



BOR ENDÜSTRİ ATIKLARINDAN SEZYUM TAYİNİ

Engin BARUT

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Anabilim Dalı

Temmuz-2017

BOR ENDÜSTRİ ATIKLARINDAN SEZYUM TAYİNİ

Engin BARUT

Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

Temmuz - 2017

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Engin BARUT'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı BOR ENDÜSTRİ ATIKLARINDAN SEZYUM TAYİNİ başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

03/07/2017

Üye : Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ferda ÖZMAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜMÜŞ

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

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %21 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

Engin BARUT

## BOR ENDÜSTRİ ATIKLARINDAN SEZYUM TAYİNİ

Engin BARUT

Kimya, Yüksek Lisans Tezi, 2017

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

### ÖZET

Çalışmamda Kütahya'nın Emet ve Hisarcık bölgesindeki Eti Maden işletmesinin atığı olan ve buradaki çeşitli bölgelerden alınan; F4 (0-1 zon arası kil), F12 (3. zon cevher kili) ve FH14 (kapıkaya kil) bor numuneleri incelenmiştir. Amacım bu bölgelerdeki tesislerde üretim sonucu açığa çıkan bor endüstri atıklarının çözünürleştirilmesini sağlayarak, kimyasal analizlerini yapmak ve sezyum metalinin miktarını tayin etmektir.

Bor atıklarından sezyumun Optimum ekstraksiyon koşullarını tayin etmek için; kavurma sıcaklığı, çeşitli tuzların bor atığına kütle oranları, kavurma süresi, 100°C' de geri soğutucu altında karıştırma süresi ve katı/sıvı oranı gibi parametreler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bor atıkları, Çözünürleştirme, Ekstraksiyon, Sezyum, Sezyum Tayini.

## **CESIUM DETERMINATION OF BORON INDUSTRIAL WASTE**

Engin BARUT

Chemistry Department, M.S. Thesis, 2017

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

### **SUMMARY**

In my work, the received boron samples from Eti Mine Plant in Emet and Hisarcık district of Kütahya as F4 (clay between 0-1 zone), F12 (3rd zone ore clay), FH14 (kapıkaya clay) were investigated. My aims were to solubilize boron industrial wastes produced as a result of production in the plants of these regions, and then to chemically analyse and to determine the amount of cesium metal in these wastes.

To determine the optimum extraction conditionf of cesium in boron wastes, the parameters of roasting temperature, the mass ratios of different salts to boron wastes, roasting time, the mixing time under back cooler at 100°C and solid/liquid ratio were investigated.

**Keywords:** Boron wastes, Cesium, Cesium determination, Extraction, Solubilization.

## TEŞEKKÜR

Çalışmamda her türlü konuda bana yardımcı olan, bor konusundakiengin bilgisi ve çalışmaları ile ülkemizde bu alanda duayen olan saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN'a şükranlarımı sunarım. Deneylerimde önceki çalışmaları ile bana yol gösteren ve yapacağım çalışmanın detayları hakkında bilgi veren Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyokimya Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Ferda ÖZMAL'a ve Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden Uzm. Dr. Rukiye SAYGILI'ya ayrıca Numunelerin TGA-DTA ve FT-IR grafiklerini yorumlayan Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Halil İLKİMEN'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                                                                | v   |
| SUMMARY .....                                                                             | vi  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                      | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                   | xv  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                                       | xvi |
| 1. GİRİŞ .....                                                                            | 1   |
| 2. BOR VE BOR ATIKLARI .....                                                              | 3   |
| 2.1. Bor Hakkında Genel Bilgiler .....                                                    | 3   |
| 3. BOR MİNERALLERİ .....                                                                  | 7   |
| 3.1. Tinkal (Boraks) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .....   | 9   |
| 3.2. Kernit (Rasorit) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .....   | 10  |
| 3.3. Kolemanit $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .....       | 11  |
| 3.4. Üleksit (Boronatrokalsit) $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ..... | 12  |
| 3.5. Pandermit (Priseit) $\text{CaB}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .....   | 13  |
| 3.6. Borasit $\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$ .....                          | 14  |
| 3.7. Szaybelit (Aşarit) $\text{MgBO}_2\text{OH}$ .....                                    | 14  |
| 3.8. Hidroborasit (Pistaş) $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .....  | 15  |
| 4. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE BOR REZERVLERİ .....                                             | 16  |
| 4.1. Dünya Bor Rezervleri .....                                                           | 16  |
| 4.1.1. Boron (kramer) yatakları, kuzey Amerika .....                                      | 16  |
| 4.1.2. Searles lake yatağı, Kaliforniya .....                                             | 16  |
| 4.1.3. Fort cady kalsiyum bor yatağı, mojave desert, Kaliforniya.....                     | 17  |
| 4.1.4. Death valley bor yatakları/billie mine.....                                        | 17  |
| 4.1.5. Sırbistan bor yatakları.....                                                       | 17  |
| 4.1.6. Güney Amerika bor yatakları.....                                                   | 17  |
| 4.1.7. Tincalayu bor yatakları, Arjantin.....                                             | 17  |

## İÇİNDEKİLER (devam)

|                                                                             | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 4.1.8. Salar de olaroz bor yatakları, Arjantin.....                         | 17                  |
| 4.1.9. Salar de surire bor cevheri yatağı, Şili.....                        | 18                  |
| 4.1.10. Salar de uyuni bor yatağı, Bolivya.....                             | 18                  |
| 4.1.11. Salar de carcote ve salar de ascotan bor yatakları, Kuzey Şili..... | 18                  |
| 4.1.12. Asya bor yatakları.....                                             | 18                  |
| 4.1.13. Rusya bor yatakları.....                                            | 18                  |
| 4.2. Türkiye Bor Rezervleri .....                                           | 19                  |
| <br>                                                                        |                     |
| 5. TÜRKİYE’DE BULUNAN BOR İŞLETMELERİ .....                                 | 21                  |
| 5.1. Emet Bor İşletme Müdürlüğü.....                                        | 21                  |
| 5.2. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü.....                                       | 23                  |
| 5.3. Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü .....               | 25                  |
| 5.4. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü.....                                     | 27                  |
| <br>                                                                        |                     |
| 6. DÜNYA BOR ÜRETİMİ .....                                                  | 30                  |
| <br>                                                                        |                     |
| 7. BOR ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI.....                                   | 31                  |
| 7.1. Cam Sanayi .....                                                       | 31                  |
| 7.2. Seramik Sanayi .....                                                   | 32                  |
| 7.3. Temizleme ve Beyazlatma Sanayi .....                                   | 33                  |
| 7.4. Alev Geciktiriciler.....                                               | 34                  |
| 7.5. Tarım Sektörü .....                                                    | 35                  |
| 7.5.1. Sebzelerde ve meyvelerde.....                                        | 36                  |
| 7.6. Metalurji Sanayi.....                                                  | 37                  |
| 7.7. Bor Fiberleri.....                                                     | 38                  |
| 7.8. Uzay ve Havacılık Sanayi .....                                         | 39                  |
| 7.9. Enerji Sektörü .....                                                   | 40                  |
| 7.10. Nükleer Uygulamalar .....                                             | 41                  |
| 7.11. Sağlık Sektörü .....                                                  | 42                  |
| 7.12. Çimento Sektörü .....                                                 | 43                  |
| 7.13. Bor Ürünlerinin Diğer Kullanım Alanları.....                          | 43                  |

## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

#### 8. BOR ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA TÜRKİYE'DE YAPILAN

BAZI ÇALIŞMALAR ..... 45

9. SEZYUM ..... 47

9.1. Sezyumun Özellikleri..... 50

9.1.1. Sezyumun fiziksel özellikleri..... 50

9.1.2. Sezyumun kimyasal özellikleri ..... 50

9.1.3. Sezyum bileşikleri ve özellikleri..... 51

9.2. Sezyumun İzotopları ..... 51

9.3. Sezyum Kaynakları ..... 52

9.4. Sezyum Üretimi ..... 52

9.5. Sezyumun Kullanım Alanları..... 53

9.5.1. Petrol arama ..... 54

9.5.2. Atom saatleri..... 55

9.5.3. Elektrik ve elektronik..... 55

9.5.4. Kimyasal ve tıbbi kullanımları..... 56

9.5.5. Diğer kullanım alanları ..... 56

9.6. Sezyumun Reaksiyonları..... 57

9.6.1. Sezyumun havayla reaksiyonu..... 57

9.6.2. Sezyumun suyla reaksiyonu..... 57

9.6.3. Sezyumun halojenlerle reaksiyonu ..... 57

9.6.4. Sezyumun asitlerle reaksiyonu ..... 57

9.6.5. Sezyumun bazlarla reaksiyonu ..... 58

10. DENEYSEL KISIM..... 59

10.1. Materyal ve Yöntem..... 59

10.1.1. Numunelerin temini ..... 59

10.1.2. Numunelerin hazırlanması ..... 59

10.1.3. Bor atıklarının analizleri ..... 59

10.1.4. Bor atıklarından sezyum'un optimum ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi..... 61

10.1.4.1. Kavurma sıcaklığının etkisi ..... 62

10.1.4.2. Bor atığı / tuz kütle oranının etkisi ..... 62

10.1.4.3. Kavurma süresinin etkisi ..... 62

10.1.4.4. Geri soğutucu altında karıştırma süresinin etkisi..... 62

10.1.4.5. Katı / sıvı oranının etkisi ..... 63

## İÇİNDEKİLER (devam)

|                                                                                       | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 11. SONUÇLAR .....                                                                    | 64           |
| 11.1. Bor Atıklarının Karakterizasyonu ve Kimyasal Analizleri .....                   | 64           |
| 11.2. Sezyumun Bor Atıklarından Optimum Ekstraksiyon Koşullarının Araştırılması ..... | 71           |
| 11.2.1. Kavurma sıcaklığının etkisi .....                                             | 71           |
| 11.2.2. Bor atığı / tuz kütle oranının etkisi .....                                   | 73           |
| 11.2.3. Kavurma süresinin etkisi .....                                                | 75           |
| 11.2.4 Geri soğutucu altında karıştırma süresinin etkisi .....                        | 76           |
| 11.2.5 Katı / sıvı oranının etkisi .....                                              | 78           |
| 12. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                           | 81           |
| KAYNAKLAR DİZİNİ .....                                                                | 82           |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                              |              |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <b><u>Şekil</u></b>                                                                    | <b><u>Sayfa</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1. Boraks kristali. ....                                                             | 3                   |
| 2.2. Topaklanmış polikristal bor .....                                                 | 5                   |
| 3.1. Boraks minerali. ....                                                             | 9                   |
| 3.2. Kernit minerali .....                                                             | 10                  |
| 3.3. Kolemanit minerali. ....                                                          | 11                  |
| 3.4. Üleksit minerali.....                                                             | 12                  |
| 3.5. Pandemit minerali .....                                                           | 13                  |
| 3.6. Borasit minerali.....                                                             | 14                  |
| 3.7. Szaybelit minerali .....                                                          | 14                  |
| 3.8. Hidroborasit minerali. ....                                                       | 15                  |
| 4.1. Dünya bor üreten ülkeler dağılımı. ....                                           | 16                  |
| 4.2. Türkiye bor madeni yatakları .....                                                | 19                  |
| 5.1. Emet bor işletme müdürlüğü.....                                                   | 21                  |
| 5.2. Emet açık ocağı.....                                                              | 22                  |
| 5.3. Kırka bor işletme müdürlüğü .....                                                 | 23                  |
| 5.4. Kırka açık ocağı .....                                                            | 24                  |
| 5.5. Bandırma bor ve asit fabrikaları işletme müdürlüğü.....                           | 25                  |
| 5.6. Bandırma bor ve asit fabrikaları işletme müdürlüğü /sülfürik asit fabrikası ..... | 25                  |
| 5.7. Bigadiç bor işletme müdürlüğüne bağlı tülü açık ocağı.....                        | 27                  |
| 5.8. Bigadiç bor işletme müdürlüğü açık ocak .....                                     | 28                  |
| 7.1. Bor'un cam sanayinde kullanımı .....                                              | 31                  |
| 7.2. Bor'la kaplanmış seramik .....                                                    | 32                  |
| 7.3. Bor katkılı deterjan.....                                                         | 33                  |
| 7.4. Bor katkılı kumaş .....                                                           | 34                  |
| 7.5. Bor ürünlerinin tarım sektöründe kullanımı .....                                  | 35                  |
| 7.6. Bor'un demir-çelik sanayinde kullanımı .....                                      | 37                  |
| 7.7. Bor fiberleri.....                                                                | 38                  |
| 7.8. Bor'un füze yakıtı olarak kullanımı .....                                         | 39                  |
| 7.9. Bor'un enerji sektöründe kullanımı .....                                          | 40                  |
| 7.10. Bor bileşiklerinin atom reaktörlerinin yapımında kullanımı .....                 | 41                  |
| 7.11. Bor'un ilaç sanayinde kullanımı .....                                            | 42                  |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <b><u>Şekil</u></b>                                                                                                               | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 7.12. Bor katkılı çimento.....                                                                                                    | 43                  |
| 9.1. Gustav Kirchhoff (solda), Robert Bunsen (ortada) spektroskopi cihazı ile Cs'u keşfettikleri zaman. ....                      | 47                  |
| 9.2. Şişe içerisinde Cs elementi.....                                                                                             | 48                  |
| 9.3. Cs elementi.....                                                                                                             | 49                  |
| 9.4. Polusit minerali .....                                                                                                       | 52                  |
| 9.5. Sezyum format tozu .....                                                                                                     | 54                  |
| 9.6. Dünya saati, Berlin Almanya .....                                                                                            | 55                  |
| 10.1. Eti Maden Emet Bor İşletmeleri laboratuvarlarında bulunan Rigaku ZSX Primus marka XRF .....                                 | 60                  |
| 10.2. Dumlupınar Üniversitesi ileri teknolojiler merkezinde bulunan Analytik jena-ContrAA 300 marka AAS cihazı .....              | 60                  |
| 10.3. Dumlupınar Üniversitesi Analitik Kimya Laboratuvarında bulunan TGA/DTA cihazı .....                                         | 61                  |
| 10.4. Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Laboratuvarında bulunan Vertex 70 model FT-IR spektrometre cihazı..... | 61                  |
| 11.1. F4 numunesinin FT-IR analiz sonucu. ....                                                                                    | 67                  |
| 11.2. F12 numunesinin FT-IR analiz sonucu. ....                                                                                   | 67                  |
| 11.3. FH14 numunesinin FT-IR analiz sonucu. ....                                                                                  | 68                  |
| 11.4. F4 numunesinin TGA/DTA analiz sonucu.....                                                                                   | 69                  |
| 11.5. F12 numunesinin TGA/DTA analiz sonucu.....                                                                                  | 69                  |
| 11.6. FH14 numunesinin TGA/DTA analiz sonucu.....                                                                                 | 70                  |
| 11.7. F4 numunesi için Cs'un ekstraksiyonuna kavurma sıcaklığının etkisi .....                                                    | 71                  |
| 11.8. F12 numunesi için Cs'un ekstraksiyonuna kavurma sıcaklığının etkisi. ....                                                   | 72                  |
| 11.9. FH14 numunesi için Cs'un ekstraksiyonuna kavurma sıcaklığının etkisi. ....                                                  | 72                  |
| 11.10. F4 numunesine tuz ilavesinin Cs'un ekstraksiyon yüzdesine etkisi.....                                                      | 73                  |
| 11.11. F12 Numunesine tuz ilavesinin Cs'un ekstraksiyon yüzdesine etkisi.....                                                     | 73                  |
| 11.12. FH14 numunesine tuz ilavesinin Cs ekstraksiyon yüzdesine etkisi.....                                                       | 74                  |
| 11.13. F4 numunesi için kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.....                                                       | 75                  |
| 11.14. F12 numunesi için kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.....                                                      | 75                  |
| 11.15. FH14 numunesi için kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.....                                                     | 76                  |

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

| <b><u>Şekil</u></b>                                                                                     | <b><u>Sayfa</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 11.16. F4 numunesi için geri soğutucu altında karıştırma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi .....   | 77                  |
| 11.17. F12 numunesi için geri soğutucu altında karıştırma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi .....  | 77                  |
| 11.18. FH14 numunesi için geri soğutucu altında karıştırma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi ..... | 78                  |
| 11.19. F4 numunesi için K/S oranının Cs'un ekstraksiyonuna etkisi .....                                 | 79                  |
| 11.20. F12 numunesi için K/S oranının Cs'un ekstraksiyonuna etkisi .....                                | 79                  |
| 11.21. FH14 numunesi için K/S oranının Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.....                                | 80                  |

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

| <b><u>Çizelge</u></b>                                                                   | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1. Bor'un atomik yapısı.....                                                          | 6                   |
| 3.1. Bor minerali türleri.....                                                          | 7                   |
| 4.1. Dünya bor rezervlerinin dağılımı (2014) .....                                      | 19                  |
| 4.2. Türkiye Bor Rezervlerinin Dağılımı 2015, .....                                     | 20                  |
| 6.1. Dünya B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üretiminin ülkelere göre dağılımı (2014) ..... | 30                  |
| 7.1. Bor tüketiminin sektörlere göre dağılımı .....                                     | 44                  |
| 10.1. Numunelerin adlandırılması.....                                                   | 59                  |
| 11.1. F4 numunesinin XRF analiz sonuçları.....                                          | 64                  |
| 11.2. F12 numunesinin XRF analiz sonuçları.....                                         | 65                  |
| 11.3. FH14 numunesinin XRF analiz sonuçları .....                                       | 66                  |
| 11.4. Bor atığı numunelerinin AAS ile Cs tayin sonuçları.....                           | 66                  |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| B                               | Bor               |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | Bor oksit         |
| CaCl <sub>2</sub>               | Kalsiyum klorür   |
| CaCO <sub>3</sub>               | Kalsiyum karbonat |
| CaSO <sub>4</sub>               | Kalsiyum sülfat   |
| CO <sub>2</sub>                 | Karbondioksit     |
| Cs                              | Sezyum            |
| CsCl                            | Sezyum klorür     |
| CsF                             | Sezyum florür     |
| CsO <sub>2</sub>                | Sezyum süperoksit |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | Sülfirik asit     |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>  | Borik asit        |
| HCl <sub>(g)</sub>              | Hidroklorik asit  |
| I                               | İyot              |
| Li <sub>2</sub> O               | Lityum oksit      |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Sodyum sülfat     |
| NaCl                            | Sodyum klorür     |
| Pd                              | Palladyum         |

### Kısaltmalar

|       |                                             |
|-------|---------------------------------------------|
| AAS   | Atomik Absorpsiyon Spektrometresi           |
| ABD   | Amerika Birleşik Devletleri                 |
| BAUM  | Bor Araştırma ve Uygulama Merkezi           |
| Boren | Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü              |
| CRT   | Katot Işın Tüpü                             |
| dk    | Dakika                                      |
| DPT   | Devlet Planlama Teşkilatı                   |
| FT-IR | Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi |
| g     | Gram                                        |
| GPS   | Küresel Konumlama Sistemi                   |
| km    | Kilometre                                   |

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

| <b><u>Kısaltmalar</u></b> | <b><u>Açıklama</u></b>                                        |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------|
| ktpy                      | Bir Çeşit Ağırlık Birimi                                      |
| m                         | Metre                                                         |
| ml                        | Mililitre                                                     |
| mm                        | Milimetre                                                     |
| MTA                       | Maden Tetkik Arama                                            |
| PPM                       | Milyonda Bir Birim                                            |
| PVC                       | Polivinil Klorür                                              |
| S.P.                      | Sodyum Perborat                                               |
| TGA-DTA                   | Termogravimetrik Analiz ve Diferansiyel Termal Analiz Sistemi |
| USGS                      | Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma Kurumu                  |
| XRF                       | X- Işını Flüoresansı                                          |

## 1. GİRİŞ

Dünyadaki bilim ve teknolojiadaki gelişmeler sonucunda bor ürünleri ve kimyasallarına olan talep her yıl artmaktadır (Bor Sektörü Raporu, 2012). Dünyanın en önemli bor yatakları Türkiye, Rusya ve ABD’de bulunmaktadır. Dünyadaki toplam  $B_2O_3$  oranı 1176 milyon ton’dur ve bu rezervlerin %72’si Türkiye’de, bunların da yaklaşık %56’sı Emet ve Hisarcık bölgesinde bulunmaktadır (Bor Sektör Raporu, 2012; Lyday, 2000). Dünyadaki en fazla bor rezervine sahip olan ülkemiz bu zenginliğini maksimum ekonomik gelir sağlayacak şekilde değerlendirmelidir. Ülkemizde bulunan en önemli bor mineralleri; kolemanit, üleksit ve tinkaldir. Emet-Espey ve Hisarcık bölgelerinde işlenen bor minerali kolemanittir. Konsantratörlerdeki kolemanit cevheri zenginleştirilirken cevherin yaklaşık yarısı atık olarak çıkmaktadır (Ertan ve Erdoğan, 2011). Hisarcık bölgesinde yıllık 450 bin ton kolemanit konsantresi üretimi yapan tesis bulunmaktadır. Tesis 1974 yılından beri faaliyetlerini sürdürmektedir. Emet-Espey bölgesinde yıllık 450 bin ton kolemanit konsantresi üretimi yapan tesis bulunmaktadır. Tesis 1998 yılından beri faaliyetlerini sürdürmektedir ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).

Bor sadece ülkemiz için değil tüm dünya için önemli bir madendir. Petrolün üretim hızı bu şekilde devam ederse önümüzdeki 45-50 yıl içerisinde tükeneyeceği tahmin edilmektedir. Bu sebeple bor petrolün yerini alabilecek bir maden ve geleceğin petrolü olarak adlandırılmaktadır. Arap ülkeleri için petrol, Rusya için doğalgaz ne kadar önemli ise, Bor da ülkemiz için o kadar önemli bir madendir (Dırak, 2011).

Günümüzde madencilik faaliyetleri sonunda meydana gelen atıkların miktarı her yıl artmaktadır, bu atıkların depolanacağı alanlar, atıkların güvenliği, su, toprak, hava kirliliği ve ıslah çalışmaları önemli çevre sorunlarıdır (Karadeniz, 1996). Ülkemizde bor mineralleri üretimi sırasında her yıl 3,5 milyon ton atık meydana gelmektedir. Bu atıkların stoklama maliyetini azaltmak ve çevre kirliliğini en alt düzeye indirmek için uygun olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu atıklar değerlendirildiği takdirde; üretilecek yeni ürünlerle farklı gelir kapıları açılacaktır. Atıkların yer altındaki ve yer üstündeki suları kirletmesi önlenecektir. Mevcut durumda büyük bir potansiyele sahip atıklar ülke ekonomisine kazandırılacaktır (Türk, 2012). Atıklardan faydalanabilmek ülkelerin gelişmişliğinin bir belirtisidir. Çalışmanın amacı bor endüstri atıklarının oluşturduğu çevre kirliliğinin azaltılması ve bu atıkların içindeki değerli bir metal olan Cs’un miktarının tayin edilmesidir.

Şimdiye kadar bor atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar 3 başlıkta toplanabilir.

- 1- Atıkların içindeki borun geri kazanılması,
- 2- Atıkların çevre kirliliğine neden olmadan muhafaza edilebilmesi,
- 3- Atıkların inşaat ve seramik sektöründe kullanılmasıdır.

Bor atıklarının değerlendirilmesindeki en uygun yöntem atıklardaki borun geri kazanılmasından sonra artakalan malzemenin uygun işlerde kullanılmasıdır. Böylece hiçbir işe yaramayan hatta çevre kirliliğine neden olan bu atıklardan hem kurtulmuş olunacak hem de maddi kazanç elde edilmiş olunacaktır (Bentli vd., 2002).

Bor mineralleri ve atıkları içerisinde makro düzeyde bulunan elementlerin tayini sürekli yapılmakta olup eser miktarda bulunan elementlerin tayini ile ilgili çalışmalar çok azdır. Bor mineralleri ve bor endüstri atıkları ile ilgili yapılan çalışmalarda bu atıkların içerisinde önemli miktarda Cs metali bulunduğunu ortaya koymuştur (Özmal ve Erdoğan, 2013).

Polusit, sezyumun temel minerali olup Güney Dakota ve Maine'de pegmatit olarak adlandırılmaktadır. Sezyum metali ABD tarafından %100 ithal edilmektedir. Polusit, Lepidolit, petalit ve spodumen ile birlikte pegmatit zonlarının içinde bulunmaktadır. Polusitin en fazla bulunduğu yer Kanada'nın Manitoba eyaletindeki Bernik Gölüdür. Burası ABD'ki bir şirket tarafından Cs metalini üretmek için ithal edilen polusitin en büyük kaynağıdır. Sezyum metali GPS, internet ve cep telefonu ve uçak rehberlik sistemlerinde önemli bir rolü olan atomik saatlerin yapımında atom rezonans frekans standardı olarak kullanılmaktadır. Sezyumun izotopları olan  $^{131}\text{Cs}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  kanser tedavisinde kullanılmaktadır.  $^{131}\text{Cs}$  izotopu yarı ömrünün daha kısa olması ve yüksek enerjisi nedeniyle prostat kanseri tedavisinde,  $^{125}\text{I}$  ve  $^{103}\text{Pd}$ 'e alternatif olarak kullanılmaktadır. Sezyum, demir ve demir dışı metalurjide gazları ve diğer safsızlıkları giderici olarak kullanılmaktadır (Ertan ve Erdoğan, 2011).

Son derece önemli ve stratejik kullanım alanlarına sahip bu değerli metal öz kaynaklarımızdan çıkan atıklar içerisinde olmasından dolayı kazanılabilmesi durumunda ekonomik bir değer arz etmektedir. Bu çalışmadaki amacımız atıklar içerisinde yer alan Cs metalinin miktarını doğru bir şekilde ortaya koymaktır. Bunun için tespit edilen bor atıklarından bu metalin ekstraksiyonu yapılacak ve elde edilen çözeltilerde AAS ile Cs tayinleri gerçekleştirilecektir. Bu çalışma, daha sonra sezyumun bor atıklarından kazanımına dair yapılabilecek çalışmalar için yol gösterecektir.

