileşikleri suda çözülebilir, çevrede yok olmaz ancak form değiştirir. Çevredeki radyoaktif kobalt miktarının artmasının tek sebebi radyoaktif bozulmadır. Gıda ve su yoluyla yüksek düzeyde radyoaktif olmayan kobalt alımının insan ve hayvanlarda kanserojen olmadığı bildirilmektedir. Yüksek düzeyde kobalt radyasyonu hücrelerdeki genetik materyalleri değiştirerek bazı kanser tiplerinin gelişmesine sebep olabilir [23].

2.2.7. Kurşun (Pb)

Yerkabuğunda yaygın bir element olan kurşun, toprakta 12,5 ppm'lik bir konsantrasyona sahiptir. Çevredeki ana kaynakları, maden ve metal endüstrileri, otomobil aküleri, tıbbi ekipmanlar, kurşunlu boyalar, seramik endüstrisi, kaplama bilimsel ve optik aletler, cephaneler, katı atık yapımı ve kurşunlu benzin kullanımındır [23].

Önemli çevre kirleticilerinden biri olan kurşun bir yandan ekolojik dengeleri bozarken, diğer yandan da besin zincirine girerek son tüketici olan insanlarda halk sağlığı problemi doğurur. Doğada yaygın olarak bulunan endüstride ve günlük yaşamda fazlaca tüketilen kurşun insan ve hayvanlarda zehirlenme kaynağı oluşturan metallerin başında yer alır [24].

Balık ve kabuklularda öncelikle solungaç, karaciğer böbrek ve kemikte biriken kurşun, organizmalarda son derece uzun bir yarılanma ömrüne sahiptir. Larvaları tamamen öldürmese de önemli hasar verebilir. Önce iskelete girer ve vücudu terk etmesi 20 yıl alır.

Yüksek düzeyde kurşun zehirlenmesinden gastrointestinal sistem ve sinirlerde hasarlar bildirilmiştir. Düşük düzeylerde bile beyin büyüme ve gelişimini engellemektedir.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından kanserojen olabileceği bildirilmektedir [23].

2.2.8. Demir (Fe)

Son derece yaygın bir metal olup, toprak ve kayalarda bol miktarda bulunur. Bitkiler, hayvanlar ve insanlar için ihtiyaç duyulan bir elementtir. Normal olarak çözünemeyen formda olmasına rağmen doğal olarak gerçekleşen pek çok reaksiyonla, demirin çözülebilir formları oluşabilir ve bunlar girdikleri suyu kirletirler. Bu yüzden aşırı demir yeraltı sularında genel bir problemdir. Esansiyel bir element olan demirin sulardaki yüksek konsantrasyonları sağlığı tehdit eder [23].

2.2.9. Alüminyum (Al)

Doğada çok miktarda bulunan canlılara çeşitli yollardan genel olarak da gıda, su ve hava ile geçer. Günlük yaşamda fazlaca kullanılması nedeni ile başta insanlar olmak üzere toksik etkilerine sıkça rastlanır [25].

Alüminyumun organizmaya giriş yollarından en önemlisi sudur. Alüminyumun insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi ile ilgili araştırmalar başlamıştır. Bu araştırmalar sonunda alüminyumun Alzheimer hastalığı ve kemik yumuşaması gibi hastalıklara neden olduğu saptanmıştır [26].

Canlılar için yaşamsal bir değere sahip olan su içerisinde mevcut olan her türlü madde belirli bir konsantrasyonu aştığı zaman sağlık için zararlıdır [7].

Metallerin büyük bir bölümü canlılarda birikim yapar. Birikim sonucu canlıların bünyesinde yoğunlaşan bu elementler etkili dozlara ulaştıklarında ciddi hastalıklara hatta ölümlere sebep olabilirler. Bazı ağır metaller canlı organizmalar için esansiyel oldukları halde yüksek konsantrasyonda toksiktirler. Bunlar Cu, Cr⁺³, Fe, Mn, Zn, Ni'dir. Bununla birlikte Cr⁺⁶ ve Pb gibi ağır metaller canlılar için esansiyel olmayıp eser miktarları bile toksik etki gösterebilir [23].

3. ATOMİK EMİSYON SPEKTROSKOPİSİ

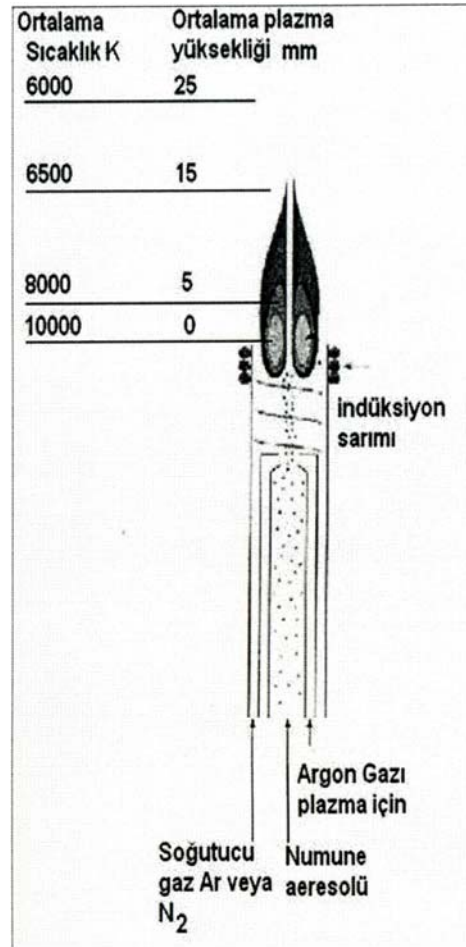
Uyarılmış enerji düzeyine çıkarılan atomların ve tek atomlu iyonların daha düşük enerjili düzeylere geçişlerinde yaydıkları ultraviyole ve görünür bölge ışımalarının ölçülmesi yaygın olarak kullanılan bir spektroskopi yönteminin temelini oluşturur. Eğer atom veya iyonların uyarılmış enerji düzeylerine çıkmaları bunların ultraviyole veya görünür bölge ışımalarını absorblamaları dışında bir süreçle gerçekleşmişse yayılan ışımaların ölçülmesi yöntemine atomik emisyon spektrometresi (AES) adı verilir.

