

**MAGNEZYUM ve KALSİYUM BORATLARIN SENTEZİ ve KONVEYÖR  
BANTLARDA YANMA GECİKTİRİCİ ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sena DEDEOĞLU**

**Danışman**

**Prof. Dr. Meltem DİLEK**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2020**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAGNEZYUM ve KALSİYUM BORATLARIN SENTEZİ ve**  
**KONVEYÖR BANTLARDA YANMA GECİKTİRİCİ**  
**ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Sena DEDEOĞLU**

**Danışman**

**Prof. Dr. Meltem DİLEK**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2020**

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

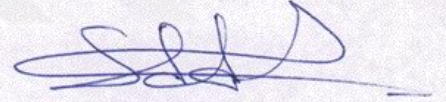
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

04 / 09 / 2020



**Sena DEDEOĞLU**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MAGNEZYUM VE KALSİYUM BORATLARIN SENTEZİ VE KONVEYÖR BANTLARDA YANMA GECİKTİRİCİ ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Sena DEDEOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Meltem DİLEK

Üretim sektörlerinde yangının ve yangın sonucunda meydana gelen gazların hayati risk oluşturduğu bilinmektedir. Bu riski azaltmak için konveyör bantların üretim sürecinde alev geciktirici katkıları kullanılmaktadır.

Bor ve bor ürünleri, son yıllarda yapılan çalışmalar sayesinde pek çok farklı sektöre hizmet verilen ürünlerin yapımında ve geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları içerisinde; boyalar ve kumaşlarda yangın geciktirici etkisi olduğu daha önce yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır.

Bu araştırmada, alev geciktirici katkılarıyla yangın geciktirici bant olarak piyasaya verilen lastik bant hamurlarına alev geciktirici olarak kullanılan katkıların yerine sıvı faz reaksiyonu yöntemleriyle sentezlenen magnezyum borat ve kalsiyum borat ilave edilmiştir. Bu ilavenin ardından pişirme süreci testleri uygulanarak her numune için pişirme süreleri tespit edilmiştir. Uygun şartlarda ve sürelerde pişirilen lastik bant hamurlarına alevlenme karakteristiği testleri uygulanarak alev geciktirici etkilerinin ne kadar olduğu tespit edilmiştir. Testlerin sonucunda magnezyum borat ve kalsiyum borat katkılarının alev geciktirici etkilere sahip olduğu kanıtlanmıştır.

**2020, xi + 74 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Bor, borat, alev geciktirici katkıları, magnezyum, kalsiyum, konveyör bant.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **SYNTHESIS OF MAGNESIUM AND CALCIUM BORATES AND INVESTIGATION OF FIRE RETARDANT PROPERTIES IN CONVEYOR BELT**

Sena DEDEOĞLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

**Supervisor:** Prof. Meltem DİLEK

It is known that fire and gases resulting from fire pose a vital risk in the production sectors. To reduce this risk, flame retardant additives are used in the production process of conveyor belts.

Boron and boron products are used in the production and development of products served to many different sectors thanks to the studies carried out in recent years. Among these areas of use; It has been proven by previous studies that it has a fire retardant effect in paints and fabrics.

In this research, magnesium borate and calcium borate, which are synthesized by liquid phase reaction methods as flame retardant additives, have been added to rubber band pulps which are put on the market as fire retardant tapes with flame retardant additives. After this addition, cooking process tests were applied and cooking times were determined for each sample. The flame retardant effects were determined by applying the exacerbation characteristic tests to the rubber band pastes baked under suitable conditions and times. As a result of the tests, magnesium borate and calcium borate additives proved to have flame retardant effects.

**2020, xi + 74 pages**

**Keywords:** Boron, borate, flame delayer additive, magnesium, calsium, conveyor belt.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof Dr. Meltem DİLEK'e, araştırma ve analizlerin uygulanması süresince yardımlarını esirgemeyen Özerband Konveyör Bant Fabrikası Genel Müdürü Sayın Ahmet ÖZER'e, Kalite Kontrol Sorumlusu Sayın Erol GÖKSU'ya ve diğer çalışanlara her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm bütün Kimya Mühendisliği Bölümü hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırmanın başında ve tüm üniversite eğitim hayatım boyunca bana her konuda destek olan ancak aramızdan ayrılan hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet HELVACI'yı saygı ve sevgiyle anarak teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim öğretim hayatımın her döneminde ve hayatımın her alanında maddi ve manevi desteklerinden dolayı annem Sermin DEDEOĞLU'na ve babam Naci DEDEOĞLU'na teşekkür ederim.

Sena DEDEOĞLU  
Afyonkarahisar 2020

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                                                                | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                                                     | ii    |
| ABSTRACT .....                                                                                 | iv    |
| TEŞEKKÜR .....                                                                                 | iv    |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....                                                                        | vi    |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                           | ix    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                          | x     |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                         | xx    |
| RESİMLER DİZİNİ .....                                                                          | xi    |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                  | 1     |
| 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....                                                                   | 3     |
| 2.1 Bor .....                                                                                  | 3     |
| 2.1.1 Bor Kullanım Alanları .....                                                              | 6     |
| 2.1.2 Bor Türevleri.....                                                                       | 7     |
| 2.1.2.1 Boraks (Tinkal) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).....  | 7     |
| 2.1.2.2 Kernit (Razorit) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) ..... | 7     |
| 2.1.2.3 Üleksit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).....                  | 8     |
| 2.1.2.4 Probertit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).....                | 8     |
| 2.1.2.5 Kolemanit ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) .....     | 9     |
| 2.1.2.6 Pandemit ( $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) .....   | 10    |
| 2.1.2.7 Hidroborasit ( $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).....          | 10    |
| 2.1.3 Magnezyum Boratların Özellikleri ve Kullanım Alanları .....                              | 11    |
| 2.1.4 Kalsiyum Boratların Özellikleri ve Kullanım Alanları.....                                | 11    |
| 2.1.5 Borik Asit.....                                                                          | 12    |
| 2.1.6 Dünya’da ve Türkiye’de Bor Minerallerinin Durumu.....                                    | 12    |
| 2.1.7 Borun Çevresel Etkileri .....                                                            | 15    |
| 2.2 Yanma Mekanizması .....                                                                    | 19    |
| 2.2.1 Mineral Esaslı Alev Geciktiriciler .....                                                 | 20    |
| 2.2.1.1 Kalsiyum Karbonat.....                                                                 | 20    |
| 2.2.1.2 Talk.....                                                                              | 21    |
| 2.2.1.3 Bor .....                                                                              | 21    |

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.4 Vollaſtonit .....                                                                                                           | 21 |
| 2.2.1.5 Mika.....                                                                                                                   | 22 |
| 2.2.2 Geleneksel Alev Geciktiriciler.....                                                                                           | 22 |
| 2.2.3 Borlu Alev Geciktiriciler .....                                                                                               | 23 |
| 2.2.3.1 Borat Bileſikleri ve Yanmaya Etkileri .....                                                                                 | 25 |
| 2.3 Konveyör Bantlar.....                                                                                                           | 25 |
| 2.3.1 Konveyör Bantların Kullanım Alanları.....                                                                                     | 26 |
| 2.3.2 Konveyör Bantlarda Alev Geciktiricilerin Önemi .....                                                                          | 27 |
| 2.3.3 Konveyör Bantlara Yapılan Alev Testleri.....                                                                                  | 28 |
| 2.3.4 Kauçuklarda Reolojik Kontrol .....                                                                                            | 29 |
| 3. MATERYAL ve METOT .....                                                                                                          | 33 |
| 3.1 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar.....                                                                                         | 33 |
| 3.2 Kalsiyum ve Magnezyum Borat Sentezleri .....                                                                                    | 34 |
| 3.2.1 Sıvı Faz Reaksiyonu ile Kalsiyum Borat Sentezleri .....                                                                       | 35 |
| 3.2.1.1 Kalsiyum Hidroksitten Kalsiyum Borat Eldesi .....                                                                           | 35 |
| 3.2.1.2 Kalsiyum Sülfattan Kalsiyum Borat Eldesi .....                                                                              | 38 |
| 3.2.1.3 Kalsiyum Klorürden Kalsiyum Borat Eldesi .....                                                                              | 39 |
| 3.2.2 Sıvı Faz Reaksiyonu ile Magnezyum Borat Sentezleri.....                                                                       | 39 |
| 3.2.2.1 Magnezyum Sülfattan Magnezyum Borat Eldesi.....                                                                             | 40 |
| 3.2.2.2 Magnezyum Nitrattan Magnezyum Borat Eldesi.....                                                                             | 40 |
| 3.2.2.3 Magnezyum Klorürden Magnezyum Borat Eldesi.....                                                                             | 41 |
| 3.3 Konveyör Bant Fabrikasında Lastik Bant Hamurlarının<br>Hazırlanması ve Piſirme İſlemi .....                                     | 41 |
| 3.3.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamurunda<br>Piſirme İſlemi .....                                          | 42 |
| 3.3.2 Kalsiyum Borat, Kalsiyum Borat, Kalsiyum ve Magnezyum Borat<br>İlaveli Lastik Bant Hamurlarında Piſirme İſlemi.....           | 44 |
| 3.4 Reolojik Testler.....                                                                                                           | 45 |
| 3.4.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamuru<br>Üzerinde Reolojik Test .....                                     | 46 |
| 3.4.2 Kalsiyum Borat, Magnezyum Borat, Kalsiyum ve Magnezyum Borat<br>İlaveli Lastik Bant Hamurları Üzerinde Reolojik Testler ..... | 48 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5 Alev Alma Karakteristiği Testleri.....                             | 48 |
| 4. BULGULAR .....                                                      | 50 |
| 4.1 Kalsiyum Borat ve Magnezyum Borat Ürünlerinin Karakterizasyon      |    |
| Testi Sonuçları .....                                                  | 51 |
| 4.2 Hamur Karışımlarının Reolojik Test Sonuçları .....                 | 57 |
| 4.2.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamurunun     |    |
| Reolojik Test Sonuçları.....                                           | 57 |
| 4.2.2 Kalsiyum Borat, Magnezyum Borat ve Hem Kalsiyum Borat Hem        |    |
| Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun                          |    |
| Reolojik Test Sonuçları.....                                           | 58 |
| 4.3 Hamur Karışımlarının Alev Alma Karakteristiği Test Sonuçları ..... | 60 |
| 4.3.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamurunun     |    |
| Alev Alma Karakteristiği Test Sonuçları.....                           | 60 |
| 4.3.2 Kalsiyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun                     |    |
| Alev Alma Karakteristiği Test Sonuçları.....                           | 61 |
| 4.3.3 Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun                    |    |
| Alev Alma Karakteristiği Test Sonuçları.....                           | 62 |
| 4.3.4 Kalsiyum ve Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun        |    |
| Alev Alma Karakteristiği Test Sonuçları.....                           | 62 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....                                             | 63 |
| 6. KAYNAKLAR.....                                                      | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                          | 74 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                                                                    |                                                            |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| dH <sub>2</sub> O                                                  | Distile su                                                 |
| B                                                                  | Bor Elementi                                               |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                                     | Borik Asit                                                 |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                      | Dibor Trioksit                                             |
| Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O  | Tinkal                                                     |
| NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O               | Üleksit                                                    |
| Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O  | Kolemanit                                                  |
| Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .4H <sub>2</sub> O   | Kernit                                                     |
| NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .5H <sub>2</sub> O               | Probertit                                                  |
| Ca <sub>4</sub> B <sub>10</sub> O <sub>19</sub> .7H <sub>2</sub> O | Pandermit                                                  |
| CaMgB <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .6H <sub>2</sub> O              | Hidroborasit                                               |
| CaCl <sub>2</sub>                                                  | Kalsiyum klorür                                            |
| CaSO <sub>4</sub>                                                  | Kalsiyum Sülfat                                            |
| Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                  | Magnezyum nitrat                                           |
| MgSO <sub>4</sub>                                                  | Magnezyum sülfat                                           |
| MgCl <sub>2</sub>                                                  | Magnezyum klorür                                           |
| ML                                                                 | Minimum tork değeri                                        |
| MH                                                                 | Maksimum tork değeri                                       |
| t50                                                                | Maksimum tork değerinin %50'sine ulaşmak için gereken süre |
| t90                                                                | Maksimum tork değerinin %90'ına ulaşmak için gereken süre  |

### Kısaltmalar

|      |                                            |
|------|--------------------------------------------|
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| ATH  | Alümina Trihidrat                          |
| BNCT | Boron Neutron Capture Therapy              |
| CZ   | Benzotiazol Sülfonamit                     |
| EPA  | Environmental Protection Agency            |
| HAF  | High Abrasion Furnace                      |
| LCD  | Liquid Crystal Display                     |
| LOI  | Limiting Oxygen Index                      |
| MTA  | Maden Tetkit Arama                         |
| TUAM | Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi    |
| XRD  | X-Işınları Kırınımı                        |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Batı Anadolu neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren<br>playa gölü çökelim modeli .....                      | 4  |
| Şekil 2.2 Yanma döngüsünün şematik olarak gösterimi .....                                                                                | 19 |
| Şekil 2.3 Vulkanizasyon eğrisi .....                                                                                                     | 31 |
| Şekil 2.4 Vulkanizasyon eğrisi üzerinde birimlerin gösterimi .....                                                                       | 32 |
| Şekil 4.1 Kalsiyum sülfat ve borik asitten elde edilen kalsiyum boratın<br>XRD grafiği .....                                             | 51 |
| Şekil 4.2 Kalsiyum klorür ve borik asitten elde edilen kalsiyum boratın<br>XRD grafiği .....                                             | 52 |
| Şekil 4.3 Kalsiyum hidroksit ve borik asitten elde edilen kalsiyum boratın<br>XRD grafiği .....                                          | 53 |
| Şekil 4.4 Magnezyum sülfat ve borik asitten elde edilen magnezyum boratın<br>XRD grafiği .....                                           | 54 |
| Şekil 4.5 Magnezyum nitrat ve borik asitten elde edilen magnezyum boratın<br>XRD grafiği .....                                           | 55 |
| Şekil 4.6 Magnezyum klorür ve borik asitten elde edilen magnezyum boratın<br>XRD grafiği .....                                           | 56 |
| Şekil 4.7 Katkısız hamurun vulkanizasyon grafiği .....                                                                                   | 57 |
| Şekil 4.8 Kalsiyum borat katkılı, magnezyum borat katkılı, kalsiyum ve magnezyum<br>borat katkılı hamurların vulkanizasyon grafiği ..... | 58 |
| Şekil 5.1 Alev yürütmez bant hamurunun vulkanizasyon grafiği .....                                                                       | 63 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                               | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Çizelge 2.1</b> Bor elementine ait fiziksel ve kimyasal özellikler .....                                   | 4     |
| <b>Çizelge 2.2</b> Dünya bor rezervi miktarları .....                                                         | 15    |
| <b>Çizelge 2.3</b> Türkiye bor rezervlerinin dağılımı mineral bazında .....                                   | 15    |
| <b>Çizelge 3.1</b> Kalsiyum borat ve magnezyum borat ürünlerinin analizlerinde<br>kullanılan cihazlar.....    | 33    |
| <b>Çizelge 3.2</b> Lastik bant hamuru numunelerinin üretimleri ve analizleri için<br>kullanılan cihazlar..... | 34    |
| <b>Çizelge 3.3</b> Aleve dayanıklı hamur karışımı reçetesi .....                                              | 42    |
| <b>Çizelge 4.1</b> Katkısız bant hamurunun reolojik test sonuçları.....                                       | 57    |
| <b>Çizelge 4.2</b> Bütün bant hamuru numunelerine ait reolojik test sonuçları .....                           | 59    |
| <b>Çizelge 5.1</b> Alev yürütmez bant hamurunun reolojik test sonuçları .....                                 | 63    |
| <b>Çizelge 5.2</b> Bütün bant hamuru numunelerine ait alev alma karakteristiği<br>test sonuçları.....         | 65    |

## RESİMLER DİZİNİ

|                                                                                                   | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Resim 2.1</b> Boraks (tinkal ) kristalleri .....                                               | 7     |
| <b>Resim 2.2</b> Kernit (razonit) minerali .....                                                  | 8     |
| <b>Resim 2.3</b> Üleksit minerali.....                                                            | 8     |
| <b>Resim 2.4</b> Probertit minerali .....                                                         | 9     |
| <b>Resim 2.5</b> Kolemanit kristalleri .....                                                      | 9     |
| <b>Resim 2.6</b> Pandemit minerali.....                                                           | 10    |
| <b>Resim 2.7</b> Hidroborasit kristalleri .....                                                   | 10    |
| <b>Resim 2.8</b> Borik asit.....                                                                  | 12    |
| <b>Resim 2.9</b> Konveyör bant.....                                                               | 26    |
| <b>Resim 2.10</b> Reometre cihazı .....                                                           | 30    |
| <b>Resim 3.1</b> Çökelmeye bırakılmadan önce çözelti .....                                        | 36    |
| <b>Resim 3.2</b> Çökelme için 24 saat bekletilen çözelti .....                                    | 36    |
| <b>Resim 3.3</b> Süzme İşlemi.....                                                                | 36    |
| <b>Resim 3.4</b> Süzme işlemi sonunda süzgeç kağıdında kalan ürünler.....                         | 37    |
| <b>Resim 3.5</b> Petri kabına alınan ürünler .....                                                | 37    |
| <b>Resim 3.6</b> Etüvden alınan ürün .....                                                        | 37    |
| <b>Resim 3.7</b> Öğütme işlemi.....                                                               | 38    |
| <b>Resim 3.8</b> Testler öncesi ürünler.....                                                      | 38    |
| <b>Resim 3.9</b> Hamur yapma makinesi .....                                                       | 42    |
| <b>Resim 3.10</b> İlk elde edilen hamur .....                                                     | 43    |
| <b>Resim 3.11</b> Hamurun makineden alınan ilk hali ve inceltme işlemi<br>sonrasındaki hali ..... | 43    |
| <b>Resim 3.12</b> İnceltme işlemi sonunda hamur .....                                             | 44    |
| <b>Resim 3.13</b> Kalender üzerinde katkı maddelerinin eklenme süreci.....                        | 45    |
| <b>Resim 3.14</b> Hidrolik pres makinesi.....                                                     | 47    |
| <b>Resim 3.15</b> Presten çıkan kalıp .....                                                       | 47    |
| <b>Resim 3.16</b> Kalıptan ayrılan pişmiş hamur .....                                             | 47    |
| <b>Resim 3.17</b> Alev alma karakteristiği testi için hazırlanan numuneler .....                  | 49    |
| <b>Resim 3.18</b> Alev alma karakteristiği testi 1 .....                                          | 49    |
| <b>Resim 3.19</b> Alev alma karakteristiği testi 2 .....                                          | 49    |

## RESİMLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Resim 4.1</b> Alev kaynağından uzaklaştırıldıktan sonra yandan 1,5 m/s hava akım hızı verildiğinde meydana gelen akkorlaşma ..... | 60 |
| <b>Resim 4.2</b> Alev alma karakteristiği testi sonucunda deforme olan numuneler.....                                                | 61 |



## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve sürekli gelişen sanayi çalışmaları eşliğinde farklı alanlarda fonksiyonel malzeme arayışları da artmaktadır. Çevre ve insan sağlığı açısından zararsız, yüksek sıcaklıklara dayanabilen, alev yürümesini engelleyen etkilere sahip, ekonomik ve kolay bulunabilen malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle alev geciktirici katkıları, çoğu sektörde kullanılan plastik malzemelerin yanma özelliğine sahip olması nedeniyle önem taşımaktadırlar. Yaşamımızda yaygın olarak kullanılan pek çok ürün ve üretim alanlarında tercih edilen malzemelerin birçoğu yanmaya eğilimlidir. Bu sebeple alev geciktirici katkıların kullanımları yaygınlaşmıştır (Kalın 2008).