## 2. BOR VE BOR ATIKLARI

### 2.1. Bor Hakkında Genel Bilgiler



**Şekil 2.1.** Boraks kristali (<https://tr.wikipedia.org/>).

Bor'un kelime kökeni, Farsça burah ve Arapça buraq/baurach kelimelerinden gelmektedir. Tarihte boru ilk kullanan millet Babillilerdir. Tibet göllerinin derin olmayan kısımlarından çıkarılan boraks Himalayalar üzerinden Hindistan'a ordanda Mezopotamya'ya kadar getirilmiş ve Babilliler tarafından altın elde etme işinde kullanılmıştır. Yunan ve Roma uygarlıkları temizlik maddesi olarak bor bileşiklerini kullanmışlardır. Arap hekimler tarafından M.S. 875 yılında ilaç olarak kullanılmaya başlanmıştır. 19. yüzyılın başlarında elementel bor keşfedilmiştir (Moseman, 1994).

Yukarıda da belirtildiği gibi boraks minerali tarihte insanlar tarafından çok farklı alanlarda kullanılmıştır. Boraksın kullanımı ile ilgili ilk kayıtlara, M.S. 762 yılında, Mekke, Medine ve Bağdat civarındaki Arap yerleşimlerinde rastlanılmıştır. Bu tarihten çok kısa bir süre sonra çinliler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Boraks minerali ile Avrupa'nın tanışması 12-13. Yüzyılda olmuştur. 15. Yüzyıldan itibaren boraks ticareti Venedikliler tarafından yapılmaya başlanmış, 17. Yüzyıldan sonra boraks ticareti Hollandalılar'ın eline geçmiştir. Daha Sonrada Hollandalı'lar boraksın işlenmesi ile ilgili önemli bilgilere kavuşmuşlardır (Karaman, 2003).

İtalya'nın Toskana bölgesinde, 1840 yılında sıcak su kaynaklarında keşfedilen doğal borik asit (sassolit) 19. yüzyılda Avrupa'nın borik asit ve boraks ihtiyacını önemli ölçüde karşılamıştır (Bozkır, 1995).

Bor bileşikleri binlerce yıldır bilinmesine rağmen elementel bor ilk defa, Fransız kimyagerler J.L. Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından 1808 yılında keşfedilmiş ve Jaugues Thenard tarafından borik asidin elektrolizi yöntemiyle %50 saflıkta elde edilmiştir. %99 saflıktaki ilk kristalize bor 1909 yılında elde edilebilmiştir (Aftalion, 1991).

Ülkemizde bor minerallerinin ilk defa Romalılar tarafından keşfedildiği ve kullanıldığı tahmin edilmektedir. Fakat ülkemizde reel anlamda bor madenciliği 1861 yılında Balıkesir iline bağlı Sultançayı bölgesinde yabancı bir şirket tarafından başlatılmış ve Osmanlı Devletinin son zamanları ile Cumhuriyetin ilk yıllarına kadar yabancı firmalar tarafından sürdürülmüştür. 1978 yılına kadar bor cevherinin üretim ve ihracatını büyük oranda yerli ve yabancı şirketler gerçekleştirmiştir. 1983 yılında çıkarılan bir kanunla bor madenlerini işletme hakkı devlete bağlı ETİBANK'a verilmiştir. 1998 yılında yeniden yapılandırılan ETİBANK'ın adı ETİ Holding A.Ş. olarak değiştirilmiştir (Tosun, 2010).

Bor madenlerinin devletleştirilmesinden sonra madencilik faaliyetlerinde ve rafine bor ürünlerinin üretiminde önemli artışlar olmuştur. 1978 yılında bor rezervlerimizin 600 milyon ton olduğu tahmin edilirken, yapılan arama çalışmaları sonucunda bu rakamın 3 milyar ton rezerve ulaştığı tespit edilmiştir. Rezerv çalışmaları halen Eti Maden/MTA işbirliğinde devam etmektedir. Üretim kapasitemizin artmasıyla dünya bor pazarında etkinliğimiz 1970'li yıllarda %16 iken günümüzde %47'lere çıkmış ve ABD'nin de önüne geçmiştir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).



**Şekil 2.2.** Topaklanmış polikristal bor (<http://periodictable.com/>).

Bor, periyodik tabloda III A grubunda yer alır ve B simgesi ile gösterilir. Atom numarası 5 ve atom ağırlığı 10,81 g/mol'dür. Bor elementi;  $^8\text{B}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{11}\text{B}$ ,  $^{12}\text{B}$ ,  $^{13}\text{B}$  izotoplarından oluşmaktadır.  $^{10}\text{B}$  ve  $^{11}\text{B}$  en kararlı izotoplarıdır.  $^{10}\text{B}$  izotopunun doğada bulunma oranı %19.1-20.3 arasında iken  $^{11}\text{B}$  izotopunun doğada bulunma oranı %79.7-80.9 arasındadır.  $^{10}\text{B}$  izotopu, çok yüksek termal nötron tutma özelliğine sahiptir. Bu nedenle nükleer malzemeler ve nükleer enerji santrallerinde kullanılabilir. Ülkemizdeki bor cevheri yataklarının  $^{10}\text{B}$  izotopu oranı yüksektir. Metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Doğada hiçbir zaman elementel halde bulunmaz (Şahin, 2008; [www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

Bor madeninin dış görünümü beyaz bir kayaya benzemekte olup, çok sert ve ısıya dayanıklıdır. Doğada Saf olarak değil bileşikleri halinde bulunur. Bor elementinin amorf toz halindeki rengi koyu kahverengi olup, çok gevrek ve sert yapılı monoklinik kristal hali ise sarımsı kahverengidir. Doğada elmasan sonra bilinen en sert elementtir (Bozkır, 1995).

Bor yeryüzünün en çok bulunan 51. elementi olup, toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunmaktadır. Toprak içerisinde ortalama 10-20 mg/kg, deniz suyunda 0,5-9,6 mg/L, tatlı sularda ise 0.001-1,5 mg/L aralığında bulunmaktadır. Ekonomik değeri ve konsantrasyonu yüksek olan bor yatakları, borun oksijenle bağlanmış bileşikleri olarak en çok Türkiye ve Amerika'nın kurak volkanik ve hidrotermal faaliyetlerinin fazla olduğu bölgelerde bulunmaktadır (Ediz ve Özday, 2001).

**Çizelge 2.1.** Bor'un atomik yapısı ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

| Bor'un Atomik Özellikleri |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Atomik Çapı               | 1.17 Å                              |
| Atomik Hacmi              | 4.6 cm <sup>3</sup> /mol            |
| Kristal yapısı            | Rhombohedral                        |
| Elektron Dizilimi         | [He] 2s <sup>2</sup> p <sup>1</sup> |
| İyonik Çapı               | 0.23 Å                              |
| Elektron Sayısı           | 5                                   |
| Nötron Sayısı             | 6                                   |
| Proton sayısı             | 5                                   |
| Değerlik Elektronları     | 2s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>      |

Bor'un metal ve ametallerle yapmış olduğu bileşikler, göstermiş oldukları farklı özelliklerden dolayı endüstrinin birçok dalında kullanılmaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır fakat saf bor elektriği iletir (Mordoğan vd., 1995).

Bor'un elektriği iletme özelliği oda sıcaklığında düşüktür fakat sıcaklık arttıkça iletkenliğide artmaktadır (Bayrak vd., 2001).

Bor'un kimyasal özelliği morfolojisi ve tane büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Kimyasal özellikleri aynı periyotta bulunduğu alüminyum, galyum, indiyum ve talyumdan daha çok karbon ve silisyuma benzemektedir. Kimyasal aktifliği saflığına, kristal yapısına ve sıcaklığa bağlıdır. Milimetrik boyutlardaki amorf bor kolayca ve bazende şiddetli olarak tepkimeye girerken kristal boyutlardaki bor kolay kolay tepkimeye girmez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girdiğinde borik asit ve farklı ürünler oluşturmaktadır. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlama şeklinde olabilir ve oluşan ana ürün borik asittir (Hıncalan, 2010).

Katı haldeki bor çok sert ve kırılımandır. Donuk metalik parlaklığına sahiptir. Bor yarı iletken olup sıcaklık arttıkça iletkenliği artmaktadır. Yarı iletkenlik özelliği şu şekilde açıklanmaktadır; Oda sıcaklığında elektronlar merkezi çekirdeğe sıkı bağlanmış olup serbest hale geçmeleri güçtür. Sıcaklık arttıkça elektronlar serbest hale geçer ve kristal içerisinde harekete başlarlar. Sıcaklık yükseldikçe kristal örgüsünün titreşimi arttığından direnç de artmış olacaktır buna paralel olarak serbest hale geçen elektron sayısı da arttığından maddenin iletkenliği artacaktır (Büyükyıldız, 2007).

### 3. BOR MİNERALLERİ

Doğada saf ve elementel halde bulunmayan bor'un birçok minerali bulunmaktadır. Bilinen bor mineralleri; bileşik boratlar, kristal suyu içeren boratlar, borik asit, borofluoritler, susuz boratlar ve borosilikat mineralleri başlıkları altında sınıflandırılabilir (BAUM, 2003). Bor minerallerinin değeri içindeki  $B_2O_3$  ile ölçülür ve  $B_2O_3$  oranı yüksek olan bor minerallerinin değeri daha yüksektir. Ticari önemi yüksek olan bor mineralleri; kolemanit, kernit, tinkal, borasit, üleksit, pandermit, szaybelit, hidroborasit gibi minerallerdir ve yapılarında değişik miktarlarda  $B_2O_3$  içerirler (Kesk, 2003). Bor minerallerinin içeriğindeki  $B_2O_3$  miktarlarının bilinmesi, kullanım alanlarının belirlenmesinde çok önemlidir. Sonuçta sanayide kullanılan asıl bileşik  $B_2O_3$ 'dür ve minerallerden elde edilmektedir. Doğada serbest halde bulunmayan borun birçok minerali bulunmaktadır. Bilinen bor minerallerinden bazıları aşağıda çizelgede verilmiştir.

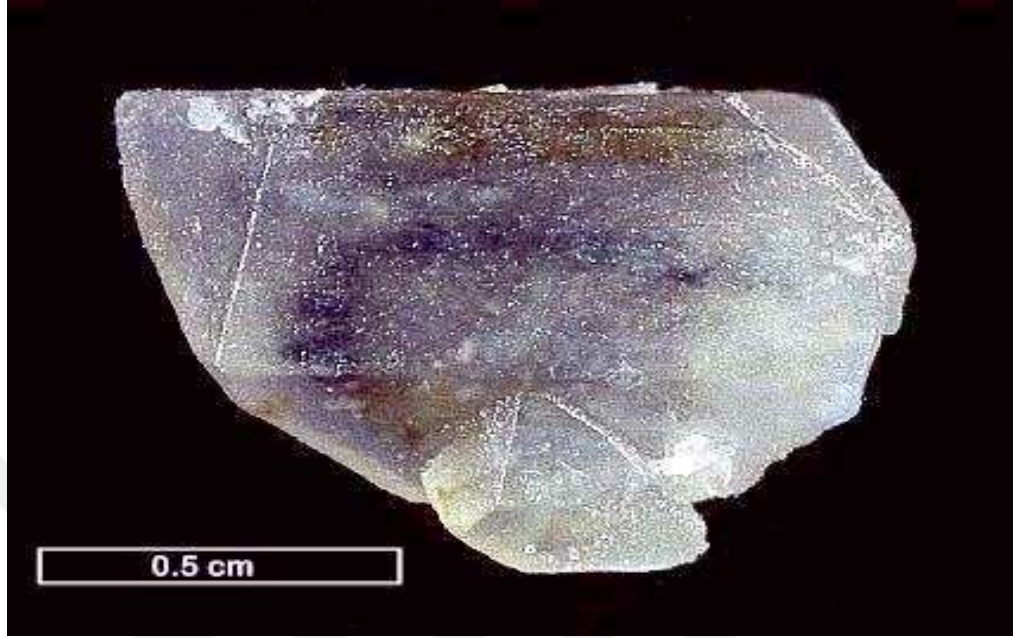
**Çizelge 3.1.** Bor minerali türleri ([www.boren.gov.tr/](http://www.boren.gov.tr/)).

| Tip                             | Mineral                          | Formül                       | % $B_2O_3$ | Notlar                                                                                           |
|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hidrojen Boratlar</b>        | <u>SASSOLİT</u>                  | $H_3BO_3$                    | 56,3       | İlk defa İtalya'da üretilmiştir. Doğal borik asit türüdür.                                       |
| <b>Sodyum Boratlar</b>          | <u>TİNKAL (BORAX)</u>            | $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$    | 36,5       | Bulunduğu yerler; Kırka, Bolivya, Arjantin, ABD ve Hindistan'dır.                                |
|                                 | <u>TİNKALKONİT</u>               | $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$     | 48,8       | Çoğunlukla aksesuar malzemesi olarak kullanılmaktadır.                                           |
|                                 | <u>KERNİT (RASORİT)</u>          | $Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$     | 51,0       | Bulunduğu yerler; Türkiye, ABD, Çin ve Arjantin'in Tincalayu ve Blanca bölgeleridir.             |
| <b>Sodyum-Kalsiyum Boratlar</b> | <u>ÜLEKSİT (BORONATROKALSİT)</u> | $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$     | 43,0       | Bulunduğu yerler; Sırbistan, Şili, Peru, Bolivya, Çin, ABD ve Türkiye'dir.                       |
|                                 | <u>PROBERTİT (KRAMERİT)</u>      | $NaCaB_3O_9 \cdot 5H_2O$     | 49,6       | ABD'de Death Valley bölgesinde bulunmaktadır.                                                    |
| <b>Kalsiyum Boratlar</b>        | <u>KOLEMANİT</u>                 | $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$  | 50,8       | En çok bulunduğu yer; Türkiye'dir.                                                               |
|                                 | <u>PANDERMİT (PRİSEİT)</u>       | $CaB_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$ | 49,8       | Bulunduğu yerler; Bigadiç, Kırka ve Peru'dur. (Adı Balıkesirin Bandırma ilçesinden gelmektedir.) |
|                                 | <u>NOBLEİT</u>                   | $CaB_6O_{10} \cdot 4H_2O$    | 62,0       | ABD'de Death Valley bor yataklarında bulunmaktadır.                                              |
|                                 | <u>İNYOİT</u>                    | $Ca_2B_6O_{11} \cdot 13H_2O$ | 37,6       |                                                                                                  |
|                                 | <u>MEYERHOFFERİT</u>             | $Ca_2B_6O_{11} \cdot 7H_2O$  | 46,7       |                                                                                                  |

Çizelge 3.1. (devam) Bor minerali türleri ([www.boren.gov.tr/](http://www.boren.gov.tr/)).

|                                |                          |                                                                                             |      |                                                                                                               |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kalsiyum Borosilikatlar</b> | <u>DATOLİT</u>           | $\text{CaBSiO}_4\text{OH}$                                                                  | 24,9 | Bulunduğu yerler; Rusya'nın Doğu bölgeleri ve Kazakistan'dır.                                                 |
|                                | <u>DANBURİT</u>          | $\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$                                                         | 28,3 | Bulunduğu yerler; Connecticut, Danbury ve ABD'dir.                                                            |
|                                | <u>HAVLİT</u>            | $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{B}_{10}\text{O}_{23}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$                 | 44,5 | Bulunduğu yerler; Susurluk ve Bigadiç'tir.                                                                    |
| <b>Magnezyum Boratlar</b>      | <u>HİDROBORASİT</u>      | $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                      | 50,5 | Bulunduğu yerler; Kazakistan, Türkiye ve Arjantin'dir. Seramik sektöründe kullanılmaktadır.                   |
|                                | <u>İNDERBORİT</u>        | $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 11\text{H}_2\text{O}$                                     | 41,5 | Bulunduğu yerler; Kazakistandaki inder Gölü'dür.                                                              |
|                                | <u>AŞARİT(SZAYBELİT)</u> | $\text{MgBO}_2\text{OH}$                                                                    | 41,4 | Bulunduğu yerler; Çin ve Kazakistan'dır.                                                                      |
|                                | <u>BORASİT</u>           | $\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$                                               | 62,2 | Bulunduğu yerler; Türkiye'de Kırka, Emet ve Bigadiç'tir.                                                      |
|                                | <u>KURNAKOVİT</u>        | $\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$                              | 37,3 | Bulunduğu yerler; Kazakistandaki inder Gölü'dür.                                                              |
|                                | <u>İNDERİT</u>           | $\text{MgB}_3\text{O}_3(\text{OH})_5\cdot 5(\text{H}_2\text{O})$                            | 37,3 | Bulunduğu yerler; Kazakistandaki inder Gölü'dür.                                                              |
|                                | <u>SUANİT</u>            | $\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$                                                           | 46,3 | Bulunduğu yerler; Kuzey Kore, Suan'dır.                                                                       |
|                                | <u>KOTOİT</u>            | $\text{Mg}_3\text{B}_2\text{O}_6$                                                           | 36,5 | Japon jeolog Bundjiro Koto tarafından bulunmuştur.                                                            |
|                                | <u>PİNNÖİT</u>           | $\text{MgB}_2\text{O}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$                                           | 42,5 | Bulunduğu yerler; ABD'de Death Valley bor yatakları ve Almanya'dır.                                           |
| <b>Diğer Boratlar</b>          | <u>KAHNİT</u>            | $\text{CaAsBO}_6\cdot 2\text{H}_2\text{O}$                                                  | 11,7 | Bulunduğu yerler; Kütahya, Emet'tir.                                                                          |
|                                | <u>VONSENİT</u>          | $(\text{Fe,Mg})_2\text{FeBO}_5$                                                             | 10,3 | Bulunduğu yerler; Riverside, Kaliforniya'dır. ABD'li mineralojist Magnus Vonsen tarafından bulunmuştur.       |
|                                | <u>LUDVİGİT</u>          | $(\text{Fe,Mg})_4\text{Fe}_2\text{B}_2\text{O}_7$                                           | 17,8 | Avusturyalı kimyager Ernst Ludwig tarafından bulunmuştur.                                                     |
|                                | <u>TUNELİT</u>           | $\text{SrB}_6\text{O}_{10}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$                                        | 52,9 | ABD'li mineralojist George Tunnel tarafından bulunmuştur.                                                     |
|                                | <u>BAKERİT</u>           | $\text{Ca}_4\text{B}_4(\text{BO}_4)(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})_3\cdot (\text{H}_2\text{O})$ | 27,9 | Bulunduğu yerler; Kaliforniyadaki Death Valley'dir.                                                           |
|                                | <u>SEARLESİT</u>         | $\text{NaBSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$                                                     | 17   | Bulunduğu yerler; Kaliforniyadaki Searles Gölü'dür.                                                           |
|                                | <u>TEEPLEİT</u>          | $\text{Na}_2\text{B}(\text{OH})_4\text{Cl}$                                                 | 21,7 | Bulunduğu yerler; Kaliforniyadaki Searles Gölü'dür. ABD'li kimyager John Edgar Teeple tarafından bulunmuştur. |

### 3.1. Tinkal (Boraks) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

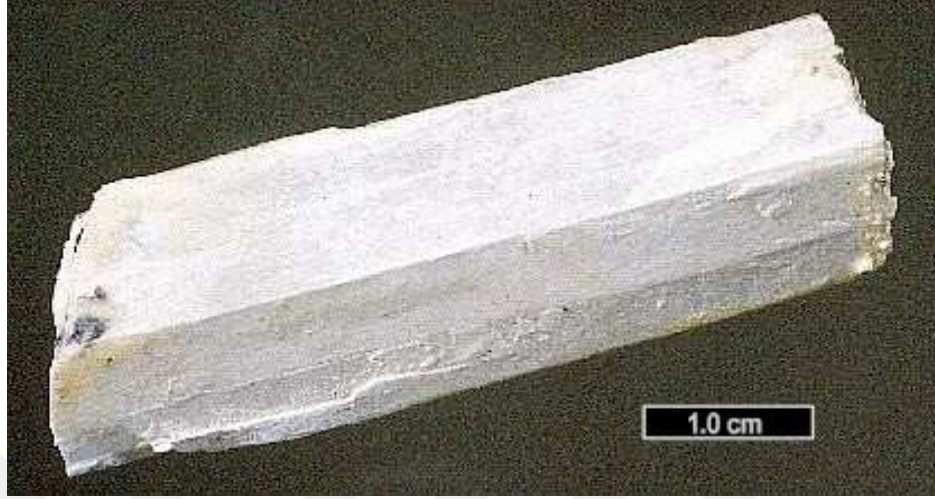


**Şekil 3.1.** Boraks minerali (<http://webmineral.com/>).

Dünyada boraks mineralinin en fazla bulunduğu yerler; Ülkemizde Eskişehir-Kırka, ABD’de Kaliforniya-Boron ve Güney Amerikada And Dağları (Tincalayu ve Loma Blanca)’dır. Kırka, Boron ve Loma Blanca’daki borat yataklarının mineralojik bileşimleri ve kimyasal özellikleri birbirine benzemektedir (MTA Dergisi, 2015).

Doğada çoğunlukla saydam ve renksiz bulunmakla birlikte, içeriğindeki farklı kimyasallardan dolayı gri, sarı ve pembe renkleri de mevcuttur. Kimyasal bileşimi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ’dur. Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 2-2,5 arası ve özgül ağırlığı  $1,7 \text{ g/cm}^3$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %36,5; bor içeriği %11,3 oranındadır. Boraksın en belirgin özelliği suda çok kolay çözünmesidir. Çözünürlüğü ve çözünme hızı, suyun sıcaklığının artmasıyla birlikte artar. Boraks, su ile bağ oluşturma, çabuk ayrışma özelliği ve yüksek verimliliğinden dolayı sanayide sıkça kullanılan tinkalkonite kolayca dönüşebilmektedir. Dünyada en çok Türkiye ve ABD’de üretilmektedir (Buluttekin, 2008).

### 3.2. Kernit (Rasorit) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$



**Şekil 3.2.** Kernit minerali (<http://webmineral.com/>).

Doğada renksiz, saydam uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Kimyasal bileşimi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 'dir. Sertliği 3, özağırlığı  $1.95 \text{ g/cm}^3$  ve  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %51'dir. Soğuk suda az çözünür. Ülkemizde Eskişehir-Kırka'da bulunmaktadır. Dünya'da ise ABD ve Arjantin'de bulunmaktadır (Demir, 2005).

Kernit cevheri (Boron, Kırka, Kaliforniya), 2.5 cm olacak şekilde kırılır ve sıcak su/geridönüşümlü borat çözeltisi içinde çözdürülür. Elde edilen çözelti, karşı-akım koyulaştırıcılarda saflaştırılıp zenginleştirilir, süzülür, vakumlu kristalizörlere gönderilir, santrifüjlenir ve daha sonra kurutulur. Yapılan işlemler sonunda kernit cevherinden, rafine boraks dekahidrat, pentahidrat veya erimiş susuz boraks gibi ürünler elde edilebilir. Ayrıca borik asit üretiminde hammadde olarak kullanılabilir (Helvacı, 2015).

### 3.3. Kolemanit $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$

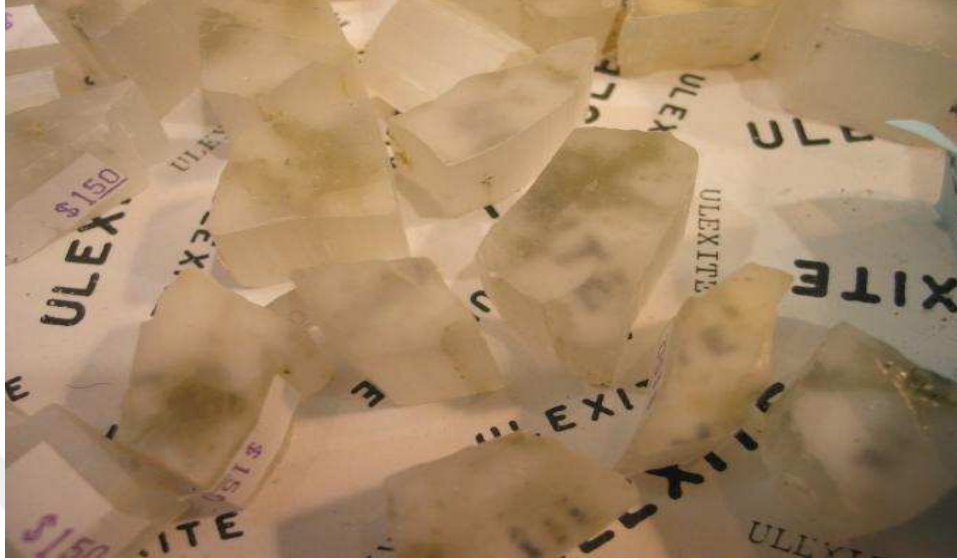


**Şekil 3.3.** Kolemanit minerali (<http://webmineral.com/>).

Doğada beyaz-gri ve yeşilimsi-gri gibi renkleri mevcuttur. Kimyasal bileşimi  $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Kolemanit minerali monoklinikdir. Sertliği 4-4,5 arası ve özağırlığı  $2,52 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Sudaki çözünürlüğü çok düşüktür fakat asitte çok kolay çözünmektedir. Bor içeriği %15,7;  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %50,8'dir (Özmal, 2008).

Bor bileşikleri içinde en fazla bulunanıdır. Killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. Kolemanit konsantreleri, cam endüstrisinde veya borik asit tesislerinde hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan hammadde olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde Kestelek, Emet ve Bigadiç'te, Dünya'da ise ABD'de bulunmaktadır (DPT, 2001).

### 3.4. Üleksit (Boronatrokalsit) $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$



Şekil 3.4. Üleksit minerali (<http://webmineral.com/>).