Atomik emisyon spektroskopisi uyarmayı sağlayan enerji kaynağının türüne göre sınıflandırılır. Analiz örneğini atomlaştırmak ve uyararak için alevin kullanıldığı yöntem alev emisyon spektroskopisi adını alır. Atomlaşmanın ve uyarmanın elektriksel boşalım veya plazma gibi bir enerji kaynağı ile gerçekleştirildiği yöntem ise sadece atomik emisyon spektroskopisi veya optik emisyon spektroskopisi olarak adlandırılır.

Atomik emisyon spektroskopisi ilk geliştiğinde alev elektrik arkı ve kıvılcımı atomlaştırmaya ve uyarmasına dayanmaktaydı. Günümüzde de hala bu yöntemler metalik elementlerin analizinde önemli uygulamalara sahiptir. Bununla beraber günümüzde atomik emisyon spektroskopisinde plazma kaynakları en önemli ve en yaygın kullanılan kaynaklardır.

ICP kaynağı iyonlaşmış bir argon gazı akışı ile genellikle 27 veya 40 MHz'lik güçlü bir radyofrekans alanının eşleştirilmesi ile elde edilir. Örnek genellikle sıvı fazda aerosol şeklinde yüksek sıcaklıktaki plazmaya gönderilir. ICP-OES cihazında aerosol tanecikleri plazmada sırasıyla kurur, parçalanır, atomlaşır, iyonlaşır ve oluşan atom ve iyonlar uyarılır. Analit elementin atomik ve iyonik çizgileri bir spektrometre ve uygun bir bilgisayarla değerlendirilerek analizlenir.

ICP Kaynağı : İç içe yerleştirilmiş üç kuartz tüpten (torch) en içteki bir sisleştirme odacığı ve nebulizöre bağlıdır. Diğer iki tüpe ise argon gazı gönderilir. İçinden su geçen bakır boru şeklindeki indüksiyon bobini ile kuartz tüpün üst tarafı sarılmıştır. En dış boruya boru çeperine teğet şekilde 15 L/dak. hızla gönderilen argon gazı plazmanın korunmasını sağlar, soğutucu görevi görür ve böylece plazmanın kuartz tüpü eritmesini önler. En içteki borudan 1 L/dak. hızla argon ise örneğin plazmaya taşınmasını sağlar.



Şekil 3.1. İndüklenmiş Eşleşmiş Plazma

Plazmayı başlatmak için tesla bobini ile argonda ilk iyonlaşma yapılır, oluşan iyon ve elektronlar indüksiyon bobini tarafından oluşturulan manyetik alan salınım ile etkileşir. Bu etkileşim sonucunda iyonlar ve elektronlar aynı yöne doğru akmaya başlar. Ortamın bu akmaya karşı gösterdiği direnç ile ortamın sıcaklığı 10.000 Kelvine kadar yükselir.

Spektrometre : İki tür spektrometre kullanılır. Sequential ve simultane spektrometreler. Her ikisinde de ICP kaynağından yayımlanan ışınlar bir ışık kaynağından geçirilerek optik ağı monokromatöre düşürülür ve burada ışınlar kırılarak dalga boylarına ayrılır. Sequential aletler her element için optimize edilebildiğinden daha duyarlı ölçümler yapılabilir. Ancak elementler sırayla ölçüldüğü için daha yavaştır ve bu nedenle argon gazı tüketimi fazladır. Simultane aletlerin kuruluş maliyeti daha fazla olmakla beraber çok sayıda elementi aynı anda okuduğu için argon tüketimi ve dolayısıyla işletme maliyeti daha düşüktür. Ancak çok sayıda elementin ölçümü için optimizasyon yapıldığından duyarlılık daha düşüktür.

Plazma : ICP emisyon spektrometresinde bir elementin belirtme başarısını başlıca üç etmen belirler. Bunlar radyofrekans (RF) gücü, taşıyıcı gaz hızı, plazma gözlem bölgesidir.

Gözlem Bölgesi : En iyi ölçümler indüksiyon bobininin 14-20 mm üstündeki bölgede alınır. Örneğin 0-7 mm'lik plazma yüksekliğinde plazma sıcaklığı daha yüksek, argonun sürekli zemin yayımı şiddetli olduğundan ve analitin bu bölgede gazlaşıp, uyarılacak kadar uzun süre kalmaması nedenleriyle analitin yayımını izlemeye pek uygun değildir.