Literatürde bulunan çalışmalar değerlendirildiğinde özellikle alev geciktirici özelliğinden dolayı plastik malzemelere katkı maddesi olarak çinko borat katıldığı bilinmektedir. Bor ve bor türevleri, yanmakta olan malzemenin oksijenle temasını keserek üzerini kaplamak suretiyle yanmayı bastırmaktadır (Fabien vd. 2000). Çoğunlukla çinko borat parçalarıyla yapılan çalışmaların yanı sıra diğer bor türevleri kullanılarak da pek çok çalışma yapılarak olumlu yönde sonuçlar alındığı bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında magnezyum borat ve kalsiyum boratın öncelikle sıvı faz reaksiyonu ile sentezleri gerçekleştirilmiştir. Magnezyum ve kalsiyum içeren bileşiklerin sulu çözeltileri ile susuz boratın sulu çözeltilerinin uygun koşullar altında reaksiyona girmesi sağlanmıştır. Daha sonra sırasıyla uygulanan süzme, çökeltme, kalsinasyon ve öğütme işlemleri sonucunda toz halde kalsiyum borat ve magnezyum boratlar elde edilmiştir. Elde edilen kalsiyum borat ve magnezyum boratların Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesinde yer alan Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) bünyesindeki XRD (X Işını Difraktometresi) cihazı ile faz dönüşümlerini gözlemlemek için analizler yapılmıştır. Analizlerin ardından numuneler Özerband Konveyör Bant Fabrikasına götürülmüştür. Fabrika bünyesinde bulunan analiz laboratuvarında alev geciktirici ürün reçetesine uygun olarak alev geciktirici katkıları eklenmeksizin bant numuneleri üretilmiştir. Üretilen bant numunesinin hamuru 4 parçaya ayrılmış ve ilk parçaya katkı maddesi eklenmemiştir. İkinci parçaya kalsiyum borat, üçüncü parçaya

magnezyum borat ve dördüncü parçaya hem kalsiyum borat hem de magnezyum borat maddeleri eklenmiştir.

Hamur numunelerine sırayla Reometre Cihazında pişme süresi testleri yapılmıştır. Bu süreler ölçüldüğünde magnezyum borat ve kalsiyum borat eklenen hamur parçalarının pişme süresinin katkısız olarak üretilen hamur numunesinin pişme süresinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. En uzun pişme süresi hem magnezyum borat hem de kalsiyum borat ilaveli olan 4. numuneye aittir. En kısa pişme süresi ise katkısız olan 1. numunede görülmüştür. Hamurlar hidrolik preste pişirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Pişen 4 ayrı hamur numunesi soğumalarının ardından alev alma karakteristiği testlerine tabi tutularak tutuşma gerçekleştikten sonra alev kaynağı kesilerek numune üzerindeki alevlerinin sona erme süreleri belirlenmiş ve tekrar kıvılcım oluşup oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kalsiyum borat ve magnezyum borat ilavesinin lastik bant üzerinde alev geciktirici etkisi ispatlanmıştır. Katkı kullanılmayan numuneye göre borat ilavesi yapılan numunelerde alevin daha hızlı sona erdiği kaydedilmiştir.

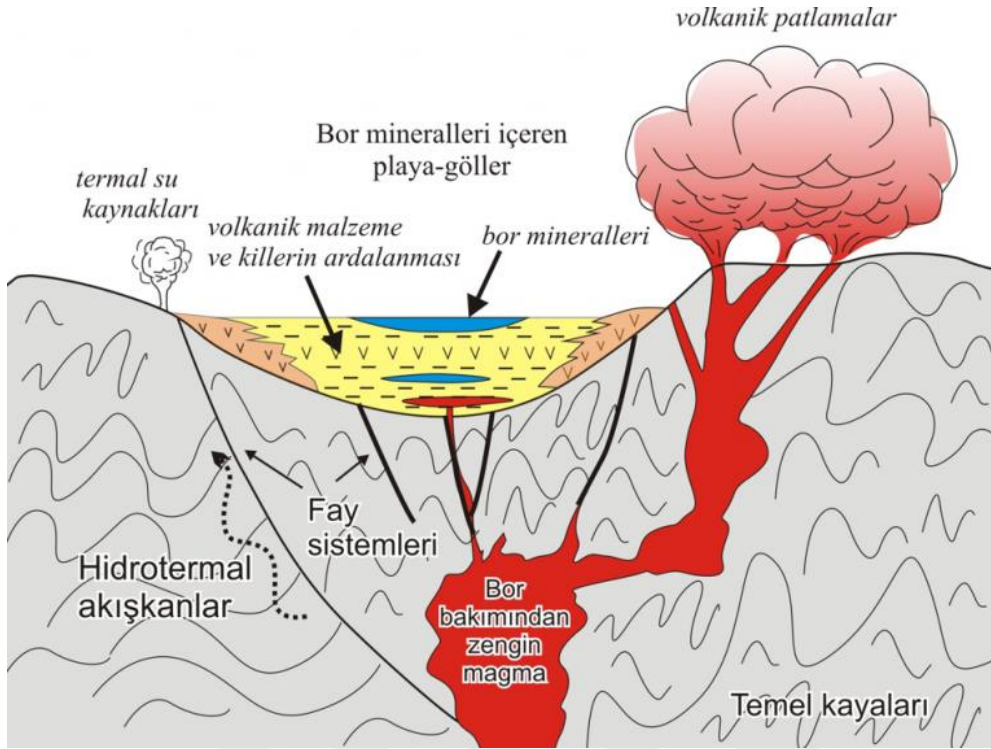
## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Bor

Bor elementi periyodik sistemin 3. grubunda bulunmaktadır. Bor elementinin atom numarası 5'tir. Bor elementi kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotoptan oluşur. Bor elementinin ilk üç iyonlaşma enerjisi aynı grupta bulunan diğer elementlerin sahip olduğu iyonlaşma enerjilerinden büyüktür. 1808 yılında elementel borun bulunuşu, Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humphry Davy tarafından gerçekleştirilmiştir. Bor, reaksiyonlar ve nitelikler açısından değerlendirildiğinde diğer ametallere özellikle de silisyuma büyük oranda benzemektedir. Bor elementi morfolojik yapısına ve tane büyüklüğüne bağlı olan kimyasal özelliklere sahiptir. Amorf bor, mikron ebadındaki haliyle kolaylıkla reaksiyona girer ancak kristalin halinde bulunan bor kolay reaksiyona girmez. Borun, su ile yüksek sıcaklık altında reaksiyona girerek borik asit ve diğer bor ürünlerinden bazılarını oluşturduğu bilinmektedir. Bor elementinin mineral asitleriyle reaksiyona girmesiyle konsantrasyon ve sıcaklık değişkenlerine bağlı olarak yavaş bir reaksiyon gerçekleşmekte, patlayıcı olabilme özelliği göstermekte ve ana ürün olarak borik asit elde edilmektedir. Elementel borun, metalik ve ametalik özellikler bakımından incelendiğinde metaller ve ametaller arasında bir sınırdaki bulunduğu tespit edilmiştir. Yarı iletkenler sınıfındadır ve yarı metal olarak sınıflandırılır (Durak 2007).

Bor yataklarının olduğu playa göllerinde genelde çakıltası, kıltaşı, tuf ve kireç taşları bulunmaktadır. Borat içeren havzalarda bulunan tortullar sürekli devir daim içerisinde bulunmaktadır. Playa gölleri etrafında volkanik faaliyetler yaygındır ve tortullarla birleşmiş kayalar gözlenmektedir. Tüm borat bölgelerinde volkanik kayalar bulunmaktadır. Bu sayede bor oluşumu için volkanik faaliyetlerin gerektiği düşünülmektedir (Helvacı 2015). Batı Anadolu sınırları içerisinde bulunan neojen havzalarında bor yataklarının oluşum şeklini gösteren playa gölü çökelim modeli görseli Şekil 2.1'de görülmektedir.

Bor elementine ait fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.



**Şekil 2.1** Batı Anadolu neojen havzalarındaki bor yataklarının oluşumunu gösteren playa gölü çökeliş modeli (Helvacı 2015).

**Çizelge 2.1** Bor elementine ait fiziksel ve kimyasal özellikler (Cengiz 2001).

| Fiziksel ve Kimyasal Özellikler | Değeri                  |
|---------------------------------|-------------------------|
| Atom ağırlığı                   | 10,811 g/mol            |
| Kaynama noktası                 | 2 500 °C                |
| Yoğunluğu                       | 2,34 g /cm <sup>3</sup> |
| Oksidasyon sayısı               | 3                       |
| Elektronegatifliği              | 2                       |
| İyonlaşma enerjisi              | 191 kcal /g atom        |
| Sertliği                        | 9,3 Mohs                |
| Atom yarıçapı                   | 0,98 r                  |
| Birleşme ısısı                  | 5,3 kcal / g atom       |
| Buharlaşma ısısı                | 128 kcal / g atom       |
| Kristal yapısı                  | Hekzagonal              |
| Erime noktası                   | 2 200 °C                |

Bir bor ürünü genellikle başka bir ürünün yerini alabilecek güçtedir ancak bir bor türevinin yerini başka bir ürün kolay kolay alamaz. Borun ürünleri ve atıklarıyla yeni ürünler elde edilebilir ve yeni katı maddeleri üretilebilir. Borun ve bor ürünlerinin malzemeler ve ürünler üzerinde fiziksel ve kimyasal etkileri kanıtlanmıştır.

Bor atıklarının değerlendirilmesi hususunda çalışmalar yapılmakta olup 3 ana başlıkta özetlenebilir.

1- Atık stok maliyetinde azalma meydana getirir.

2- Çevreyi kirleten unsurları azaltır.

3-Elde edilen yeni ürünler çoğu kez daha iyi performanslar göstererek ülke ekonomisine katkı sağlar (Karadeniz 1996).

Bor atıklarının çeşitli sektörlerle olan faydaları aşağıda sıralanmıştır.

-Oluşabilecek atıkların stoklanması halinde ortaya çıkan sorunlar ve aynı zamanda bu atıklar nedeniyle oluşan stoklama maliyetinde azalma,

-Çevrenin kirlenmesine neden olan unsurları en alt seviyeye indirgenme,

-Bor atıklarının değerlendirilmesi halinde üretimleri sağlanan yeni bor ürünleri ülke ekonomisi için ek kazanç boyutuna gelecektir (Oruç vd. 2004).

Endüstri için önemi günden güne artan bor elementi birçok farklı sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Bor bileşiklerinin üretilme süreçleri doğada bulunan bor minerallerinin madencilik, cevher hazırlama ve metalürjik işlemlere tabi tutulması neticesinde gerçekleşmektedir. Bor minerali ve cevherleri doğada bulunan halleriyle oldukça değerli olsalar da farklı özelliklere sahip rafine bileşiklerinin üretimi amacıyla bazı işlemlerden geçirilmektedirler. Bor bileşikleri ihtiva ettikleri  $B_2O_3$  miktarlarına veya sahip oldukları fiziksel / kimyasal özelliklere göre pek çok değişik sektörde kullanım alanı bulmaktadırlar (Cengiz 2001).

### 2.1.1 Bor Kullanım Alanları

Yüzlerce kullanım alanına sahip olan borun en çok tercih edilen kullanım alanları listelenmiştir:

-Cam Sanayi: İzolasyon tipi ve tekstil tipi cam elyafları, borosilikat ya da düz camlar, şişe camı, özel üretim camlar, optik lifler, cam seramikler,

-Seramik Sanayi: Emaye kaplamalar, sır kaplama ve porselen boyalar,

-Nükleer Sanayi: Reaktör kontrolü sağlayan çubukların üretimi, nükleer atık depolayıcı,

-Uzay - Havacılık Sanayi: Uzay araçları ve uçaklar, helikopter, zeplin, radar, uydu ve füzeler,

-Askeri ve Zırhlı Araçlar: Zırhlı yelekler ve zırh plakalarının üretimi, bazı cihazların yakıtları,

-Elektronik - Elektrik - Bilgisayar Sanayi: Mikro çipler, CD-R sürücüler, batarya, LCD ekran, bazı dielektrik malzemelerin üretimi, elektrik kondansatörleri,

-İletişim Araçları: Cep telefonu parçaları, televizyon ve uydular,

-İnşaat ve Çimento Sektörü: Ağır olmayan, sağlamlığı arttırılmış, ısıya karşı dayanıklı ve depreme dayanıklı bina inşa edilmesi için kullanılmaktadır. Binalarda bulunan camlarda; borosilikat camlarda kullanılmaktadır. Termal cam olarak da bilinen borosilikat camlar çimento ve çelik içerisine mukavemet arttırıcı katkı olarak ilave edilmektedir. İnşaat sektöründe bor kullanımı klinker üretimi sırasında çok önemli oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadır.

-Metalurji: Paslanmaz özelliklere sahip ve daha dayanıklı çelik üretiminde, sürtünme ve aşınma durumlarına karşı dayanıklılık kazandırılan malzemelerin üretiminde, metalürjik flaks eldesinde, refrakter üretiminde briket malzemelerinin eldesinde, döküm malzemeleri için ek katkı maddesi olarak bor ürünleri tercih edilmektedir (DPT 2006).

### 2.1.2 Bor Türevleri

Bor minerallerinin yapıları içerisinde birbirlerinden farklı miktarlarda bor oksit bulunmaktadır. Bor minerallerinin birbirinden farklı 230 çeşide sahip olduğu bilinmektedir. Bor mineralleri arasından ticari öneme sahip olan başlıca çeşitleri; tinkal, kolemanit, üleksit, szaybelit, kernit, pandermite, borasit ve hidroborasittir (İnt.Kyn.1).

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

Doğal boraks dekahidrat yani tinkal içeriğindeki diğer bileşenler nedeniyle pembe ve sarımsı renklere bulunabilmektedir. Doğal hali renksiz ve saydamdır. Kristal yapısı monoklinaldır. Kısa prizma şeklinde görülmektedir. Maden yatakları içerisinde üleksit ve tinkalkonit ile beraber bulunmaktadır. Suda kolayca çözünmektedir (Özkan 1994).

Boraks mineraline ait görsel Resim 2.1’de verilmiştir.



**Resim 2.1** Boraks (Tinkal) Kristalleri (İnt.Kyn.10).

#### 2.1.2.2 Kernit (Razorit) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

Doğada bulunan kernit minerali renksiz görünmektedir. Kernitin saydam bir yapısı vardır. Sertliği 3, özgül ağırlığı  $1,95 \text{ gr/cm}^3$  ve  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %51’dir. Soğuk suda az çözünür. Eskişehir- Kırka’da Na-Borat kütlelerinin alt seviyelerinde yer alır. Türkiye dışında Arjantin ve ABD’de bulunur (Yiğitbaşıoğlu 2004).

Kernit mineraline ait görsel Resim 2.2’de verilmiştir.



**Resim 2.2** Kernit (Razonit) Minerali (İnt.Kyn.11).

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

İğnemsı kristal yapısında, mercekli veya nodüler, ışınlı ya da yumak şeklinde doğada bulunabilmektedir. Beyaz, renksiz ya da şeffaf renklere sahip olabilmektedir. Kristal sistem yapısı trikлиндir. Sedimanter kayalarda genellikle kolemanit ile birlikte bulunmaktadır. Üleksitin içerdiği  $\text{B}_2\text{O}_3$  miktarı % 43’tür. Türkiye’de bulunduğu yataklar; Kırka, Bigadiç ve Emet yataklarıdır (İnt.Kyn.9).

Üleksit mineraline ait görsel Resim 2.3’de verilmiştir.



**Resim 2.3** Üleksit Minerali (İnt.Kyn.10).

#### 2.1.2.4 Probertit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Probertit renk bakımından kirli beyaz veya açık sarı olarak görülmektedir. Görünümü ışınlı - lifimsi kristal şeklinde görülür. Kristal boyutları yaklaşık olarak 5 mm ile 5 cm

arasındadır. Probertitin içerdği  $B_2O_3$  miktarı % 49,6'dır. Türkiye'de probertit yatakları Kestelek ve Emet'tedir (Yiğitbaşoğlu 2004).

Probertit mineraline ait görsel Resim 2.4'de verilmiştir.



**Resim 2.4** Probertit minerali (İnt.Kyn.12).

#### **2.1.2.5 Kolemanit ( $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ )**

En yaygın görülen bileşiktir. Kristal sistemi monoklinaldır. Sertliği yaklaşık olarak 4-4,5 aralığında belirlenmiş, özgül ağırlığı ise 2,52 olarak belirtilmiştir. Kolemanitin içerdği  $B_2O_3$  miktarı %50,8'dir. Su içerisinde zor çözünmektedir ancak asit içerisinde kolayca çözünür. 400°C sıcaklığın üzerinde ısıtılması halinde pudra halinde kavrulmaktadır (dekrepitasyon). Oluşumunda termal kaynaklar etkilidir. Türkiye'de kolemanit yatakları Emet, Bigadiç ve Kestelek'de yer almaktadır (Yiğitbaşoğlu 2004, Özkan 1994).

Kolemanit mineraline ait görsel Resim 2.5'de verilmiştir.



**Resim 2.5** Kolemanit kristalleri (İnt.Kayn.10).

#### 2.1.2.6 Pandemit (Priseit) ( $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Sıcak su kaynaklarının çevresinde oluşmuş bir mineraldir. Genel olarak kil ve jipsle beraber bulunmakta olup beyaz renkli oldukları bilinmektedir. Sertliği 3-3,5 arasındadır. Pandemit bulunan yataklar Sultançayırı'nda ve Bigadiç'tedir. Pandemitin içerdiği  $\text{B}_2\text{O}_3$  miktarı % 49,8'dir (Yiğitbaşoğlu 2004).

Pandemit mineraline ait görsel Resim 2.6'da verilmiştir.



**Resim 2.6** Pandemit minerali (İnt.Kyn.10).

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

Hidroborasitin  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %46,39'dur. Kristal sistemi monoklinikdir. Uzun ve prizma benzeri görünüme sahip, lamelli ve ince taneli olarak görüntülenmiştir. Sertlik derecesi 2-3 aralığında tespit edilmiştir. Renksiz, beyaz ya da şeffaf renklerde bulunabilmektedir. (İnt.Kyn.13)

Hidroborasit mineralinin kristallerine ait görsel Resim 2.7'de verilmiştir.



**Resim 2.7** Hidroborasit kristalleri (İnt.Kayn.10).

### 2.1.3 Magnezyum Boratların Özellikleri ve Kullanım Alanları

Magnezyum borat hem doğal olarak bulunabilmekte hem de sentetik olarak üretilmektedir. Bunlardan 2:1, 1:1, 1:2, 2:3, 1:3 ve 3:5 (Mg:B) bileşiklerini içeren doğal ve sentetik toprak alkali borat hidratlarının bir çok çeşidi bulunur (Adams 1964).

Magnezyum boratın bazı göllerden elde edilebilen kloropinnoit ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ) tuzundan ve magnezyum ile bor içeren bileşiklerden olmak üzere iki yolla sentezi sağlanabilir. Hidrat suyu içeren magnezyum boratlar, kloropinnoit bileşiği kullanılarak doygun çözeltilerden sıcaklık ve pH kontrolüyle kristallendirmeye ya da çeşitli magnezyum ve bor bileşiklerinin sulu veya susuz ortamlarda etkileşimi sonrası çöktürülmesi sonucunda eldesi sağlanmaktadır. Borlu bazı bileşiklerin magnezyum ile doğru şartlar altında reaksiyon vermeleri sonucunda magnezyum borat eldesi sağlanmaktadır (Anonim 2004).