Doğada beyaza çalan hafif şeffaf görünüşünden dolayı pamuk gülü olarak da adlandırılmaktadır. Kimyasal bileşimi  $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 2,5 ve özgül ağırlığı  $1,96 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Soğuk suda çok az çözünürken, sıcak suda ve asitte kolayca çözünmektedir. Bor içeriği %13,8;  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %43'tür (Ediz ve Özdağ, 2001). Üleksit, yüzey veya yüzeye yakın kesimlerde, playa tipi göllerde, dünyada kuvaterner'den günümüze kadar gelişen bataklıklarda bulunan, yumuşak, genellikle pekişmemiş ve lifsi kristal toplulukları şeklinde bulunan bor mineralidir (MTA Dergisi, 2015). Türkiye'de Bigadiç, Emet ve Kırka'da, Dünya'da ise Arjantin, Şili, Bolivya ve Peru'da bulunmaktadır.

Arjantin, Şili, Bolivya ve Peru'da yaklaşık 40 çeşit bor minerali yatağı bulunmaktadır. Bu yataklarda en fazla bulunan mineral üleksittir ve az miktarda boraks minerali bulunmaktadır (Chong, 1984).

Üleksit 2 şekilde oluşmaktadır;

- 1- Noduller papas denilen klasik 'pamuk topları' (potatoes)
- 2- 'barras' adı verilen masif yataklar.

Kaynaklardaki borat yatakları borca zengin termal su sağlayıcılar ile doğrudan ilişkilidir. Dünya piyasalarına yeni giren Şili üleksitleri en az 5 yataktan gelmektedir. Toplam 31 ktpy olarak tahmin edilen üretimin yarısı Bolivya sınırı yakınlarındaki Surire'den

sağlanmaktadır. Üleksit, düzensiz kütleler halinde ve tabakalarda, ortalama 30 cm, bazen bir metre kalınlıklarda, yüzeyin 6 ile 14 cm altında oluşur. Neojen yaşlı üleksit, Türkiye ve ABD'deki Boron ve Death Valley'deki yataklardan üretilmektedir. Üleksit bu yataklarda iyi pekleşmiş, sert, daha yoğun ve genel olarak daha iyi tabakalanmıştır (MTA Dergisi, 2015).

### 3.5. Pandermit (Priseit) $\text{CaB}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$



Şekil 3.5. Pandermit minerali (<http://webmineral.com/>).

Doğada beyaz renkte ve tekparça halinde bulunup dış görünüşü kireçtaşına benzer. Sertliği 3-3,5 arası ve özağırlığı 2,42 g/cm<sup>3</sup>'tür. Ülkemizde bulunduğu yerler Sultançayırı ve Bigadiç yataklarıdır. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği %49.8'dir (DPT, 2001).

Pandermitin sulu ortamdaki çözünürlüğü %10,02'dir. Pandermit minerallerinin asitli ortamdaki çözünürlüğü termal işlem sıcaklığı ile düşer fakat tam dehidratize edildiğinde çözünürlük değerleri orijinal mineral çözünürlüğünden daha yüksektir. Pandermit dehidratize edildiğinde hidroklorik asit ve asetik asitli çözeltilerde çözünürlüğü artmaktadır. Bunun nedeni asitin türünden çok, çözeltilerdeki asit miktarının stokiyometrik orandan daha düşük olmasındandır (Gedikbey vd., 2004).

### 3.6. Borasit $Mg_3B_7O_{13}Cl$



Şekil 3.6. Borasit minerali (<http://webmineral.com/>).

Doğada Beyaz, renksiz, gri, yeşilimsi ve sarımsı renkleri mevcuttur. Sertliği 7, Özgül ağırlığı  $2,9 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Sert billur ya da yumuşak bir çeşit magnezyum borattır. Bor içeriği %19-20;  $B_2O_3$  içeriği %62,2'dir (<https://id.wikipedia.org>). Bu mineralin ilk örneği 1789 yılında Almanya'nın aşağı saksonya eyaletinin lüneburg ilindeki kalkberg tepesinde bulunmuştur. Borasit, Almanya'da 1945 yılından önce potasyum madeninden yan ürün olarak borasit ve az miktardaki magnezyum boratlar olarak üretilip kullanılmıştır. Suda çözünen bir mineraldir (Helvacı, 2015).

### 3.7. Szaybelit (Aşarit) $MgBO_2OH$



Şekil 3.7. Szaybelit minerali (<http://webmineral.com/>).

Doğada beyaz ve sarı renkleri mevcuttur. Sertliği 3-3,5 arası ve özgül ağırlığı  $2,67\text{g/cm}^3$ 'tür. Szaybelit minerali, Rusya ve Çin'in ana bor hammaddesidir. Sudaki çözünürlüğü çok düşük olan bir magnezyum borat mineralidir. Boraks ve kolemanit mineraline göre içeriğinde yüksek miktarda magnezyum bulunduğundan kullanım alanı çok azdır. Doğu Avrupa, Rusya ve Asya'da az miktarlarda kullanılmaktadır. Büyük ölçeklerde konsantre mineral olarak uluslararası ticareti bulunmamaktadır (MTA Dergisi, 2015).

### 3.8. Hidroborasit (Pistaş) $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

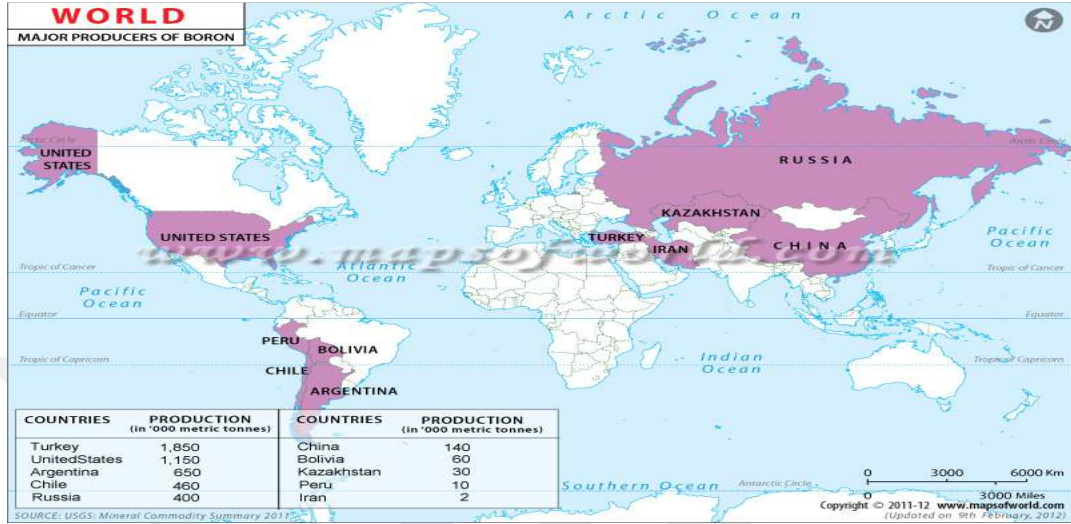


**Şekil 3.8.** Hidroborasit minerali (<http://webmineral.com/>).

Doğada beyaz, sarı ve kırmızı renkleri mevcut olup; probertit, kolemanit ve üleksit ile birlikte bulunur. Kimyasal bileşimi,  $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 'dır. Özgül ağırlığı  $2,167\text{ g/cm}^3$ 'tür. Lifsi bir dokuya sahip olup, iğne şeklindeki kristaller halinde görünmektedir. Hidroborasit 5-30 cm çapında, bazen daha büyük 'patates' tabir edilen yumrular halinde bulunmaktadır. Kristal sistemi monokliniklidir. Türkiye'de bulunan hidroborasit'in sertliği Mohs sertlik cetveline göre 5 ile 6 arasındadır. Fakat Dünyada hidroborasit mineralinin sertliği 2-3 arasındadır. Hidroborasit yanındaki diğer minerallere göre daha sert olduğundan 'pistaş' olarak adlandırılmaktadır.  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %50.53'tür. Dünyada çeşitli bor yataklarında az miktarlarda bulunmaktadır. Kazakistan'ın İnder bölgesinde ticari değeri yüksek olan geniş hidroborasit yatakları bulunmaktadır. Sovyet Rusya, ilk bor ürünleri olan boraks ve borik asiti bu mineralden üretmiştir. Burdaki hidroborasitin  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %25-35 arasındadır. Hidroborasit ilk defa Kafkasya'da yeri bilinmeyen bir numunede bulunmuş daha sonra Almanya'da Stassfurt tuz yataklarında, ABD'nin Kaliforniya eyaletinin Ryan şehrinde kolemanit ve kalsit içinde ve Batı Kazakistan'ın İnder gölü civarında kolemanit, inyoit, inderit ve üleksitle birlikte bulunmuştur. Ülkemizdeki hidroborasit yatakları Balıkesir'in, Bigadiç ilçesine bağlı Yolbaşı köyü yakınlarındaki Büyük Günevi ocağında bulunmaktadır (Demircioğlu, 1973).

## 4. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE BOR REZERVLERİ

### 4.1. Dünya Bor Rezervleri



Şekil 4.1. Dünya bor üreten ülkeler dağılımı ([www.google.com/](http://www.google.com/)).

Dünyanın en önemli bor yatakları ABD, Rusya ve Türkiye’de bulunmaktadır. Ticari değere sahip bor rezervleri ise 4 bölgede toplanmıştır. Bu yerler: ABD’nin Kaliforniya Eyaletinin güneyindeki Mojave Çölü; Güney Amerika’da ki And Kemer; Ülkemizde bulunduğu Güney-Orta Asya Orojenik Kemer ve Doğu Rusya’dır. Türkiye dışındaki diğer önemli bor yataklarının bulunduğu yerler aşağıda belirtilmiştir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.1. Boron (kramer) yatakları, kuzey Amerika

Rio Tinto şirketi tarafından açık ocak işletmeciliği yöntemiyle işletilmektedir. Şirketin 2013 yılındaki faaliyet raporuna göre yataktaki toplam bor rezervinin  $B_2O_3$  bazında 22 milyon ton olduğu tespit edilmiştir. 2014 yılında  $B_2O_3$  bazında 508 bin ton üretim gerçekleştirilmiştir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.2. Searles lake yatağı, Kaliforniya

Searles Valley Minerals şirketi tarafından çözelti madenciliği yöntemi ile işletilmektedir. Tesisin kapasitesi 2 milyon tondur ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.3. Fort cady kalsiyum bor yatağı, mojave desert, Kaliforniya

Fort Cady Minerals şirketi tarafından çözelti madenciliği yöntemiyle işletilmektedir. Yatak derinde ve tenörü düşük olduğundan çıkarılması ve işlenmesi zor olup maliyeti de yüksektir. Yatakta şu anda üretim yapılmamaktadır ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.4. Death valley bor yatakları/billie mine

Yeraltı ocak işletmeciliği yöntemi ile işletilmektedir. Yatakta bulunan bor mineralleri; Üleksit, kolemanit ve propertittir. Bu yatakta şu anda üretim yapılmamaktadır ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.5. Sırbistan bor yatakları

2004 yılında keşfedilen Jadar Bor Havzasını 2005 yılından beri Rio Tinto şirketi işletmektedir. Bor yataklarının  $B_2O_3$  içeriği %13,1;  $Li_2O$  içeriği ise %1,8'dir. Yatakta en fazla bulunan mineraller; kolemanit ve jadar'dır. Şirketin 2014 yılı faaliyet raporuna göre yatakların 16,2 milyon ton  $B_2O_3$  rezervine sahip olduğu tahmin edilmektedir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.6. Güney Amerika bor yatakları

Bu yatakların en belirgin özelliği çok geniş alanlara küçük rezervler halinde yayılmış olmasıdır. Bu yataklar And dağlarının 4000 metrelik yüksek yerlerinde olup, çalışma mevsimi kısadır. Bu yataklar düşük tenörlüdür. Güney Amerikadaki bor rezervlerinin büyük kısmını üleksit oluşturmaktadır ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.7. Tincalayu bor yatakları, Arjantin

İlk zamanlarda Rio Tinto Borax şirketinin işlettiği yataklar 2012 yılından itibaren Avusturalya menşeli Orocobre Ltd. şirketine devredilmiştir. Yatak yaklaşık %20 tenörlü 300 bin ton  $B_2O_3$  bazında kolemanit, tinkal, üleksit ve kernit rezervine sahiptir. 2014 yılında 40 bin ton üretim gerçekleştirilmiştir. Ayrıca şirkete ait 9.000 ton/yıl kapasiteli borik asit tesisi bulunmaktadır ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.8. Salar de olaroz bor yatakları, Arjantin

Yataklar deniz seviyesinden 3900 m yüksekliktedir. İşletme hakkı Orocobre Ltd. şirketine aittir. 93 m<sup>2</sup>'lik alanda bor, lityum ve potasyum kaynakları bulunmaktadır. Şirket 1,85 milyon ton bor kapasitesine sahip alanda öncelikle lityumu değerlendirmek için proje yapmıştır ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.9. Salar de surire bor cevheri yatağı, Şili

Yataklar Şili'nin Arica şehrinin denizden 4050 m yükseklikteki kısımlarında bulunmaktadır. Toplamda 1,5 milyar ton  $B_2O_3$  bazında ise 30 milyon tonluk rezervi ile dünyanın en büyük üleksit yataklarından biridir. Yatakların işletme hakkı QuiBorax şirketine ait olup yıllık 36 bin ton üretim kapasiteli borik asit tesisi bulunmaktadır ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.10. Salar de uyuni bor yatağı, Bolivya

Dünyanın en büyük suyu çekilmiş tuz gölüne ait sahada 9,5 milyon ton üleksit ve 7 milyon ton lityum rezervi bulunmaktadır. Yataklardan Minerex Sa şirketi tarafından aylık 1.500 ton kalsine üleksit üretilmektedir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.11. Salar de carcote ve salar de ascotan bor yatakları, Kuzey Şili

Yataklar SQM Salar şirketi tarafından işletilmekte olup  $B_2O_3$  bazında 7 milyon ton üleksit rezervine sahiptir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.12. Asya bor yatakları

Asya ülkelerinde bulunan bor mineralleri çoğunlukla magnezyum borat (Askarit) ve az miktarda borosilikat ile tinkalden oluşmaktadır. Bu cevherler düşük tenörlüdür. Askarit cevherinin  $B_2O_3$  oranı %8-10 civarında olup genellikle Çin ve Kazakistan da bulunmaktadır. Çin'deki bor yatakları çok geniş bir alan kaplamasına rağmen, yatakların %90'dan fazlasının tenörü %12'nin altında  $B_2O_3$  içermektedir. Çin'deki Qinghai bor yataklarının 4000 m yükseklikte bulunması ve birbirine benzer mineral gruplar içermesi (bor, lityum ve potasyum gibi) nedeniyle Güney Amerika'daki bor yatakları ile benzer özellikler göstermektedir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

#### 4.1.13. Rusya bor yatakları

Rusya'da bulunan Dalnegorsk bor yatağı dünyadaki en önemli 3 datolit bor yatağından birtanesidir. Yatakların toplam rezerv miktarı yaklaşık 230 milyon ton olup,  $B_2O_3$  içeriği %9-10'dur. Bu yataklar Russian Bor şirketi tarafından işletilmektedir. 2014 yılında 81 bin ton bor ürünü üretilmiştir. Bu ürünlerin yaklaşık %10'u borik asit olup diğer üretilen ürünler; kalsiyum borat, borik anhidrit ve konsantre datolittir ([www.boren.gov.tr](http://www.boren.gov.tr)).

**Çizelge 4.1.** Dünya bor rezervlerinin dağılımı (2014) ([www.boren.gov.tr/](http://www.boren.gov.tr/)).

| ÜLKE          | TOPLAM REZERV<br>(Bin ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | TOPLAM REZERV<br>(% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |
|---------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Türkiye       | 953.300                                                   | 72,8                                                |
| Rusya         | 100.000                                                   | 7,6                                                 |
| A.B.D.        | 80.000                                                    | 6,1                                                 |
| Çin           | 47.000                                                    | 3,6                                                 |
| Şili          | 41.000                                                    | 3,1                                                 |
| Sırbistan     | 24.000                                                    | 1,8                                                 |
| Peru          | 22.000                                                    | 1,7                                                 |
| Bolivya       | 19.000                                                    | 1,5                                                 |
| Kazakistan    | 15.000                                                    | 1,1                                                 |
| Arjantin      | 9.000                                                     | 0,7                                                 |
| <b>TOPLAM</b> | <b>1.310.300</b>                                          | <b>100,0</b>                                        |

#### 4.2. Türkiye Bor Rezervleri



**Şekil 4.2.** Türkiye bor madeni yatakları ([www.google.com/](http://www.google.com/)).

Türkiye'deki bor yataklarının tümü Batı Anadolu'da bulunmaktadır. Şimdiye kadar tespit edilmiş bor yatakları; Bigadiç, Sultançayırı, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır (Helvacı, 2004).

Ülkemizde rezervi en fazla olan bor mineralleri tinkal ve kolemanittir. Ülkemizdeki kolemanit yatakları en çok Emet ve Bigadiç'te, Tinkal yatakları ise Kırka'da bulunmaktadır. Bigadiç'te az miktarda üleksit rezervi bulunmakta olup Kestelek'te zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Rezerv miktarları mineral bazında aşağıda belirtilmiştir ([www.boren.gov.tr/](http://www.boren.gov.tr/)).

**Çizelge 4.2.**Türkiye Bor Rezervlerinin Dağılımı 2015, ([www.boren.gov.tr/](http://www.boren.gov.tr/)).

| <b>CEVHER CİNSİ</b>         | <b>TOPLAM (TON)</b>  | <b>TOPLAM (%)</b> |
|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| EMET (Kolemanit-Üleksit)    | 1.815.291.000        | 55,26             |
| KIRKA (Tinkal)              | 832.676.000          | 25,34             |
| BİGADİÇ (Kolemanit-Üleksit) | 631.865.000          | 19,22             |
| KESTELEK (Kolemanit)        | 5.555.000            | 0,18              |
| <b>TOPLAM</b>               | <b>3.285.087.000</b> | <b>100</b>        |

## 5. TÜRKİYE’DE BULUNAN BOR İŞLETMELERİ

Eti Madene bağlı 4 İşletme Müdürlüğünde bor kimyasalları ve eşdeğeri ürünler (boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, borik asit, bor oksit, kalsine tinkal, susuz boraks ve öğütülmüş kolemanit) üretilerek iç ve dış piyasalarda satılmaktadır. Bor kimyasalları ve eşdeğeri ürünlerin üretimi çoğunlukla Kırka olmak üzere Bandırma ve Emet’te yapılmaktadır. Bor kimyasalları içinde en çok üretimi yapılanlar; boraks pentahidrat ve borik asittir. Ülkemizde 1998 yılından itibaren öğütülmüş kolemanit, 2006 yılından itibaren bor oksit, 2008 yılından itibaren de kalsine tinkal ve susuz boraks üretimine başlanmıştır. 2011 yılında IV. Boraks Pentahidrat Üretim Tesisi ve Borik Asit Tesisi Tevsii, 2012 yılında ise Boraks Fabrikası Modernizasyonu ve Borik Asit Fabrikası Modernizasyonu yatırımları tamamlanarak faaliyete başlamıştır. Ayrıca 400.000 ton/yıl kapasiteli Bigadiç Konsantratör ve Öğütme Ünitesi üretime başlamıştır. 2013 yılında 6.000 ton/yıl Camsı Boroksit tesisi faaliyete başlamıştır (Bor Sektör Raporu, 2013).

### 5.1. Emet Bor İşletme Müdürlüğü



**Şekil 5.1.** Emet bor işletme müdürlüğü ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Emet İşletme Müdürlüğü, Kütahya’nın 100 km güneybatısında Emet İlçesinde bulunmaktadır. Maden sahaları Hisarcık’a bağlı Hamamköy ile Emet’e bağlı Espey bölgesinde bulunmaktadır. 1958 yılında Etibank-Emet Kolemanit Maden İşletmesi Şantiye Şefliği olarak kurulmuş olup 1962 yılında Müessese Müdürlüğüne dönüştürülmüştür. 1998 yılında yeniden yapılanarak İşletme Müdürlüğü adını almıştır. 2004 yılından itibaren Emet Bor İşletme Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir.



**Şekil 5.2.** Emet açık ocağı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

İşletme Müdürlüğüne bağlı Hisarcık ve Espey açık ocaklarında kolemanit cevheri çıkartılmakta ve çıkarılan cevher burdaki konsantratör tesislerinde işlenmektedir. Üretilen konsantrelerin bir kısmı Bandırma'daki Borik Asit Fabrikasına gönderilmekte, çoğunluğu ise Emet'teki tesislerde öğütülerek Borik Asite dönüştürülmektedir ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Emet bölgesindeki bor yataklarında kolemanit minerali egemendir. Emet-Espey bölgesindeki, 450 bin ton/yıl kolemanit konsantresi kapasiteli tesisin yapımı 1998 yılında tamamlanmıştır ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Hisarcık açık ocağında çıkarılan kolemanit cevherini zenginleştirmek amacıyla kurulan konsantratörde yapılan başlıca işlemler; kırma, kalsifikasyon ve yıkamadır. Hisarcık'daki açık işletmeden elde edilen kolemanitin  $B_2O_3$  oranı %29 olup, konsantrator tesisinde işlendikten sonra  $B_2O_3$  oranı %41'e çıkarılmaktadır (DPT, 2001).

Emet kolemanit işletmesinde üretim sonucu açığa çıkan atıklardaki borun geri kazanılması için yapılan manyetik ayırma ve kalsinasyon zenginleştirmeleri sonucunda başarılı sonuçlar alınmıştır (Erkal ve Girgin, 1992).

Alp ve Özdağ, Emet kolemanit konsantratörü -3 mm atıkları üzerinde yaptıkları ultrasonik zenginleştirme çalışmaları ile %24.57  $B_2O_3$  içeren atıklardan %43.35  $B_2O_3$  tenörlü konsantreyi %97.75 kazanma verimi ile elde etmişlerdir (Alp ve Özdağ, 2000).

Araştırmacılar emetteki bor atıklarından satılabilir kolemanit konsantresi elde edebilmek için; suda bekletme + mekanik dağıtma + manyetik ayırma deneyleri yapmışlar ve %22-23 oranında  $B_2O_3$  içeren atıklardan %39.17  $B_2O_3$  içerikli konsantreyi %64.73 kazanma

verimi ile elde etmişlerdir. Başka bir çalışmada yine üretim sonucu açığa çıkan atıklarından borun geri kazanılması ile ilgili, suda bekletme + mekanik dağıtma sonrası ses ötesi dalgalarla zenginleştirme deneyleri yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Deneyler sonucunda %83.79 verimle %36.04 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantre elde edilmiştir (Sönmez vd., 1997).

## 5.2. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü



**Şekil 5.3.** Kırka bor işletme müdürlüğü ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, Eskişehir'in Seyitgazi ilçesine bağlı Kırka beldesinde bulunmaktadır. 1970 yılında şantiye teşkilatı olarak kurulmuş olup, 1972 yılında 400 bin ton/yıl tinkal konsantresi kapasiteli tesisin temelinin atılması ile tesis durumuna geçmiş ve 1975 yılında konsantratörün üretime başlaması ile işletme statüsüne kavuşmuştur ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

İşletme 1979 yılından itibaren Kırka Boraks İşletmesi Müessesesi Müdürlüğüne, 1998 yılındaki yeniden yapılanma sonucunda İşletme Müdürlüğüne dönüştürülmüştür. 2004 tarihinden itibaren Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Kırka Bor İşletme Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

İşletmede şu an 4 tesiste Etibor-48 (boraks pentahidrat) üretimi yapılmaktadır. 2008 ve 2014 yılında 2 ilave tesisin devreye girmesiyle bu tesislerden 10.000 ton/yıl Susuz Boraks üretimi yapılmaktadır. 2014 yılından itibaren Etimatik Borlu Temizlik Ürünü üretimine de başlanmıştır ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).



**Şekil 5.4.** Kırka açık ocağı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Eti Holding Kırka Boraks işletmesinde üretim sonucu açığa çıkan atıkların büyük boyutlara ulaşması ve çevre kirliliğinin artması sonucunda son yıllarda bu atıkların değerlendirilmesi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır (Bentli vd., 2002).

Yeşilkaya ve arkadaşları, kırka konsantratör atıklarındaki kilin salkımlaştırılarak sudan ayrılması ve seramik sanayinde kullanılabilirliği üzerinde araştırmalarda bulunmuşlardır. Araştırma sonucunda konsantratör atığının seramik endüstrisinde sır yapımında katkı maddesi olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Yeşilkaya vd., 1989).

Kavas ve arkadaşları, Kırka bor atık killeri ile Seydişehir kırmızı çamurunu değişik oranlarda karıştırarak yüksek mukavemetli ve düşük su emme özelliğine sahip kaliteli tuğla imal etmişlerdir. Bu karışımın endüstriyel hammadde olarak, seramik ve inşaat sektöründe kullanılabileceği belirtilmiştir (Kavas ve Emrulloğlu, 1999).

Badruk ve arkadaşları kırka tesislerindeki üretim sonucu açığa çıkan atıkların oluşturduğu çevre kirliliğini önlemek için bu atıkların kompaktlaştırılabilirliği üzerine araştırmalar yapmışlardır. Çalışma sonunda atıkların, preslenerek bir göletten yüzlerce defa daha az bir yer kaplayacak şekilde depolanabileceğini ve çevreye daha az zarar verebileceğini belirtmişlerdir (Badruk vd., 1997).

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, Dünyadaki en büyük tinkal rezervine sahip maden ocağıdır. Açık işletme yöntemi ile üretilen tinkal cevheri; konsantre tinkale dönüştürüldükten sonra, tamamına yakını işletme bünyesindeki bor türevleri tesislerinde işlenerek boraks pentahidrat üretiminde kullanılmaktadır. Bir kısım tinkal (Tüvenan/Konsantre) ise

Bandırma’da boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat üretiminde kullanılmaktadır (Dokuzuncu Kalkınma Planı, 2006).

### 5.3.Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü



**Şekil 5.5.** Bandırma bor ve asit fabrikaları işletme müdürlüğü ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Emet kolemanit yataklarının değerlendirilmesi çalışmaları sonucunda 20.000 ton/yıl boraks dekahidrat-boraks pentahidrat ve 6.000 ton/yıl borikasit üretmek amacıyla 1964 yılında Bandırma - Balıkesir yolu üzerinde tesislerin temeli atılmış ve 1968 yılında tamamlanmıştır ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).