Radyofrekans Enerjisi : RF enerjisi arttığında plazma sıcaklığı ve buna bağlı zemin yayımı, ayrıca plazma hacmi ve parlaklığı da artar. Çoğu elementin yayım şiddeti sıcaklıkla artar, ancak optimum RF enerjisi daha çok zemin yayım şiddetini minimum yapacak şekilde seçilir. Sulu çözeltilerde genellikle 1,5 Kw'lık RF gücü kullanılır.

Nebülizör Argon Gazı: Ortadaki argon taşıyıcı gazı örnek çözeltilisine püskürtme odağına püskürtüp, küçük aerosol taneciklerini plazmaya taşımaya yarar. Uygun argon hızında örnek sisi plazmaya girer ve orta ekseninde ince kanal boyunca ilerler. Bu gazın hızı çok arttırıldığında ölçüm duyarlılığı azalır. Gazın hızı çok düşürüldüğünde ise aerosol damlacıklarının hızı plazmaya girecek kadar yüksek olmadığı için tanecikler plazmanın dış bölgesinden geçerler. Taşıyıcı gaz hızı 1 L/dak. düzeyindedir.

Performans Değerleri : Bir ICP cihazının performans belirtme sınırı, saptama sınırı, kısa ve uzun dönem tekrarlanabilirliği analitik çalışma derişim aralığı, kullanılabilirdiği dalga boyu aralığı ayırma gücü ve analiz hızı gibi parametrelerce belirlenir.

Çok element içeren standart çözeltileri hazırlarken bazı noktaları göz önüne almak gerekir. Standartlardaki element derişimini seçerken spektral girişimin olmaması, çözelti koşullarının uygunluğu, analizde gerekli parametreler ve cihazın bilgisayara uygunluğu önemlidir [42].

3.1. Perkin Elmer Optima 4300 DV ICP-OES

ICP, düşük derişimdeki elementlerin ölçüldüğü bir analitik tekniktir. Örnek, 6.000-10.000 °K sıcaklığındaki argon plazmaya gönderilir. Plazma içinde moleküler bağlar kırılır, atom ve iyonlar oluşur. Bu oluşan atom ve iyonlar plazma içinde uyarıldıktan hemen sonra karakteristik dalga boylarında ışınım yaparak tekrar eski seviyelerine dönerler. Emisyon sinyalleri Echelle polikromatör ve S-CCD dizilim dedektör sistemiyle ölçülmektedir. Bu sistemler için geniş bir ölçüm aralığında (ppb-%) çalışabilirler.



Şekil 3.2. ICP Optima 5X000 Cihazı

Teknik Özellikler :

Plazma Başlığı : Plazma ve yardımcı gaz akışı için tek parça kuartz tüp, 2 mm alüminyum enjektör, HF ve kral suyu dahil bütün asitler için korozyona dayanıklı.

Püskürtme Odağı : Scott tip, Ryton'dan yapılmış, HF ve organik çözücüler dahil asitlere dayanıklı.

Sisleştirici : Çapraz akışlı sisleştirici. Sistem diğer sisleştiricilerle kullanıma uygundur.

Polikromatör : Perkin Emler tasarımı yüksek enerjili (f/6.7) eşel bazlı polikromatör.

Dedektör : Perkin elmer patentli S-CCD

Uygulamalar : İçme suları, atık sular, çevre çalışmalarıyla ilgili diğer örnekler, petrokimya, gıda, hidrojeoloji ve diğerleri [43].

ICP-emisyon spektroskopisi birçok üstünlüğü olan bir yöntemdir. Elde edilebilen yüksek sıcaklık nedeniyle, çok kararlı bileşikler bile plazma sıcaklığında atomlarına ayrışırlar. Ayrıca alevin kullanıldığı absorpsiyon ve emisyon spektroskopisi yöntemlerinde, oksijenin yüksek kısmi basıncı nedeniyle toprak alkali elementleri ve bor, silisyum gibi bozunmayan oksit ve hidroksit radikaller oluşturan elementlerin analizinde duyarlık düşüktür. Fakat argon gazı ile oluşturulan plazmada bu elementlerin atomlaştırılmasında böyle bir sorun yoktur.

ICP-emisyon spektroskopisi yöntemi diğer bir üstünlüğü plazmadaki yüksek elektron yoğunluğudur. Plazmadaki yüksek elektron yoğunluğu analit atomlarının iyonlaşmasını büyük

ölçüde engeller. Ayrıca ark, kıvılcım ve alevli kaynakların aksine plazmada sıcaklığın atomlaşma bölgesinin her yerinde aynıdır.

Atomik absorpsiyon yönteminde spektrofotometrenin optimum koşullara ayarlanmasından sonra örnekte bulunan tek bir elementin analizi yapılabilir. Atomik emisyon yöntemi ile ise aynı anda, analizi mümkün olan tüm elementlerin birbirinin yanında nitel ve nicel tayinleri yapılabilir. Çok kanallı ve ardışık (sequential) spektrofotometrelerle çok sayıda elementin 70'e yakın elementin aynı zamanda tayini yapılabilmektedir. Bu cihazlar 70 kadar elementin emisyon çizgi şiddetlerini aynı anda ölçecek şekilde tasarlanmıştır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer)

Atomik emisyon spektroskopisinde elektrik boşalımına dayanan atomlaştırma ve uyarma kaynaklarını, son yıllarda yerini plazmaya bırakmıştır. En çok kullanılan plazma türü ICP'dir. Plazma çok yüksek enerjili iyonlar ve bu iyonların elektronlarından oluşan bir gaz bulutudur.