Magnezyum borat kullanım alanları; topraktan pestisitlerin uzaklaştırılmasında, süper iletken olarak bilinen diborürün üretiminde, sürtünme azaltıcı katkı olarak, alev geciktirici katkı olarak, korozyon önleyici katkı olarak ve ısıya göre renk verebilen mürekkeplerin üretimi olarak sıralanmaktadır (Anonim 2004).

### 2.1.4 Kalsiyum Boratların Özellikleri ve Kullanım Alanları

Boratlar, farklı elementler ile bileşik oluşturabilmektedirler. Bu bileşiklerden bazıları cam, porselen, seramik endüstrisinde ve alev geciktirici katkı eldesinde kullanım alanı sağlamaktadır. Bu bileşikler arasında yer alan kalsiyum borat bir hekzaborat türü olan kolemanittir. Kolemanitin en çok tercih edilen kullanımı, alev geciktirici katkı olarak kullanımıdır. Kolemanit dışında diğer kalsiyum boratlar düşük dehidratasyon sıcaklığına sahiptirler ve alev geciktirici özellikleri nedeniyle çok sayıda kullanım alanı bulmaktadırlar. Bilinen başka bir kalsiyum borat türü ise nobleittir (Erd vd. 1961, Gündoğmaz 2007).

### 2.1.5 Borik Asit

Kimyasal formülü  $B(OH)_3$  olan borik asidin molekül ağırlığı 61,831 g/mol olarak belirlenmiştir. Borik asidin sahip olduğu kaynama noktası  $300^{\circ}C$  olup erime sıcaklığı  $169^{\circ}C$ 'dir. Türkiye'de borik asidin üretimi kolemanitten sağlanmaktadır. Borik asit üretimi Eti Maden İşletmeleri Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir. Sülfürik asit ve kolemanitin reaksiyona sokulmasıyla borik asit üretimi gerçekleştirilmektedir.

Borik asit; borosilikat cam ve cam elyafı, kozmetik ürünler, su sertliğini giderme, antiseptik ilaç üretimine kadar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır (Sümer 2004).

Borik asite ait görsel Resim 2.8'de görülmektedir.



**Resim 2.8** Borik asit (İnt. Kyn. 8).

### 2.1.6 Dünya'da ve Türkiye'de Bor Minerallerinin Durumu

Dünya üzerinde bulunan bor yataklarının başlıcaları Türkiye, Rusya ve ABD sınırları içerisinde bulunmaktadır. Dünyada bulunan bor rezervlerinin toplamı yaklaşık olarak 1,2 milyar tondur. Bu bor rezervinin ise %72,2'sinin Türkiye, %8,5'inin Rusya, %6,8'inin ABD sınırlarında olduğu bilinmektedir (Özkan vd. 1997).

#### - Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

1950'li yıllarda Çamköy yakınlarında bazı örnekler toplanması ve bu örneklerin incelenmesi sonucunda kolemanit olduklarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmaların sonucunda yörede bulunan bor yatakları keşfedilmiştir.

Çıkarılan cevherlerin konsantratör tesisi içerisinde işlenmesi ile konsantre bir forma sokulması sağlanmaktadır. Konsantre hale getirme işleminin ardından satışları yapılmaktadır. 1998 yılında üretime başlanmıştır (Haydar ve Büber 2003).

#### - **Kırka Bor İşletme Müdürlüğü**

Dünyanın en büyük rezervlerinden biri olarak bilinen Kırka boraks yatağı 1950-1960 yıllarında vatandaşlar tarafından bulunmuştur. 1962’de bütün ruhsatlar Türkiye’deki boraks yataklarının sahibi olan İngiliz Borax Consolidated Ltd.Şti.’ne geçmiştir. Ancak İngiliz şirketinin saha devir işlemleri için gerekli olan bazı şartların sağlanmaması nedeniyle ruhsatı iptal edilmiş ve Etibank’a devredilmiştir. 1968 yılında Maden Tetkit ve Arama (MTA) kurumu çalışanlarının yaptıkları aramalarda Kırka sodyum tuzu cevherinin Kaliforniya sınırları içinde görülen Tinkal – Razorit – Kernit cevherine büyük oranda benzediği tespit edilmiştir. Bor türevleri tesisi 1984 yılında işletmeye alınmıştır (Haydar ve Büber 2003).

#### - **Emet Bor İşletme Müdürlüğü**

Kütahya iline bağlı Emet ilçesi içerisinde kurulmuştur. 1956 yılında MTA tarafından bulunmuştur. 1958’de bu sahalar MTA tarafından Etibank’a devredilmiştir. Hisarcık ve Espey işletmeleri tarafından üretilen kolemanit minerali konsantratörler ile zenginleştirilmekte ve sonrasında satışı yapılmaktadır (Haydar ve Büber 2003).

#### - **Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü**

Bu çevrede cevher 1954’te bulunmuştur. 1979 yılına dek farklı kurumlarca yörede üretim yapılmış ve 1979’da Etibank tarafından devralınmıştır. Burada kolemanit üretilmektedir. Türkiye’de yer almakta olan büyük rezerve rağmen üretim açısından ABD’den sonra ikinci büyük üretici olmuştur. Bor gelişmiş ülkeler tarafından sanayide büyük bir önemi olan ve tüketim düzeyi yüksek olan bir madendir. Türkiye’de gerçekleşen bor üretiminin bir kısmı iç tüketime verilmekte ancak büyük bir bölümü ihraç edilmektedir. İhraç edilen ürünler genelde konsantre (ham bor) ürünleri

olmaktadır. Diğer yandan, Ortadoğu ve Afrika ülkelerine ihraç edilen ürünlerin neredeyse tamamını işlenmiş bor ürünleri oluşturmaktadır (Haydar ve Büber 2003).

Dünya üzerindeki ticari bor rezervleri temelde dört ana bölgede toplanmaktadır. Kaliforniya Eyaletinde yer alan “Mojave Çölü”, Güney Amerika sınırlarında olan “And Kemerı”, “Güney-Orta Asya Orojenik Kemerı” ve Doğu Rusya bu dört ana bölgedir (Haydar ve Büber 2003).

Başlıca bor yatakları rezervleri;

- Boron (Kramer) Yatakları, Kuzey Amerika
- Fort Cady Kalsiyum Bor Yatağı, Mojave Desert, Kaliforniya
- Death Valley Bor Yatakları / Billie Mine, Kaliforniya
- Rio Tinto, Sırbistan
- Güney Amerika Bor Yatakları
- Tincalayu, Arjantin
- Salar de Carcote ve Salar de Ascotan, Kuzey Şili
- Asya Bor Yatakları
- Çin Liaoning ve Jilin bölgeleri
- Qinghai (Çin) bor yatakları
- Hindistan, Jammu ve Kaşmir bölgesi
- Rusya Bor Yatakları

Dünyada bor rezervlerinin miktarları Çizelge 2.2’de, Türkiye’deki bor rezervlerinin 2017 yılında mineral bazlı olarak tespit edilen dağılımı Çizelge 2.3’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Dünya bor rezervi miktarları (İnt.Kyn.7).

| <b>Ülke</b>   | <b>Toplam Rezerv<br/>(bin ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b> | <b>Toplam Rezerv<br/>(%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b> |
|---------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Türkiye       | 948 712                                                       | 73,44                                                  |
| Rusya         | 100 000                                                       | 7,7                                                    |
| ABD           | 80 000                                                        | 6,2                                                    |
| Şili          | 41 000                                                        | 3,2                                                    |
| Çin           | 36 000                                                        | 2,8                                                    |
| Peru          | 22 000                                                        | 1,7                                                    |
| Sırbistan     | 21 000                                                        | 1,6                                                    |
| Bolivya       | 19 000                                                        | 1,5                                                    |
| Kazakistan    | 15 000                                                        | 1,2                                                    |
| Arjantin      | 9 000                                                         | 0,7                                                    |
| <b>TOPLAM</b> | <b>1 310 300</b>                                              | <b>100,0</b>                                           |

**Çizelge 2.3** Türkiye bor rezervlerinin dağılımı mineral bazında-2017 (İnt.Kyn.7).

| <b>Bölge</b> | <b>Cevher Cinsi</b>         | <b>Toplam (Ton)</b> |
|--------------|-----------------------------|---------------------|
| Emet         | Kolemanit-Üleksit-Probertit | 1 811 072 520       |
| Kırka        | Tinkal                      | 824 720 950         |
| Bigadiç      | Kolemanit-Üleksit           | 628 350 480         |
| Kestelek     | Kolemanit                   | 5 254 920           |

### 2.1.7 Borun Çevresel Etkileri

Bor minerali sanayinin pek çok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Borun ayrıca insektisitler, bazı seramikler, reaktörler, biyolojik düzenleyiciler, bazı plastik malzeme içerikleri, tekstil endüstrisinde ve yangın söndürücü olarak kullanımda olan katkı maddelerinde, atom reaktörlerinde, yapıştırıcı içeriklerinde, kozmetik ürünlerde ve diş macunlarında, yalıtım ürünlerinde, herbisitlerde ve antibakteriyel olarak kullanım alanları olduğu belirlenmiştir (Ulbaldini vd. 1966).

### **-Havaya etkisi**

Bor, havaya doğal yollardan ya da endüstriyel kaynaklardan yayılmaktadır. Borun havaya karışımıyla ilgili nicel çalışmalar henüz yapılmamıştır. Hava yolu ile bora maruz kalma şekli, bor madenlerinde olabilmektedir (US 1992).

### **-Toprağa etkisi**

Sodyum klorat ile beraber bulunan bor toprağa karıştırılarak üzerindeki yabancı otların giderilmesinde ve toprağı temizlemekte kullanılmaktadır. Gübre şeklinde kullanımı ile borun temel bir bitki besini olarak görülebileceği araştırılmıştır. Toprakta bor eksikliği bulunan pek çok ülkede hububat ürünleri bakımından toprak verimi düşük olarak tespit edilmiştir. Bor eksikliği anormal büyümeye ve bitki kısımlarının bozulmasına neden olmaktadır (Groenewald 1976).

Bor eksikliği bitki hasatlarının oranını düşürmektedir. Kırmızı karanfil üretimi yapılan bir serada bor elementi ilavesiyle gözlem yapılmış ve üretim düzeyinin arttığı tespit edilmiştir. Kaba yonca bitkisi ile yapılan çalışmalarda bor gübrelenmesi ile bitkinin varlığını sürdürebilmesi sağlanmıştır. Topraktaki bor eksikliği bitkilerin direncinin az olmasına, güçsüz kök ve gövde gelişimlerine neden olmaktadır (Demirtaş 2004).

### **-Suya Etkisi**

Bor içme sularına karışarak veya tarımsal sulara karışarak suya etki gösterebilmektedir. Özellikle içme sularının yüksek oranlarda bor içermiyor oluşu insan sağlığı açısından önemlidir. İçme suları için bazı bor sınır değerleri belirlenmiştir. 1968'de Su Kalitesi Kriterleri Komitesi (Committee on Water Quality Criteria) güvenli sınırın 1mg/L olduğunu belirtmiştir. 1971 yılında yapılan bir inceleme ile İçme Suları Teknik Komitesi (Drinking Water Standarts Technical Review Committee) tarafından 1 mg/L sınırını gerektirecek herhangi bir bulgu olmadığına karar verilmiştir. İnsan sağlığı için 0,3 mg/L güvenli sınır olarak bildirilmiştir (Uygan ve Çetin 2004).

İnsan sağlığına olan etkisi açısından yapılan çalışmalarda borun toksik etkisinin oldukça düşük olsa da var olduğu kanıtlanmıştır. Borun akut yollardan toksik etkilerinin 15 ile

30 gram aralığında boraks alınması halinde ortaya çıktığı kanıtlanmıştır. Kronik etki için günde 3 gram boraks veya 2 ile 5 gram aralığında borik asidin doğrudan yollarla alınması halinde meydana gelebileceği bulunmuştur. Bu durumlar söz konusu olduğunda idrarda azot miktarının arttığı tespit edilmiştir. Borun toksik etkileri yetişkinlerde baş ağrısı, kusma, ishal, duyu durum değişiklikleri şeklinde görülürken çocuklar üzerinde havale, beyin zarı iltihabı şeklinde olabildiği görülmüştür (Moseman 1994).

Sektörel gelişimlerin sonucunda istenmese de çevresel kirlenmeler hızla artmaktadır. Tarımsal sulama için önemli olan birkaç kriter bulunmaktadır. Bu konuda uygulanmakta olan sulama şekli, sulamanın zamanlaması ve sulamada kullanılan su miktarı önemli olduğu kadar sulama için tercih edilen suyun kalitesi de önemlidir. Bitkiler açısından sulama suyu olarak kullanılan sularda 1 mg/L'den fazla bor içeriği önerilmemekte, sorunlara yol açabileceği belirtilmektedir (PAO 1976).

#### **-Hayvanlara Etkisi**

Deney hayvanları ile yapılan çalışmalarda, yem içerisine ve içme sularına bor katılarak veya midelerine sonda yardımıyla bor verilerek gözlemlenen deney hayvanlarında, yüksek dozlara ulaşılan dek olumsuz etkiler görülmemiştir. Yüksek dozlarda borun akut zehirlenmelere ve ölüme sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. 9 000 mg/L borik asit içeren diyet uygulanan denek farelerde plazma içlerine, bazı salgı bezlerine, karaciğer ve böbrek gibi bölümlere borun ulaştığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda incelemeler sonucunda yağ dokusundan ziyade kemik dokusunda borun tutularak biriktiği tespit edilmiştir (WHO 1998).

Borik asitin herhangi bir toksit etkisinin olmadığı hayvanlar; kuş türleri, balık türleri, omurgasız canlılar, bazı böcek türleri ve memeliler olarak belirlenmiştir. Böceklerde orta bağırsağa zarar verdiği için besinin alınmasını ve sindirimini zorlaştırarak ölüme neden olduğu tespit edilmiştir. Borik asit kısırlaştırıcı etki göstermesi nedeniyle zararlılarla mücadelede kullanılmaktadır. Mısır şurubu, su ve borik asit ile yapılan

karışımlar bitkilerin kök ve yapraklarına belirli periyotlarda püskürtülerek böceklerin çoğalması önlenebilmektedir (Büyükgüzel ve Büyükgüzel 2004).

### **-İnsanlara Etkisi**

Bor insan vücudu için olumlu etkilere sahip olduğu tespit edilmiş bir bileşiktir. Vücut üzerinde mineral alımını düzenleyici etkileri tespit edilmiştir. Ayrıca vücut içerisinde kalsiyum ve magnezyum miktarının azalmasını önleyici etki yaratarak kemik yapısını korumakta olduğu belirlenmiştir. Çocuklarda öğrenme yeteneğini ve okul becerilerini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir (Velioğlu ve Şimşek 2003).

İnsanlar solunumla, temas ederek ya da sindirim yolu ile bor bileşiklerini vücutlarına alabilmektedirler. Bor bakımından zengin olan topraklar üzerinde yetişen bitkilerin tüketilmesi, yüksek bor oranına sahip sular içerisinde yaşayan balıkların tüketilmesi ile borun sindirim yoluna alınması mümkündür. Aynı zamanda bor kaynaklarının yakınında çıkan içme sularının içilmesiyle gerçekleşebilmektedir (Büyükgüzel ve Büyükgüzel 2004).

İnsan vücudu açısından borik aside ait öldürücü dozların alt sınırları; ağız yolu ile alındığında 640 mg/kg, cilt teması sonucunda alındığında 8 600 mg/kg, enjeksiyon ile doğrudan maruz kalındığında ise 29 mg/kg olarak belirlenmiştir. İnsan üzerinde belirlenen bor toksitesine ait belirtiler 500 mg'dan fazla alınan dozlarda mide bulantısı, kusma, şiddetli baş ve karın ağrısı eşliğinde ishal, kaslarda ani kasılmalar, şok hali, sindirim sistemi ve merkezi sinir sistemi üzerinde görülen dengesizlikler, salgı bezlerinde düzensizliklerin oluşması ve cilt üzerinde kızarıklık halidir (Hunt 1996, Velioğlu ve Şimşek 2003). Borun vücuttan tamamen uzaklaşmasının birkaç saat ile birkaç gün arasında değişen sürelerde gerçekleştiği belirlenmiştir (WHO 1998).

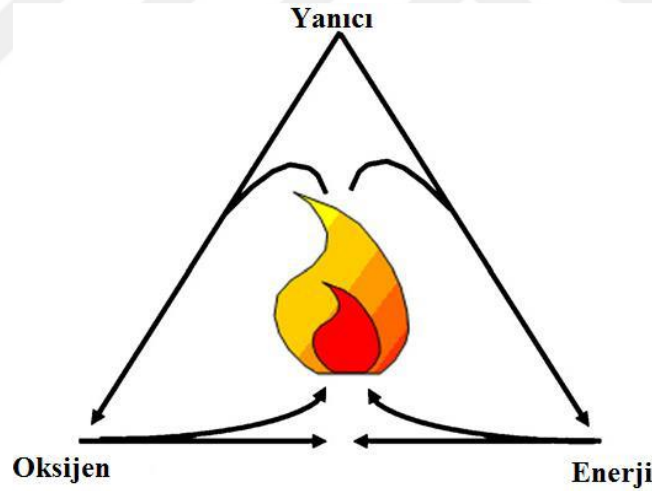
Kanserli olan hücrelerin yok edilmesi amacıyla kullanılan standart radyasyon tedavisi karşısında bir ek çözüm olarak kullanılmakta olan Bor ile Nötron Yakalama Terapisi (BNCT) yöntemi hakkında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Birçok gelişmiş ülkede

BNCT konusunda araştırmalar yapan merkezler aılımtır (Krk ve Aytekin 2004).

Bor ile yapılan BNCT tedavisinin amaçlarından en önemlisi tmrl dokuyu bıçak kullanılmadan yok etme olasılığına olanak vermesidir (Onat ve Konuk 2004). BNCT’de kanserli doku ile temasa geçen bor nötron bombardımanı sonrası sadece yapısında kanser bulunan hücreleri yok etmekte ve aynı doku üzerinde yer alan sağlıklı olan hücelere zarar vermeden çalışmaktadır (Krk ve Aytekin 2004).

## 2.2 Yanma Mekanizması

Yanma olayı ısı, oksijen ve uygun yakıt bileşenleri ile gerçekleşmekte olan ve ekzotermik olan bir reaksiyon türüdür. Yanma olayının sona ermesi için oksijen, ortamdaki yakıt kaynağı veya ısı tamamen tkenmelidir. şekil 2.2’de yanma döngüsü verilmiştir (Laoutid vd. 2009).



şekil 2.2 Yanma döngüsünün şematik olarak gösterimi (Laoutid vd. 2009).

Herhangi bir polimer malzemede yanma döngüsünün şematik gösterimi şekil 2.2’de görülmektedir.