**Şekil 5.6.** Bandırma bor ve asit fabrikaları işletme müdürlüğü /sülfürik asit fabrikası – ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

1968 yılında başlayan kapasite arttırma çalışmalarından sonra boraks dekahidrat ve pentahidrat kapasiteleri 55.000 ton/yıl, borik asit kapasitesi de 25.000 ton/yıl olarak 1974 yılında üretime geçmiştir. İşletme 1998 yılında İşletme Müdürlüğüne dönüştürülmüş olup 2004 yılından itibaren Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü olarak faaliyetlerine devam etmektedir ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).

İşletme bünyesinde; Boraks Dekahidrat, Boraks Pentahidrat, Borik Asit, Amorf Boroksit, Camsı Boroksit - Susuz Boraks, Zirai Bor (Etidot-67) gibi ürünler imal edilmektedir ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).

Bandırma Borik asit işletmesinde Borik asit üretimi sırasında açığa çıkan ve şlam olarak adlandırılan atıklar belli oranlarda yer karosu hamuruna katılarak yer karosu üretilmiştir. Aynı çalışmada bor atıklarının portland çimentosuna katılabileceği ve atıkların  $B_2O_3$  içermesi nedeniyle nötron tutucu özellikte olduğu belirtilmiştir (Olgun ve Erdoğan, 2001).

Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü'ne bağlı 8 fabrika bulunmaktadır. Bunlar;

- **Boraks fabrikası:** 1964 yılında kurulumuna başlanmış ve 1967 yılında faaliyete geçmiştir. Fabrikada üretilen ürünler; Boraks Dekahidrat ve Boraks Pentahidrattır. Üretim kapasiteleri Boraks Dekahidrat için; 200.000 ton/yıl, Boraks Pentahidrat için; 150.000 ton/yıl'dır ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).
- **Borik asit fabrikası:** 1964 yılında kurulumuna başlanmış ve 1967 yılında tamamlanmıştır. Üretimi yapılan ürünler; Borik Asit ve Boraks Dekahidrattır. Üretim kapasiteleri Borik Asit için 150.000 ton/yıl, Boraks Dekahidrat için 100.000 ton/yıl'dır ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).
- **Amorf bor oksit fabrikası:** Fabrika 2 tesisten oluşmaktadır. Fabrikada üretimi yapılan ürün; Amorf Bor Oksittir. Üretim kapasitesi 3.200 ton/yıl'dır ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).
- **Camsı bor oksit - susuz boraks fabrikası:** 2013 yılında faaliyete geçmiştir. Üretimi yapılan ürünler; Camsı Bor Oksit ve Susuz Borakstır. Üretim kapasiteleri Camsı Bor Oksit için 6.000 ton /yıl, Susuz Boraks için 10.000 ton/yıl'dır ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).
- **Sodyum perborat fabrikası:** 1975 yılında faaliyete başlamıştır. Üretimi yapılan ürünler; Boraks Dekahidrat, Sodyum Perborat Tetrahidrat ve Sodyum Perborat Monohidrattır. Üretim kapasiteleri Boraks Dekahidrat için 65.000 ton/yıl, S.P.

Tetrahidrat üretilmesi durumunda 40.000 ton/yıl, S.P. Monohidrat üretilmesi durumunda 9.000 ton/yıl'dır ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).

- **Etidot-67 fabrikası:** Fabrika 2009 yılında kurulmuştur. Etidot-67 (Borlu gübre) üretilmektedir. Üretim kapasitesi 8.500 ton/yıl ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).
- **Öğütülmüş kolemanit fabrikası:** 2012 Yılında kurulmuştur. Öğütülmüş Kolemanit üretilmektedir. Üretim kapasitesi 225.000 ton/yıl ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).
- **Sülfürik asit fabrikası:** 1972 yılında kurulmuştur. Sülfürik Asit, Teknik Asit, Saf Asit, Kalsine Pirit üretilmektedir. Üretim kapasitesi Sülfürik Asit için 240.000 ton/yıl, Kalsine Pirit için 168.000 ton/yıl ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).

#### 5.4. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü



**Şekil 5.7.** Bigadiç bor işletme müdürlüğüne bağlı tülü açık ocağı ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).

İşletme Müdürlüğü, Bigadiçe bağlı Osmanca köyü civarında kurulmuştur. 1976 yılına kadar özel sektör tarafından işletilen maden ocakları (bugünkü Tülü Açık İşletmesinin bulunduğu saha) işletmeci Fransız şirketinin saha sınır anlaşmazlığının büyümesinden dolayı 1976 yılında Etibank'a devredilmiştir. 2004 yılından itibaren Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir ([www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)).

Bigadiç bor yataklarında bulunan mineral türleri genellikle kolemanit ve üleksittir. Kolemanit atıklarıyla yapılan çalışmalarda atıklar fiziksel, kimyasal ve mineralojik olarak incelendikten sonra atık içindeki kolemanitin kazanılması için zenginleştirme çalışmaları

yapılmıştır. Atıktan öncelikle Mekanik dağıtma + sınıflandırma ile bir ön konsantre alınmış ve bu ön konsantreye gravite ayırması, elektrostatik ayırma, flotasyon ve ısıl işlem uygulanmıştır. Gravite ve elektrostatik ayırma yöntemiyle istenen düzeyde ayırma yapılamamıştır fakat flotasyon ve ısıl işlem yöntemleriyle istenilen düzeyde ayırım yapılabilmektedir. Ancak ısıl işlem flotasyona göre daha başarılı sonuç vermiştir (Kaytaş vd., 1986).



**Şekil 5.8.** Bigadiç bor işletme müdürlüğü açık ocak ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Bigadiçte -3 ve +0.2 mm olarak sınıflandırılan atıklardan kolemanitin geri kazanılması için mekanik dağıtma + sınıflandırma işlemleriyle zenginleştirilen ön konsantreye ayrı ayrı elektrostatik ayırma, ısıl işlem ve flotasyon yöntemleri uygulanmış ve atıklardan borun geri kazanılması sağlanmıştır (Doğan vd 1997).

İşletmeye bağlı 3 konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemi yapılmakta ve yine işletmeye bağlı 3 öğütme tesisinde öğütülmüş ürünler elde edilmektedir. Halen İşletme Müdürlüğüne bağlı; Tülü, Acep, Simav ve Kestelek'teki açık ocaklarda kolemanit ve üleksit cevheri üretilmektedir ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Bigadiç İşletme Müdürlüğüne bağlı olarak faaliyetlerini sürdüren Kestelek işletmesinde arama çalışmaları 1979 yılında başlamış olup 1985 yılında üretime geçilmiştir. Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü üretim tesisleri, Mustafakemalpaşa ilçesine bağlı Kestelek'te kurulmuştur. Kestelek'te yalnızca kolemanit minerali, bir adet açık ocaktan üretilmektedir. Bu ocaktan üretilen kolemanit cevheri, konsantratör tesisinde zenginleştirilerek kolemanit konsantresi ve konsantre ürün üretiminde kullanılmaktadır ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Kestelek Bor işletmesindeki atıklardan borun geri kazanılması amacıyla yapılan mineralojik incelemelerde, atıklarda montmorillonit, kasit, klorit ve biyotit gibi paramanyetik minerallerin bulunduğu ve bu minerallerin yüksek alan şiddetli kuru Permroll manyetik ayırıcılarla başarılı bir şekilde ayrılabilceğı tespit edilmiştir (Bozkurt, 1989).

Kestelek konsantratör tesisinde -25, +3 ve -3 mm olarak sınıflandırılan atıkların, mekanik dağıtma + sınıflandırma işlemi sonrası manyetik ayırma yöntemi ile B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörüne yükseltilebileceğı belirlenmiştir (Gündüz vd., 2001).



## 6. DÜNYA BOR ÜRETİMİ

2014 yılında Dünyadaki toplam bor üretiminin 5,6 milyon ton, bununda yaklaşık 2,6 milyon tonunun  $B_2O_3$  olduğu tahmin edilmektedir. Dünya  $B_2O_3$  üretiminin ülkelere göre dağılımı aşağıda gösterilmiştir ([www.boren.gov.tr/](http://www.boren.gov.tr/)).

**Çizelge 6.1.** Dünya  $B_2O_3$  üretiminin ülkelere göre dağılımı (2014) ([www.boren.gov.tr/](http://www.boren.gov.tr/)).

| ÜLKE                          | Üretilen $B_2O_3$ (Bin Ton ) | Üretilen $B_2O_3$ (%) |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Türkiye                       | 1.086                        | 41,98                 |
| ABD                           | 645                          | 24,93                 |
| Rusya, Çin, Hindistan         | 460                          | 17,79                 |
| Arjantin, Şili, Peru, Bolivya | 396                          | 15,30                 |
| <b>TOPLAM</b>                 | <b>2.587</b>                 | <b>100</b>            |

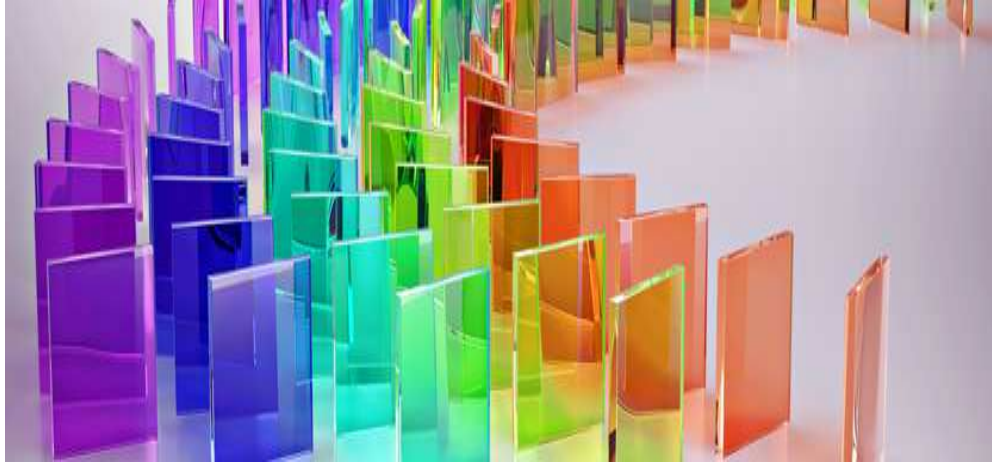
## 7. BOR ÜRÜNLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Endüstride yaygın olarak kullanılan ve çeşitli kullanım alanlarına sahip bor bileşiklerinin önemi hızla artmaktadır. Günümüzde yaklaşık 400 den fazla üründe hammadde olarak kullanılmaktadır (Altun, 2005).

Bor madeni, eklendiği ürünlere olumlu anlamda farklı özellikler kattığından “sanayinin tuzu” olarak adlandırılmaktadır. Bor ilave edildiği ürünlerin değerini arttırdığından ekonomik açıdan çok önemli bir üründür ve gün geçtikçe kullanım alanları artmaktadır (Kılıç vd., 2009).

Bor ürünlerinin başlıca kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir;

### 7.1. Cam Sanayi



**Şekil 7.1.** Bor'un cam sanayinde kullanımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Bor minerallerinin en fazla kullanıldığı alan cam sektörüdür. Bor, ergimiş haldeki cam ara mamulüne katılarak onun akışkanlığını artırır böylelikle elde edilen ürünün yüzey sertliği ve dayanıklılığı yükselmiş olur. Borosilikat camlar, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyafların yapımında en çok  $B_2O_3$  kullanılmaktadır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

Bor mineralleri cam sanayisinde kullanıldığında elde edilen ürünlere kattığı özellikler aşağıda belirtilmiştir;

- Hammaddenin ergime noktasını düşürür.
- Ergimiş ortamın viskozitesini düşürür.
- Camın termal genleşme katsayısını düşürür.

- Camın kırılma indisini büyütür.
- Camın saydamlığını ve parlaklığını artırır (Acarkan, 2015).

Bor'un cam sanayisinde kullanıldığı diğer alanlar; sıvı kristal göstergelerinde, özel fırın kaplarında, laboratuvar malzemelerinde, cam yününde, LCD ekranlarda ve CRT cam ürünlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca borlu bazı özel camlar uzay sanayinde, elektronik endüstrisinde ve nükleer reaktörlerde kullanılmaktadır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

## 7.2. Seramik Sanayi



**Şekil 7.2.** Bor'la kaplanmış seramik ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Bor, seramik sanayinde en çok sır ve fritlerde kullanılmaktadır. Seramik sanayisi ülkemizde borun en çok kullanıldığı alanların başında gelmektedir. Bor mineralleri seramik sanayisinde kullanıldığında ürünlere kattığı özellikler aşağıda belirtilmiştir;

- Sinn kıvamlılığını düşürür.
- Sinn yüzey gerilimini düşürür.
- Parlaklığı ve saydamlığı artırır (Acarkan, 2015).

Seramik sırlarında ağırlıkça %8-24 oranında  $B_2O_3$  kullanılmaktadır.  $B_2O_3$ 'ün Sırlardaki kullanım amacı; cam ve malzeme arasındaki ısısal uyumu sağlamak ve sırrın ısısal genleşme kat sayısını düzenlemektir. Sırlara, bor ilave edilmesinin sebeplerinden biride, ergimenin ilk aşamalarında cam oluşumunu sağlamaktır. Boratlar, camdan yapılmış malzemelerin ateşe dayanaklılığını artırarak görünümünü de iyileştirmektedir. Sır'a bor eklendiğinde elde edilen

ürünün mekanik gücü ve çizilme direnci artmaktadır. Ayrıca bor katılan malzemelerin, kimyasalların ve suyun etkilerine karşı direnci artmaktadır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

$B_2O_3$  %20 oranında kullanıldığında emayelerin akışkanlığını ve doygunlaşma ısını azaltmaktadır. Emayelere katılan hammaddelerin %17-32'si  $B_2O_3$  olup, bu işlem için sulu boraks tercih edilmektedir. Seramiğin çizilmeye karşı dayanıklılığını arttıran bor, %3-24 oranında kolemanit halinde sırlara ilave edilmektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

### 7.3. Temizleme ve Beyazlatma Sanayi



Şekil 7.3. Bor katkılı deterjan ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Dünyada kullanılan borun yaklaşık %20'si sabun, deterjan gibi temizlik ürünlerinin üretimine yöneliktir (Özpeker, 2001). Bor minerallerinin temizlik ve beyazlatma sanayisinde kullanılmasının başlıca nedenleri;

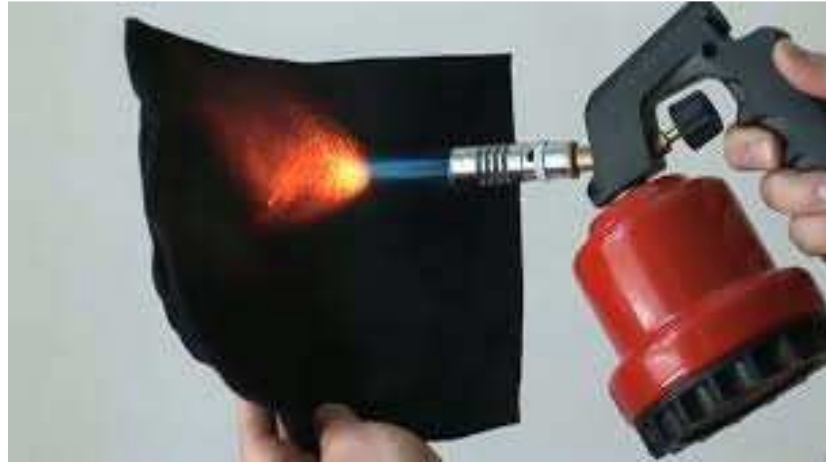
- Güçlü bir beyazlatıcıdır.
- Lekeleri çözer.
- PH'ı dengeler, suyu yumuşatır, yağları parçalar.
- Aktif oksijeni dengeler.
- Anti bakteryeldir (Yakıncı ve Kök, 2016).

Bor yukarıdaki sahip olduğu özelliklerinden dolayı kumaşları çok az yıpratır ve renklerini soldurmaz. Çok düşük sıcaklıklarda bile etkilidir. Çamaşırların yıkanma süresini ve

su tüketimini azaltır. Çamaşır makinelerindeki çeliğin aşınmasına ve matlaşmasına karşı etkilidir. Deterjanların yapısında yaklaşık %20-25 oranında sodyum perborat bulunmaktadır (Acarkan, 2015).

Sabun ve deterjanlara mikropları öldürme ve suyu yumuşatma etkisinden dolayı %10 boraks dekahidrat ilave edilmektedir. Toz deterjanlara beyazlatma etkisini arttırmak için %10-20 oranında sodyum perborat (mono veya tetra olarak) katılmaktadır. Bunun nedeni Sodyum perborat aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

#### 7.4. Alev Geciktiriciler



**Şekil 7.4.** Bor katkılı kumaş ([www.google.com.tr/](http://www.google.com.tr/)).

Boratlar; ahşap, selülozik yalıtım, PVC ve tekstil gibi çeşitli alanlarda alev geciktirici olarak kullanılmaktadır. Bor, yanan malzeme ile oksijenin temasını engelleyecek şekilde malzemeyi kaplar ve yanmayı engeller. Plastik malzemelerde yanmayı engellemek için Çinko borat kullanılmaktadır. Selülozik malzemelerde ise yanmayı engellemek için borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat gibi kolay çözünebilir boratlar kullanılmaktadır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Borik asit ve boraks pentahidrat selülozik yalıtımda kullanılmaktadır. Bu ürünler malzemenin alev almaya karşı direncini arttırmak ve mikroorganizmaların gelişimini engellemek için kullanılmaktadır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

PVC ürünlerinde yanmayı engellemek için; amonyum fluoborat, baryum metaborat, çinko borat ve bor fosfatlar gibi bor bileşikleri kullanılmaktadır. PVC ürünleri yanarken ortamda  $HCl_{(g)}$  gazı oluşmaktadır. PVC ürünlerine alev almayı geciktirmek için çinko borat

eklendiğinde,  $HCl_{(g)}$  gazı uçucu olmayan çinko ve bor bileşikleri ile reaksiyona girerek zararlı gazların oluşmasını engellemektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Tekstil ürünlerinde yanmayı engellemek için boraks ve borik asit kullanılmaktadır. Fakat boraks ve borik asit suda çok kolay çözündüğünden ürünler yıkandığında belli bir zaman sonra üründen atılabilmektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Ahşap malzemeleri mantar ve böceklerden korumak için disodyum oktaborat tetrahidrat kullanılmaktadır. Bu malzeme spreyle veya boyama yöntemiyle ahşap malzemeye kolaylıkla uygulanabilmekte ve ahşap malzemeye yanmazlık özelliği katılabilmektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

#### 7.5. Tarım Sektörü



**Şekil 7.5.** Bor ürünlerinin tarım sektöründe kullanımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Borun tarım ürünlerine etkisi şu şekildedir; az miktardaki bor bitkilerin gelişmesine yardım eder. Fakat toprağa fazla miktarda bor katıldığında bitkileri öldürücü etki yapar. Bu nedenle gübrelere uygun miktarda katılarak tarımda kullanılmaktadır. Toprağa fazla miktarda katılan bor bitkileri öldürücü etki yaptığından yabancı otlarla mücadelede kullanılmaktadır (Acarkan, 2015).

Bitkilerin gelişiminde önemli katkısı olan borun faydaları yaklaşık 80 yıldır bilinmesine rağmen bitkilerin bünyesindeki işlevi halende tam olarak bilinmemektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Bor, bitki hücrelerindeki; şeker geçişlerini, hücre bölünmesi ve gelişimini, fotosentez metabolizmasını düzenlemektedir. Toprağa yeterli miktarda bor katılmadanda bitkiler büyür ve

yaprak açabilir ancak meyve veya tohum üretiminde kayıplar olabilmektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

#### 7.5.1. Sebzelerde ve meyvelerde

Sebzeler üzerinde yapılan araştırmalarda; Bor'un, sebzelerin büyümesini ve kalitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Borlu gübre ile yetiştirilen sebzelerin köklerinin gelişiminde, hücre içindeki şeker ve nişasta iletiminde, besleyici maddelerin bitki içi dolaşımında, büyüme hormonlarının oluşumunda, çiçek ve tomurcuk oluşumunda artışlar gözlenmiştir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Bor, meyve ağaçları için çok önemli bir üründür. Yeterli miktarda bor takiveysi yapılan meyve ağaçlarının; meyve sayısında artış, meyve kabuklarındaki çürümelerde azalma, besleyici maddelerin yapraklardan meyveye iletiminde hızlanma, gelişmiş dalların sayısında artış ve buna bağlı olarak daldan düşen meyve sayısında azalma gözlenmektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Çok az miktardaki bor bitkilerin gelişimini tamamlaması için yeterlidir. Bu sebeple toprak analizi yapıldıktan sonra bitkilere çok az miktarda bor verilmelidir. Bitkilere verilen bor miktarları bitkilerin türüne göre değişmektedir. Örneğin şekerpancarında hektar başına 3 kg bor yeterliyken, bu oran buğday için 1 kg olabilmektedir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Bor, toprağın bünyesine borik asit, boraks vb. formlarda katılabilir. Burda önemli olan nokta toprağa eklenen bor türünün toprağın pH değerine uygun olması ve uygulama esnasında kolaylıkla çözünmesidir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

## 7.6. Metalurji Sanayi



**Şekil 7.6.** Bor'un demir-çelik sanayinde kullanımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Bor minerallerinin Metalürjide kullanılmasının sağladığı bazı özellikler;

- Ergime sıcaklığını düşürür.
- Cürufun akışkanlığını artırır.
- Çeliği sertleştirir.
- Fırın tuğlalarının aşınmasını azaltır.

Bor, Demir-çelik sanayisinde hammaddelerin ergime sıcaklığını düşürerek tüketilen enerjide tasarruf sağlar. Bor türevleri kendisinin ya da çelik ile alaşımlarının yüksek sertliği nedeniyle kesici aletlerde kullanılır. Ayrıca manyetik ayırıcılarda sürekli yüksek manyetik alan şiddeti oluşturan magnetlerin içinde nadir metallerle birlikte bulunmaktadır. Bor, kaplama sanayisinde kullanılan elektrolitlerin yapımında ve lehimleme işlemlerinde de kullanılmaktadır (Acarkan, 2015).

Borun metalurjideki değişik kullanım alanları şu şekildedir; Flakslama uygulamalarında, bakır alaşımlarının ergitilmesinde, altın analizlerinde ve rafinasyonunda, çeliğin lehim kaynağı yapılması sırasında ve gaz lehimlemede kullanılmaktadır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Çeliğin içine bor katıldığında, çeliğin sertlik ve mukavemeti artmaktadır. Çeliğin içine 50 ppm'e kadar bor katılabilir. Bor katkılı çeliklerin sertleşebilme kabiliyetleri daha yüksektir ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

Borlama işlemi bor bileşiklerinin kullanıldığı başka bir uygulama alanıdır. Borlama işlemiyle çelik ile kaplanmış maddelerin yüzey sertliği artırılmaktadır. Borla kaplanmış çelikler, korozyona ve aşınmaya karşı çok etkilidir. Genellikle hidrolik aletler ve petrol kuyusu delme matkaplarının yüzeylerinin cilalanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca bor ile kaplanmış malzemeler, otomotiv sanayinde sürtünme katsayısını azaltmak ve otomobilin hareketli parçalarını korumak için kullanılmaktadır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

#### 7.7. Bor Fiberleri



**Şekil 7.7.** Bor fiberleri ([www.google.com.tr/](http://www.google.com.tr/)).

Bor fiberleri; spor aletlerinden, uzay ve hava araçlarına kadar değişik alanlarda kullanılmaktadır. Bor fiber kompozitleri, bor fiberleri ile güçlendirilmiş polimer reçinelerden oluşmaktadır. Hava ve uzay araçlarının üretiminde kullanılan ilk ileri kompozit malzemeler, bor fiber kompozitleridir. Bor fiberlerinin maliyetleri yüksek olduğundan kullanım alanları sınırlıdır ([www.borengov.tr](http://www.borengov.tr)).

## 7.8. Uzay ve Havacılık Sanayi



**Şekil 7.8.** Bor'un füze yakıtı olarak kullanımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Uçak ve havacılık endüstrisinde borun kullanım alanı sürekli artmaktadır. Aerodinamikteki gelişmeler, yüksek hız kanat uygulamaları, yüksek ısıya dayanımlı gövde, düşük ağırlık yüksek kapasite ve benzeri uygulamalar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda havacılık ve uzay sanayinde kompozit malzeme kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

Borun yanıcı özelliğinin yanında tutuşma sıcaklığının yüksek olması, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevre kirliliğine neden olan emisyon açığa çıkarmaması ulaşım araçlarında kullanılmasındaki en büyük avantajlardandır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

Bor kimyasalları füze yakıtı olarak ayrıca hidrojen diboran ( $B_2H_6$ ) ve hidrojen pentaboran ( $B_5H_9$ ) gibi borhidrürler uçaklarda yüksek performanslı potansiyel yakıt olarak kullanılmaktadırlar ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

## 7.9. Enerji Sektörü



**Şekil 7.9.** Bor'un enerji sektöründe kullanımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Ticari değeri yüksek olan bor hidrürlerin en önemlisi sodyum borhidrürdür. Bu bileşik; atık sulardaki ağır metallerin giderilmesi ve kâğıt hamurunun beyazlatılması gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

Sodyum borhidrür hidrojenin depolanması işleminde kullanılmaktadır. Bunun nedenleri; yanıcı/patlayıcı olmaması, çevreye zarar vermemesi, reaksiyonu sonunda meydana gelen sodyum metaboratın tekrar sodyum borhidrüre dönüştürülebilmesi, elde edilen hidrojenin yarısının sudan diğer yarısının sodyum borhidrürden gelmesi gibi avantajlı özellikleridir. Sodyum borhidrür hidrojeni depolama işlemindeki avantajlarından dolayı, gelecekte hidrojenin yakıt olarak kullanımının artmasıyla enerji alanında önemli bir ürün haline gelecektir. Ayrıca yakıt pillerinde doğrudan yakıt olarak da kullanılabilir (www.borengov.tr).