ICP-OES Tasarımı

Numune girişi ve plazma

RF kaynağı

Optikler

Sequential (ardışık) taramalı ICP-OES

10 elementten az rutin analizler için

Simultane (eş zamanlı) CCD ICP-OES

10 element/numune daha fazla analizler için

Axial ve Radial

Axial sistemlerde düşük konsantrasyonlarda (ppb) ölçüm yapılır.

Radial sistemlerde ise yüksek konsantrasyonlarda (ppm) ölçüm yapılır.

ICP-OES OPTİMA sistemleri hem radial hem axial, çift görüşlü olma özelliğine sahiptir.

ICP Prensibi

RF kaynağından çalışma bobinine elektrik akımı verilir. Ortama da argon gazı gönderilir. Bir kıvılcım ile plazma oluşumu başlatılır. Oluşan elektronlar manyetik alan içerisinde ivme kazanırlar ve iyonizasyon enerjisine erişirler. İyonizasyon enerjisi atomların elektron çarpışma ile nötr argon atomlarını ısıtır ve sıcaklık 10.000 Kelvine ulaşır. Bu sıcaklıkta da numunedeki tüm atomlar iyonlaşır ve kararlı oldukları bir alt enerji seviyesine inerken her iyon kendi dalga boyunda enerji yayar. ICP bu ışığın şiddetini ölçer.

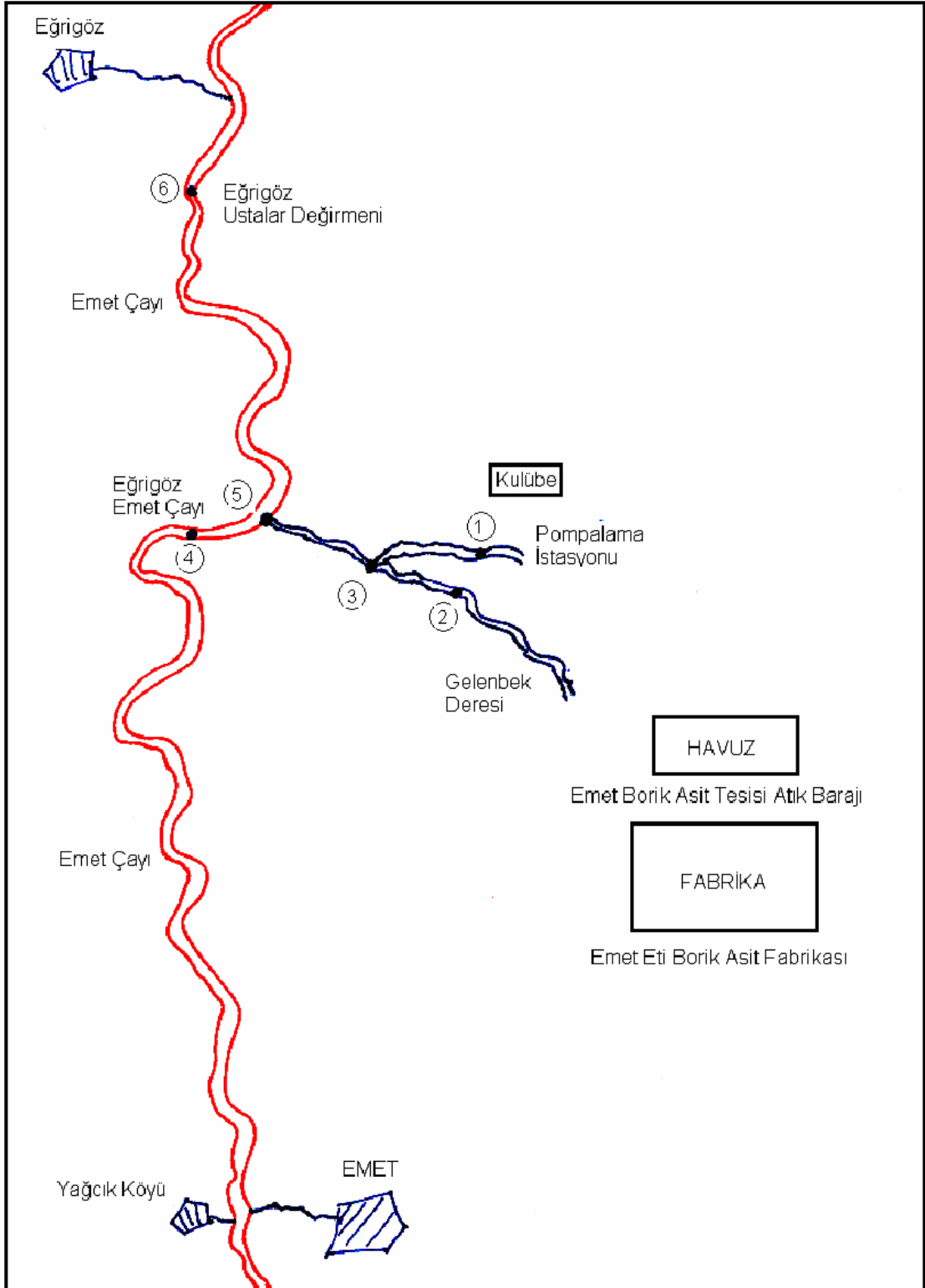
Bu çalışmada Perkin Elmer Optima 4300 model ICP-OES spektrometresi kullanılmıştır.