Belirli miktarda enerjinin malzeme yüzeyine tatbik edilmesiyle yüzey sıcaklığında bir artma görülür ve malzemenin sahip olduğu termik özellikler değişime uğrar. Polimer malzeme içeriğinde yüksek miktarlarda hidrojen, karbon, oksijen bulunduran bileşiklerin olması nedeniyle kolaylıkla ve gayet hızlı şekilde yanar. Polimer

malzemelerde yüzey sıcaklıkları belirli bir değere yükseldiği anda piroliz olayı başlamaktadır. Pirolizin yavaşça ilerlemesi halinde yanıcı gaz çıkışı gözlenmez. Sıcaklığın artmasıyla piroliz hızı da artar ve bunun sonucunda yanıcı gazlar ortaya çıkmaya başlar. Polimer yüzeyinden salınan bu yanıcı gazların oksijenle teması sonucunda kıvılcım oluşmakta ve yanma devam etmektedir (Laoutıd vd. 2009).

### **2.2.1 Mineral Esaslı Alev Geciktiriciler**

Alev geciktirici malzemeler aleve ve yüksek derecede sıcaklığa maruz kaldığı zaman tutuşmayan veya geç tutuşan, tutuşma sonrasında ise kısa süre içerisinde kendiliğinden sönebilen malzemelerdir. Yapısı mineral esaslı olan alev geciktiricilerin oldukça çevre dostu, insan sağlığına zarar vermeyen ve yan etkilere sahip olmayan, düşük maliyete sahip olan malzemeler oldukları bilinmektedir. En yaygın kullanılan türleri kalsiyum karbonat, talk, bor, vollastonit ve mikadır. Alev geciktirici katkı maddeleri polimere belirlenen oranlarda ilave edilirler. Kolay alevlenen polimer malzemeyi seyreltir ve oksijen indeksini azaltarak yanmayı zorlaştırırlar.

Bir yanma geciktiricide ideal olarak tanımlanan polimer sentezi için:

- Alevin yayılma hızına karşı yüksek oranda direnç göstermesi,
- Tutuşma hızının düşük olması,
- Dumanlanmanın düşük hızda olması ve az miktarda duman yayılması,
- Piroliz olayıyla meydana gelen yanıcı gazların zehirsiz olması,
- Alevlenme olması durumunda yanma hızının olabildiğince yavaşlatılması,
- Görünüş ve yapı özelliği bakımından kullanım alanına uyuyor olması,
- Düşük maliyetli olması beklenmektedir (Çelebi 2009).

#### **2.2.1.1 Kalsiyum Karbonat**

Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), doğada yaygın olarak bulunur. Fiyatı düşüktür ve kararlı özelliklere sahiptir. Dolgu malzemesi olarak kullanımı yaygındır. Doğal veya çöktürülmüş kalsiyum karbonat halinde farklı oranlarda kullanımı tercih edilmektedir (Briggs 1998).

### 2.2.1.2 Talk

Talk ( $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), kendiliğinden hidratlı olan bir magnezyum silikat türüdür. Başlıca tabakaları oktahedral bir yapıya sahiptir. Talk reaksiyona girmeyen, organofilik yapıda olan ve su geçirmeme özelliklerine sahiptir. Talk,  $900\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığın üstüne çıkıldığında hidroksil gruplarını kaybetmeye başlar ve  $1050\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığın üstüne ulaşıldığında susuz magnezyum silikat formunda tekrar kristalleşir. Talk elektrik ekipmanları yalıtımı için kapsülleştirici olarak ve alev geciktirici katkı olarak kullanılmaktadır (Toporcer vd. 1993).

### 2.2.1.3 Bor

Bor endüstriyel olarak oldukça büyük öneme sahip bir elementtir. Bor minerallerinin bulunmaları kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementlerinin boratları olarak olmaktadır. Ergime ısı  $2300\text{ }^\circ\text{C}$  ve yanmaya karşı oldukça dayanıklı bir yapıya sahiptir. Yanma önleyici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. En çok kullanımı antimon trioksit ile beraber çinko borat ve boraks amonyum florborat ürünleri halinde tercih edilmektedir (İnt.Kyn.2). Borik asit ve boratlar selülozik tutuşma sıcaklığına gelmeden selüloz içeriğinde bulunan su moleküllerini uzaklaştırıp bu sırada meydana gelen kömür yüzeyini kaplamak suretiyle yanmayı engellemektedirler. Bor bileşiklerinin plastik ürünler üzerinde yanma önleyici olarak tercih edilmesi günden güne artmaktadır. Yanma geciktirici ve önleyici olarak tercih edilen bor bileşiklerinin başlıcaları çinko borat, baryum metaborat, borfosfatlar ve amonyum floroborat olmaktadır (İnt.Kyn.3).

### 2.2.1.4 Vollaŝtonit

Vollaŝtonit, kalsiyum metasilikat olarak da bilinirler ( $\text{CaSiO}_3$ ). Doğada kendiliğinden oluşur. Saf beyaz, sulu olmayan kristallerden oluşur (Pritchard ve Fillers 1998 ). Kompozit malzemeler üzerinde bazı mekanik özelliklerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ön görülerek yüksek sıcaklıklar altında boyutsal kararlılık artırma amacıyla bozunma olayını en az seviyeye indirmek için tercih edilmektedir. Park (Park 2007) kauçuk bir malzeme üzerinde mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla

vollastonit yüzeyi üzerinde 3-aminopropiltrietoksisilan ve aliltrimetoksisilanın kullanıldığı bir araştırma yapmış, araştırması sonucunda vollastonit ilavesinin kauçuk üzerinde çekme dayanımı ve yırtılma dayanımı bakımından iyileştirici etkilere sahip olduğunu ispatlamıştır (Pritchard ve Fillers 1998).

#### **2.2.1.5 Mika**

Mikanın yapısı oldukça ince ve esnek tabakalıdır. Kolaylıkla parçalanma eğilimi gösteren katmanlı bir yapısı vardır. Karakterize halde bulunan bir grup alüminasilikat minerallerden oluşmaktadır. Ticari olarak iki türü bulunmaktadır bunlardan biri muskovit diğeri ise flogopittir. Muskovit mika yapısal olarak 2:1 katmanına sahip bir alüminasilikattır. Flogopitler ise trioktahedral yapıya sahip alüminasilikattır. Mikanın kimyasal yapısı inerttir. Dehidroksilasyon sonucunda 600 C° sıcaklığa dek stabilitesini korur. Plastiklerde dolgu maddesi şeklinde kullanımı yaygındır. Bunun nedeni ise ince plaka halinde olan taneler verecek şekilde rahatlıkla işlenebilmesinden kaynaklanmaktadır. Mika malzeme üzerinde rijitliğe, boyutsal stabiliteye, eğilme – gerilme - darbe dayanımına etki göstermektedir (Briggss 1998). Osman ve ark. (Osman vd. 2001) yaptıkları bir çalışma ile silikon ağı üzerinde kullanılan mikanın etkilerini incelemiş, mika ilavesiyle polimer elastik modülünde ciddi bir artış olduğunu belirlemişlerdir.

#### **2.2.2 Geleneksel Alev Geciktiriciler**

Alev geciktirici katkı içerisinde genelde alümina, magnezyum hidroksit, antimon trioksit, fosfor, bor, klor, azot ve brom bileşikleri kullanılmaktadır. Metal hidroksitler antimon ve halojenlere oranla daha düşük maliyetlidirler. İnorganik hidroksit olarak bilinen katkılar kolaylıkla kontrol altında tutulabilen ve çok az miktarda zehirli gaz yayılımına izin veren yapıdadırlar. İnorganik hidroksit yapıdaki alev geciktiriciler arasında alüminyum trihidroksit çok fazla tercih edilmektedir. Magnezyum hidroksit ise diğerlerine göre oldukça yüksek sıcaklıklarda kullanımı oldukça işlevsel olan bir tür alev geciktirici olarak tercih edilmektedir. Metal hidroksit yapılar öncelikle endotermik şekilde bulundukları ortama su vererek bozunurlar. Endotermik dekompozisyon ısı pompası şeklinde çalışır ve substratları soğutma görevini üstlenerek polimer pirolizini

düşürür. Suyun ortama verilmesi yakıtın yoğunluğunu seyreltir ve yakıt/oksijen oranının kritik seviyeden uzaklaşmasını sağlar. Bir tabaka oluşumu sağlar. Bu tabaka seramik bazlıdır ve yalıtıcıdır (Ayar 2007). Yanma olayının önlenmesi için pek çok miktarda kullanımı olan ve halojen içerikli polimer maddelerde oldukça yüksek düzeyde yanmaya karşı direnç sağlayabilen maddelerden birisi antimon oksittir. Antimon oksit kullanımı sonucunda ürünler üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda antimonun büyük oranda buhar fazına geçmekte olduğu belirlenmiştir. Bu geçiş duman oluşumuna neden olarak duman miktarını arttırmaktadır. Antimon oksidinin zehirli bir yapıda olması nedeniyle yeni malzeme arayışları mecbur kılınmıştır. Halojen içerikli alev geciktirici maddeler alev geciktirici etkileri sırasında yanma prosesini keserler, ortama yayılan duman da böylece artmış olur. Bu tür alev geciktirici katkıların plastik üzerinde yanma olayını önleyemedikleri bilinmektedir. Alev geciktirici katkılar içinde yanma esnasında karbon monoksit ve fosgen gibi toksik bileşikler meydana gelmektedir. Antimon trioksit ve halojenür içerikli bütün bileşikler yangın sırasında çevreye toksik gaz yaydıkları için Environmental Protection Agency (EPA) tarafından yasaklı maddelerdir (Yılmaz vd. 2016).

### **2.2.3 Borlu Alev Geciktiriciler**

Bor içeren bileşikler, alev geciktirme amacıyla kullanıldıkları zaman oldukça çevre dostu etkilere sahiptirler. Bor içeren bileşiklerin toksik gaz salınımı yapmadıkları belirlenmiştir. Oldukça az düzeyde uçuculuk değerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Polimer yapılarda zincir oksidasyonu oluşmasında bariyer gibi davranış sergileyen camsı bir koruma tabakasının oluşmasını sağlamaktadırlar. Yanmakta olan malzemenin üst yüzeyini kaplayarak oksijen ile olan teması engeller ve bu şekilde yanma olayını bastırırlar. Bor bileşiklerinin alev geciktirici katkı maddesi halinde kullanımı konusunda gün geçtikçe daha fazla çalışma yapılmaktadır. Sadowska ve diğerleri çalışmaları sırasında poliüretan ve poliizosiyanürat köpüklerin hazırlanmasında bor kullanmış ve köpükler üzerinde bor ürünlerinin alev geciktirici bir etkiye sahip olduğunu belirlemiştir (Sadowska vd. 2015).

Kaynak ve İbibikcan (İbibikcan ve Kaynak 2014) yaptığı çalışmalarda çinko borat, bor

oksit ve borik asit kullanmışlardır. Bu bor ürünlerinin polietilen yapılı kablolarda kullanımını araştırmak için yaptıkları analizler sonucunda alüminyum hidroksitin bor ürünleri ile yer değiştirmesi sonucunda polietilen içerikli kabloların alev geciktirici özelliklerini arttırdığını tespit etmişlerdir (İbikcan ve Kaynak 2014 ).

Schartel ve arkadaşları (Schartel vd. 2010) melamin borat ile çalışmalar yaparak alev geciktirici özelliklerini gözlemek istemişlerdir. Melamin boratı epoksi reçinelere ilave etmişlerdir. Daha sonra LOI değerini ölçmüşler ve değerin arttığını dolayısıyla da alev geciktirici olarak kullanımının mümkün olduğunu ispatlamışlardır (Schartel vd. 2010).

Zhang ve arkadaşları ise borik asit, çinko borat ve amonyum borat ürünleri ile yün içerikli kumaşlar üzerinde alev geciktirici etkilerinin olup olmadığını araştırmak istemişlerdir. Borik asit, çinko borat ve amonyum borat ekleyerek yün içerikli kumaşlar üzerinde deneyler yapmışlar ve bunun sonucunda ekledikleri bor ürünlerinin bir ısı yalıtım bariyeri görevi gördüğünü tespit etmişlerdir. Analizler sonucunda bor ürünlerinin alevin yayılmasını yavaşlattıklarını kanıtlamışlardır (Zhang vd. 2015).

Yapılan benzer bir çalışmada, katı faz reaksiyonu ile sentezlenen magnezyum boratın boyaya ilavesi gerçekleştirilmiştir. Magnezyum borat numunesinin eldesi magnezyum oksit ve bor oksitin sinterleme reaksiyonlarına sokulmasıyla gerçekleşmiştir. Magnezyum borat ürünü boyaya eklendikten sonra boya çinko levha yüzeylere uygulanmıştır. Yapılan testlerin sonucunda yüksek sıcaklığa olan dayanıklılığın arttığı tespit edilmiştir. Limit Oksijen değeri ölçülerek magnezyum boratta bulunan alev geciktirici etki kanıtlanmıştır (Atalay 2012).

Yapılan başka bir benzer çalışmada çinko borat katkıları hazırlayarak poliüretanın alev geciktirici özelliğine olan etkileri gözlemlenmek istenmiştir. Yapılan indüksiyon zamanı testleri ile oda koşullarında çinko boratın polimer malzemelerde oksidatif stabiliteyi etkilediği tespit edilmiştir. Alev geciktirici etkisi tespit edilmiş olan çinko boratlar için karakterizasyon testleri yapılarak ürünün yapısını bozmadığı ve yanma sırasında ortama verilen zararlı gazların salınmasına engel olduğu görülmüştür (Yıldız vd. 2009).

Miroğlu ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada çinko boratı elektrik kablolarında

kullanarak alev geciktirici özelliklerini inceledikleri bilinmektedir. Çinko boratın katkı olarak kablo üretimi sırasında kabloya ilave edilmesinin elektrik kablolarında 235°C'ye dek alevlenmeyi geciktirdiğini tespit etmişlerdir (Miroğlu 2005).

Paciorek ve arkadaşları beraber yürüttükleri benzer bir çalışmada, borat bileşiği sentezleyerek belirli oranlarda sert poliüretan köpük içerisinde katkı malzemesi olarak ilave etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre köpüğün yanma direncinin yüksek miktarda arttığı tespit edilmiştir (Paciorek vd. 2012).

### **2.2.3.1 Borat Bileşikleri ve Yanmaya Etkileri**

Borat bileşikleri oldukça yüksek bir dehidrasyon sıcaklığına sahiptirler. Bu nedenle yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı bulunan plastik malzeme üretiminde yaygın bir kullanım alanları vardır. Kullanımının gün geçtikçe artmasındaki en önemli etkenler, diğerlerine göre daha etkili bir duman bastırma özelliğine sahip olmaları ve daha az maliyete ihtiyaç duymalarıdır. Çinko borata olan talep oldukça fazladır. Bunun başlıca nedeni, alüminyum hidroksit ve magnezyum hidroksitle beraber kullanılabilme özelliğine sahip oluşudur. Ayrıca çinko borat duman emisyonunu azaltma konusunda çok başarılıdır. Çinko boratın farklı plastikler üzerinde alev geciktirici olarak kullanımı yaygındır. Antimonla kullanılması halinde yüksek dereceli bir alev geciktirici olarak çalışır. Boyama kuvveti oldukça düşüktür. Ayrıca malzemede kendiliğinden bulunan yapısal elektriksel özellikleri iyileştirmektedir. Zehirli herhangi bir özelliği yoktur. Nemi absorplamadığı ve su içerisinde çözünmediği bilinmektedir (Tektaş ve Mergen 2003).

## **2.3 Konveyör Bantlar**

Konveyör bantlar, bir sektöre ait olan malzemelerin bulundukları yerden istenilen bir yere nakledilmesi için kullanılmaktadır. Karkas yapı ve kaplama kauçuğu olmak üzere 2 ana kısımdan oluşmaktadır. Karkas yapısı yük taşımakla sorumlu olan kısımdır. Kaplama kauçuğu kısmı karkası korumaktadır, karkas yüzeyine çevreden gelebilecek olumsuz etkileri en aza indirmektedir. Konveyör bantlar ekonomiktirler ve oldukça

verimli yapılardır. Konveyör bantlar ile insan gücüne ihtiyaç kalmadan, hızlı ve çok güvenli bir şekilde her çeşit malzeme nakli her türlü ortam içerisinde gerçekleştirilebilmektedir.

Konveyör bantlar; üzerlerinde yer alan malzemenin hareket ettirilebilmesi için gerekli olan çekme kuvvetine sahip olmalıdır. Aynı zamanda malzemenin mekanik ve korozyon aşındırma etkilerine karşı direnebilmeli, nem ve sıcaklık gibi hava şartlarına direnç gösterebilmelidirler. Dayanım bakımından yüksek standartlar, uzamanın mümkün olduğunca az olması, tambur sarışı ve oluklaşma etkilerine karşı dayanıklılık, özgül ağırlığın düşük olması ve alternatif gerilmelere karşı dayanım, yüksek aşınma direnci ve kullanım ömrünün uzun olması istenilen özellikler arasındadır (İnt.Kyn.4).

Resim 2.9'da konveyör bant üretimi yapılan bir tesiste bulunan sevkiyata hazır halde beklemekte olan konveyör bant ruloları görülmektedir.



**Resim 2.9** Konveyör bant (Özerband) (İnt.Kyn.4).

### **2.3.1 Konveyör Bantların Kullanım Alanları**

Bantlı konveyörler sabit veya hareketli olarak tasarlanabilmektedirler. Bantlı konveyörler malzemelerin nakledilmesi haricinde; yükleme tesislerinde, boşaltma yerlerinde, stok yapma ve malzemeyi stoktan geri almak için tercih edilmektedir. Bantlı konveyörlerin başlıca kullanım alanları aşağıdadır:

1- Maden ocaklarında; maden içlerinde, cevherlerin nakli için konveyör bantlardan yararlanılır.

2- Cevher hazırlama tesislerinde; cevher hazırlanması ve zenginleştirilmesi sırasında kırma – eleme – öğütme gibi işlemler için malzemelerin hatlar arasında naklinde kullanılmaktadır.

3- Termik santrallerde; kömür ya da linyit yakmakta olan santrallerde yakıt nakledilmesinde ve stoklanma sürecinde konveyör bantlar tercih edilmektedir.

4- Liman yükleme ve boşaltma tesisleri; limanlarda çeşitli malzemelerin yükleme ve boşaltılması için tercih edilmektedirler.

5- Diğer alanlarda; barajlar, yollar ve köprüler gibi büyük inşaatlar için, beton üretimi yapan tesislerde, çeşitli fabrikalarda ve farklı amaçlı silolarda konveyör bantlar kullanılmaktadır (Aşık 1988).

### **2.3.2 Konveyör Bantlarda Alev Geciktiricilerin Önemi**

Konveyör bantlarda korkulan durumlardan en önemlisi yangın olasılığıdır. Yangın sebebi birden fazla etkenden kaynaklı olabilir. Ana sebep genellikle sürtünme veya birikmiş statik elektriğin boşalımıyla alev başlamasıdır. Yangın ihtimalini minimuma indirmek için şu önlemler alınabilir;

- Alev dayanıklı konveyör bant kullanılması
- Konveyör bandın beklenen en yüksek yük miktarını taşıyabilecek kapasitede olması
- Konveyörü rulolarının üzerine gelecek olan yüklerin, taşıma kapasitesinin aşımına neden olmayacağı şekilde işletmek
- Belirlenen standartlara uyarak imal edilmiş parçaları kullanmak
- Makara yatakları üzerinde alev dayanıklılığı olan gres yağı tercih etmek
- Sıkışma ihtimalinin minimum düzeyde olduğu toza karşı hassas olmayan fren sistemlerini tercih etmek
- Hassas parçalar için olağan dışı çalışmaları ya da bozulmaları anında fark edebilecek şekilde olan izleme sisteminin tercihi
- Bantların altında yer alan sıyırıcıların altlarına malzeme dökülmesini engellemek için konveyör yerleştirmek
- Yük alma ve aktarma yapılan noktalarda alev karşı dayanıklı olan malzemeleri tercih etmek.