### 7.10. Nükleer Uygulamalar



**Şekil 7.10.** Bor bileşiklerinin atom reaktörlerinin yapımında kullanımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

Bor izotopları nükleer reaksiyonların denetlenmesinde kullanılmaktadır. Çünkü  $^{10}\text{B}$  ve  $^{11}\text{B}$  izotoplarının nötron absorblama tesir kesidi yüksektir (Acarkan, 2015).

Nükleer reaktörlerde titan bor alaşımları, borlu çelikler ve bor karbürler kullanılmaktadır. Paslanmaz özellikteki borlu çelikler nötron tutucu özelliğinden dolayı nükleer sanayide kullanılmaktadır. Yaklaşık her bir bor atomunun bir nötron absorbe etme özelliğinden dolayı atom reaktörlerinin kontrol sistemlerinde ve soğutma havuzlarında borun en kararlı izotoplarından biri olan  $^{10}\text{B}$  izotopu kullanılmaktadır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

Bazı güç reaktörlerinde fazla reaktiviteyi önlemek için soğutma suyuna  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ilave edilir. Nükleer reaktörlerde kullanılan çelik ve alüminyum alaşımından yapılan kontrol çubukları %2 oranında bor içermektedir (Öztürk, 1994).

Ayrıca nükleer atıkların depolanmasında bir bor minerali türü olan kolemanit kullanılmaktadır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

### 7.11. Sağlık Sektörü



**Şekil 7.11.** Bor'un ilaç sanayinde kullanımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

İnsan vücudunun az miktarda olsa bora ihtiyacı vardır. Bor hücrelerde sentezlenemediği için dışarıdan besinlerle birlikte alınmaktadır. Borun insanlar üzerindeki etkisi 1981 yılından itibaren anlaşılmaya başlanmıştır. Bu tarihten itibaren bor sağlık sektöründe düzenli olarak kullanılmaya başlanmış ve tedavilerde vazgeçilmez bir ürün olmuştur. İnsanın gelişim üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bor insan metabolizmasındaki fosfor, kalsiyum ve magnezyum dengesini ayarlamakta ve böylece kasların ve beyin fonksiyonlarının gelişiminde ve sağlıklı kemiklerin oluşmasında önemli rol oynamaktadır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

Borun sağlık alanında kullanıldığı diğer alanlar; kemik erimesi, alerjik hastalıklar, psikiyatri, El, ayak ve bel eklemlerinin iltihaplanması ve menopoz tedavisinde kullanılmaktadır. Ayrıca bor kesinleşmemiş olmakla birlikte kanser tedavisinde Bor Nötron Yakalama Tedavisi (BNCT) yöntemiyle sağlıklı hücrelerin zarar görmeden kanserli hücrelerin yok edilmesinde kullanılmaktadır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

### 7.12. Çimento Sektörü



**Şekil 7.12.** Bor katkılı çimento ([www.google.com.tr/](http://www.google.com.tr/)).

Bor minerali türü olan kolemanit, çimento üretiminde %8 oranında kullanılarak klinker pişirme sıcaklığını düşürmekte ve çimentonun kalitesini arttırmaktadır. Borlu çimentoların portland çimentosuna göre üstün özellikleri; mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidratasyon ısısı gibi parametrelerdir. Borlu çimentoların hidratasyon ısısı düşük olduğundan kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

Çimento üretiminde kolemanit minerali kullanıldığı takdirde atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarı %25-30 oranında azalmaktadır. Bu sebeple borlu çimento üretimi, Kyoto protokolünün getirdiği sorumluluklardan dolayı sektör için önemli bir yere sahiptir ([www.borengov.tr/](http://www.borengov.tr/)).

### 7.13. Bor Ürünlerinin Diğer Kullanım Alanları

Bor elementi yukandaki kullanım alanlarından başka,

- Tıpta, antibakteriyel ve dezenfektan olarak,
- Antiseptiklerde, diş macunlarında, parfümlerde, şampuan ve lens solüsyonlarında kullanılmaktadır.
- Kimya sanayinde ise boya üretiminde, elektrolitik işlemlerde, korozyonu önleyen malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır (Acarkan, 2015).

Dünya bor tüketiminin sektörlere göre dağılımı aşağıda belirtilmiştir.

**Çizelge 7.1.** Bor tüketiminin sektörlere göre dağılımı ([www.etimaden.gov.tr/](http://www.etimaden.gov.tr/)).

| Kullanım Alanı          | Miktar (Bin Ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | % Pay |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-------|
| Yalıtım Tipi Cam Elyafı | 440                                             | 24,4  |
| Tekstil Tipi Cam Elyafı | 370                                             | 20,6  |
| Borosilikat Camlar      | 165                                             | 9,2   |
| Emaye-Sır               | 350                                             | 19,4  |
| Tarım                   | 120                                             | 6,7   |
| Deterjan                | 95                                              | 5,3   |
| Diğer Alanlar           | 260                                             | 14,4  |
| Toplam                  | 1.800                                           | 100   |

## 8. BOR ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA TÜRKİYE'DE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Bor atıkları ile yapılan çalışmaların 3 ana başlıkta toplandığı belirtilmişti. Bunlar;

- Atıklardaki borun geri kazanılması,
- Atıkların çevreye zarar vermeden depolanabilmesi,
- Atıkların seramik ve inşaat sektöründe kullanılmasıdır.

Bor atıklarının değerlendirilmesindeki en uygun yöntem; Atıklar içindeki borun geri kazanılmasından sonra geriye kalan kil içerikli malzemenin uygun sanayilerde kullanılmasıdır. Böylece hem depolanma sorunu olan hemde çevreye zarar veren bu atıklar değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılmış olunacaktır (Bentli vd., 2002).

Ülkemizdeki bor üretimi her geçen yıl arttığından zenginleştirme işlemleri sonunda açığa çıkan atık miktarları da sürekli artmaktadır. Bu sebeple çevre kirliliğinin önlenmesi için çeşitli yönetmelikler ve standartlar uygulanmaya başlanmıştır. Bu atıkların uygun yöntemlerle değerlendirilmesi durumunda sağlayacağı faydalar şu şekildedir;

- Atıkların depolanması sorunu ve depolanma maliyeti azalacaktır,
- Atıkların oluşturduğu çevre kirliliği azalmış olacaktır,
- Atıklar değerlendirilerek elde edilen yeni ürünler ülke ekonomisine kazandırılmış olunacaktır (Oruç vd., 2004).

Uslu ve Arol, bor atıklarını kırmızı tuğla yapımında kullanmışlardır ve tuğla içerisine %30 oranında katılan bor atığının tuğlanın kalitesini arttırdığını saptamışlardır (Uslu ve Arol, 2004).

Boncukcuoğlu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, bor atıklarını portland çimentosu yapımında kullanarak çimentonun prizini hızlandırdığı ve binaları sağlamlaştırdığını tespit etmişlerdir (Boncukcuoğlu vd., 2002).

Kurama ve arkadaşları kiremit yapımında boraks atıklarını kullanmışlar ve bu atıkların kiremitin kalitesini arttırdığını tespit etmişlerdir (Kurama vd., 2007).

Demir ve Orhan yaptıkları çalışmada kırka boraks işletmesi bor atıklarını pomza kumu ile belli oranlarda karıştırarak örnekler hazırlamışlardır. Çalışmada kullanılan kil

hammaddesinin mineralojik ve kimyasal analizleri yapılarak, ön çalışma için hazırlanan örnekler üzerinde şekillendirme, kurutma ve pişirme testleri uygulanmış ve en uygun karışım oranı ve pişirme sıcaklığı belirlenmiştir. Deney örnekleri üzerinde kuruma küçülmesi, toplam küçülme, plastisite, ateş kaybı vb. fiziksel testler yapılmıştır. Pişmiş örnekler üzerinde basınç mukavemeti, su emme, birim hacim ağırlığı, porozite vb. deneyler uygulanmıştır. Sonuç olarak bor atıkları ile pomza kumu belli oranlarda karıştırılıp 900°C'de pişirilerek, hafif ve gözenekli yapı blokları üretilmiştir (Demir ve Orhan, 2002).



## 9. SEZYUM

Sezyum periyodik tabloda 133 g atom ağırlığı ile rubidyumdan sonra yer alan ve Cs sembolü ile gösterilen bir metaldir. Atom numarası 55 olan Cs'un elektron dağılımı  $[Xe] 6S^1$  olup, bileşiklerinde +1 değerliğini alır. Bunsen ve Kirchhof tarafından 1860'da iki mavi çizgisi ile spektral analizde tanımlanmıştır. Kaynama noktası  $670^{\circ}C$  olan,  $1.90 \text{ g/cm}^3$  özgül ağırlığında, gümüş beyazı renginde bir metaldir. Kolaylıkla oksitlenir ve hidroksit halojenli tuzlar halinde bulunur (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001).



**Şekil 9.1.** Gustav Kirchhoff (solda), Robert Bunsen (ortada) spektroskopi cihazı ile Cs'u keşfettikleri zaman.

Sezyum, Alman kimyager Robert Bunsen ve Alman fizikçi Gustav Kirchhoff tarafından 1860 yılında yeni geliştirilen alev spektroskopisi yöntemiyle Almanya'nın Dürkheim kentindeki maden sularında keşfedilmiştir. Emisyon spektrumundaki parlak mavi çizgiler nedeniyle adı gökyüzü-mavisi anlamına gelen "caesius" Latince sözcüğünden türetilmiştir. Sezyum  $28,5^{\circ}C$  erime noktasına sahip yumuşak, gümüşü/altın, bazı kaynaklarda gümüş/renksiz olan alkali bir metaldir. Oda sıcaklığında sıvı olan 5 metalden bir tanesidir. En kararlı izotopu  $^{133}\text{Cs}$ 'tür. Sezyum çoğunlukla polusitten çıkarılırken, fisyon ürünü olan  $^{137}\text{Cs}$  nükleer reaktörler tarafından üretilen atıklardan çıkarılmaktadır. 1967'de Einstein ışığın hızının evrende en sabit boyut olduğunu ispatlayan uluslararası birim sistemi, saniye ve metreyi birlikte tanımlamak için  $^{133}\text{Cs}$  emisyon spektrumundan iki özgül dalga sayımı kullanmıştır. Bu tarihten itibaren, Sezyum son derece hassas olan atom saatlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren sezyum sondaj sıvılarında, elektrik, elektronik ve kimya sektöründe kullanılmaya

başlanmıştır.  $^{137}\text{Cs}$  radyoaktif izotopunun yarılanma ömrü yaklaşık 30 yıldır ve bu izotop tıbbi uygulamalar, sanayi ve hidrolojide kullanılmaktadır. Sezyum hafif derecede toksik olmasına rağmen, metal formu çok tehlikelidir. Radyoizotopları çevre için sağlık ve ekolojik olarak tehlikelidir (<https://en.wikipedia.org>).



**Şekil 9.2.** Şişe içerisinde Cs elementi ([www.cs.rochester.edu/](http://www.cs.rochester.edu/)).

Sezyum, bir spektroskop ile keşfedilen ilk elementtir (Kaner, 2003). Sezyum 1950’li yıllara kadar yüksek performanslı bir endüstriyel metal olarak kullanılmamıştır (Strod, 1957).

Sezyum metalinin saflığı 3 şekilde derecelendirilir ve pazarlanır. Bunlar %99, %99,5 ve %99,9 saflıkta olanlardır. Teknik olarak kullanılanı %99 saflıkta olanıdır. %99,9 veya daha yüksek oranda olanlar saf veya yüksek saflıkta diye adlandırılır. Ticari olarak kullanılan başlıca bileşikler klorürleri ve nitratlarıdır (Özmal ve Erdoğan, 2013).

1980’lerin sonuna kadar sezyum metali için tüketim, ithalat ve ihracat verileri mevcut değildir. Bu sebeple ticari işlem görmediğinden piyasa fiyatı bulunmamaktadır. ABD’de 1 yılda binlerce ton sezyum kullanılmaktadır. ABD sezyumu %100 ithal etmektedir. (USGS, 2016).



**Şekil 9.3.** Cs elementi ([www.chemicool.com/](http://www.chemicool.com/)).

2015 yılında bir şirket 1 gram ampül %99,8'lik sezyum metali için \$59,70, %99,98'lik sezyum metali içinse \$73,40 fiyat teklif etmiştir (USGS, 2016).

Şirketin 50 gram %99,9'luk metal bazlı; sezyum asetat, sezyum bromür, sezyum karbonat, sezyum klorür ve sezyum nitrat için sunduğu fiyatlar sırasıyla; \$111,40 - \$67,70 - \$95,80 - \$96,60 ve \$173,00'dır (USGS, 2016).

Üretilen sezyum cevheri ve ürünlerinin büyük ölçüde tüketildiği bilinmektedir ancak konuyla ilgili rakamsal verilere ulaşamamıştır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001).

Sezyum ticaretinde etkin uluslararası kuruluşlar; Tanco, MDC, Chemalloy, Hudson Bay ve Kawecki Becylco gibi kuruluşlardır. ABD ve Rusya büyük ölçüde alıcı ülkelerdir. Bunları İngiltere, Almanya ve Japonya izlemektedir. Satıcılar ise Kanada, Namibya ve Zimbabwe gibi ülkelerdir (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001).

Lenntech'e göre insanlar ve hayvanlar yeme, içme ve nefes alma sırasında sürekli olarak az miktarda da olsa sezyuma maruz kalmaktadır ama bu miktar canlılara zarar vermemektedir. Fakat canlılar radyoaktif sezyuma maruz kaldıklarında veya bazı Cs bileşikleri bulantı, kusma ve hücre hasarı gibi olumsuz durumlara neden olabilmektedir ([www.livescience.com](http://www.livescience.com)).

Sezyum metali en reaktif elementlerden biridir ve su ile reaksiyona girdiğinde çok tehlikeli bir madde olmaktadır. Bu nedenle sezyumun havadaki nemle reaksiyonunu engellemek için vakum altında tutulması gerekmektedir ([www.livescience.com](http://www.livescience.com)).

Şimdiye kadar Türkiye'nin Sezyum alanda herhangi bir faaliyeti olmamıştır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001).

## **9.1. Sezyumun Özellikleri**

### **9.1.1. Sezyumun fiziksel özellikleri**

Sezyum bilinen en yumuşak elementtir (0,2 Mohs'luk bir sertliğe sahiptir). Soluk bir metaldir, çok az miktarda oksijen varlığında bile rengi koyulaşır. Cıva hariç erime noktası en düşük elementtir (Kaner, 2003). Sezyum cıva haricindeki tüm metallerden daha düşük kaynama noktasına sahip (641°C) bir elementtir (Chemical Data-Cs, 2010). Bileşikleri mavi veya mor renklerde yanar (Clark, 2005). Sezyum, diğer alkali metaller olan altın ve cıva ile alaşımlar oluşturur (Butterman vd., 2004).

### **9.1.2. Sezyumun kimyasal özellikleri**

Radyoaktif olmayan sezyum bileşikleri hafif toksiktir ve radyoaktif olmayan sezyum önemli çevre sorunları oluşturmaz. Biyokimyasal işlemlerde sezyum ve potasyum elementleri yer değiştirirse fazla miktardaki sezyum hipokalemi, aritmi ve akut kardiyak arresteye neden olabilir (Melnikov ve Zanoni, 2010).

Sezyum metali çok reaktif ve çok piroforiktir (kendiliğinden yanmaya yatkın madde). Havada kendiliğinden tutuşur ve diğer alkali metallerle (periyodik tablonun ilk grubu) daha düşük sıcaklıklarda bile su ile patlayıcı reaksiyona girer (Butterman vd., 2004). -116°C'ye kadar düşük sıcaklıklarda katı su ile reaksiyona girer (Kaner, 2003). Bu yüksek reaktivite nedeniyle, sezyum metali çok tehlikeli bir madde olarak sınıflandırılır. Sadece argon gibi soy gaz altında işlenebilir. Bununla birlikte, bir sezyum-su patlaması, benzer miktarda sodyum içeren bir sodyum-su patlamasından daha az tehlikelidir. Bunun nedeni sezyumun su ile temasında anında patlaması ve hidrojenin birikmesine zaman kalmamasıdır (Gray, 2012). Sezyum vakum ile kapatılan borosilikat cam ampullerde saklanabilir. Yaklaşık 100 gramdan fazla miktardaki sezyum, hava geçirmez şekilde kapatılmış, paslanmaz çelik kaplarda taşınabilir (Butterman vd., 2004). Sezyumun kimyasal özellikleri, diğer alkali metallerle özellikle de periyodik tabloda sezyumun üstünde bulunan rubidyuma benzemektedir (Greenwood ve Earnshaw, 1984).

Tüm alkali metallerde olduğu gibi bileşiklerinde +1 değerlik alır. Sezyum en elektropozitif elementtir (Kaner, 2003).

### 9.1.3. Sezyum bileşikleri ve özellikleri

$\text{Cs}^+$  'nin tuzları, anyonun kendisi renkli olmadıkça genelde renksizdirler (<https://en.wikipedia.org>).

$\text{CsF}$ , florür anyonları kaynağı olarak organoflor kimyasında yaygın olarak kullanılan higroskopik beyaz bir katıdır (Evans vd., 1968).

$\text{CsCl}$ , basit kübik kristal sisteminde kristalleşir. Kullanıldığı yerler aşağıda belirtilmiştir;

- Katalizör ve klorlama reaktifi olarak,
- Analitik kimyada, çökelti renk ve morfolojisine göre iyonları tanımlamak için reaktif olarak,
- Kanser tedavisi ve miyokard enfarktüsü tanısı gibi nükleer tıp uygulamalarında kullanılmaktadır (<https://en.wikipedia.org>).

Sezyum diğer alkali metallere göre oksijenle çok fazla ikili bileşik oluşturur. Sezyum havada yanarken oluşan ana ürün  $\text{CsO}_2$ 'dir (Cotton ve Wilkinson, 1962).

### 9.2. Sezyumun İzotopları

Sezyumun, kütle sayısına göre 112 ila 151 arasında değişen 39 izotopu bulunmaktadır. Bunların çoğu yavaş nötron yakalama işlemi (S-Prosesi) ve süpernova patlamalarındaki R-prosesi ile hafif elementlerden sentezlenmiştir (Busso, vd., 1999; Arnett, 1996).

Radyoaktif  $^{135}\text{Cs}$ 'un yarılanma ömrü yaklaşık 2.3 milyon yıl olup, sezyumun izotopları içinde en uzun yarılanma ömrüne sahip izotoptur.  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{134}\text{Cs}$  izotoplarının yarılanma ömürleri sırasıyla 30 ve 2 yıldır. Kütle numaraları 129, 131, 132 ve 136 olan izotopların bir veya iki hafta arasında yarılanma ömrü vardır. Diğer izotopların çoğu, birkaç saniye ile saliselere kadar yarılanma ömrüne sahiptir (<https://en.wikipedia.org>).

$^{135}\text{Cs}$  izotopu nükleer reaktörlerde üretilen uzun yarı ömürlü uranyum fisyon ürünlerinden biridir (Ohki ve Takaki, 2002).

Sezyumun radyoaktif izotopları; nükleer santraller, nükleer kazalar veya nükleer silah testleri sırasında havaya karışabilir ([www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)).

### 9.3. Sezyum Kaynakları



**Şekil 9.4.** Polusit minerali (<https://tr.wikipedia.org/>).

Dünyanın en önemli ve en zengin sezyum kaynakları, Kanadanın Manitoba eyaletindeki Bernic Gölü'ndeki Tanco Madeninde bulunmaktadır. Bu kaynakta, dünya rezervlerinin üçte ikisinden fazlasını oluşturan 350 bin ton polusit cevheri bulunduğu tahmin edilmektedir (Polyak, 2009; Cerny ve simpson, 1978). Polusit içerisindeki sezyumun stokiyometrik içeriği %42.6 iken, burdaki yataklardan gelen saf polusit örnekleri %24'lük sezyum içermektedir. Ayrıca Zimbabwe'deki Bikita pegmatit yatağı önemli miktarda polusit içermektedir. Bir başka önemli polusit kaynağı ise Afrika Namibya'daki Karibib Çölü'dür (Polyak, 2009). Dünya maden üretiminde sezyum yılda 5 ila 10 ton arasında çıkarılmaya devam edilirse, rezervleri binlerce yıl sonra tükenecektir (Butterman vd., 2004).

### 9.4. Sezyum Üretimi

Polusit cevherinin rafine edilmesi çok özel bir işlem gerektirir. Bu sebeple üretimi diğer metallere göre çok küçük ölçeklerde yapılmaktadır. Cevher önce ezilir, elle ayklanır ve sonra öğütülür. Sezyum daha sonra polusitten 3 yöntem ile ekstrakte edilir; asit sindirimi, alkali ayrışma ve direkt indirgeme (Burt, 1993; Butterman vd., 2004).

Asit sindirimi yöntemi ile polusitten sezyum üretmek en çok tercih edilen ticari yöntemdir. Ticari polusit %19'dan fazla sezyum içermektedir (Norton, 1973).

Bu yöntemde polusit minerali hidroklorik (HCl), sülfürik (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), hidrobromik (HBr) veya hidroflorik (HF) asitler gibi güçlü asitlerle çözülür. Hidroklorik asit ile çözülen bir klorür karışımı hazırlanır ve sezyumun çözünmeyen klorür çift tuzları, sezyum antimon klorür, sezyum iyodür klorid olarak çöktürülür. Çöktürme işleminden sonra saf çift tuz ayrıştırılır ve saf CsCl suyun buharlaştırılmasıyla çöktürülür (<https://en.wikipedia.org>).

Son yıllarda sezyumun tüketimi arttığından, üretimi arttırmak için Manitoba'daki Bernic Gölü yakınlarındaki Tanco madeninde yıllık olarak 12.000 varil (1900 m<sup>3</sup>) kapasiteli bir sezyum tampon çözeltisi üretim tesisi kurulmuştur (Benton ve Turner, 2000).

Sezyumun önemli ticari bileşikleri sezyum klorür ve sezyum nitrattır (Eagleson vd., 1994).

### 9.5. Sezyumun Kullanım Alanları

Sezyum, endüstride katalizör olarak kullanılır ve diğer metal oksitlerin kapasitesini ve organik bileşiklerin hidrojenasyonunu artırır. Sezyum nitrat, optik gözlük yapımında kullanılır. Sezyum tuzları çeşitli cam türlerini güçlendirmek için kullanılır. CsCl, fotoelektrik hücrelerde, optik aletlerde ve elektron tüplerinin hassasiyetini arttırmada kullanılır ([www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)).

Sezyum cıva ile birlikte uzay araçlarındaki iyon motorlarında itici güç olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla sezyum buharları iyonlaştırılır. Meydana gelen iyonlar bir elektrikli alanda hızlandırıldıklarında itme gücü kazanırlar (Butterman vd., 2004). Sezyum uzay araçlarındaki diğer yakıtlara göre 140 kat daha fazla verimlidir (<http://mineralseducationcoalition.org>).

<sup>137</sup>Cs, nem, yoğunluk, tesviye ve kalınlık ölçüm cihazları dahil çeşitli endüstriyel ölçüm cihazlarında kullanılmaktadır (Loxton vd., 1995).

Tarımda, kanser tedavisinde, kanalizasyon çamuru ve cerrahi ekipmanların sterilizasyonunda kullanılmaktadır (Jensen, 1985; Butterman vd., 2004).

Sezyum ayrıca sekonder iyon kütle spektrometresinde pozitif iyon kaynağı olarak kullanılmaktadır (<https://en.wikipedia.org>).

<sup>131</sup>Cs izotopu, kısa yarılanma ömrü ve yüksek enerji potansiyeli nedeniyle prostat kanseri tedavisinde kullanılmaktadır (<https://minerals.usgs.gov>).

Sezyum ve Rubidyum birçok uygulamada birbirlerinin yerine kullanılabilir. Çünkü benzer özelliklere sahiptirler. Fakat sezyum, rubidyumdan daha elektropozitif olduğundan daha fazla tercih edilmektedir (<https://minerals.usgs.gov>).

Sezyum elementinin en çok kullanıldığı alanlar aşağıda açıklanmıştır;

#### 9.5.1. Petrol arama

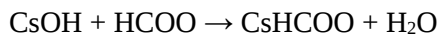
Radyoaktif olmayan sezyumun bugünkü en geniş kullanım alanı, özütleme petrol endüstrisi için sezyum formatlı sondaj sıvılarıdır. 1990'lı yılların ortalarında, petrol kuyusu sondajında tamamlama sıvıları olarak, sezyum hidroksit ile formik asitin reaksiyonundan üretilen sezyum formatın ( $\text{HCOO}^-\text{Cs}^+$ ) sulu çözeltileri kullanılmaya başlanmıştır. Sondaj sıvısının işlevi; matkap uçlarını yağlamak, kaya parçalarını yüzeye getirmek ve kuyunun delinmesi sırasında oluşum üzerine baskı uygulamaktır (Butterman vd., 2004). Endüstride sezyum formatlı çözeltiler çevre dostu ürünler olarak kullanılmaktadır (Downs vd., 2006).



Şekil 9.5. Sezyum format tozu ([www.theodoregray.com/](http://www.theodoregray.com/)).

Suda çözülmüş veya süspansiyon haline getirilmiş olan Sezyum format, derin petrol kuyularının delinmesi için sondaj sıvısı olarak kullanılmaktadır. Bu çözeltiler son derece yoğundur ve kuyu tabanından kaya parçalarını ve tozu yüzdürmek için kullanılmaktadır.

Sezyum format ( $\text{CsHCOO}$ ); Sezyum hidroksit ( $\text{CsOH}$ ) ve formik asitin ( $\text{HCOO}$ ) reaksiyonundan elde edilir:



### 9.5.2. Atom saatleri

Sezyum bazlı atom saatleri, referans noktası olarak  $^{133}\text{Cs}$  atomlarının aşırı ince yapısındaki elektromanyetik geçişleri kullanır. İlk doğru sezyum saati 1955 yılında Louis Essen tarafından Birleşik Krallık'taki Ulusal Fizik Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Essen ve Parry, 1955).