4.2. Numune Alma

Eğrigöz mevkisi-Gelenbek deresi, Emet Çayı ve Emet içme suyu kaynaklarını gösteren kroki esas alınarak, Yeşilçay'dan Hisarcık ve Emet istikametine doğru akan Kocaçay deresinden su numuneleri alınmıştır.

Çizelge 4.1. Su numunelerinin alındığı yerler

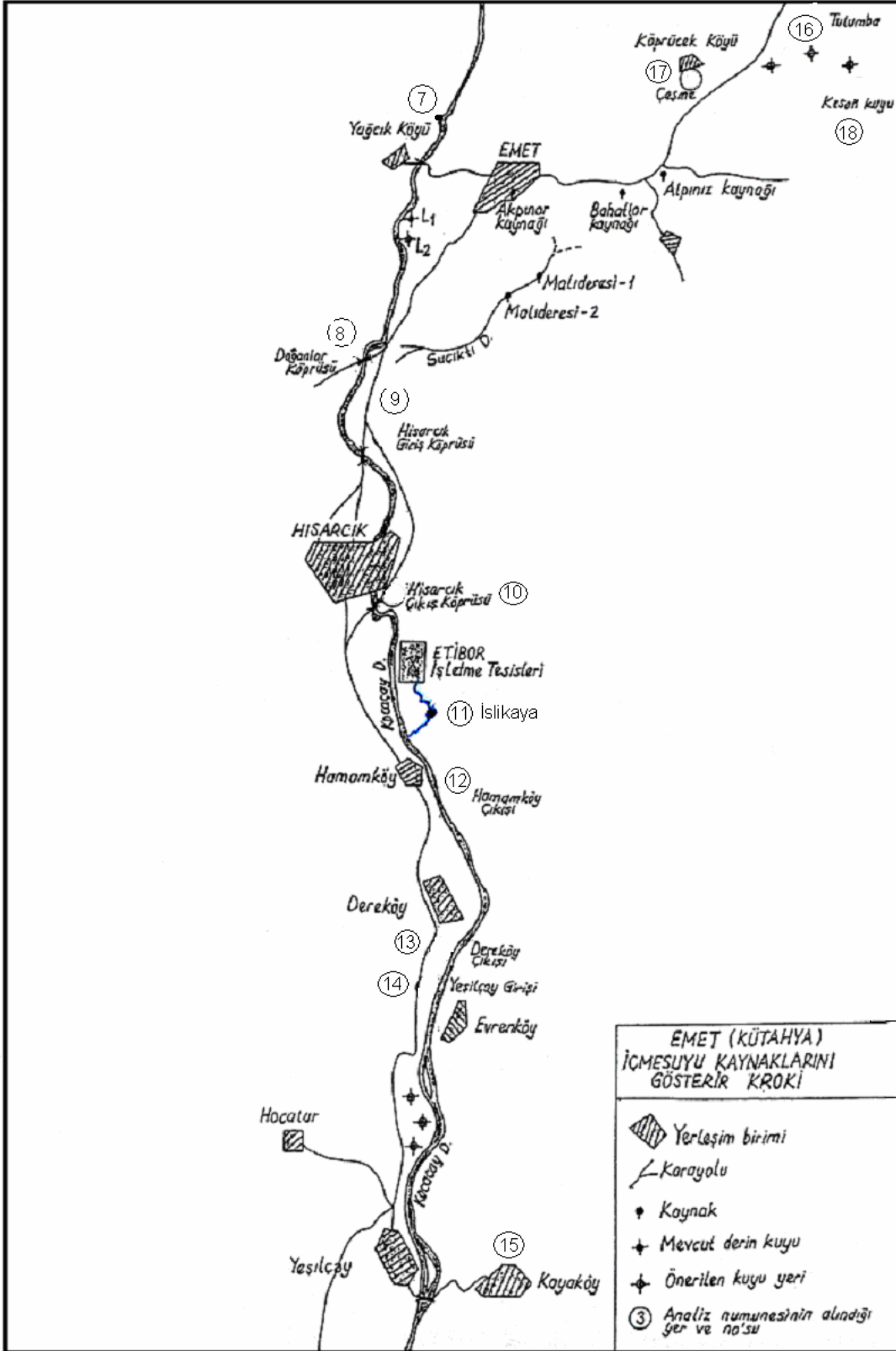
| Numune Numarası | Numune Alma Yeri ve Adı |
|-----------------|---|
| 1 | Pompalama istasyonu |
| 2 | Gelenbek Deresi |
| 3 | 1 ve 2 nolu numunenin birleştiği nokta |
| 4 | Eğrigöz-Emet Çayı |
| 5 | 3 nolu numune ile Emet Çayının birleştiği nokta |
| 6 | Eğrigöz-Ustalar Değirmeni-Emet Çayı |
| 7 | Yağcık Köprüsü – Emet Çayı |
| 8 | Doğanlar Köprüsü – Kocaçay |
| 9 | Hisarcık giriş köprüsü – Kocaçay |
| 10 | Hisarcık çıkış köprüsü – Kocaçay |
| 11 | Hisarcık – İslıkaya – Bor madeninden gelen su |
| 12 | Hamamköy çıkışı – Kocaçay |
| 13 | Dereköy çıkışı – Kocaçay |
| 14 | Yeşilçay girişi – Kocaçay |
| 15 | Kayaköy – şebeke suyu |
| 16 | Köprücek Tulumba – Köprücek 1 |
| 17 | Köprücek Çeşme – Köprücek 2 |
| 18 | Köprücek köyü Keson Kuyu – Köprücek 3 |