Aleve dayanıklı katkı içermeyen ve anti statik yapıda olmayan bantlar hem yanmaya hem de yangının ilerlemesini sağlamaya oldukça elverişlidir. Yanma esnasında yoğun şekilde duman ve gaz yayılır. Yangın konveyörün yapısı ya da bir dış etki nedeniyle başlayabileceği gibi, konveyörün çalışması sırasında taşınan malzemenin kimyasal ya da fiziksel özellikleri nedeniyle statik elektrik birikebilmekte, bir kıvılcım ile alev parlayabilmekte ya da ortama dağılmış halde bulunan gazların aniden patlamasına neden olabilmektedirler. Özellikle yeraltında kullanım alanı olan konveyör bantların asla yangına sebebiyet vermemesi, oldukça zor tutuşması ve farklı kaynaklardan gelen alevi yürütmeme özelliklerine sahip olması istenmektedir (HSE 2015).

Konveyör banta ait karkas yapıyı koruma amacıyla ve kullanım süresini arttırmak için karkasın bütün yüzeyleri ihtiyaç duyulan kullanım alanı ve çalışma şartları göz önünde bulundurularak uygun özelliklerde olan bir lastik türü ile kaplanması sağlanmaktadır. Konveyör bantların yanması üzerlerindeki kaplamalardan başlamaktadır. Çelik halata sahip olan karkas yanmaz özelliğe sahipken naylon, polyester, pamuk ve suni ipek türü olan malzemeler yanabilmektedirler (Aşık 1988).

Dünya üzerinde konveyör bantlar aracılığıyla kömür taşımacılığında aleve karşı dayanıklı kaplamaya sahip bantların kullanılması zorunlu kılınmıştır. Yeraltı sektörlerde ortamdaki havanın kendiliğinden yanabilir özellikte olmadığı ve taşınmak istenilen malzemenin alev alma kabiliyetinin düşük olduğu durumlarda alevlenmeye karşı dayanıklılığı bulunan bant tercih etmenin, çalışma şartlarının güvenliliği yönünden katkısı olduğu konusunda tartışmalar devam etmektedir (İnt.Kyn.5). Kauçuk malzemelerin bozunmaya elverişli doğaları nedeniyle ürünlerin hizmet süresi kısadır. Atmosfer ozon düzeyinin düşük olması halinde hizmet ömrü yaklaşık olarak 20 yıldan fazlayken, bu bantlarda beklenen süre 8 – 10 yıl kadardır (Erdem vd. 2016).

### **2.3.3 Konveyör Bantlara Yapılan Alev Testleri**

Aleve karşı dayanıklılık ölçütlerini belirleyen standartlar ülkeden ülkeye az da olsa farklılara sahip olmasına rağmen dünya genelini kapsayacak şekilde yangına dayanıklılık performansına sahip özelliklerde bant tasarımı yapılabilmektedir. Konveyör bantlarda

yangın konusunda güvenlik standartlarına uygunluklarının belirlenmesi için yapılan testler, genel anlamda dört başlık şeklinde verilebilir (İnt.Kyn.4).

**1. Tambur Sürtünme Testi:** Test yapmak için alınan konveyör bant parçası, standartta olan şekilde monte edilmek ve gerilmek suretiyle döner bir çelik tambur üzerine sarılır, bantın gerçek koşullardaki durumları simüle edilir. Teste önceden belirlenen gerginlik altında belirli bir sürede devam edilir. Alev ya da kıvılcım oluşumu olup olmadığı kaydedilir ve tahrik tamburunun sıcaklığı ölçülerek test bitirilir.

**2. Laboratuvar Alev Testi:** Küçük boyutlu bir yangın kaynağı nedeniyle konveyör bantın ne kadarlık bir bölümünde alev alma ve yanma olasılığı olduğunun belirlenmesi amaçlanır. Bunsen tipi bir meşale banttan alınan bir parça numune üzerine tutulur ve sonuç gözlem yoluyla tayin edilir. Tamamen alev almış olan halden kendi kendine sönmesine dek geçen süre ölçülmektedir.

**3. Galeri Yangın Testi:** Orta veya büyük bir yangın kaynağı ile konveyör bantın yanma olasılığının değerlendirilmesi için yapılmaktadır. Test, çelik sehpa ile desteklenmiş bir parça konveyör bant numunesi ile bir kabin içerisinde yapılır. Kabinin içine bir yandan sürekli hava verilir, aynı zamanda da numunenin bir ucu belirli bir süre boyunca gaz brülörü ile ateşlenir. Alev kaynağı kesilir ve ardından bantın zarar görmemiş kısmı tayin edilir.

**4. Elektriksel Direnç Testi:** Hareketli konveyör bantlarda statik elektriğin oluşumu ve boşalmasının olası ölçümleri yapılmaktadır. Bant numunesinin yüzeyine elektrotlar yerleştirilerek belirli bir gerilimde elektrik akımı geçirilir (İnt.Kyn.4).

### **2.3.4 Kauçuklarda Reolojik Kontrol**

Doğal kauçuklar doğadan saf halde elde edildiği halleriyle kullanıldıklarında mekanik özellikler bakımından yetersizdir. Doğal kauçuklarda sıcaklık değişimlerine fazla duyarlı olma sorunu bulunmaktadır. Doğal kauçuklarda en zayıf yönler vulkanizasyon adı verilen işlemle giderilmekte ve endüstriyel değeri arttırılmaktadır. Kimyasal olarak

vulkanizasyonu bir çapraz bağlanma olayı olarak tanımlamak mümkündür. Vulkanizasyon olayı esnasında kauçuk zincirleri birbirlerine bağlanmaktadır. Vulkanizasyon kauçukta bulunan istenmeyen özellikleri düzeltir ve kauçuk pişer (Kopylov vd. 2016).

Vulkanizasyon sonucunda;

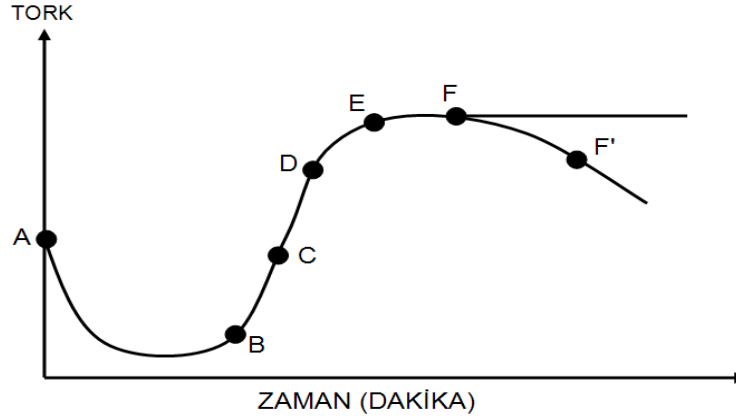
- Yapışkanlık özelliği olmayan
- Mekanik anlamda özellikleri oldukça gelişmiş
- Oldukça geniş bir sıcaklık aralığında elastikiyet özellikleri yüksek olan
- Isıtılması durumunda gereğinden fazla yumuşamayan
- Çözücülerin içerisinde çözünmeyen
- Sertliği artırılmış bir kauçuk elde edilmektedir.



**Resim 2.10** Reometre cihazı (Özerband Fabrikası).

Resim 2.10'da görülmekte olan reometre cihazı elastomerlerin ve kauçukların vulkanizasyon karakteristiklerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Malzemeye sürekli olarak artıp azalan gerinim belirli bir frekansta uygulanarak en yüksek gerinim ile gerilim değeri arasında bulunan faz farklılığı ölçülmektedir. Testi yapılacak olan parça çift konik diski içeren boşluk şeklindeki alana yerleştirilir. Bu alan sürekli yüksek sıcaklık ve pozitif yönde basınç içermektedir. Parça yerleştirildikten sonra boşluk kapanır ve diskin salınım hareketi başlar. Salınım hareketi  $1,7 \pm 0,1$  Hz hızında gerçekleşmektedir. Kauçuk doygunluğuna bağlı olarak ihtiyaç duyulan güç zamanın

fonksiyonu şeklinde kaydedilmektedir. Güç dengeye eriştiği zaman oluşan eğri tamamlanmaktadır. Bu eğriyi oluşturan zaman, test sıcaklığının ve polimerin sahip olduğu özelliklerin fonksiyonudur (Kopylov 2016).



Şekil 2.3 Vulkanizasyon Eğrisi (Saçak 2005).

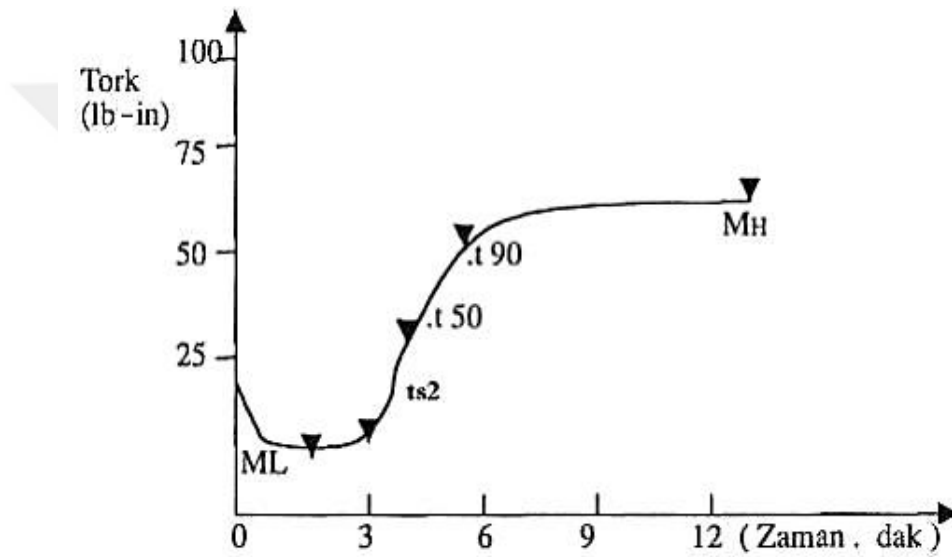
Şekil 2.3’de görülen vulkanizasyon eğrisinin üzerinde bulunan noktalar aşağıda açıklanmıştır.

- **AB** arasında lastik hamuru, yumuşar ve akışkan bir hal alır. AB’nin uzunluğu güvenli çalışmayı sağlamaktadır.
- **BC** arasındayken eklenmiş olan kükürt halkası açılır, lastikte yer alan polimerle etkileşime girer.
- **CD** arasında kükürt çapraz bağlar yapmaya başlar. Bu nokta grafiğin en önemli aralığıdır ve vulkanizasyon hızını belirtir. Eğim ne kadar dik olursa vulkanizasyonun da o denli hızlı olduğu bilinir.
- **DE** arası, vulkanizasyon için en uygun görülen sıcaklık aralığı olarak bilinir.
- **EF** arası, hamurda sertleşmenin olduğu, kükürt bağlarının kısaldığı ve esnekliğin azaldığı aralıktır.
- **EF’** arasında ise karbon bağlarının açılmakta olduğu ve fiziksel özellikleri bakımından dayanıksızlaşmanın olduğu bilinmektedir.

Bu eğrilerde t5 noktası önemlidir. t5 noktası bulunurken doğrunun eğriyi kestiği nokta tespit edilir ve bu nokta t5 süresi olarak alınır, bu süre scorch süresidir. Scorch süresi kauçuk karışımında ön vulkanizasyon yani erken pişme durumu anlamına gelmektedir.

Scorch süresi pişirme makinesine girmeden önce yer alan bütün aşamalar boyunca lastik için pişirme sıcaklığında çalışılabilecek olan en fazla süredir. Bu süre geçilirse malzeme çok erken pişer ve ardından sertleşme başlar. Bunun devamında lastiğe şekil verilmesi mümkün olmaz (Saçak 2005).

Ürünlerin %90 vulkanizasyonu istenmektedir. Geriye kalan %10 zamana yayılmaktadır. Bu sayede ürünün fiziksel özelliklerinin korunması sağlanmış olmaktadır. Vulkanizasyon eğrisi üzerinde birimlerin gösterilmesi Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4 Vulkanizasyon eğrisi üzerinde birimlerin gösterimi (İnt.Kyn.14).

Reolojik kontrolde Şekil 2.4'de gösterilen ifadeler ve anlamları;

ML: Minimum tork değerini belirtmektedir.

MH: Maksimum tork değerini belirtmektedir. Gerilme, kopma ve yırtılma özellikleri hakkında yorum yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

t50: Maksimum tork değerinin %50'sine ulaşılması için gerekli olan süreyi belirtmektedir.

t90: Maksimum tork değerinin %90'ına ulaşılması için gerekli olan süreyi belirtmektedir. Optimum vulkanizasyon süresidir.

ts2(t5): Isıtma zamanı başlangıcı ile pişme başlangıcı arasındaki zamanı ifade etmektedir (İnt. Kyn.14).

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Bu çalışmada ana malzeme olarak Sigma ve Merck markalarından magnezyum ve kalsiyum kaynakları ile Eti Madenleri Genel Müdürlüğünden temin edilen  $H_3BO_3$  kullanılmıştır.

Kalsiyum borat ve magnezyum borat çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan kimyasallar;

- $Ca(OH)_2$ ,
- $CaSO_4$ ,
- $CaCl_2$ ,
- $H_3BO_3$ ,
- $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,
- $MgNO_3 \cdot 6H_2O$ ,
- $MgCl_2 \cdot 6H_2O$
- Saf su

Yapılan çalışmalarda karakterizasyon testleri için Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM bünyesinde bulunan XRD cihazı kullanılmıştır. Diğer analizlerde Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları kullanılmıştır.

Kalsiyum borat ve magnezyum borat çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan cihazlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Kalsiyum borat ve magnezyum borat ürünlerinin analizlerinde kullanılan cihazlar.

| Cihaz Adı                    | Markası           | Modeli                                |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| XRD                          | Bruker D8 Advance | ( $\lambda$ :1,54060 Å, 30 mA, 40 kV) |
| Etüv                         | JEIO TECH OF      | 11E                                   |
| Analitik Terazı              | OHAUS             | PA214C                                |
| Manyetik Karıştırıcı ısıtıcı | JEIO TECH TM      | 14S (350 °C, 2 000 rpm )              |

Lastik hamurunun oluşturulması ve katkıların ilave edilmesi sürecinde;

Kullanılan Kimyasallar:

- Tabii Kauçuk
- Sentetik kauçuk (1203-polibütadien)
- Sentetik kauçuk (1502-stiren bütadien)
- HAF (karbon siyahı)
- Çinko oksit
- Stearin
- Antimon
- Antioksidan 4010
- Klor parafin
- Silika
- CZ (hızlandırıcı benzotiazol sülfenamit)
- Kükürt
- Stearin
- Çinko oksit

Pişme süresi testleri ve alev alma karakterizasyonu testleri, Özerband Konveyör Bant Fabrikası analiz laboratuvarında hamur numuneleri hazırlanarak Çizelge 3.2’de verilen cihazlardan faydalanılarak yapıldı.

**Çizelge 3.2** Lastik bant hamuru numunelerinin üretimleri ve analizleri için kullanılan cihazlar.

| <b>Cihaz Adı</b>                      | <b>Markası</b> |
|---------------------------------------|----------------|
| Hidrolik Pres                         | Vender Milano  |
| Reometre                              | Monsanto 100S  |
| Hamur Makinesi                        | TRX RML        |
| Kalender                              | TRX 2C         |
| Alev Alma Karakteristiğı Ölçüm Cihazı | MLT-HVF3       |

### 3.2 Kalsiyum ve Magnezyum Borat Sentezleri

Çeşitli yöntemlerle elde edilmiş pek çok magnezyum borat ve kalsiyum borat bileşikleri literatürde yer almaktadır. Bu çalışmalardan biri Metin Gürü ve arkadaşlarının yaptığı magnezyum hidroksit ile borik asitin sulu çözeltilerini kullanarak magnezyum borat

elde etmeleridir. Bu tez çalışmasında da Metin Gürü ve arkadaşlarının kullanmış oldukları yöntem modifiye edilmiştir (Gürü 2005).

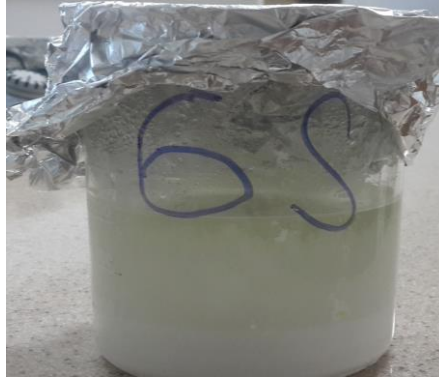
Magnezyum borat sentezleri, daha önce yapılmış olan (Yedier ve Engin 2019) magnezyum borat sentezlerinde kullanılan oranlardan faydalanılarak, kalsiyum borat sentezleri; daha önce gerçekleştirilmiş olan (Çayıroğlu ve İpek 2019) kalsiyum borat sentezlerinde kullanılan oranlardan faydalanılarak gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.1 Sıvı Faz Reaksiyonu ile Kalsiyum Borat Sentezleri**

Kalsiyum borat sentezi neticesinde XRD grafiklerinde görülecek kristal yapılarda istenilmeyen bir sonuç ortaya çıkma ihtimaline karşı 3 farklı kalsiyum kaynağı kullanılarak 3 farklı kaynaktan kalsiyum borat sentezi yapılmıştır. Kalsiyum hidroksit, kalsiyum sülfat ve kalsiyum klorür maddeleri için mol sayılarına göre gerekli olan miktarlar hesaplanmış ve sentezler gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2.1.1 Kalsiyum Hidroksitten Kalsiyum Borat Eldesi**

İlk yapılan kalsiyum borat sentezinde borik asit,  $\text{Ca(OH)}_2$  ve saf su kullanılmıştır. 14,8 gram  $\text{Ca(OH)}_2$  tartılarak 500 mL'lik beher içerisinde 50 mL saf su ile çözüldü. 74,4 gram  $\text{H}_3\text{BO}_3$  tartılarak 1000 mL'lik beher içerisinde 100 mL saf su ile çözüldükten sonra manyetik karıştırıcılı ısıtıcı üzerine yerleştirildi. 5 dk süre ile 500 rpm'de karıştırıldı ve yaklaşık olarak  $40^\circ\text{C}$ 'ye dek ısıtıldı. 5 dk sonunda sıcak karışımın üzerine önceden hazırlanan  $\text{Ca(OH)}_2$  çözeltisi eklendi. Isıtıcının ısı ayarı  $90^\circ\text{C}$  'ye getirilerek 1,5 saat süre ile ısıtıcı üzerinde 500 rpm'de karışması sağlandı. 1,5 saatin sonunda beher ısıtıcının üzerinden alınıp Resim 3.1'de görüldüğü gibi üzeri alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra Resim 3.2'de görüldüğü gibi 24 saat boyunca çökelme olması için soğumaya bırakıldı.