Şekil 9.6. Dünya saati, Berlin Almanya ([www.shutterstock.com/](http://www.shutterstock.com/)).

Hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelen internet, GPS gibi birçok teknolojinin temelinde, zamanın doğru tespitinde ve her yerde birbiriyle uyumlu olmasında en önemli araç atom saatleridir. Atomik saatler başka hiçbir saatin yapamayacağı kadar iyi derecede zamanı tutar. Atomik saatler olmadan GPS teknolojisi ve internetin senkronize olması neredeyse imkansızdır ([www.elektrikport.com](http://www.elektrikport.com)). Bazı sezyum saatlerin hata payı 15 milyon yılda 1 saniyedir ([www.rsc.org](http://www.rsc.org)). Sezyum saatleri, cep telefonu şebekelerinin ve İnternet'in zamanlamasını düzenlemekte kullanılmaktadır (Reel, 2003).

### 9.5.3. Elektrik ve elektronik

Sezyum buhar termiyonik jeneratörleri, ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren düşük güçlü cihazlardır (Rasor ve Warner, 1964). Sezyum, ışığı elektron akışına dönüştüren fotoemissif özellikleri açısından da önemlidir. Fotoelektrik hücrelerde kullanılır çünkü sezyum esaslı katotlar, elektronların emisyonu için düşük bir eşik gerilimine sahiptir (Cesium Supplier&Technical Information).

Madencilikte arama ve parçacık fiziği araştırmalarında yaygın olarak kullanılan sintilasyon sayaçlarında, gama ve X-ışını radyasyonunun bulgulanması için; sezyum iyodür (CsI), sezyum bromür (CsBr) ve sezyum florür (CsF) kristalleri kullanılır (<https://en.wikipedia.org>).

Sezyum buharı, magnometrelerde yaygın olarak kullanılır (Groeger vd., 2005). Sezyum elementi spektrofotometride standart olarak kullanılır (Haven vd., 1994). Diğer alkali metaller gibi sezyum da oksijen için büyük bir çekim gücüne sahiptir ve vakum tüplerinde "alıcı" olarak kullanılır (McGee, 1969). Sezyumun diğer kullanım alanları arasında yüksek enerjili lazerler, buhar ışığı lambaları ve buhar doğrultucuları bulunmaktadır (Butterman vd., 2004).

#### 9.5.4. Kimyasal ve tıbbi kullanımları

Sezyum kimyasal uygulamalarda pek fazla kullanılmamaktadır. Sezyum,  $H_2SO_4$  üretiminde  $SO_2$ 'in,  $SO_3$ 'e dönüşümünde katalitik dönüştürücü olarak kullanılmaktadır (Butterman vd., 2004).

Radyasyon cihazlarındaki sezyum radyoaktif izotopları, belli kanser türlerini tedavi etmek için tıpta kullanılmaktadır (Medical News Today).

Sezyum tıp alanında termolüminesans radyasyon dozimetresinde (TLD) kullanılmaktadır (<https://en.wikipedia.org>).

#### 9.5.5. Diğer kullanım alanları

Sezyum, fiber optik sistemlerin ve gece görüşü cihazlarının yapımında kullanılmaktadır. Sezyum florür, magnezyum içeren alüminyum alaşımlarının lehimlenmesi için formüle edilmiş eritkenlerde kullanılmaktadır (Butterman vd., 2004).

$^{137}Cs$ , endüstriyel uygulamalarda gama emitörü olarak kullanılan bir radyoizotoptur (<https://en.wikipedia.org>).

Sezyum tuzları, anti küf reaktifleri olarak ve ayrıca tıpta epilepsi tedavisinde kullanılmaktadır (Butterman vd., 2004).

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ve diğer kaynaklara göre  $^{137}Cs$ , radyolojik dağılım cihazlarında veya kirli bombalar (dirty bombs)'da kullanılabileceği konusunda uyarılarda bulunmuştur (Charbonneau, 2003).

Aynı zamanda kaya oluşumlarının elektron yoğunluğunu ölçmek için kuyu kayıt cihazlarında kullanılmaktadır (Timur ve Toksoz, 1985).

Ayrıca, DNA ayırma teknikleri, kızılötesi dedektörler, gece görüş cihazları, Fotoelektrik hücrelerde kullanılmaktadır.  $^{137}\text{Cs}$  endüstriyel ölçüm cihazlarında, madencilik ve jeofizik cihazlarda ve sterilizasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır ([www.minerals.usgs.gov](http://www.minerals.usgs.gov)).

## 9.6. Sezyumun Reaksiyonları

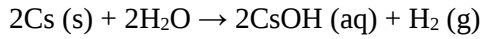
### 9.6.1. Sezyumun havayla reaksiyonu

Sezyum, Oksijen ile reaksiyona girdiğinde turuncu renkli Sezyum Süperoksit oluşmaktadır ([www.webelements.com](http://www.webelements.com)).



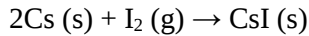
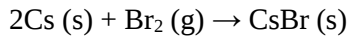
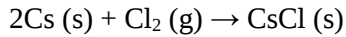
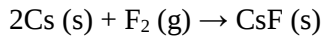
### 9.6.2. Sezyumun suyla reaksiyonu

Sezyum, su ile reaksiyona girdiğinde sezyum hidroksit ( $\text{CsOH}$ ) ve hidrojen gazı ( $\text{H}_2$ ) çözeltisi meydana gelir. Elde edilen çözelti çözünmüş hidroksitten dolayı baziktir. Reaksiyon çok ekzotermiktir ve çok hızlıdır, eğer reaksiyon bir cam kabın içinde gerçekleştirilirse cam kap kırılabilir ([www.webelements.com](http://www.webelements.com)).



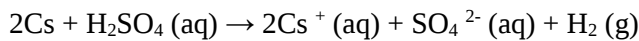
### 9.6.3. Sezyumun halojenlerle reaksiyonu

Sezyum metali bütün halojenlerle şiddetle reaksiyona girerek sezyum halojenürleri oluşturur ([www.webelements.com](http://www.webelements.com)).



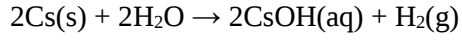
### 9.6.4. Sezyumun asitlerle reaksiyonu

Sezyum metali, seyreltik sülfürik asit içinde kolaylıkla çözünür ve aşağıdaki ürünler oluşur ([www.webelements.com](http://www.webelements.com)).



#### 9.6.5. Sezyumun bazlarla reaksiyonu

Sezyum metali, sezyum hidroksit ve hidrojen gazı solüsyonu oluşturmak üzere su ile hızla tepkimeye girer. Çözelti basitleştiğinde bile reaksiyon devam eder. Elde edilen çözelti çözünmüş hidroksit nedeniyle baziktir. Reaksiyon çok ekzotermiktir ve çok hızlıdır ([www.webelements.com](http://www.webelements.com)).



## 10. DENEYSEL KISIM

### 10.1. Materyal ve Yöntem

#### 10.1.1. Numunelerin temini

Deneylerde kullanılan numuneler, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğünden gerekli izinler alınarak, Emet-Espey ve Hisarcık bölgesinde bulunan konsantratör tesislerinden alınmıştır. Numunelerin isimleri ve kodları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 10.1.** Numunelerin adlandırılması

| Kodu | Numune Adı         | Bölgesi    |
|------|--------------------|------------|
| F4   | 0-1 Zon Arası Kil  | Emet-Espey |
| F12  | 3. Zon Cevher Kili | Emet-Espey |
| FH14 | Kapıkaya Kil       | Hisarcık   |

#### 10.1.2. Numunelerin hazırlanması

Numuneler ilk önce 24 saat 110°C 'de binder marka etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numuneler önce çeneli kırıcı aleti ile kırılarak belirli bir boyuta indirilmiş daha sonra havanlı öğütücü ile 5 dk. öğütülerek yüzey alanının genişletilmesi sağlanmıştır. Öğütülen numuneler 150 µm'lik elekten geçirilmiş ve elde edilen elek altı numuneler deneylerde kullanılmıştır.

#### 10.1.3. Bor atıklarının analizleri

Numunelerin kantitatif analizleri Eti Maden Emet Bor İşletmeleri laboratuvarlarında bulunan Rigaku ZSX Primus marka XRF'le, Numunelerdeki Cs miktarlarının tayini Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezinde bulunan Analytik jena-ContrAA 300 marka AAS cihazı ile, Numunelerin kütlelerinin zamana ve sıcaklığa göre değişimini incelemek için TGA-DTA analizleri Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Analitik Kimya Laboratuvarında bulunan SII EXSTAR6000 TGA/DTA 6300 marka cihazla ve Numunelerin FT-IR analizleri Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Laboratuvarında bulunan Vertex 70 model FT-IR spektrometre cihazıyla yapılmıştır.

Analiz sonuçları çizelge 11.1, 11.2, 11.3, 11.4 ve şekil 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6'da verilmiştir.



**Şekil 10.1.** Eti Maden Emet Bor İşletmeleri laboratuvarlarında bulunan Rigaku ZSX Primus marka XRF.



**Şekil 10.2.** Dumlupınar Üniversitesi ileri teknolojiler merkezinde bulunan Analytik jena-ContrAA 300 marka AAS cihazı.



**Şekil 10.3.** Dumlupınar Üniversitesi Analitik Kimya Laboratuvarında bulunan TGA/DTA cihazı.



**Şekil 10.4.** Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Laboratuvarında bulunan Vertex 70 model FT-IR spektrometre cihazı.

#### **10.1.4. Bor atıklarından sezyum'un optimum ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi**

Çalışmama başlamadan önce yaptığım literatür araştırmaları ve ön denemelerden elde ettiğim sonuçlar bu çalışmalarda kullanılacak bor atığı numunelerine tuz ilavesinin yüksek ekstraksiyon verimi sağladığını göstermiştir. Bu yüzden çalışmamda bor atığı numunelerine çeşitli tuzlar ilave edilmiştir. NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> tuzları denenmiştir. En uygun ekstraksiyon koşullarını belirlemek için: kavurma sıcaklığı; bor atığı / tuz kütle oranları;

kavurma süresi; 100°C geri soğutucu altında karıştırma süresi ve katı/sıvı oranı parametreleri incelenmiştir.

#### **10.1.4.1. Kavurma sıcaklığının etkisi**

Çalışmamın ilk aşaması olan kavurma sıcaklığının belirlenmesi işleminde; Belirlenen sıcaklıklarda numuneler kavrularak, kavurma sıcaklığının sezyum'un ekstraksiyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışılan sıcaklıklar 400, 500, 600, 700, 800 ve 900°C'dir. Çalışma için numuneler hassas terazi ile 5'er g tartılmış ve üzerlerine atık miktarının 2,5 katı ultra saf su eklenerek manyetik karıştırıcı ile oda sıcaklığında 1 saat karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra çözelti huni ve mavi bant süzgeç kağıdı ile deney tüplerine süzümüştür. Elde edilen süzüntüler AAS cihazında okutularak Cs'un analizi yapılmıştır. Kavurma sıcaklığının Cs'un ekstraksiyonu üzerine olan etkisi şekil 11.7, 11.8 ve 11.9'da verilmiştir.

#### **10.1.4.2. Bor atığı / tuz kütle oranının etkisi**

Çalışmamın ikinci aşamasında; Literatür araştırmaları ve kendi ön çalışmalarına göre belirlediğim NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> gibi çeşitli tuzlar, bor atığı miktarı sabit tutularak 1:1 oranında ve 1:2 oranında karıştırılmış ve 700°C'de 2 saat yüksek sıcaklık fırınında kavrulmuştur. Kavrulmuş olan numuneler 100 ml'lik beherlere konmuştur. 1:1 oranında karıştırılan numunelere 2,5 katı (25 ml) ultra saf su, 1:2 oranında karıştırılan numunelere 2,5 katı (37,5 ml) ultra saf su eklenerek beherlerin üzeri parafilm ile kapatılmış ve 1 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen çözeltiler huni ve mavi bant süzgeç kağıdı ile süzülerek deney tüplerine doldurulmuştur. Süzüntüler AAS cihazında okutularak Cs analizleri yapılmıştır. Bu aşamada bor atıklarına değişik oranlardaki tuz ilavesinin etkisi incelenmiştir. Analiz sonuçları şekil 11.10, 11.11 ve 11.12'de verilmiştir.

#### **10.1.4.3. Kavurma süresinin etkisi**

Çalışmamın üçüncü aşamasında; Kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyonu üzerine olan etkisini incelemek için 1:1 oranında karıştırılan numuneler ve tuzlar yüksek sıcaklık fırınında 700°C'de 30, 45, 60, 90, 120 dk'lık sürelerde kavrulmuştur. En iyi kavurma süresinin 120 dk'lık zaman diliminde gerçekleştiği görülmüştür. Sonuçlar şekil 11.13, 11.14 ve 11.15'de verilmiştir.

#### **10.1.4.4. Geri soğutucu altında karıştırma süresinin etkisi**

Çalışmamın dördüncü aşamasında; Numuneler ve tuzlar 1:1 oranında karıştırılmış ve yüksek sıcaklık fırınında 700°C'de 90 dakika kavrulmuştur. Kavrulmuş karışım üzerine 2,5 katı (25 ml) ultra saf su eklenerek geri soğutucu altında 100°C'de 15, 30, 45, 60 ve 90 dk

karıştırılmıştır. En iyi sonucun 60 dk'lık sürede alındığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar şekil 11.16, 11.17 ve 11.18'de verilmiştir.

#### **10.1.4.5. Katı / sıvı oranının etkisi**

Çalışmamın beşinci ve son aşamasında; Numunelerdeki Cs'un ekstraksiyonu için uygulanan son parametre katı/sıvı oranıdır. Bu oran çalışmamda 0,1 ile 0,8 aralığında değiştirilerek katı üzerine 12,5 ml ile 100 ml arasında ultra saf su eklenmiştir. Daha sonra numuneler geri soğutucu altında 100°C'de 1 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırılmış ve mavi bant süzgeç kağıdı ile süzölmüştür. Süzöntüdeki sezyum miktarları AAS cihazı ile tayin edilerek sonuçların ekstraksiyon üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar şekil 11.19, 11.20 ve 11.21'de verilmiştir.

## 11. SONUÇLAR

### 11.1. Bor Atıklarının Karakterizasyonu ve Kimyasal Analizleri

**Çizelge 11.1.** F4 numunesinin XRF analiz sonuçları

| Bileşenler                     | %(Ağırlıkça) | Tayin Limiti |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| Na <sub>2</sub> O              | 0,211        | 0,0080       |
| MgO                            | 7,31         | 0,0080       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,8         | 0,0089       |
| SiO <sub>2</sub>               | 53,7         | 0,0125       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,217        | 0,0012       |
| SO <sub>3</sub>                | 0,112        | 0,0016       |
| Cl                             | 0,0201       | 0,0022       |
| F                              | 0,484        | 0,0656       |
| K <sub>2</sub> O               | 6,75         | 0,0025       |
| CaO                            | 2,14         | 0,0023       |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,722        | 0,0046       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0180       | 0,0038       |
| MnO                            | 0,104        | 0,0222       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,74         | 0,0035       |
| NiO                            | 0,0182       | 0,0016       |
| ZnO                            | 0,0274       | 0,0013       |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0560       | 0,0066       |
| Rb <sub>2</sub> O              | 0,139        | 0,0008       |
| SrO                            | 0,256        | 0,0009       |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,0327       | 0,0008       |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0,0124       | 0,0049       |
| PbO                            | 0,0113       | 0,0023       |
| *B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,50         | -            |
| Ig                             | 1,51         | -            |

\*B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tayini Emet İşletme Müdürlüğü Borik Asit Fabrikası laboratuvarlarında volumetrik olarak yapılmıştır.

**Çizelge 11.2.** F12 numunesinin XRF analiz sonuçları

| Bileşenler                     | %(Ağırlıkça) | Tayin Limiti |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| Na <sub>2</sub> O              | 0,269        | 0,0080       |
| MgO                            | 6,59         | 0,0077       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,4         | 0,0076       |
| SiO <sub>2</sub>               | 39,6         | 0,0102       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,218        | 0,0011       |
| SO <sub>3</sub>                | 0,186        | 0,0014       |
| Cl                             | 0,0117       | 0,0020       |
| F                              | 0,764        | 0,0681       |
| K <sub>2</sub> O               | 4,78         | 0,0027       |
| CaO                            | 11,4         | 0,0031       |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,623        | 0,0067       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0223       | 0,0039       |
| MnO                            | 0,147        | 0,0197       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,59         | 0,0027       |
| NiO                            | 0,0192       | 0,0016       |
| ZnO                            | 0,0218       | 0,0013       |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0903       | 0,0069       |
| Rb <sub>2</sub> O              | 0,106        | 0,0009       |
| SrO                            | 0,744        | 0,0009       |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,0245       | 0,0009       |
| PbO                            | 0,0072       | 0,0024       |
| *B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11,4         | -            |
| Ig                             | 4,90         | -            |

\*B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tayini Emet İşletme Müdürlüğü Borik Asit Fabrikası laboratuvarlarında volumetrik olarak yapılmıştır.

**Çizelge 11.3.** FH14 numunesinin XRF analiz sonuçları

| Bileşenler                     | %(Ağırlıkça) | Tayin Limiti |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| Na <sub>2</sub> O              | 0,0931       | 0,0081       |
| MgO                            | 12,0         | 0,0124       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,17         | 0,0059       |
| SiO <sub>2</sub>               | 33,2         | 0,0097       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,218        | 0,0012       |
| SO <sub>3</sub>                | 1,51         | 0,0020       |
| Cl                             | 0,0264       | 0,0023       |
| F                              | 0,917        | 0,0607       |
| K <sub>2</sub> O               | 2,45         | 0,0018       |
| CaO                            | 20,8         | 0,0039       |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,352        | 0,0075       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0213       | 0,0040       |
| MnO                            | 0,0861       | 0,0229       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,38         | 0,0034       |
| Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,0005       | 0,0001       |
| NiO                            | 0,0116       | 0,0019       |
| ZnO                            | 0,0100       | 0,0014       |
| GeO <sub>2</sub>               | 0,0092       | 0,0017       |
| As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,00         | 0,0015       |
| Rb <sub>2</sub> O              | 0,0558       | 0,0010       |
| SrO                            | 0,665        | 0,0010       |
| *B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11,0         | -            |
| Ig                             | 4,75         | -            |

\*B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tayini Emet İşletme Müdürlüğü Borik Asit Fabrikası laboratuvarlarında volumetrik olarak yapılmıştır.

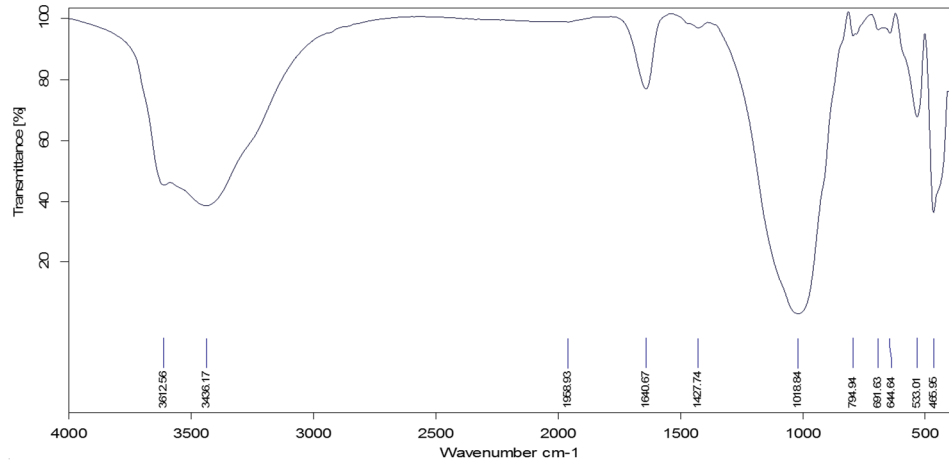
Her 3 numunenin XRF sonuçları incelendiğinde;

F4, F12 ve FH14 numunelerinin ana bileşenlerinin SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O olduğu gözlenmiştir.

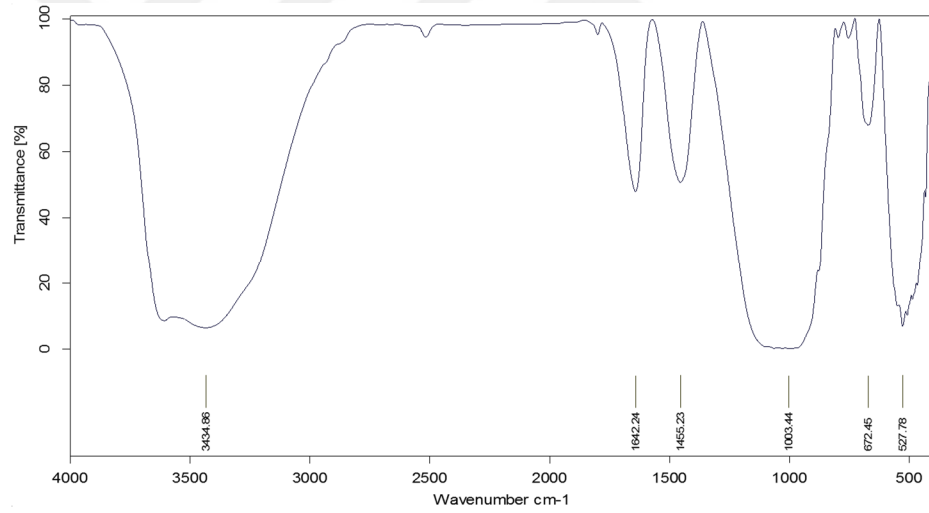
**Çizelge 11.4.** Bor atığı numunelerinin AAS ile Cs tayin sonuçları

| Numune Adı | ppm     |
|------------|---------|
| F4         | 1293±41 |
| F12        | 1655±37 |
| FH14       | 1312±96 |

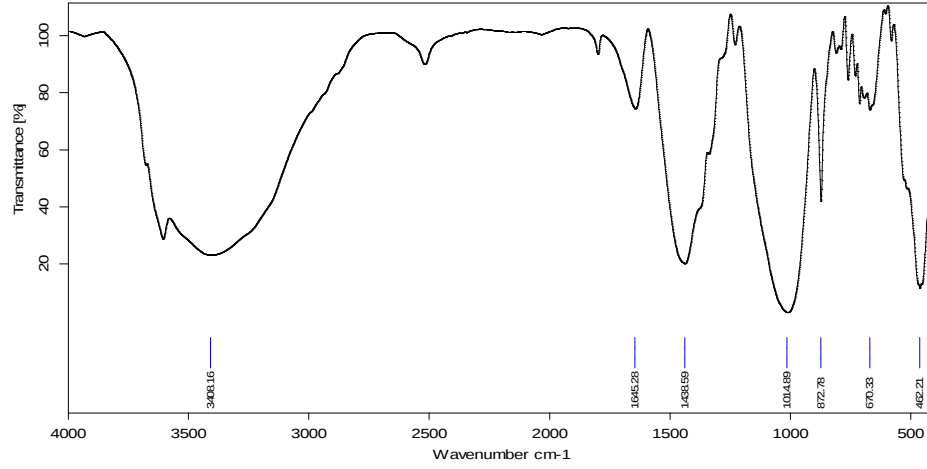
\*Sonuçlar 3 ölçüm için %95 GS'de verilmiştir.



Şekil 11.1. F4 numunesinin FT-IR analiz sonucu



Şekil 11.2. F12 numunesinin FT-IR analiz sonucu



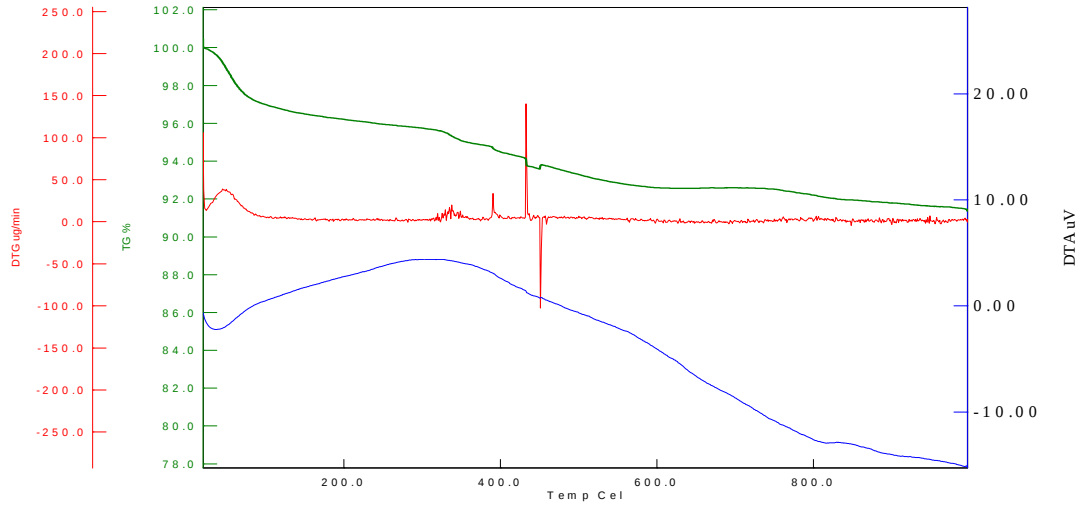
**Şekil 11.3.** FH14 numunesinin FT-IR analiz sonucu.