Şekil 4.1. Eğrigöz Su Numunelerinin Alındığı Yerler



Şekil 4.2. Eğrigöz Su Numunelerinin Alındığı Yer Haritası [41]



Şekil 4.3. Emet İçme Suyu Kaynaklarını Gösterir Kroki [40]

4.3. Numunelerin Analizi

4.3.1. Analiz Numunesinin Hazırlanması

50 ml su numunesi siyah bant süzgeç kağıdıyla süzülür. 0,5 M HNO₃ çözeltisi ile pH=4 ayarlanır.

4.3.2. Standart Çözeltilerinin Hazırlanması

Referans standart olarak, taze su (NIST-1643e Simulated fresh water) kullanılmıştır.

50, 100, 300, 500, 1000 ppb'lik Al, B, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerini içeren standart çözeltiler hazırlanır ve bu standartlarla cihazda kalibrasyon doğrusu oluşturuldu. Kalibrasyon doğrusu kullanılarak referans standardın analizi yapıldı.

Çizelge 4.2. Elementler ve Elementlerin Analizi İçin Tavsiye Edilen Dalga Boyu

| Element | Dalga Boyu nm |
|---------|------------------|
| Al | 309,3 |
| B | 249,7 |
| Cr | 357,9 |
| Co | 240,7 |
| Cu | 324,8 |
| Fe | 248,3 |
| Mn | 279,5 |
| Ni | 232,0 |
| Pb | 283,3 |
| Zn | 213,9 |

Her analizde uygun değerler elde edildikten sonra numunelerin analizi yapılmıştır. Referans standardın sertifika değerleri ve ICP-OES spektrometresinde okunan değerleri çizelge 4.3.te belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. Taze Su Referans Standardı; içermesi gereken elementler sertifika değerleri ve ICP-OES’de okunan değerleri

| Element | Sertifika Değerleri | ICP-OES’de okunan değerleri |
|---------|---------------------|-----------------------------|
| Al | 141,8 µg/L | 147 µg/L |
| B | 157,9 µg/L | 156,9 µg/L |
| Cr | 20,40 µg/L | 24,51 µg/L |
| Co | 27,06 µg/L | 22,03 µg/L |
| Cu | 22,76 µg/L | 25,52 µg/L |
| Fe | 98,1 µg/L | 105,0 µg/L |
| Mn | 38,97 µg/L | 33,46 µg/L |
| Ni | 62,41 µg/L | 57,59 µg/L |
| Pb | 19,63 µg/L | 16,74 µg/L |
| Zn | 78,5 µg/L | 70,29 µg/L |

4.3.3. Su Numunelerindeki Elementlerin Miktar Tayini

Hazırlanan analiz numunesinden 15 ml deney tüpüne konur ve ICP-OES Spektrometresiyle elementlerin miktarı tayin edilmiştir.

Çizelge 4.4. TSE, WHO, ve EPA için Toksik Maddelerin Sınır Değerleri (mg/L) [38, 39]

| Element | TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ TSE 266* | DÜNYA SAĞLIK TEŞKİLATI WHO | ABD ÇEVRE KORUMA AJANSI EPA |
|---------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Al | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| B | 0,300 | 0,300 | 0,300 |
| Cr | 0,050 | 0,050 | 0,050 |
| Co | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| Cu | 3,00 | - | 1,00 |
| Fe | 0,300 | 0,100 | 0,300 |
| Mn | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Ni | 0,020 | 0,020 | 0,020 |
| Pb | 0,050 | 0,050 | 0,050 |
| Zn | 5,00 | - | 5,00 |

* Türk Standardına göre (TSE 266/Nisan, 1997, Sular-İçme ve Kullanma Suları) müsaade edilebilecek maksimum değer Bor için 2,0 mg/l olarak verilmektedir.

Doğal Kaynak, Maden ve İçme Suları ile Tıbbi Suların İstihsalı Ambalajlanması ve Satışı Hakkındaki Yönetmeliğe göre (18 Ekim 1997 gün ve 23144 Sayılı Resmi Gazete) Bor için sınır değeri Doğal Kaynak Sularında 1,0 mg/l, içme sularında 0,3 mg/l olarak verilmektedir.