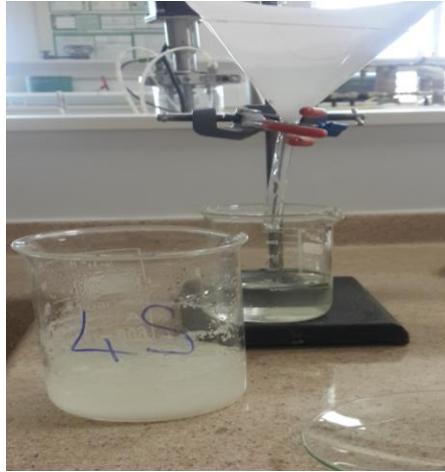


**Resim 3.1** Çökelmeye bırakılmadan önce çözelti.



**Resim 3.2** Çökelme için 24 saat bekletilen çözelti.

24 saatin sonunda Resim 3.3’de gösterildiği gibi süzgeç kağıdı vasıtasıyla süzme işlemi yapıldı.



**Resim 3.3** Süzme işlemi.

Süzme işleminin ardından süzgeç kağıdında kalan çökeleğin görüntüsü Resim 3.4’de verilmiştir.



**Resim 3.4** Süzme işlemi sonunda süzgeç kağıdında kalan ürünler.

Süzgeç kağıdında kalan çökelek Resim 3.5’de gösterildiği gibi cam petri kabı üzerine alındı.



**Resim 3.5** Petri kabına alınan ürünler.

Çökelek 105°C’ye ayarlanan etüvde 6 saat süre ile kurutulduktan sonra yine etüv içerisinde yavaş yavaş soğuması için 24 saat bırakıldı. Kurutma işleminden sonra petri kabındaki çökelek Resim 3.6’da görülmektedir.



**Resim 3.6** Etüvden alınan ürün.

24 saat sonunda numune etüvden alınıp porselen havan içerisinde Resim 3.7’de görüldüğü gibi öğütüldü. İnce toz haline getirilen numune cam kavanoz içerisine alınarak Resim 3.8’de görüldüğü gibi kapakları kapatıldıktan sonra karanlık ortamda saklandı. Farklı kalsiyum ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ve magnezyum ( $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgNO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) kaynakları kullanılarak üretilen numuneler ayrı ayrı kodlanarak saklandılar. Faz dönüşümlerini gözlemek amacıyla XRD analizi yapıldı.



**Resim 3.7** Öğütme işlemi.



**Resim 3.8** Testler öncesi ürünler.

### 3.2.1.2 Kalsiyum Sülfattan Kalsiyum Borat Eldesi

43,52 gram  $\text{CaSO}_4$  tartılarak 500 mL’lik beher içerisine alındıktan sonra üzerine 50 mL saf su ilave edilerek çözüldü. 49,6 gram  $\text{H}_3\text{BO}_3$  1000 mL’lik beher içerisine tartılarak 100 mL saf su ile çözüldükten sonra manyetik karıştırıcı ısıtıcı üzerine yerleştirildi. Karışım 5 dk süre ile 500 rpm’de karıştırılırken yaklaşık olarak  $40^\circ\text{C}$ ’ye ısıtıldı. Sıcak karışımın üzerine daha önce hazırlanan  $\text{CaSO}_4$  çözeltisi eklendi.  $90^\circ\text{C}$ ’de 1,5 saat süre ile ısıtıcı üzerinde 500 rpm’de karışması sağlandı. 1,5 saat sonunda beher alınıp üzeri alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra 24 saat boyunca çökeltme olması için soğumaya bırakıldı. 24 saat sonunda süzgeç kağıdı vasıtasıyla süzme işlemi yapıldı. Süzgeç kağıdı

üzerinde kalan çökelek kısmı cam petri kabı üzerine alınarak 105°C'ye ayarlanan etüvde 6 saat süre ile kurutulduktan sonra yine etüvde yavaş yavaş soğuması için 24 saat bırakıldı. 24 saat sonunda numune etüvden alınıp porselen havanda öğütüldü. İnce toz haline getirilen numune cam kavanoz içerisinde kapakları kapatılarak karanlık ortamda saklandı. Faz dönüşümlerini gözlemlemek amacıyla XRD analizi yapıldı.

### **3.2.1.3 Kalsiyum Klorürden Kalsiyum Borat Eldesi**

35,51 gram kalsiyum klorür tartılarak 500 mL'lik beher içerisinde 50 mL saf su ilave edilerek çözüldü. 49,6 gram borik asit 1000 mL'lik bir beher içerisinde tartılarak 100 mL saf su ile çözüldükten sonra manyetik karıştırıcı ısıtıcı üzerine yerleştirildi. Karışım 500 rpm'de 5 dk süre ile 40°C'ye dek ısıtıldı. Sıcak karışımın üzerine önceden hazırlanan  $\text{CaCl}_2$  çözeltisi eklendi. 90°C 'de 1,5 saat süre ile ısıtıcı üzerinde 500 rpm'de karışması sağlandı. 1,5 saat sonunda beher alınıp üzeri alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra 24 saat boyunca çökeltme olması için soğumaya bırakıldı. 24 saat sonunda süzgeç kağıdı vasıtasıyla süzme işlemi yapıldı. Süzgeç kağıdında kalan çökelek kısmı cam petri kabı üzerine alınarak 105°C'ye ayarlanan etüvde 6 saat süre ile kurutulduktan sonra yine etüvde yavaş yavaş soğuması için 24 saat bırakıldı. 24 saat sonunda numune etüvden alınıp porselen havanda öğütüldü. İnce toz haline getirilen numune cam kavanoz içersinde kapakları kapatılarak karanlık ortamda saklandı. Faz dönüşümlerini gözlemlemek amacıyla XRD analizi yapıldı.

### **3.2.2 Sıvı Faz Reaksiyonu ile Magnezyum Borat Sentezleri**

Magnezyum borat sentezi neticesinde XRD grafiklerinde görülecek olan kristal yapılarda istenilmeyen bir sonuç ortaya çıkma ihtimaline karşı 3 farklı magnezyum kaynağı kullanılarak magnezyum borat sentezleri yapılmıştır. Magnezyum sülfat, magnezyum nitrat, magnezyum klorür maddeleri için mol sayılarına göre gerekli olan miktarlar hesaplanmış ve sentezler gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2.1 Magnezyum Sülfattan Magnezyum Borat Eldesi

Farklı magnezyum kaynaklarından üretilen ilk magnezyum borat numunesi için 24,65 gram  $\text{MgSO}_4$  tartılarak 500 mL'lik beher içerisinde 50 mL saf su ilave edilerek çözüldü. 37,2 gram  $\text{H}_3\text{BO}_3$  başka 1000 mL'lik bir beher içerisinde tartılarak 100 mL saf su ile çözüldükten sonra manyetik karıştırıcılı ısıtıcı üzerine yerleştirildi. Karışım 500 rpm'de 5 dk süre ile 40°C'ye dek ısıtıldı. Sıcak karışımın üzerine önceden hazırlanan  $\text{MgSO}_4$  çözeltisi eklendi. Isıtıcının ısı ayarı 90°C 'ye getirilerek 1,5 saat süre ile ısıtıcı üzerinde 500 rpm'de karışması sağlandı. 1,5 saat sonunda beher alınıp üzeri alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra 24 saat boyunca çökeltme olması için soğumaya bırakıldı. 24 saat sonunda süzgeç kağıdı vasıtasıyla süzme işlemi yapıldı. Süzgeç kağıdında kalan çökelek kısmı cam petri kabı üzerine alınarak 105°C'ye ayarlanan etüvde 6 saat süre ile kurutulduktan sonra yine etüv içerisinde yavaş yavaş soğuması için 24 saat bırakıldı. 24 saat sonunda numune etüvden alınıp porselen havan içerisinde öğütüldü. İnce toz haline getirilen numune cam kavanoz içerisinde kapakları kapatılarak karanlık ortamda saklandı. Faz dönüşümlerini gözlemlemek amacıyla XRD analizi yapıldı.

### 3.2.2.2 Magnezyum Nitrattan Magnezyum Borat Eldesi

38,93 g  $\text{MgNO}_3$  tartılarak 500 mL'lik beher içerisinde 50 mL saf su ilavesi yapılarak çözüldü. 74,39 g  $\text{H}_3\text{BO}_3$  1000 mL'lik bir beher içerisinde tartılarak 100 mL saf su ilavesiyle çözüldükten sonra manyetik karıştırıcılı ısıtıcı üzerine yerleştirildi. Karışım 500 rpm'de 5 dk süre ile 40°C'ye dek ısıtıldı. Sıcak karışımın üzerine önceden hazırlanan  $\text{MgNO}_3$  çözeltisi eklendi. Isıtıcının ısı ayarı 90°C 'ye getirilerek 1,5 saat süre ile ısıtıcı üzerinde 500 rpm'de karışması sağlandı. 1,5 saat sonunda beher alınıp üzeri alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra 24 saat boyunca çökeltme olması için soğumaya bırakıldı. 24 saat sonunda süzgeç kağıdı vasıtasıyla süzme işlemi yapıldı. Süzgeç kağıdında kalan çökelek kısmı cam petri kabı üzerine alınarak 105°C'ye ayarlanan etüvde 6 saat süre ile kurutulduktan sonra yine etüv içerisinde yavaş yavaş soğuması için 24 saat bırakıldı. 24 saat sonunda numune etüvden alınıp porselen havan içerisinde öğütüldü. İnce toz haline getirilen numune cam kavanoz içerisinde kapakları kapatılarak karanlık ortamda saklandı. Faz dönüşümlerini gözlemlemek amacıyla XRD analizi yapıldı.

### 3.2.2.3 Magnezyum Klorürden Magnezyum Borat Eldesi

40,6 g  $MgCl_4$  tartılarak 500 mL'lik beher içerisinde 50 ml saf su ilave edilerek çözüldü. 74,4 g  $H_3BO_3$  1000 mL'lik bir beher içerisinde tartılarak 100 ml saf su ilavesiyle çözüldükten sonra manyetik karıştırıcılı ısıtıcı üzerine yerleştirildi. Karışım 500 rpm'de 5 dk süre ile  $40^{\circ}C$ 'ye dek ısıtıldı. Sıcak karışımın üzerine önceden hazırlanan  $MgCl_2$  çözeltisi eklendi. Isıtıcının ısı ayarı  $90^{\circ}C$  'ye getirilerek 1,5 saat süre ile ısıtıcı üzerinde 500 rpm'de karışması sağlandı. 1,5 saat sonunda beher alınıp üzeri alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra 24 saat boyunca çökeltme olması için soğumaya bırakıldı. 24 saat sonunda süzgeç kağıdı vasıtasıyla süzme işlemi yapıldı. Süzgeç kağıdında kalan çökelek kısmı cam petri kabı üzerine alınarak  $105^{\circ}C$ 'ye ayarlanan etüvde 6 saat süre ile kurutulduktan sonra yine etüv içerisinde yavaş yavaş soğuması için 24 saat bırakıldı. 24 saat sonunda numune etüvden alınıp porselen havan içerisinde öğütüldü. İnce toz haline getirilen numune cam kavanoz içerisinde kapakları kapatılarak karanlık ortamda saklandı. Faz dönüşümlerini gözlemlemek amacıyla XRD analizi yapıldı.

### 3.3 Lastik Bant Hamurlarının Hazırlanması ve Pişirme İşlemi

Özerband Band A.Ş. firmasına ait olan Tip F isimli alev yürütmez konveyör bant reçetesi baz alınarak sentezlenen magnezyum borat ve kalsiyum borat ürünlerinin ekleneceği bir hamur reçetesi oluşturuldu. Alev geciktirici olarak kullanılan magnezyum reçeteden kaldırıldı. Aynı şekilde alev geciktirici olarak kullanılan diğer bir ham madde olan antimon miktarı 1/3 oranında azaltıldı. Reçete düzenleme programı üzerinden miktarı azaltılan ham maddelerin yerine eklenecek borat ham maddelerinin miktarları için gerekli hesaplamalar yapıldı.

#### 3.3.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamurunda Pişirme İşlemi

Alev geciktirici katkıların eklenmediği katkısız lastik bant hamurunun üretimi için Çizelge 3.3'de belirtilen miktarlar kullanılarak hamur numunesi üretildi.

**Çizelge 3.3** Aleve dayanıklı hamur karışımı reçetesi.

| <b>Hammadde Adı</b>  | <b>Orijinal Reçeteye Göre Test Miktarı</b> | <b>Revize Edilen Reçeteye Göre Test Miktarı</b> |
|----------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Tabii kauçuk         | 40,000 kg                                  | 300 g                                           |
| Sentetik kauçuk 1203 | 20,000 kg                                  | 150 g                                           |
| Sentetik kauçuk 1502 | 40,000 kg                                  | 300 g                                           |
| Karbon siyahı (HAF)  | 42,000 kg                                  | 315 g                                           |
| Çinko oksit          | 3 kg                                       | 22,50 g                                         |
| Stearin              | 2 kg                                       | 15 g                                            |
| Antimon              | 9 kg                                       | 30 g                                            |
| Magnezyum            | 4 kg                                       | 0 g                                             |
| Antioksidan 4010     | 3 kg                                       | 22,50 g                                         |
| Klor parafin         | 13 kg                                      | 97,50 g                                         |
| Silika               | 20 kg                                      | 150 g                                           |
| CZ                   | 1 500 kg                                   | 11,25 g                                         |
| Kükürt               | 2 kg                                       | 15 g                                            |
| Stearin              | 1 kg                                       | 7,50 g                                          |
| Çinko oksit          | 1 kg                                       | 7,50 g                                          |

Piştirici hammaddeler haricindeki bütün ham maddeler karıştırılarak hamur yapma makinesi içerisindeki hazneye verildi ve makine çalıştırıldı.



**Resim 3.9** Hamur yapma makinesi.

Resim 3.9’da verilen hamur yapma makinesi içerisinde yaklaşık 30 dk içerisinde tam karışım sağlandı ve makine çıkışındaki kapaktan hamur alındı. Resim 3.10’da görülen hamur üzerinde kauçuk kalender makinesi vasıtasıyla inceltme ve hava boşluklarını giderme işlemleri yapıldı. İnceltme sonrasında elde edilen hamur Resim 3.11’de verilmiştir.



**Resim 3.10** İlk elde edilen hamur.



**Resim 3.11** Hamurun makineden alınan ilk hali ve inceltme işlemi sonrasındaki hali.

Hamur içerisine kalender üzerinde spatül yardımıyla dolgu maddeleri ve ilave katkıları azar azar eklendi. Pişirici hammaddeler olarak bilinen bu ham maddeleri; kükürt, CZ, stearin, ve çinko oksittir. Tekrar karışım sağlanması ve hava boşluklarının tamamen giderilmesi amacıyla elde edilen hamur, kauçuk kalenderinden bir süre daha geçirildi. Resim 3.12’de inceltme işlemi bittikten sonra hamur numunesi verilmiştir.



**Resim 3.12** İnceltme işlemi sonunda hamur.

Kauçuk kalenderi üzerinde inceltme ve hava boşluklarını giderme işleminden sonra elde edilen hamurun görüntüsü Resim 3.12’de verilmiştir.

Sonraki aşamada reçete baz alınarak eklenmesi istenilen alev geciktirici katkı maddelerinin miktarları hesaplandı.

Toplam hamur miktarı; 984 g

Her farklı analiz için 3’e ayrılan hamurların ağırlığı; 328 g

328 gram olan her bir hamur içerisine eklenmesi gereken katkı miktarı; 7,60 g

Her bir kalsiyum borat ve magnezyum borat numunesinden alınması gereken miktar; 2,53 g olarak belirlendi.

3. parça numunede hem kalsiyum boratın hem de magnezyum boratın karıştırılarak eklenmesi için her bir katkı maddesi başına ihtiyaç duyulan miktar; 1,26 gram olarak bulundu.

### **3.3.2 Kalsiyum Borat, Magnezyum Borat, Kalsiyum Borat ve Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurlarında Pişirme İşlemi**

328 gram kesilen ilk hamur numunesine, 3 farklı kalsiyum kaynağından üretilen her bir kalsiyum borat numunesinden 2,53 gram alınarak toplamda 7,60 gram kalsiyum borat, kauçuk kalenderinden geçirilirken spatül yardımıyla ilave edildi. Kauçuk kalenderinden geçirilen hamur üzerine kalsiyum borat katkılarının eklenme süreci Resim 3.13’de verilmiştir.



**Resim 3.13** Kalender üzerinde katkı maddelerinin eklenme süreci.

328 gram kesilen ikinci parça hamur numunesine, 3 farklı magnezyum kaynağından üretilen her bir magnezyum borat numunesinden 2,53'er gram alınarak toplamda 7,60 gram magnezyum borat ilavesi yapıldı. Hamur kauçuk kalenderi üzerinden geçirilirken katkıların ilavesi sağlandı.

328 gram kesilen üçüncü parça hamur numunesine, 3 farklı kalsiyum kaynağından üretilen her bir kalsiyum borat numunesinden ve 3 farklı magnezyum kaynağından üretilen her bir magnezyum borat numunesinden 1,26 gram alınarak toplamda 7,60 gram kalsiyum ve magnezyum borat ilavesi yapıldı. Katkılar önce kendi aralarında harmanlanarak karıştırıldı. Karıştırılan katkıları, hamur kauçuk kalenderi üzerinden geçirilirken hamur içerisine ilave edildi.

### **3.4 Reolojik Testler**

Bütün hamur numunelerinde Monsanto 100S marka reometre test cihazı kullanılarak reolojik kontroller yapılmıştır.

Reometre cihazına yerleştirilen parçaya pozitif yönlü bir basınç sürekli olarak sıcaklıkla doğru orantılı olarak çift yönlü bir disk içerisinde uygulanmaktadır. Bu disklerin arasına test numunesi yerleştirildikten sonra boşluklar tamamen kapanmakta ve disk ( $1,7 \pm 0,1$  Hz) salınım yapmaya başlamaktadır. Kauçuğun katılığına bağlı olarak salınım için gerek duyulan güç değişmektedir. Uygulanan güç, Tork birimi ile zamanın bir

fonksiyonu olarak cihaz tarafından kaydedilmekte ve kayıt altına alınan Tork değeri bir dengeye ulaştığında grafikte oluşan eğri tamamlanmaktadır. Vulkanizasyon eğrisi olarak tanımlanan bu eğrinin oluşması için gerek duyulan test sıcaklığı ve test süresi kauçuk özelliklerini vermekte, pişme süresinin tespit edilmesini sağlamaktadır (İnt.Kyn.15).

Katkı ilave edilmeyen bant hamuru ve katkı ilave edilen bant hamurları için inceltme işleminden sonra ISO 6502 ve ASTM D 5289 standartlarına uygun olarak reolojik kontroller yapılmıştır.

#### **3.4.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamuru Üzerinde Reolojik Test**

Reometre analizi için 7 - 8 mm kalınlığa kadar inceltilmiş olan hamurdan en az 5 cm en ve 5 cm boy olacak şekilde numune parçası kesildi. Kalıp yüksekliği bant kalınlığından 1 mm daha düşük olacak şekilde ayarlandı ve kesilen numune kalıpların arasına yerleştirildi. Test cihazın bağlı olduğu kontrol paneli vasıtasıyla başlatıldı. Cihaz kalıplarını sıkıştırarak sıcaklık 70 – 80 °C aralığına ulaşana dek basınç uygulamadan bekledi. Uygun sıcaklık aralığına ulaşıldığında basınç uygulanmaya başlandı. Sıcaklık ile doğru orantılı olarak numuneye uygulanan basınç da arttırılarak 145 °C'ye dek analiz devam etti. Yaklaşık olarak 1,5 saat süren testin sonucunda reometre cihazının yazıcısından pişme süresini de gösteren vulkanizasyon eğrisi grafiği alındı.