Her 3 numunenin FT-IR analiz sonuçları incelendiğinde;

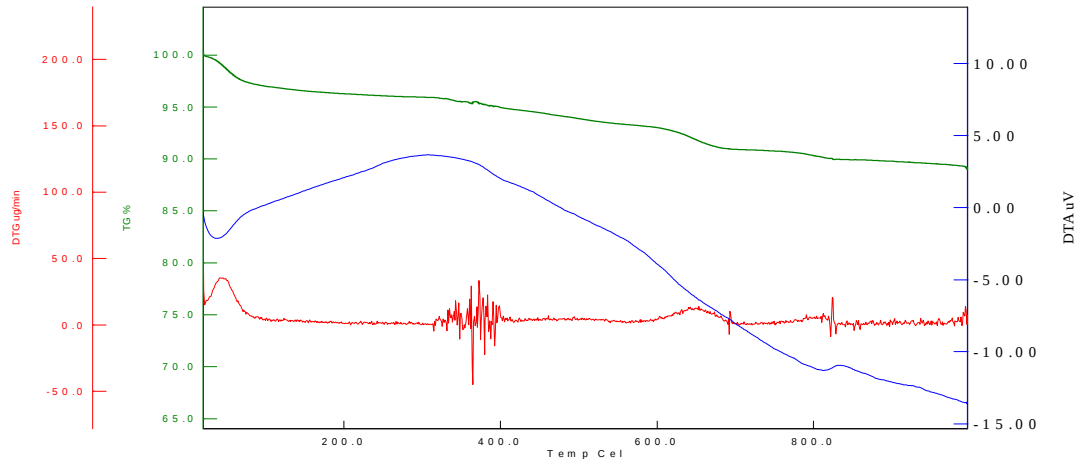
F4 numunesi için  $400\text{-}550\text{ cm}^{-1}$  aralığında M-O titreşim bandları mevcuttur. Spektrumda bulunan diğer pikler yapıda bulunan organik bileşiklerin (Su v.b.) titreşim piklerinden kaynaklanmaktadır.

F12 numunesi için  $400\text{-}670\text{ cm}^{-1}$  aralığında M-O titreşim bandları mevcuttur. Spektrumda bulunan diğer pikler yapıda bulunan organik bileşiklerin (Su v.b.) titreşim piklerinden kaynaklanmaktadır.

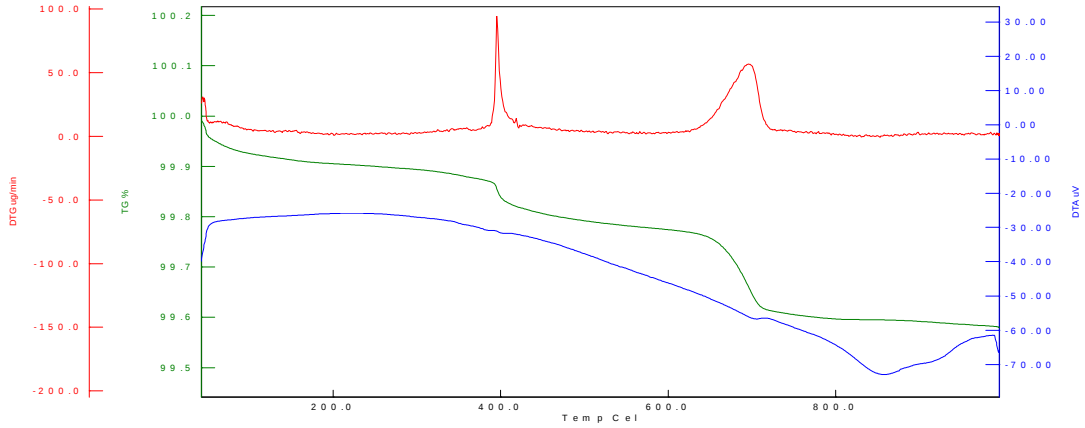
FH14 numunesi için  $400\text{-}670\text{ cm}^{-1}$  aralığında M-O titreşim bandları mevcuttur. Spektrumda bulunan diğer pikler yapıda bulunan organik bileşiklerin (Su v.b.) titreşim piklerinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 11.4. F4 numunesinin TGA/DTA analiz sonucu.



Şekil 11.5. F12 numunesinin TGA/DTA analiz sonucu.



**Şekil 11.6.** FH14 numunesinin TGA/DTA analiz sonucu.

Her 3 numunenin TGA/DTA spektrumu incelendiğinde;

F4 numunesi için, 30-800°C aralığında %8,5 oranında organik kısmın yapıdan ayrıldığı gözlenmiştir. Diğer kalan kısmın metal oksit olduğu düşünülmektedir.

F12 numunesi için, 30-800°C aralığında %10 oranında organik kısmın yapıdan ayrıldığı gözlenmiştir. Diğer kalan kısmın metal oksit olduğu düşünülmektedir.

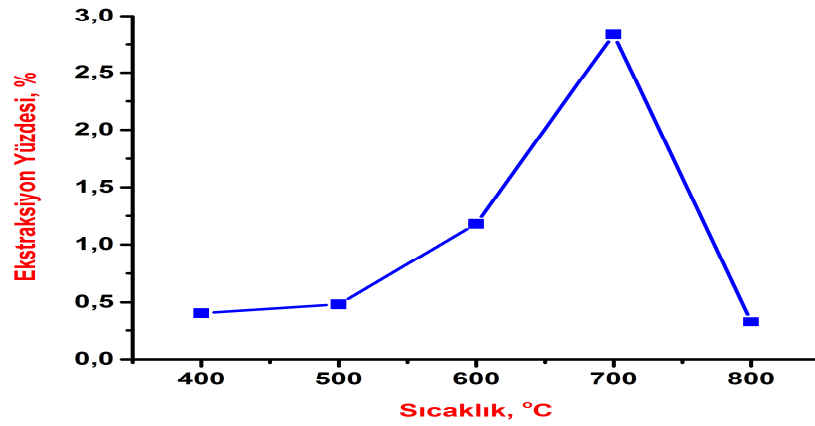
FH14 numunesi için, 30-800°C aralığında %0,5 oranında organik kısmın yapıdan ayrıldığı gözlenmiştir. Diğer kalan kısmın metal oksit olduğu düşünülmektedir.

Cs'un bor atıklarındaki optimum ekstraksiyon koşullarını tespit etmek için; ekstraksiyon üzerine kavurma sıcaklığının etkisi, bor atığına / çeşitli tuzların kütle oranlarının etkisi, kavurma süresinin etkisi, geri soğutucu altında karıştırma sürelerinin etkisi ve katı/sıvı oranının etkisi incelenmiştir.

## 11.2. Sezyumun Bor Atıklarından Optimum Ekstraksiyon Koşullarının Araştırılması

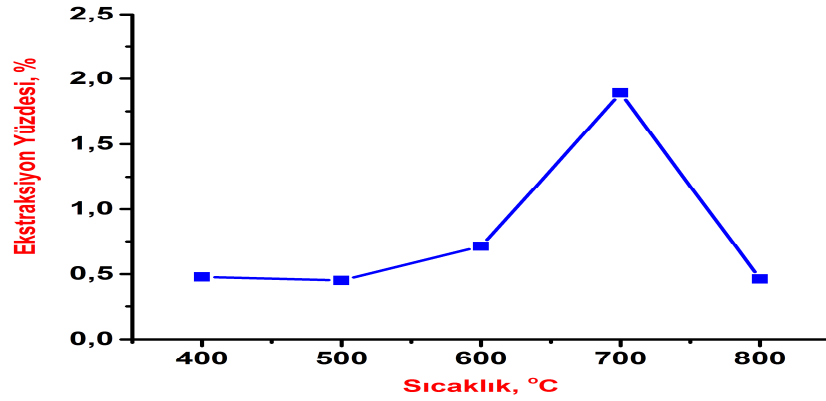
### 11.2.1. Kavurma sıcaklığının etkisi

Numunelerin kimyasal analiz ve karakterizasyon işlemleri (XRF, TGA/DTA, FT-IR) tamamlandıktan sonra Cs'un numunelerden optimum ekstraksiyon koşullarını belirlemek üzere öncelikle numunelerin kavurma sıcaklığının ekstraksiyon üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun için 400, 500, 600, 700, 800 ve 900°C'de, 5'er gram F4, F12 ve FH14 numuneleri yüksek sıcaklık fırınında 2 saat kavrulmuştur. Kavrulan numuneler 100 ml'lik beherlere konarak üzerlerine 2,5 katı (12,5 ml) ultra saf su eklenmiştir. Beherlerin üzeri parafilm ile kapatılarak 1 saat manyetik karıştırıcı ile oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Daha sonra çözelti mavi bant süzgeç kağıdı ile süzölmüş ve deney tüplerine doldurulan Süzüntüdeki sezyum miktarları AAS ile tayin edilerek sezyumun ekstraksiyon yüzdesi hesaplanmıştır.



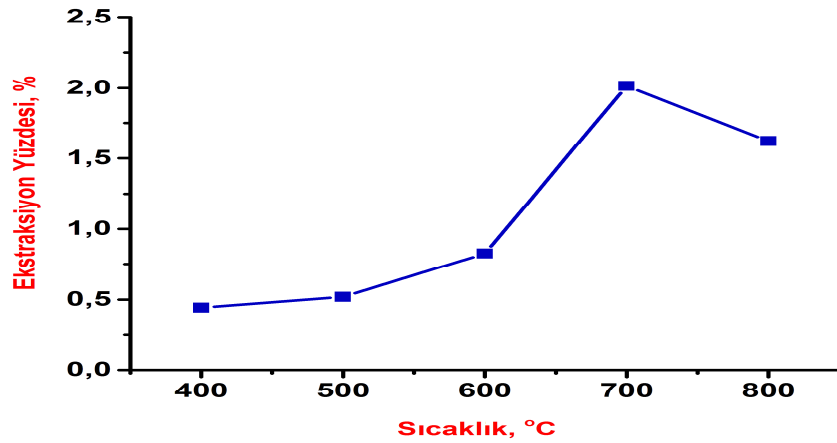
Şekil 11.7. F4 numunesi için Cs'un ekstraksiyonuna kavurma sıcaklığının etkisi.

900°C'de Bor atığı kroze ve birbirine sıkı sıkı yapıştığı için çözme işlemi yapılamamıştır.



Şekil 11.8. F12 numunesi için Cs'un ekstraksiyonuna kavurma sıcaklığının etkisi.

900°C'de Bor atığı kroze ve birbirine sıkı sıkı yapıştığı için çözme işlemi yapılamamıştır.



Şekil 11.9. FH14 numunesi için Cs'un ekstraksiyonuna kavurma sıcaklığının etkisi.

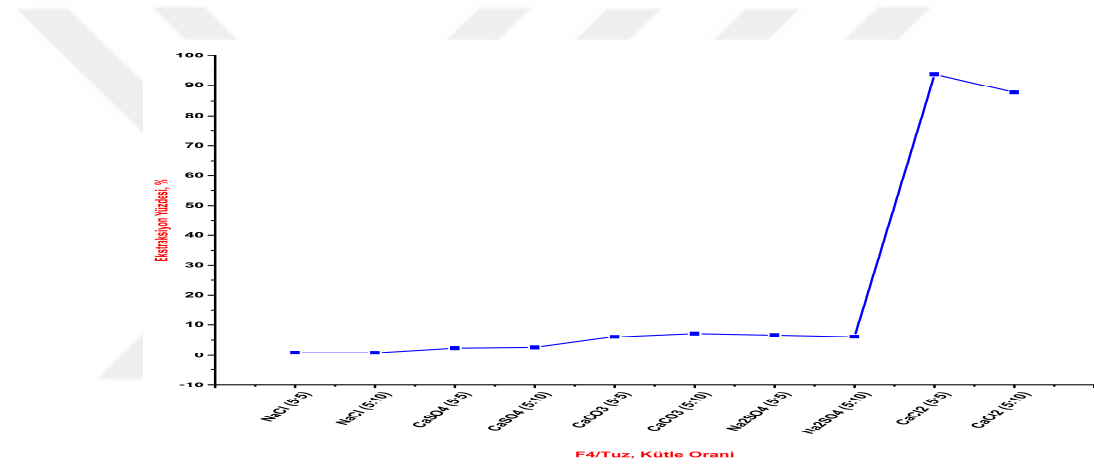
900°C'de Bor atığı kroze ve birbirine sıkı sıkı yapıştığı için çözme işlemi yapılamamıştır.

Her 3 numunede ekstraksiyon yüzdesi 700°C'de en yüksek değerine ulaşmıştır. 700°C den sonra ekstraksiyon yüzdeleri düşmüştür. Birçok prosesinde kullanılan yüksek sıcaklıklar deneylerde kullandığım numuneler için uygun olmamıştır. Çünkü numunelerin içindeki yüksek  $B_2O_3$  oranı 900°C sıcaklıktan sonra numunelerin erimesine ve soğuduktan sonra içinde

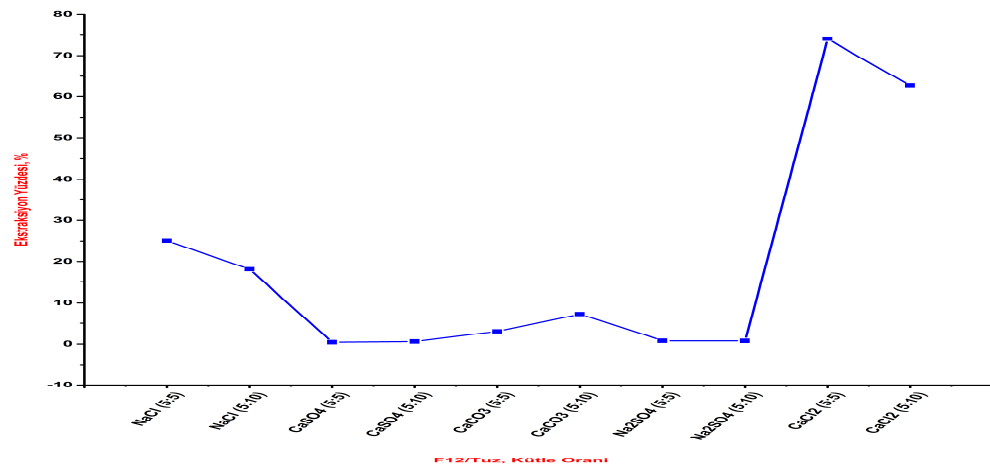
bulunduğu kaba ve birbirine sıkı sıkı yapışmasına neden olmuştur. 700°C den itibaren numunelerin ekstraksiyon yüzdesindeki düşmenin bor atıklarının plastiklik özelliğini yitirmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda numunelerin kavurma işlemi 700°C’de yapılmıştır.

### 11.2.2. Bor atığı / tuz kütle oranının etkisi

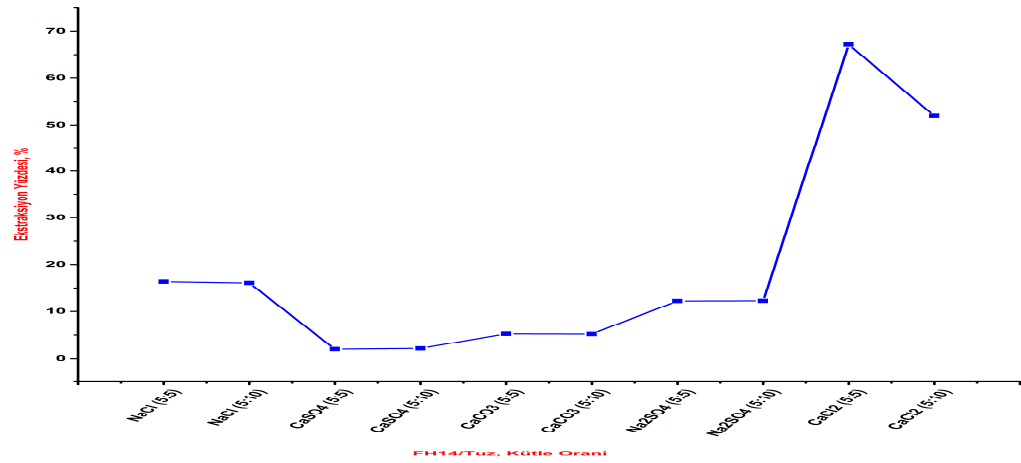
Numunelerdeki sezyumun ekstraksiyon yüzdesini arttırmak için, bor atıklarına çeşitli tuzlar ilave edilerek kavurma işlemi yapılmıştır. Bunun için NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> numunelere 1:1 oranında ve 1:2 oranında karıştırılarak ekstraksiyon yüzdesini nasıl etkilediği incelenmiştir.



Şekil 11.10. F4 numunesine tuz ilavesinin Cs’un ekstraksiyon yüzdesine etkisi.



Şekil 11.11. F12 Numunesine tuz ilavesinin Cs’un ekstraksiyon yüzdesine etkisi.



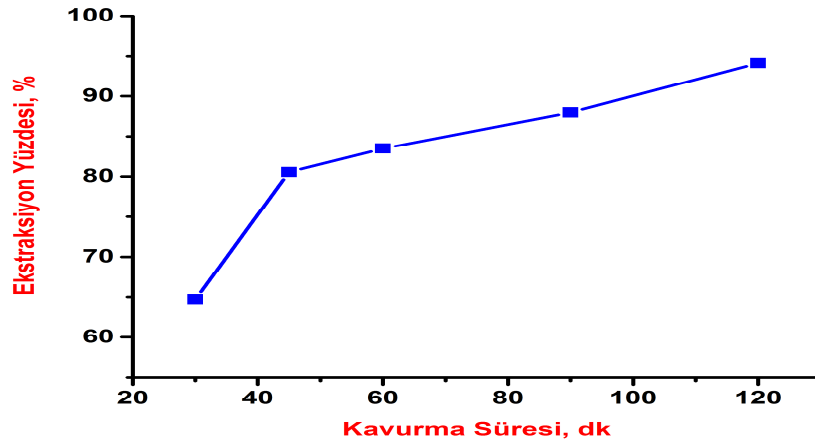
**Şekil 11.12.** FH14 numunesine tuz ilavesinin Cs ekstraksiyon yüzdesine etkisi.

Bu çalışmada bor atığı miktarları sabit tutulmuş ve numunelere değişen oranlarda NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> ilave edilmiştir. Bu şekilde hazırlanan karışımlar 700°C’de 2 saat yüksek sıcaklık fırınında kavrulmuştur. Kavrulmuş olan numunelerin üzerine kütle oranına göre 1:1 oranında karıştırılanlara 25 ml; 1:2 oranında karıştırılanlara ise 37,5 ml ultra saf su eklenmiş ve 100 ml’lik beherlere konmuştur. Beherlerin üzeri parafilm ile kapatılarak 1 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti mavi bant süzgeç kağıdı ve huni yardımı ile süzölmüş ve süzöntülerdeki Cs tayinleri AAS cihazı ile yapılmıştır. Analiz sonuçları şekil 11.10, 11.11 ve 11.12’de gösterilmiştir.

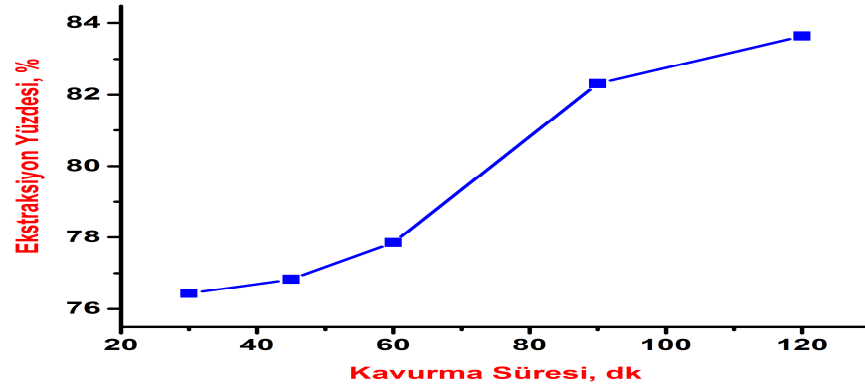
Şekil 11.10, 11.11 ve 11.12 incelendiğinde tüm numunelerin 1:1 oranında CaCl<sub>2</sub> ile karıştırıldığında Cs’un ekstraksiyon yüzdesinin diğer tuzların ilavesi ile elde edilen çözünürlük yüzdeslerine göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu sebeple bundan sonraki tüm numuneler için deneylerde tuz olarak 1:1 oranındaki CaCl<sub>2</sub> karışımı kullanılmıştır.

### 11.2.3. Kavurma süresinin etkisi

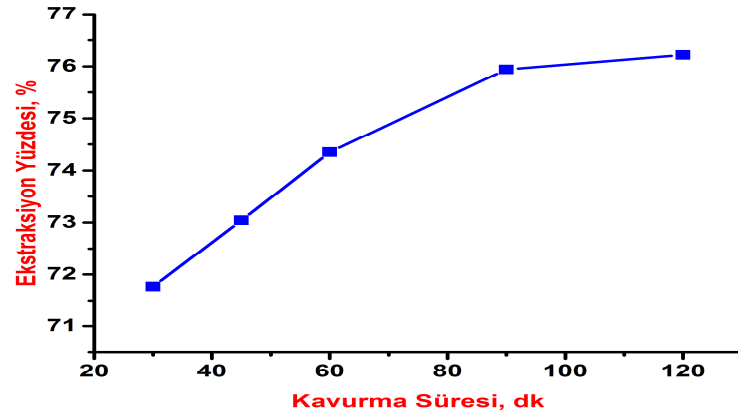
Tüm numunelere 1:1 oranında  $\text{CaCl}_2$  ilave edildikten sonra kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyon yüzdesi üzerine etkisi incelenmiştir. Bunun için hazırladığımız karışımlar  $700^\circ\text{C}$ 'de yüksek sıcaklık fırınında 30, 45, 60, 90, 120 dk süre ile kavrulmuştur.



Şekil 11.13. F4 numunesi için kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.



Şekil 11.14. F12 numunesi için kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi

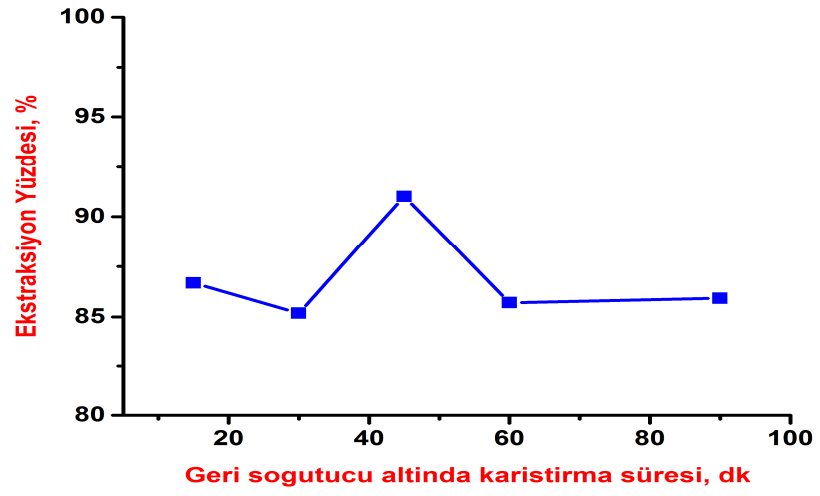


**Şekil 11.15.** FH14 numunesi için kavurma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.

Her 3 numune içinde kavurma süresi arttıkça ekstraksiyon yüzdesinin de arttığı tespit edilmiştir. Tüm şekillerde görüldüğü gibi kavurma süresi 120 dk olduğu anda ekstraksiyon yüzdesinin en yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Fakat bundan sonraki aşamalarda kavurma süresi olarak 90 dk belirlenmiştir. Çünkü 120 dk ile 90 dk'lık kavurma süreleri arasında ekstraksiyon yüzdesi olarak fazla fark olmadığından hem zamandan tasarruf etmek hem de ekonomik nedenlerden dolayı 90 dk'lık kavurma süresi uygun görülmüştür. Ayrıca numuneler yüksek sıcaklık fırının da ne kadar uzun süre kalırsa salınan karbon gazı miktarı o kadar artar ve fırının kullanım ömrünün ksalmasına neden olur.

#### 11.2.4 Geri soğutucu altında karıştırma süresinin etkisi

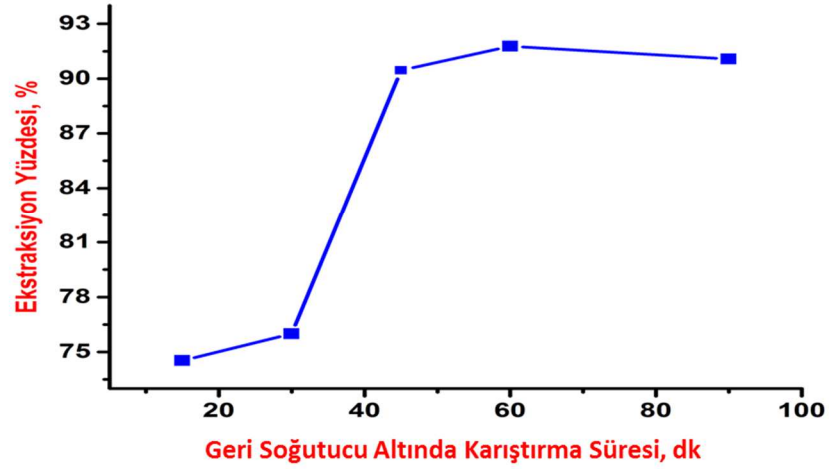
Bu aşamada numuneler  $\text{CaCl}_2$  ile 1:1 oranında karıştırılarak yüksek sıcaklık fırınında  $700^\circ\text{C}$ 'de 90 dk kavrulmuştur. Kavrulan numuneler üzerine 2,5 katı ultra saf su eklenerek  $100^\circ\text{C}$ 'de geri soğutucu altında 15, 30, 45, 60 ve 90 dk süre ile karıştırılarak Cs'un ekstraksiyon yüzdeleri incelenmiştir.



**Şekil 11.16.** F4 numunesi için geri soğutucu altında karıştırma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.



**Şekil 11.17.** F12 numunesi için geri soğutucu altında karıştırma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.