Çizelge 4.5. Su Numunelerinin Analiz Sonuçları (pbb)

| Numune Numarası | B | Al | Cr | Co | Cu | Fe | Mn | Ni | Pb | Zn |
|-----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1324000 | - | 1,904 | - | - | 24,39 | 456,0 | 47,20 | 12,70 | 3,567 |
| 2 | 933900 | 0,279 | - | - | - | 14 | 5,961 | - | - | 1,325 |
| 3 | 632800 | 0,325 | - | - | - | 27 | 297,2 | 27,63 | - | - |
| 4 | 3894 | 61,02 | - | - | 0,363 | 8 | 0,535 | 4,393 | - | 3,865 |
| 5 | 473200 | - | - | - | - | 14 | 83,94 | 8,952 | - | - |
| 6 | 35660 | 97,90 | - | - | - | 8 | 0,665 | 4,471 | - | - |
| 7 | 2663 | 143,0 | 4,668 | 0,044 | - | 10 | 0,888 | 4,269 | - | 60,89 |
| 8 | 6072 | 9,565 | - | - | 1,363 | 4,185 | 0,518 | 7,765 | - | 12,36 |
| 9 | 4570 | 102,4 | - | - | - | 6 | 0,830 | 4,352 | - | 3,122 |
| 10 | 16070 | - | - | - | - | 7 | 1,000 | 5,118 | - | 3,296 |
| 11 | 109400 | 0,467 | - | - | - | 6,011 | 0,902 | 7,250 | - | 10,84 |
| 12 | 1838 | 13,65 | - | - | - | 6,094 | 0,381 | 8,471 | - | 11,85 |
| 13 | 3851 | - | - | 0,020 | - | 3,103 | 0,387 | 7,765 | - | 9,899 |
| 14 | 2278 | 12,90 | - | - | - | 4,531 | 0,391 | 8,057 | - | 13,24 |
| 15 | 1505 | 1,818 | - | - | - | 3,940 | 0,258 | 8,513 | - | 12,17 |
| 16 | 467,6 | 35,20 | - | - | - | 6 | 0,494 | 1,687 | - | 48,38 |
| 17 | 3429 | 0,120 | - | - | 4,854 | 3 | 0,863 | 2,126 | - | 41,26 |
| 18 | 1556 | 0,735 | - | - | - | 4 | 0,547 | - | - | 177,4 |

SONUÇ VE ÖNERİLER

Emet – Hisarcık bor madeni havzasındaki sulara insan ve çevre sağlığı açısından risk oluşturacak ağır metal (Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Al) konsantrasyonları saptanmamıştır.

Emet Borik Asit Barajı yakınındaki Gelenbek Deresi ve pompalama istasyonunun bulunduğu yerden alınan su numunelerinde kabul edilebilir değerlerin çok üzerinde bor konsantrasyonu tespit edilmiştir ve buradaki yeraltı suları Gelenbek Deresi üzerinden Emet Çayına karışmaktadır.

Ayrıca Hisarcık – İslıkaya mevkinde bor madeninden gelen su, Kocaçay Deresine karışmaktadır. İslıkaya'dan alınan su örneğinde bor derişimi oldukça yüksek bulunmuştur.

Kocaçay Deresi, Emet Çayı (Kocaçay Deresi) ve Gelenbek Deresinden numune alınarak incelenen sulara çevre ve insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde bor kirliliği tespit edilmiştir. Hatta Emet'e içme suyu olarak getirilen Köprücek köyünden alınan su numunelerindeki bor konsantrasyonu sınır değerlerin üzerindedir. İnsan sağlığının ve ekolojik dengenin korunması için sulardaki elementlerin belli sınırlarda tutulması ve analizi de oldukça önem kazanmaktadır.

ÖNERİLER

Su kalitesinin duyarlı olarak bilinmesi ve denetlenmesi için As, B, Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, ve U gibi elementlerin analizi yapılmalı ve sağlık taraması bu elementlerin analizi ile korele edilerek verilerin bilimsel metotlarla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bor üretimi yapan işletmelerin yanına atık barajı inşa etmektense bor endüstri atıklarının da değerlendirilebileceği kompleks tesisler kurulmalıdır.

Türkiye'nin bor haritası oluşturulmalı ve bor madeni sahalarındaki yüzey ve yer altı sularının bor cevheri ile teması engellenemiyorsa halk sağlığı ciddi olarak tehdit altında bulunan yerleşim birimleri başka merkezlere taşınmalıdır. Çünkü, dünyanın en stratejik madeni olan borun endüstriye katkıları önemlidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Şaylı, B.S., 2000, “İnsan Sağlığı ve Bor Mineralleri <http://www.bigadic.gov.tr>”
- [2] DPT, Dokuzuncu Kalkınma Planı, (2007-2013) Kimya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu, Bor Çalışma Grubu, Ocak 2006, Ankara.
- [3] Çalık, A., “Türkiye’nin Bor Madenleri ve Özellikleri”, II. Uluslararası Bor Sempozyumu Eylül 2004, Eskişehir.
- [4] Mergan A., Cüce, S., Türköz, Kocabaş, M., Yılmaz, O., “Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Tarafından Borun İnsan Sağlığı Üzerine Etkilerine Yönelik Yaptırılan Çalışmalar “III.Uluslararası Bor Sempozyumu, Kasım 2006, Ankara.
- [5] Özmal, F., Erdoğan, Y., Olgun, A., Atar, N., Kula, İ., Erdoğan, M.S., Kalfa, O.M., Bor Endüstrisi Atıkları, Uçucu Kül ve Alünit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi”, I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 28-29 Nisan 2005, Ankara, ss.97-104.
- [6] Bektaş, T.E., Öztürk, N., “Bor ve Bor Bileşiklerinin Çevresel Etkileri ve Sulardan Giderim Yöntemleri”, I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı 28-29 Nisan 2005, Ankara, ss.375-382.
- [7] Aydın, M.E., Yıldız, S., “Konya Ana Tahliye Kanalında Ağır Metal Kirliliğinin ICP-AES Tekniği ile İncelenmesi”, <http://www.public.cumhuriyet.edu.tr>
- [8] www.boren.gov.tr
- [9] Helvacı. C., “Türkiye Borat Yatakları”, kişi.deu.tr
- [10] Kaya, V.C., “Türkiye’de Bor Mineralleri ve Geleceği”, Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir 2003.
- [11] DPT, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Kimya Sanayi Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, Bor Mineralleri, Eylül 1995.
- [12] Ediz, N., Özdağ, H., Bor Mineralleri ve Ekonomisi, DPÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2001, Kütahya, Sayı:2.
- [13] Özpeker, I., Borat Yataklarının Değerlendirilmesi, İTÜ Maden Fakültesi 2001, İstanbul, Workshop sh.63.
- [14] www.maden.org.tr