20 mm kalınlığa kadar kalınlığa sahip olan numunelerde grafikten bulunan pişme süresi +10 dk, 20 mm'den daha kalın olan numunelerde ise pişme süresi +20 dk olarak tayin edilmektedir (İnt.Kyn.15).

20 mm'den daha az kalınlıkta olan 7 - 8 mm kalınlığındaki numuneler için, standartta da belirtildiği üzere elde edilen pişirme süresi üzerine 10 dk kalıp ısınma süresi eklenerek Resim 3.14'de verilen hidrolik pres içerisinde hamur pişirildi. Hidrolik pres makinası 100 bar basınçta çalışmaktadır. 150 °C ısı ile her 1 mm kalıp kalınlığı için +1 dk olan kalıp ısınma süresi, test sonucunda bulunan pişirme süresine eklenerek elde edilen süre

boyunca pişirme işlemi yapıldı. Kalıp kalınlığı 10 mm olduğu için pişme süresi üzerine 10 dakika ilave edildi. 22 dakika 56 saniye süresi boyunca katkısız hamur numunesi pişirildi.



**Resim 3.14** Hidrolik pres makinesi.



**Resim 3.15** Presten çıkan kalıp.



**Resim 3.16** Kalıptan ayrılan pişmiş hamur.

Resim 3.15’de görülen kalıp pişme sonunda çıkartıldı. Resim 3.16’da görüldüğü gibi kalıptan çıkartılan katkısız hamur yaklaşık olarak 1,5 saat boyunca oda koşullarında soğumaya bırakıldı.

### **3.4.2 Kalsiyum Borat, Magnezyum Borat, Kalsiyum ve Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurları Üzerinde Reolojik Testler**

Reometre testi için katkı ilave edilmeyen numuneye uygulanan işlemler aynı şekilde kalsiyum borat ilaveli hamur, magnezyum borat ilaveli hamur ve hem kalsiyum borat hem de magnezyum borat ilaveli hamur numuneleri üzerinde yapıldı.

Kalsiyum borat ilaveli hamur numunesi hidrolik pres içerisindeki kalıba yerleştirilerek 100 bar basınçta, 150°C ısı ile 24 dakika 48 saniyede pişirildi.

Magnezyum borat ilaveli hamur numunesi hidrolik pres içerisindeki kalıba yerleştirildi ve 100 bar basınçta 150 °C ısı ile 25 dakika 08 saniyede pişirildi.

Kalsiyum borat ve magnezyum borat ilaveli hamur numunesi hidrolik pres içerisindeki kalıba yerleştirilerek 100 bar basınçta 150°C ısı ile 25 dakika 14 saniyede pişirildi.

### **3.5 Alev Alma Karakteristiği Testleri**

Pişirme işleminin ardından yaklaşık 1,5 saat soğumaya bırakılan hamur numuneleri üzerinde, TS 4464 ve DIN 22103 standartlarına göre alev yürütmez bant üretimi yapan Özerband A.Ş. firmasında, bu standartlar dahilinde alev alma karakteristiği testleri gerçekleştirildi.

Standartlara göre yapılan alev alma karakteristiği testinde malzemeden eni 2,5 cm, boyu 20 cm olacak şekilde standarda uygun şekilde kesilen numune, mengenelerin arasına yerleştirilmesinin ardından yaklaşık 90 derecelik bir açı ile tutulan alev kaynağına 10 saniye boyunca maruz bırakıldı. Alev kesildikten hemen sonra alevlenmenin kaç saniyede sona erdiği kronometre yardımıyla ölçüldü. Bu süre t1 olarak kaydedildi. Bu

test her numune için 3 defa tekrarlandı.

Alev kaynağı kesildikten sonra numune 1,5 m/s hava akımı hızı ile havaya maruz bırakıldığında akkorlaşmanın meydana geldikten sonra hızlıca kaybolduğu gözlemlendi. Yeniden alevlenmeye elverişli olmadığı çıkarımı yapıldı.

Test numuneleri Resim 3.17’de görülmektedir. Alev alma karakteristiği test sürecinde; Resim 3.18’de alev kaynağının lastik bant numunesi üzerine tabi tutulması, Resim 3.19’da numunenin alev almaya başladığı an görülmektedir.



**Resim 3.17** Alev alma karakteristiği testi için hazırlanan numuneler.



**Resim 3.18** Alev alma karakteristiği testi 1.



**Resim 3.19** Alev alma karakteristiği testi 2.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Kalsiyum Borat ve Magnezyum Borat Ürünlerinin Karakterizasyon Testi Sonuçları

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her kristal fazın kendisine has olan atomik dizilimine bağlı şekilde, X-ışınlarını karakteristik bir düzende kırmasına dayanmaktadır. X-Işını Kırınım analiziyle analiz esnasında numune tahrip olmaz ve oldukça az miktardaki numuneler bile test edilebilir.

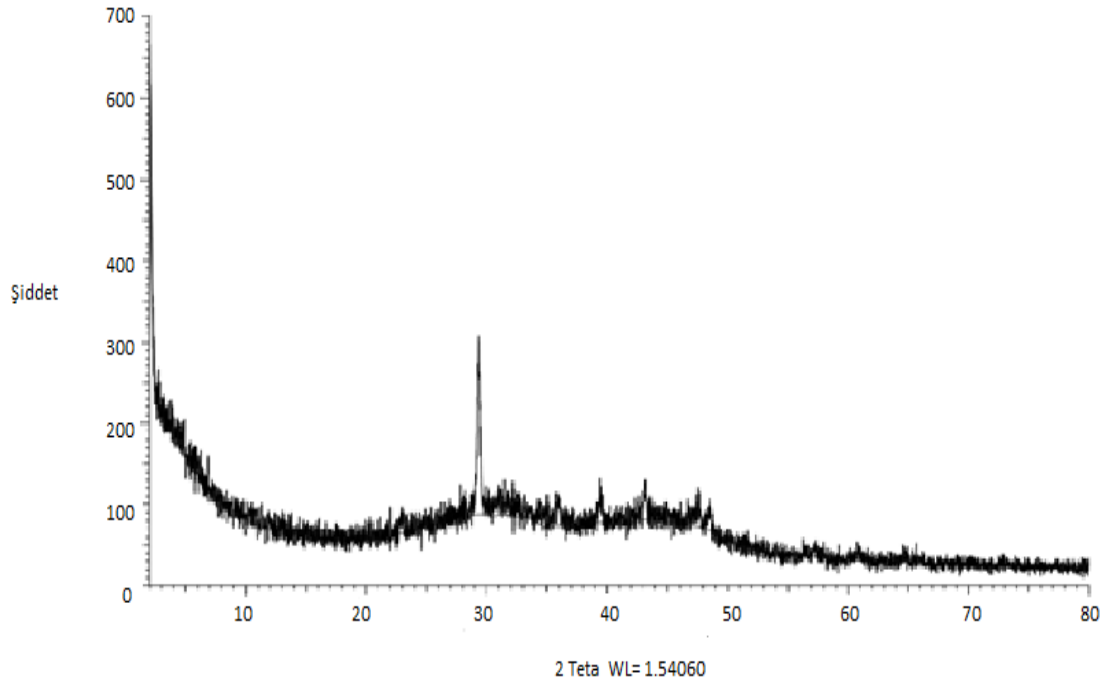
Numune üzerine düşürülen X ışınları demetinin bir kırınım deseni oluşturmasıyla bu desenler baz alınarak numune hakkında atomik düzeyde bilgi edinilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem, katı ve toz haldeki numunelerde nicel analiz, yapı çözümlenmesi, içerdiği faz miktarları, kristallerin boyutu, atomların pozisyonlarının gözlenmesi, atomlar arası mesafe, kristal yönelmesi ve ince film halindeki malzemelerde faz analizleri tespitine imkan vermektedir. Numune üzerine gönderilen ışının dalga boyu, numunedeki kristal yapıların örgü sabitine eşit veya daha küçük olması durumunda ışın kırınımına uğramaktadır. Bu yöntem, örneğe zarar vermeksizin yapısının aydınlatılmasını sağlamaktadır (Cullity ve Stock 2001).

Bu çalışmada,  $\text{CuK}\alpha$  radyasyonu ile çalışan X-Işını Difraktometresi kullanılmıştır. 293 K sıcaklığındaki analiz sonuçları; Şekil 4.1’de kalsiyum sülfat ve borik asitten elde edilmiş kalsiyum borat XRD grafiği Şekil 4.2’de kalsiyum klorür ve borik asitten elde edilmiş kalsiyum borat XRD grafiği ve Şekil 4.3’de kalsiyum hidroksit ve borik asitten elde edilmiş kalsiyum borat XRD grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.4’de magnezyum sülfat ve borik asitten elde edilmiş magnezyum borat XRD grafiği Şekil 4.5’de magnezyum nitrat ve borik asitten elde edilmiş magnezyum borat XRD grafiği ve Şekil 4.6’da magnezyum klorür ve borik asitten elde edilmiş magnezyum borat XRD grafiği gösterilmiştir.

Daha önceden yapılmış olan araştırmalarda sentezlenen magnezyum borat (Ağaoğulları vd. 2012) ve kalsiyum borat (Çıtak vd. 2020) ürünlerinden elde edilen XRD grafikleri incelendiğinde 2 Teta’da elde edilen paternlerin boratların varlığını gösterdiği

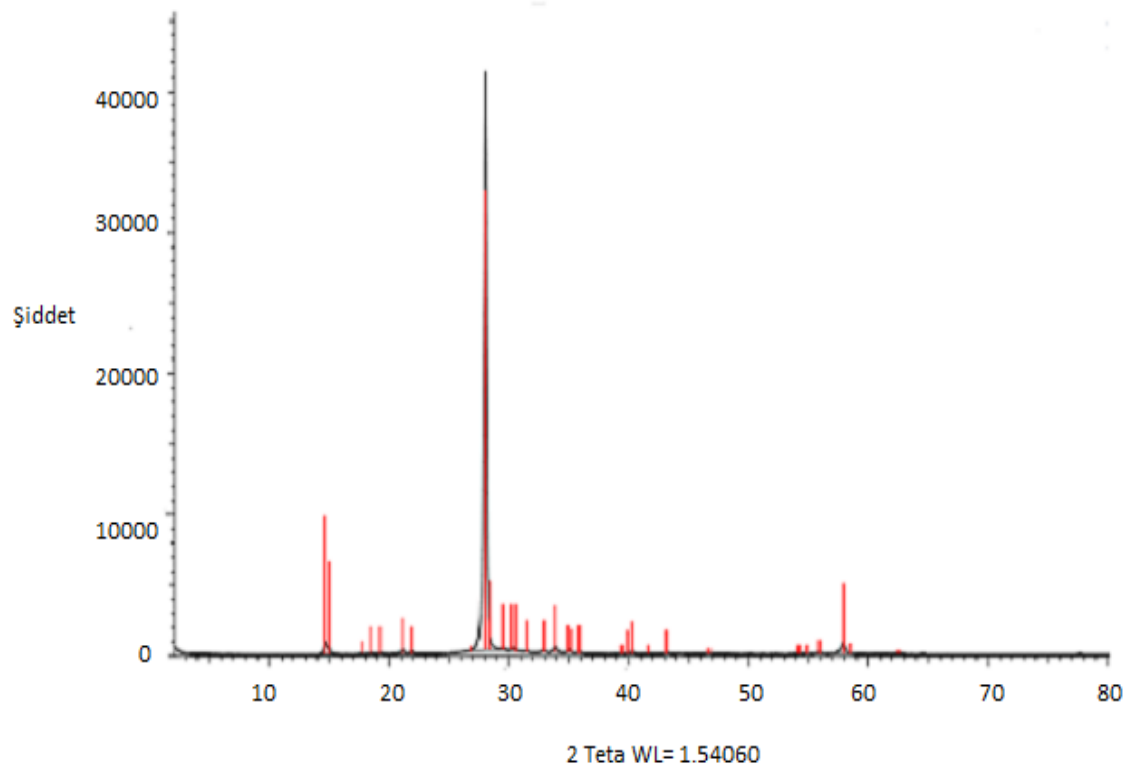
doğrulanmıştır.

Yapılan analizlerde numunelerin XRD grafiğinde oluşan piklerde hidrojen borat ve sassolit (katı borik asit) varlığı görülmektedir. Ancak üretimi hedeflenen magnezyum borat ve kalsiyum borat ürünleri, grafikte en yüksek pik noktasına ulaşarak üretimlerinin başarıyla gerçekleştiğini kanıtlamaktadır. Hidrojen borat  $H_3B_3O_6$ , sassolit  $B(OH)_3$  şeklindedir.



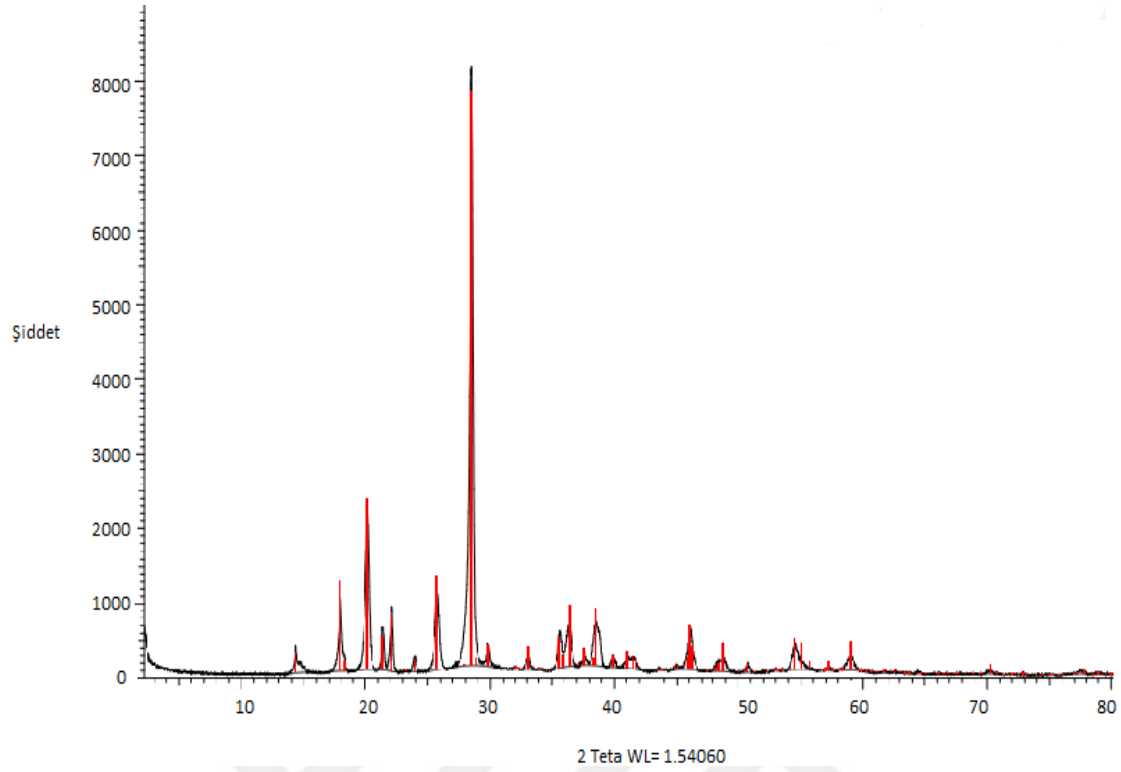
**Şekil 4.1** Kalsiyum sülfat ve borik asitten elde edilen kalsiyum boratın XRD grafiği.

Şekil 4.1’de verildiği üzere 30° üzerinde kalsiyum borat varlığı tespit edilmiştir. Daha küçük boyutlu diğer piklerin katı borik asit ve hidrojen borat ürünlerine ait olduğu bilinmektedir.



**Şekil 4.2** Kalsiyum klorür ve borik asitten elde edilen kalsiyum boratın XRD grafiği.

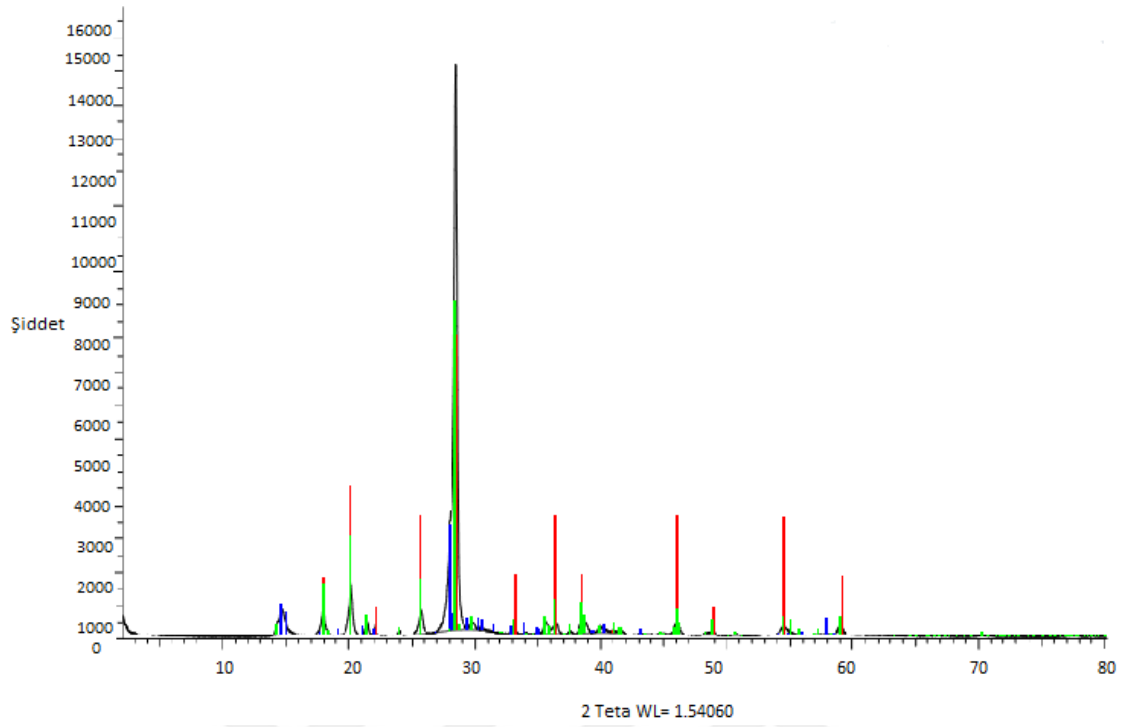
Şekil 4.2’de verildiği üzere 28° ve 29° üzerinde en yüksek pik ile kalsiyum borat varlığı tespit edilmiştir. Katı borik asit ve hidrojen borat ürünlerine yine rastlanmıştır.