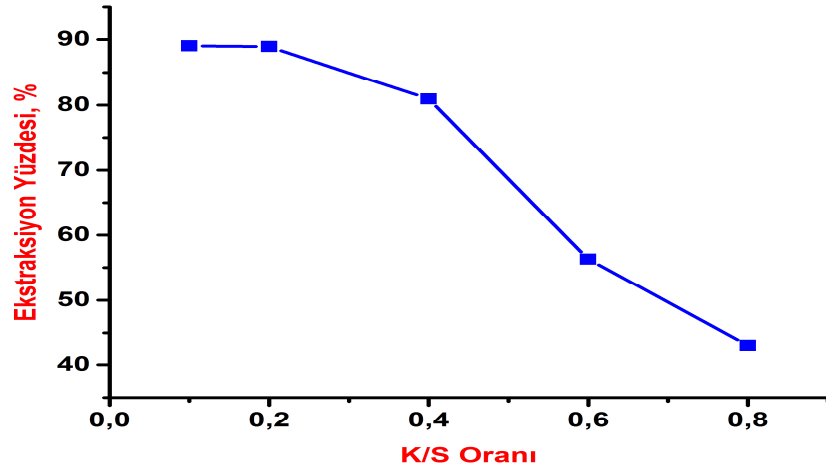
**Şekil 11.18.** FH14 numunesi için geri soğutucu altında karıştırma süresinin Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.

Şekil 11.16. incelendiğinde F4 numunesi için 100°C geri soğutucu altında 45 dk karıştırma süresinin Cs için en iyi ekstraksiyon yüzdesini (%91,01), Şekil 11.17. de F12 numunesi için 60 dk karıştırma süresinin Cs için en iyi ekstraksiyon yüzdesini (%97,35) ve Şekil 11.18'de ise FH14 numunesi için 60 dk karıştırma süresinin Cs için en iyi ekstraksiyon yüzdesini (%91,77) verdiği görülmektedir.

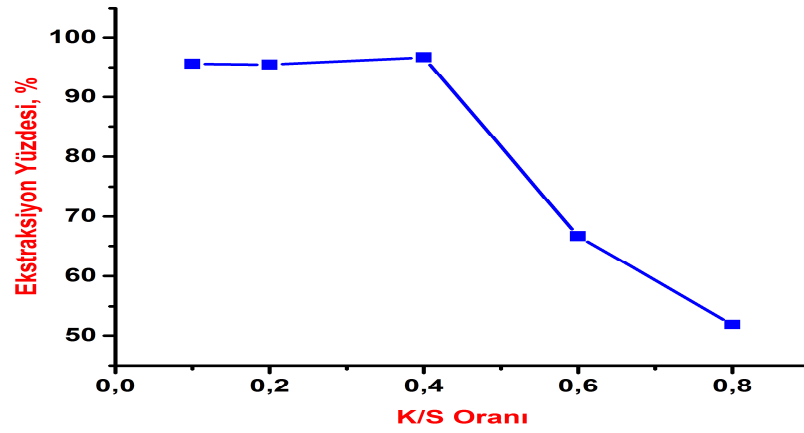
Bütün numuneler aynı anda 100°C geri soğutucu altında işleme tabi tutulduğundan F4 numunesi hariç F12 ve FH14 numunelerinin 60 dk karıştırıldığında ekstraksiyon yüzdesinin daha fazla olduğu görülmektedir. Tüm numunelerde karıştırma süresinin 60 dk'dan fazla uzatılmasının ekstraksiyon yüzdesine olumlu bir katkısının olmadığı ve aradaki enerji sarfiyatı dikkate alındığında 60 dk'lık karıştırma süresinin yeterli olduğu görülmektedir. Tüm numuneler bir arada işlem gördüğünden F4 numunesinin de diğer iki numuneyle aynı sürede karıştırılması uygun görülmüştür. Bundan sonraki aşamada numunelerle çalışmaya 100°C geri soğutucu altında 60 dk karıştırma işlemi uygulanarak devam edilmiştir.

#### 11.2.5 Katı / sıvı oranının etkisi

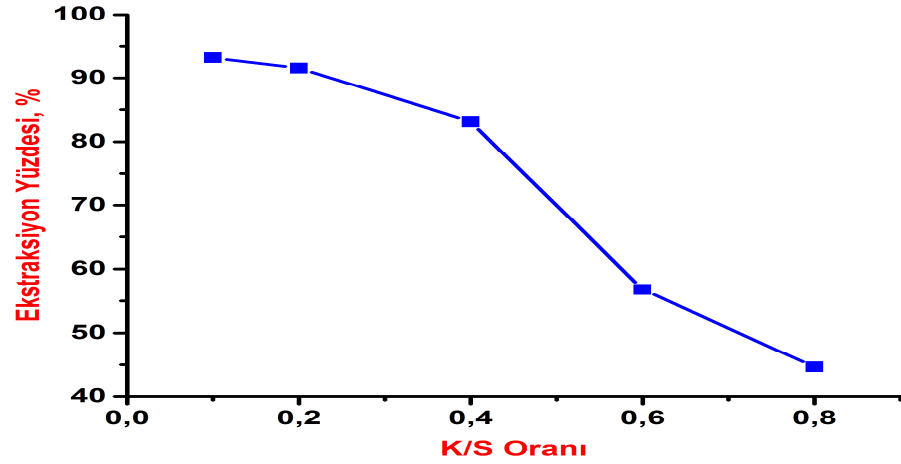
Sezyumun numunelerden ekstraksiyonu için çalıştığım son parametre katı/sıvı oranlarıdır. Bunun için katı oranı sabit tutularak sıvı oranı 0,1 ile 0,8 (12,5 ml-100 ml ) aralığında değiştirilerek katı/sıvı oranının Cs'un ekstraksiyonu üzerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 11.19. F4 numunesi için K/S oranının Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.



Şekil 11.20. F12 numunesi için K/S oranının Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.



Şekil 11.21. FH14 numunesi için K/S oranının Cs'un ekstraksiyonuna etkisi.

Tüm numunelerde K/S oranları 0,6 ile 0,8 arasında iken ekstraksiyon yüzdelерinin düşük olduğu görülmektedir. K/S oranı F4 (%89.01) ve FH14 (%93.19) numunelerinde 0,1 oranında iken en yüksek ekstraksiyon değerlerine ulaşmıştır. F12 (%96,67) numunesi ise çok az bir farkta olsa 0,4 oranında en yüksek değerine ulaşmıştır. Sonuç olarak F4 ve FH14 numunesi için K/S oranı 0,1 ve F12 numunesi için 0,4 en uygun oran olarak tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz bu değerler çalıştığımız tüm parametreler sonucu ortaya çıkan optimum değerlerdir.

| <u>K/S oranı</u> | <u>eklenen ultra saf su miktarı</u> |                                                                                                                                   |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,1              | 100 ml                              | Katı miktarları sabit tutularak numunelerin üzerine yanda belirtilen oranlarda 12,5 ile 100 ml arasında ultra saf su eklenmiştir. |
| 0,2              | 50 ml                               |                                                                                                                                   |
| 0,4              | 25 ml                               |                                                                                                                                   |
| 0,6              | 17 ml                               |                                                                                                                                   |
| 0,8              | 12,5 ml                             |                                                                                                                                   |

## 12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki bor rezervlerinin %72'si Türkiye'de, bunların da yaklaşık %56'sı Emet ve Hisarcık bölgesinde bulunmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda ülkemizde bor endüstrisi üretim faaliyetleri sonucunda yılda yaklaşık 3,5 milyon ton atık olduğu tahmin edilmektedir. Bu atıklar çevre kirliliğine neden olmakta ve içlerindeki değerli metaller geri kazanılamadığı için ülke ekonomisi için büyük kayıp oluşturmaktadır. Bu nedenle bor endüstri atıklarındaki değerli metallerin miktarının tayin edilerek geri kazanılması için çalışmalar yapmak Türkiye'nin öncelikli hedefleri arasında olmalıdır.

Bu deneyi yapmamdaki amaç; Bölgemizdeki bor endüstri atıklarında bulunan ve ekonomik yönden çok değerli bir metal olan sezyumun çözünürleştirilmesini sağlayarak miktarını tayin etmektir. Bor endüstri atıklarındaki sezyumun tayinine ve geri kazanılmasına yönelik ülkemizde ve yurt dışında yapılmış kapsamlı bir çalışma bulunmadığından bu çalışma ileride bu konularda uğraşanlara yol gösterici nitelikte olacaktır.

Deneylerde kullanılan numuneler Kütahya'nın, Emet-Espey ve Hisarcık bölgesindeki konsantratör tesislerinden alınan ve F4, F12 ve FH14 olarak adlandırılan bor atıklarıdır. Numunelerdeki sezyumun optimum koşullarda ekstraksiyonunu sağlamak için; kavurma sıcaklığı, bor atığı / tuz kütle oranları, kavurma süresi, 100°C geri soğutucu altında karıştırma süresi ve katı/sıvı oranı gibi parametreler denenmiştir.

Deneyler sonunda numunelerden F4'ün (%89,01), F12'nin (%96,67) ve FH14'ün (%93,19) oranında ekstraksiyonu sağlanmış olup bu oranlar oldukça yüksektir. Bor endüstri atıklarındaki sezyumun miktarının tayin edilmesi ve yüksek orandaki ekstraksiyonu bu değerli metalin geri kazanılması ve yüksek fiyatlara yurtdışından alınan bileşiklerinin ülkemizde de üretilmesi çalışmalarına başlangıç teşkil edebilir. Bunlar gerçekleştiği takdirde insanlar için yeni iş sahaları ortaya çıkacak ve ülke ekonomisine çok büyük katkısı olacaktır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Acarkan, N., (2015), Bor Ürün Çeşitleri ve Kullanım Alanları, Boron Products and Their Uses, s. 4.
- Aftalion, F., (1991), A History of the International Chemical Industry, University Of Pennsylvania Press, Philadelphia s. 373.
- Alp, L., Özdağ, H., (2000), Investigation of processing of colemanite tailings by ultrasonic, Mineral Processing on the Verge of the 21<sup>st</sup> Century, 8<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium Eds özbayoglu, Hosten, Atalay, Hıçyılmaz&Arol, Antalya s.693-696.
- Altun, F., (2005), Bor, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü Yayını.
- Arnett, D., (1996), Supernovae and Nucleosynthesis: An Investigation of the History of Matter, from the Big Bang to the Present, Princeton University Press, s. 527, ISBN 0-691-01147-8.
- Badruk, M., Yamık, A., Akçıl, A., (1997), Tinkal cevherinden elde edilen konsantre ve artığın kompaktlaştırılması ve konsantrenin çözeltilmesi, Türkiye 15.Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Müh. Odası, Eds Güyagüler, Ersayın&Bilgen, Ankara s.395-398.
- Bayrak, D., Bozbeyoğlu, F., Çağlan, D., Cengiz, İ., Çelebi, A., (2001), Özelleştirmenin odağındaki bor, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, s. 77.
- Bentli, T., Özdemir, O., Çelik, M.S., Ediz, N., (2002), Bor Atıkları ve Değerlendirilme Stratejileri, The First International Boron Symposium, Kütahya s.250-258.
- Benton, W., Turner, J., (2000), Cesium formate fluid succeeds in North Sea HPHT field trials, Drilling Contractor, (May/June) s.38-41, Erişim Tarihi, 24.01.2017.
- Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M.M., Tosunoğlu, V., Yılmaz, M.T., (2002), Utilization of Trommel Sieve Waste As An Additive in Portland Cement Production, Cement and Concrete Research, 32(1), s.35–39.
- Bor Araştırma ve Uygulama Merkezi, (2003), Balıkesir Üniversitesi.
- Bor Sektör Raporu, (2012), Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü.
- Bor Sektör Raporu, (2013), Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü s. 12.
- Bozkır, S.M., (1995), Çeviri, Bor Ekonomisi, Roskill Information Services Ltd. Clampham Road London Swg Oja-England, s. 145.
- Bozkurt, R., (1989), Minerolojik incelemelerin cevher zenginleştirmedeki rolüne iki örnek, Anadolu Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 5, Sayı: 1, Eskişehir s.15-21.
- Buluttekin, M.B., (2008), Bor maden ekonomisi : Türkiye'nin dünya bor piyasasındaki yeri, 2. Ulusal İktisat Kongresi, 20-22 Şubat 2008, DEÜ, İİBF İktisat Bölümü, İzmir, Türkiye s. 7.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Burt, R.O., (1993), Cesium and cesium compounds, in Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, 5 (4th ed.), New York: John Wiley & Sons, Inc. s.749-764, ISBN 978-0-471-48494-3.

Busso, M., Gallino, R., Wasserburg, G.J., (1999), Nucleosynthesis in Asymptotic Giant Branch Stars: Relevance for Galactic Enrichment and Solar System Formation, Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol. 37: s.239-309, Bibcode: 1999ARA&A.37.239B, doi:10.1146/annurev.astro.37.1.239, Erişim Tarihi, 23.01.2017.

Butterman, W.C., Brooks, W.E., Reese, Jr., Robert G., (2004), Mineral Commodity Profile: Cesium, United States Geological Survey, Archived From The Original, On February 7, 2007, Erişim Tarihi, 26.01.2017

Büyükyıldız, E., (2007), Emet Borik Asit Fabrikası Atıklarından Bor'un Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya s. 32.

Cerny, P., Simpson, F.M., (1978), The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba: X. Pollucite, Canadian Mineralogist, 16: s.325-333, Erişim Tarihi, 21.01.2017.

Cesium Supplier & Technical Information, [www.americanelements.com/cs.html](http://www.americanelements.com/cs.html), American Elements, Erişim Tarihi, 21.01.2017.

Charbonneau, L., (2003), IAEA Director Warns of 'Dirty Bomb' Risk, The Washington Post, Reuters, s. A15, Erişim Tarihi 25.01.2017.

Chemical Data-Caesium-Cs, [www.rsc.org](http://www.rsc.org), Royal Society of Chemistry, Erişim Tarihi, 24.01.2017.

Chong, G., (1984), Die salare in Nordchile-Geologie, Structure und Geochemie. Geotektonische Forschungen 67, s.1-146.

Clark, J., (2005), Flame tests, Chemguide, Erişim Tarihi, 24.01.2017.

Cotton, F.A., Wilkinson, G., (1962), Advanced Inorganic Chemistry, John Wiley & Sons, Inc. New York-London, s. 318, ISBN 0-471-84997-9.

Demir, İ., Orhan, M., (2002), Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, s. 235–239,

Demir, S.B., (2005), Borun İnsan ve Bitki İçin Önemi ve Bazı Üzüm Çeşitlerinde Bor Tayini Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana s. 3.

Demircioğlu, A., (1973), Türkiye'deki bor minerallerinden: Hidroborasit s.101-102.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Dırak, S., (2011), Eti Maden Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Endüstri Atıklarında Eser Elementlerin Tayini ve Lityumun Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Doğan, M.Z., Kaylaz, Y., Onal, G., Perek, K.T., (1997), Bigadiç ve Kestelek bor atıklarının ısıtma işlemi, elektrostatik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme olanaklarının araştırılması, I.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Köse&Arslan, İzmir s.76-85.

Dokuzuncu Kalkınma Planı, (2006), Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu, Bor Çalışma Grubu Raporu.

Downs, J.D., Blaszczyński, M., Turner, J., Harris, M., (2006), Drilling and Completing Difficult HP/HT Wells With the Aid of Cesium Formate Brines-A Performance Review, IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida, USA Society of Petroleum Engineers, doi:10.2118/99068-MS, Archived from the original on 2007-10-12.

DPT, (2001), VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri Cilt II, (Bor Tuzları-Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum), Çalışma Grubu Raporu, Ankara s. 179.

Eagleson, M., (1994), Concise Encyclopedia Chemistry, Walter de Gruyter Yayıncılık, Berlin, s. 198, ISBN 978-3-11-011451-5.

Ediz, N., Özdağ, H., (2001), Bor mineralleri ve ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, Kütahya s. 133-151.

Erkal, F.İ., Girgin, İ., (1992), Etibank Emet kolemanit işletmesi kaba artıklarının konsantre üretimi amacıyla değerlendirilmesi, 4.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Ed Özbayoglu. C.2, Antalya s.599-608.

Ertan, B., Erdoğan, Y., (2011), Emet-Espey Bölgesindeki Borlu Killerde Eser Element Tayini.

Essen, L., Parry, J.V.L., (1955), An atomic standard of frequency and time interval: a caesium resonator, Nature, 176 (4476): s.280-282, Bibcode:1955Natur.176.280E, doi:10.1038/176280a0.

Evans, F.W., Litt, M.H., Weidler-Kubaneck, A.M., Avonda, F.P., (1968), Reactions catalyzed by potassium fluoride, 111. The Knoevenagel Reaction, Journal Of Organic Chemistry, 33 (5): s.1837–1839, doi:10.1021/jo01269a028.

Gedikbey, T., Şarda, D., Birlik E., (2004), Kolemanit ve Pandemit minerallerinden borik asit üretimi, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir Türkiye s.285-289.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Pietsch, E., (1954), Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie, Bor, No. 13, 8., Verlag Chemie Yayıncılık, Weinheim.

Gray, T., (2012), The Elements, Black Dog & Leventhal Yayıncılık, New York, s. 131, ISBN 1-57912-895-5.

Greenwood, N.N., Earnshaw, A., (1984), Chemistry Of The Elements, Elsevier Science&Technology Books Yayıncılık, ISBN 0-08-022057-6.

Groeger, S., Pazgalev, A.S., Weis, A., (2005), Comparison of discharge lamp and laser pumped cesium magnetometers, Applied Physics B. 80 (6): s.645-654, arxiv: physics/0412011, Bibcode:2005ApPhB.80.645G, doi:10.1007/s00340-005-1773-x.

Gündüz, M., Cebi, H., Bilici, M.S.U., Akçin, H., Karakoç. G., Doğan, A., (2001), Kestelek konsantratör tesisi ara ürün stokları B2 01 içeriklerinin iyileştirilmesi çalışmaları, TUMAKS 2001 Türkiye 17.Madencilik Kongresi ve Sergisi, TMMOB Maden Müh Odası, Eds Ünal, Ünver&Tercan, Ankara s.125-131.

Haven, M.C., Tetrault, G.A., Schenken, J.R., (1994), Internal Standards, Laboratory Instrumentation, New York: John Wiley and Sons, s. 108, ISBN 978-0-471-28572-4.

Helvacı, C., (2004), Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, izmir, Türkiye s. 18.

Helvacı, C., (2015), Bor Yataklarını İçeren Neojen Havzalarının Jeolojik Özellikleri: Yatakların Genel Değerlendirmesi ve Gelecek Öngörüsü, MTA Dergisi, Sayı 151, Türkiye s.196-208.

Hıncalan, E.B., (2010), Bor Endüstri Atıklarındaki Lityumun Adsorpsiyon Yöntemi İle Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya s.6-7.

<https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/cesium>

<https://theodoregray.com/periodictable/Elements/055/index.html>

<http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri>

<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/atom-saati-nedir>

<https://www.lenntech.com/periodic/elements/cs.html>

<https://www.livescience.com/37578-cesium.html>

<https://www.rsc.org/periodic-table/element/55/caesium>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Caesium>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Caesium\\_chloride](https://en.wikipedia.org/wiki/Caesium_chloride)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Cesium>

<https://id.wikipedia.org/wiki/Borasit>

<https://minerals.usgs.gov>, (January 2016), U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.

<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cesium/mcs-2009-cesiu.pdf>

<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cesium/mcs-2014-cesiu.pdf>

<https://www.shutterstock.com/search/atomic+clock>

<https://www.webelements.com/caesium/chemistry.html>

<http://www.boren.gov.tr>

<http://www.etimaden.gov.tr>

Jensen, N.L., (1985), Cesium, in Mineral facts and problems: U.S. Bureau of Mines Bulletin 675, s.133–138.

Kaner, R., (2003), It's Elemental: the periodic table-Cesium, Chemical&Engineering News, American Chemical Society, Erişim Tarihi, 23.01.2017.

Karadeniz, M., (1996), Cevher zenginleştirme tesis atıkları çevreye etkileri-önlemler, MTA / MAT Daire Başkanlığı, Ankara s. 332.

Karaman, Y., (2003), Endüstriyel Borlama ve Tekstil Endüstrisinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta s. 121.

Kavas, K., Emrullahoğlu, Ö.F., (1999), Seydişehir kırmızı çamuru ve kırka bor atıklarının endüstriyel hammadde olarak kullanımı, Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir s.216-225.

Kaytaz, Y.T., Önal, G., Güney, A., (1986), Bigadiç kolemanit atıklarının değerlendirilmesi, I Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Ed Aytekin, C. 1, İzmir s.238-249.

KESK/ESM, TMMOB Jeoloji, Kimya, Metalurji Mühendisleri Odaları, (2003), Bor, Ankara s. 330.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kılıç, A.M., Kılıç, Ö., Andaç, D., Çelik A.G., (2009), Türkiye bor madenciliği, Dünya bor piyasasındaki durumu ve ekonomik açıdan önemi, IV. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir s.23-34.

Kurama, S., Kara, A., Kurama, H., (2007), Investigation of borax waste behaviour in tile production, Journal of the European Ceramic Society, 27(2-3), s.1715-1720.

Loxton, R., Pope, P., (1995), Level and density measurement using non-contact nuclear gauges, Instrumentation : A Reader, London: Chapman&Hall, s.82-85, ISBN 978-0-412-53400-3.

Lyday, P.A., (2000), Boron, USGS, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/boron.

Maden Tetkik ve Arama Dergisi, MTA Dergisi, (2015), 151: s.173-219.

McGee, J.D., (1969), Photo-Electronic Image Devices: Proceedings of The Fourth Symposium Held At Imperial College, London, September 16-20 1968, 1. Academic Press, s. 391, ISBN 978-0-12-014528-7.

Medical News Today, (2007), IsoRay's Cesium-131 Medical Isotope Used In Milestone Procedure Treating Eye Cancers At Tufts-New England Medical Center, Erişim Tarihi, 20.01.2017.

Melnikov, P., Zaroni, L.Z., (2010), Clinical effects of cesium intake, Biological Trace Element Research, 135 (1-3): 1-9. doi:10.1007/s12011-009-8486-7, PMID 19655100.

Mordoğan, H., Helvacı, C., Malayoğlu, U., (1995), Bor yatakları killeri ve güncel göllerdeki lityum varlığı ve değerlendirme olanakları, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Eds Köse ve Kızıl, İzmir, Türkiye, 21-22 Nisan 1995.

Moseman, R.F., (1994), Chemical disposition of boron in animals and humans, Environmental Health Perspect, Cilt 102, s.113-117.

Norton, J.J., (1973), Lithium, cesium, and rubidium-The rare alkali metals, in Brobst, D. A., Pratt, W. P., eds., United States mineral resources: U.S. Geological Survey Professional Paper 820, s. 365-378, Erişim Tarihi, 22.01.2017.

Ohki, S., Takaki, N., (2002), Transmutation of cesium-135 with fast reactors, Seventh Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation, 14-16 October 2002, Jeju (Korea), Erişim Tarihi, 23.01.2017.

Olgun, A., Erdoğan, Y., (2001), Etibor Bandırma borik asit işletmesi atıklarının seramik endüstrisinde kullanımı, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 2, Kütahya s.58-61.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Oruç, F., Sabah, E., Erkan, Z.E., (2004), Türkiye’de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir, Türkiye s. 386.

Özmal, F., (2008), Hisarcık-Espey Bölgesi Bor Endüstri Atıklarında Eser Elementlerin Tayini ve Lityumun Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Özmal, F., Erdoğan Y., (2013), Emet-Hisarcık Bölgesi Bor Endüstri Atıklarında Aas İle Li, Rb, Cs Tayinleri, Dpü Bap Projesi Sonuç Raporu.

Özpeker, Ö., (2001), Bor Yataklarının Değerlendirilmesi Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi, 16.3.2001, Edt Kmkoglu, S., Budakoglu, M., Çelenli, A., s. 57-68.

Öztürk, N., (1994), Tinkal Cevherlerinin Değerlendirilmesinde Yeni Yöntemlerin Aranması, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Polyak, D.E., (2009), Cesium, U.S. Geological Survey, Erişim Tarihi, 22.01.2017.

Rasor, N.S., Warner, C., (1964), Correlation of emission processes for adsorbed alkali films on metal surfaces, Journal of Applied Physics, 35 (9): 2589/600, Bibcode:1964JAP.35.2589R. doi:10.1063/1.1713806.

Reel, M., (2003), Where Timing Truly is Everything, The Washington Post, s. B1, Erişim Tarihi, 23.01.2017.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, (2001), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenler Alt Komisyonu İleri Teknoloji Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu s.6- 7.

Sönmez, E., Özdağ, H., Savaş, M., (1997), Ses ötesi dalgaların kolemanit artıklarının zenginleştirilmesinde kullanımının araştırılması, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Güyagüler, Ersayın&Bilgen, Ankara s.319-324.

Strod, A.J., (1957), Cesium-A new industrial metal, American Ceramic Bulletin, 36 (6): s. 212-213.

Şahin, G.E., (2008), Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Timur, A., Toksoz, M.N., (1985), Downhole Geophysical Logging, Annual Review of Earth and Planetary, Sciences. 13: s.315-344, Bibcode:1985AREPS, 13..315T. doi:10.1146/annurev.ea.13.050185.001531.

Tosun, E., (2010), Çeşitli Örneklerdeki Borun Spektrofotometrik Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri s. 17-18.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Türk, A., (2012), Eti Maden Kırka Bor Atıklarından Rubidyumun Kazanılması, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

Uslu, T., Arol, A.I., (2003), Use of boron waste as an additive in red bricks, Waste Management, 24(2), 2004, s.217-220.

Yakıncı, Z.D., Kök, M., (2016), Borun sağlık alanında kullanımı, T.C. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, Vol. 5 Sayı 7, s.7.

Yeşilkaya, L., Poslu, K., Özdag, H., (1989), Kırka Boraks İşletmesi Tinkal Konsantratörü Atıklarındaki Kilin Flokülasyon ile Ayrıştırılması ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Anadolu Univ. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, Eskişehir s.45-58.

## ÖZGEÇMİŞ

28.06.1981 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise (İncirlik Y. D. A. Lisesi) eğitimini Adana'da tamamladı. 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden mezun oldu. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Öğretmenliği Tezsiz Yüksek Lisans programından mezun oldu. Yabancı dili İngilizcedir.