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [15] Kavak, D., Öztürk, N., Uçucu Külle Kolonda Adsorbsiyon Yöntemi ile Sulu Çözeltilerden Bor Giderimi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kasım 2006, Ankara, ss.503-506.
- [16] Helvacı. C., “Bor Madenciliği İşletme, Zenginleştirme ve Pazarlama Sorunları”, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kasım 2006, Ankara, s.539.
- [17] Bentli, İ., Özdemir, O., Çelik, M.S., Ediz, N., “Bor Atıkları ve Değerlendirme Stratejileri” I.Uluslararası Bor Sempozyumu, Ekim 2002, Kütahya DPÜ, ss.250-255.
- [18] Bor Raporu, 2005, www.maden.org.tr
- [19] Aşkın, S., “Bor Endüstri Atıklarının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa 1998.
- [20] Helvacı, C., “Batı Anadolu’da Arsenik ile Bor Mineralleri İlişkisi ve Sağlığa Etkileri” www.jmo.org.tr
- [21] Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., “Metallerin Çevresel Etkileri –I”. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, <http://www.metalurji.org.tr>
- [22] “Maden Atıkları ile İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye” Madencilik, Cilt 45, Sayı:1, ss.23-24, Mart 2006, www.maden.org.tr
- [23] kutuphane.mku.edu.tr
- [24] Dağıstan, M., “Beyaz Leghorn SPF Tavuk Organlarında Ağır Metal Düzeylerinin Atomik Adsorbsiyon Spektrofotometresiyle Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa 1996.
- [25] www.hm.saglik.gov.tr/pdf/kitaplar/css.50.pdf
- [26] Onur, E., “Alüminyum Toksisitesinin Kalite Kontrol Açısından Değerlendirilmesi”, www.tsn.org.tr
- [27] Yılmaz, T.M., Boncukoğlu, R., Yılmaz, A.E., Kocakerim, M.M., “Bor Endüstrisi Atık Sularından Bulanıklığın Koagülasyonla Giderilmesi”, III.Uluslararası Bor Sempozyumu, Kasım 2006, Ankara, s.533.
- [28] Doğan, A., Yılmaz, S., Baba, A., Deniz, O., “Ege Denizi ve Tuzla Jeotermal Sularda Analitik Metotlar ile Bor (B₂O₃) Tayini ve Çevresel Etkisi”, I.Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Nisan 2005, Ankara, s.357.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [29] Şaylı, B.S., “Bor Mineralleri ve İnsan Sağlığı”, I.Bor Çalıştayı, www.karaelmas.edu.tr
- [30] Simav Çayının Boraks Madeni Atık Suları ile Kirlenmesinin Etüdü, T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Yayın No: Kİ-626, 1976, Ankara.
- [31] Kökkılıç, O., 2003, Kırka Bor İşletmesi Atık Göletlerindeki Sulardan Borun Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [32] Keleş, Y., “Bitkilerde Bor Toksisitesine Antioksidant Savunma Sisteminin Tepkisi”, I.Bor Çalıştayı, www.karaelmas.edu.tr
- [33] Nebiler, H., 1999, “Sulama Sularındaki Bor Tayini”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- [34] Cantürk, M., 2002, “Borun Etkileri”, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr>
- [35] Çöl., M., Çöl, C., 2003, Environmental Boron Contamination in Waters of Hisarcık Area in the Kütahya Province of Turkey Food and chemical Toxicology 41.
- [36] Özkurt, Ş., 1998, “Çatören Kunduzlar (Kırka-Eskişehir) Baraj Göletlerindeki Sazanların Dokularında Bor Birikimi”, Gazi Üniversitesi, Kırşehir-Türkiye.
- [37] Bor: “Bir İnceleme ve Öneriler”, www.parkgroup.com.tr
- [38] <http://www.sukalitesi.org/kimyasal.htm>
- [39] Anonim, 1991, “Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları”, Sayı: 2078.
- [40] “Emet İçme Suyu Kaynaklarını Gösterir Kroki”, Halk Sağlığı laboratuvarı, Kütahya
- [41] DSİ, Devlet Su İşleri Şube Müdürlüğü, Kütahya
- [42] w3.gazi.edu.tr/~mkaracan/enstrumental/Atomik%20Emisyon%20Spektroskopisi.ppt –
- [43] www.centrollab.metu.edu.tr/rd/trk/anasayfa/cihazlar/s/eepo.php - 11k -