**Şekil 4.3** Kalsiyum hidroksit ve borik asitten elde edilen kalsiyum boratın XRD grafiği.

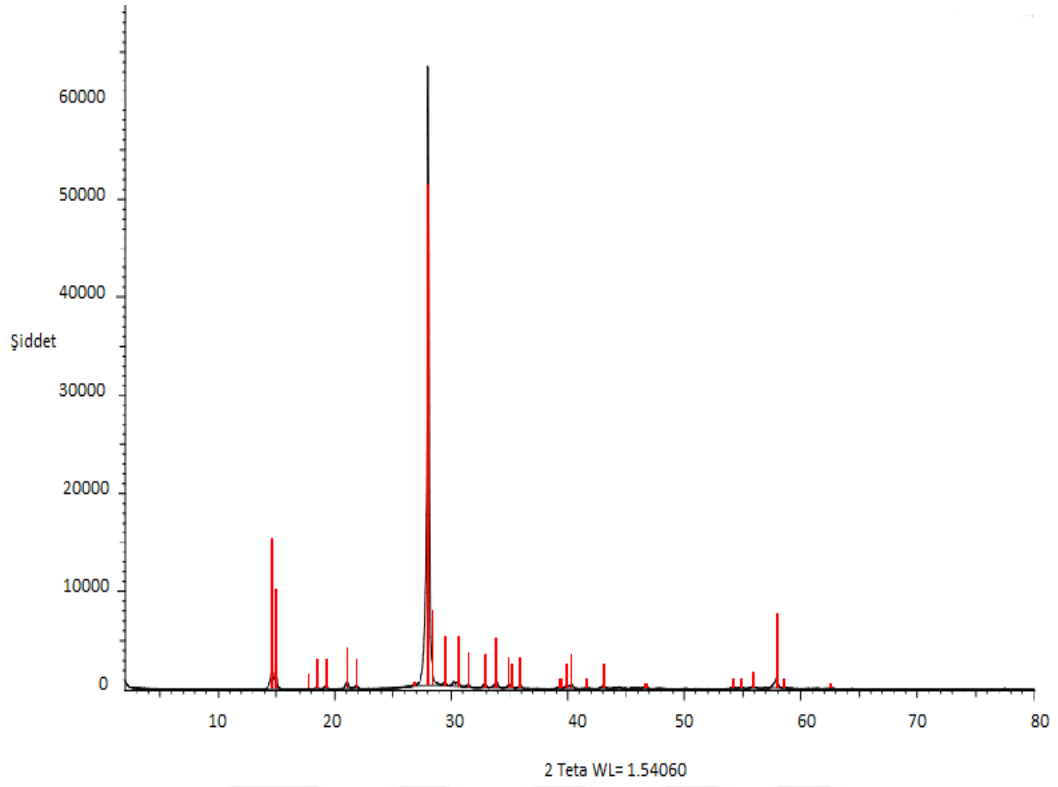
Şekil 4.3’de verildiği üzere  $28^{\circ} - 29^{\circ}$  üzerinde en yüksek pik ile beraber kalsiyum borat varlığı tespit edilmiştir.

Kalsiyum borat numunelerinin analizleri sonucunda XRD grafiği üzerinde sassolit ve hidrojen borat varlığının küçük boyuttaki piklerle gözlenmesinin yanı sıra, elde edilmesi istenilen kalsiyum borat ürününe ait olduğu bilinen piklerin en yüksek boyutta oluştuklarının tespiti sonucunda istenilen reaksiyonların doğru şekilde ilerlediği tespit edilmiştir. Kalsiyum borat eldesi sağlanmıştır.



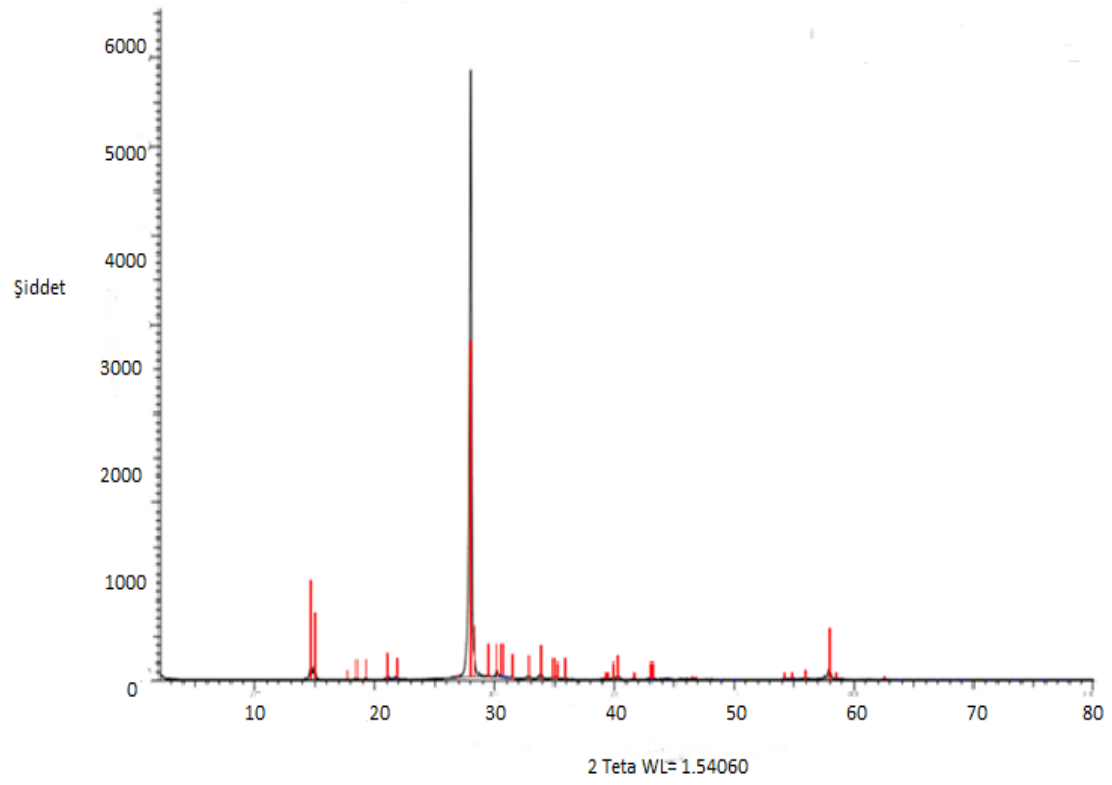
**Şekil 4.4** Magnezyum sülfat ve borik asitten elde edilen magnezyum boratın XRD grafiği.

Şekil 4.4’de verildiği üzere XRD grafiği üzerinde  $27^\circ$  üzerinde en yüksek pik gözlenmiştir. Magnezyum borat varlığını ispatladığı bilinen bu pik ile magnezyum borat eldesinin gerçekleştiği görülmektedir.



**Şekil 4.5** Magnezyum nitrat ve borik asitten elde edilen magnezyum boratın XRD grafiği.

Şekil 4.5’de verildiği üzere 27° ve 28° üzerinde en yüksek pik eşliğinde magnezyum borat ürününün varlığı tespit edilmiştir.



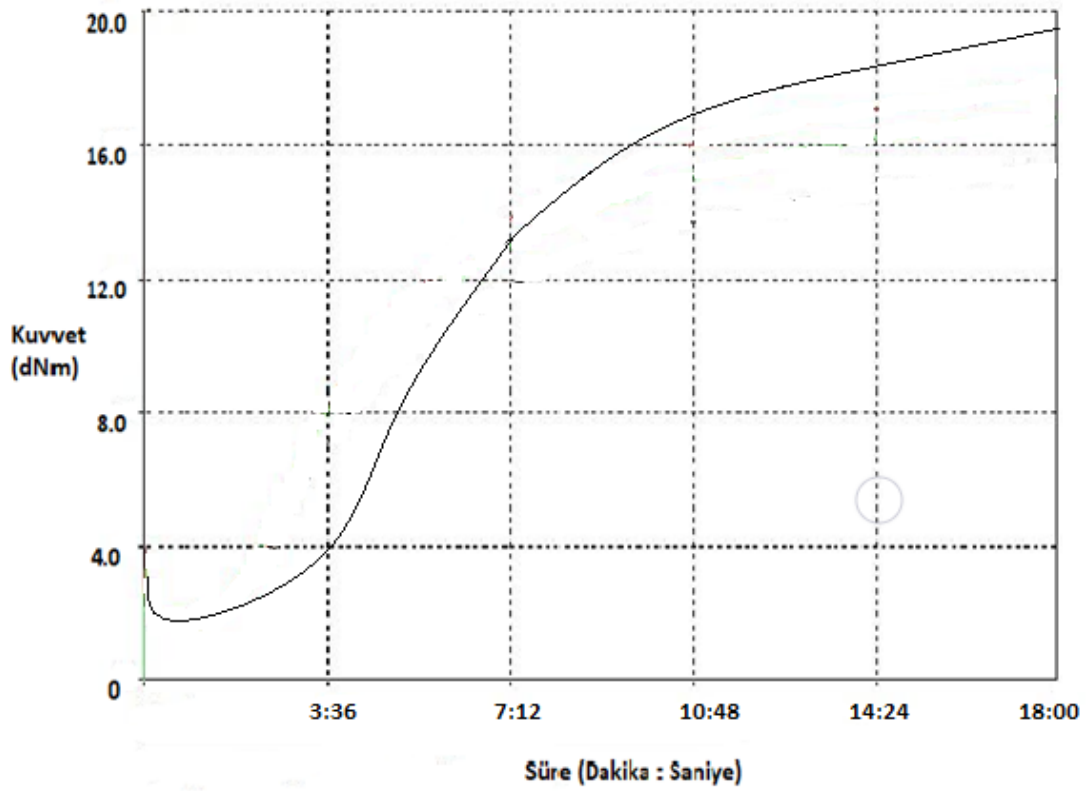
**Şekil 4.6** Magnezyum klorür ve borik asitten elde edilen magnezyum boratın XRD grafiği.

Şekil 4.6’da verildiği üzere  $28^\circ$  üzerinde en yüksek pik oluşumu eşliğinde magnezyum borat ürününün varlığı tespit edilmiştir.

## 4.2 Hamur Karışımlarının Reolojik Test Sonuçları

### 4.2.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamurunun Reolojik Test Sonuçları

Katkısız hamur numunesi üzerinde reometre ile 145°C’de yapılan reolojik teste ait vulkanizasyon grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 Katkısız hamurun vulkanizasyon grafiği.

Çizelge 4.1 Katkısız bant hamurunun reolojik test sonuçları.

| Numune   | S'min | S'max | Scorch Time | TC 50 | TC 90 |
|----------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Katkısız | 2,40  | 19,83 | 3,48        | 6,08  | 12,56 |

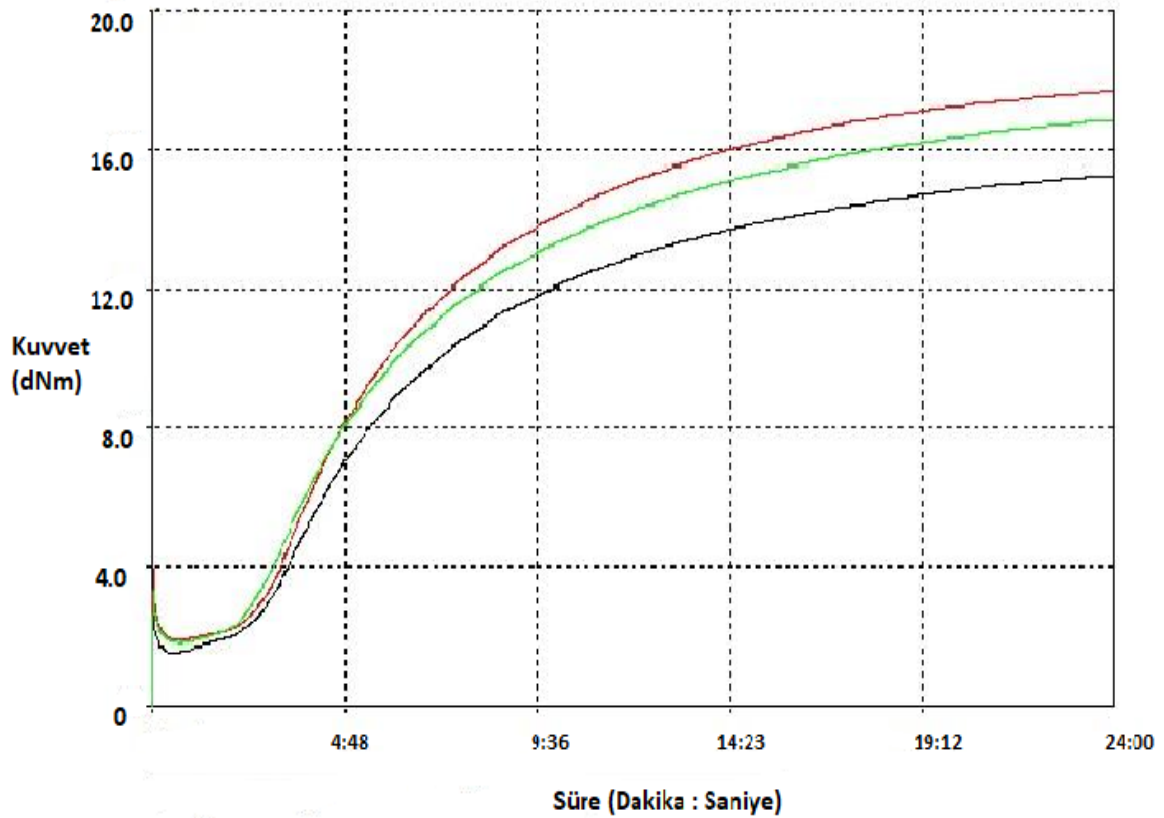
Katkısız hamur numunesinin pişme süresi Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi 12 dakika 56 saniye olarak bulundu (TC 90).

10 mm olan pres makinesinin kalıp kalınlığı için 10 dakika üzerine eklenerek bulunan

22 dakika 56 saniyelik süre hamur pişirme süresi olarak belirlendi.

#### 4.2.2 Kalsiyum Borat, Magnezyum Borat ve Hem Kalsiyum Borat Hem Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun Reolojik Test Sonuçları

3 ayrı hamur numunesi üzerine sırasıyla ayrı ayrı kalsiyum borat, magnezyum borat ve hem kalsiyum borat hem de magnezyum borat ürünü eklendi. Katkıların eklenmesinden sonra yapılan reometre analizi sonucunda elde edilen reolometre test grafiği Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8 Kalsiyum borat katkılı, magnezyum borat katkılı, kalsiyum ve magnezyum borat katkılı hamurların vulkanizasyon grafiği.

Çizelge 4.2’de bütün hamur numunelerine ait reolojik test sonuçları görülmektedir.

**Çizelge 4.2** Bütün bant hamuru numunelerine ait reolojik test sonuçları.

| <b>Numune</b>                             | <b>S'min</b> | <b>S'max</b> | <b>Scorch Time</b> | <b>TC 50</b> | <b>TC 90</b> |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|
| Katkısız hamur                            | 2,40         | 19,83        | 3,48               | 6,08         | 12,56        |
| Magnezyum borat katkılı                   | 1,50         | 15,24        | 3,07               | 5,40         | 15,08        |
| Kalsiyum borat katkılı                    | 1,86         | 17,68        | 3,06               | 5,41         | 14,48        |
| Kalsiyum borat ve magnezyum borat katkılı | 1,77         | 16,82        | 2,53               | 5,34         | 15,14        |

Reometre cihazında yapılan testlerin sonucunda kalsiyum borat ilaveli bant hamuru için pişme süresi Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi 14 dakika 48 saniye olarak bulundu. Katkısız bant hamuru 12 dakika 56 saniyede pişerken kalsiyum borat ilaveli bant hamurunun 14 dakika 48 saniyede pişiyor olmasının tespit edilmesiyle kalsiyum borat ilaveli hamurun katkısız hamura göre ısıya karşı daha fazla dirençli olduğu tespit edildi. 10 mm olan pres makinesinin kalıp kalınlığı için 10 dakika üzerine eklenerek bulunan 24 dakika 48 saniye hamurun pişme süresi olarak belirlendi.

Magnezyum borat ilaveli bant hamurunun pişme süresi Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi 15 dakika 08 saniye olarak bulundu. Pişme süresinin katkısız hamurun pişme süresine göre daha fazla olması ve buna bağlı olarak içeriğindeki ilavelerin pişmeyi geciktirdiği ve ısıdan kolayca etkilenmediği tespit edilmiş oldu. 10 mm olan pres makinesinin kalıp kalınlığı için 10 dakika üzerine eklenerek bulunan 25 dakika 8 saniye hamurun pişme süresi olarak belirlendi.

Hem magnezyum borat hem kalsiyum borat ilave edilerek hazırlanan bant hamurunun pişme süresi Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi 15 dakika 14 saniye olarak bulundu. 10 mm olan pres makinesinin kalıp kalınlığı için 10 dakika üzerine eklenerek bulunan 25 dakika 14 saniye hamurun pişme süresi olarak belirlendi.

### 4.3 Hamur Karışımlarının Alev Alma Karakteristiğı Test Sonuçları

#### 4.3.1 Alev Geciktirici Katkı İlave Edilmeyen Lastik Bant Hamurunun Alev Alma Karakteristiğı Test Sonuçları

Herhangi bir alev geciktirici katkı kullanılmayan hamur numunesinde alev kaynağı uzaklaştırıldıktan sonra alevin sönmesi için geçen süre 3 numune parçası için sırayla:

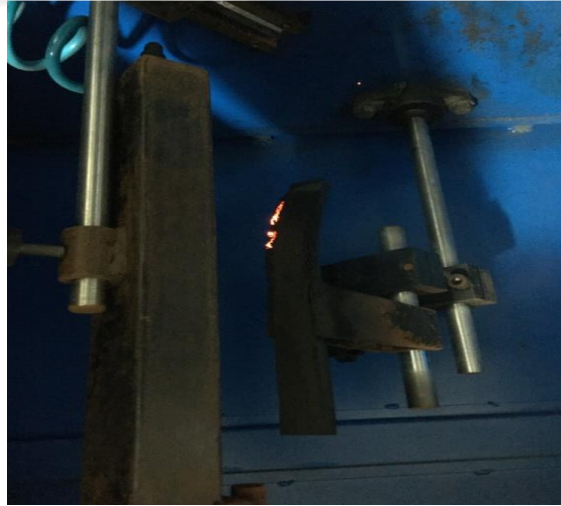
$t_1 = 4$  saniye,

$t_2 = 3$  saniye,

$t_3 = 4$  saniye olarak ölçüldü.

Ortalama olarak 4 saniyede alevin sona erdiği tespit edildi.

Alev kaynağı kesildikten sonra numune 1,5 m/s hava akımı hızı ile havaya maruz bırakıldığında Resim 4.1’de verildiğı gibi akkorlaşmanın meydana geldiğı gözlemlendi. Tekrar eden akkorlaşmanın yangın çıkarmaya yeterli görülmediğı ancak yine de yangın çıkmasına neden olma potansiyeline sahip olduğu tespit edildi.



**Resim 4.1** Alev kaynağı uzaklaştırıldıktan sonra yandan 1,5 m/s hava akım hızı verildiğinde meydana gelen akkorlaşma.

Resim 4.2’de katkısız hamur ürünlerinin analiz sonucunda deformasyonuna ait görsel verilmiştir.



**Resim 4.2** Alev alma karakteristiği testi sonucunda deforme olan numuneler.

#### **4.3.2 Kalsiyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun Alev Alma Karakteristiği Test Sonuçları**

Kalsiyum borat ilave edilen bant hamuruna ait numunelerde alev kaynağı uzaklaştırıldıktan sonra alevin sönmesi için geçen süre sırasıyla:

$t_1 = 2$  saniye,

$t_2 = 2$  saniye,

$t_3 = 2$  saniye olarak ölçüldü.

Alev kaynağı kesildikten sonra numune 1,5 m/s hava akımı hızı ile havaya maruz bırakıldığında anlık bir akkorlaşma gözlemlendi ancak hemen sona erdi. Yeniden alevlenmeye elverişli olmadığı çıkarımı yapıldı.

#### **4.3.3 Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun Alev Alma Karakteristiği Test Sonuçları**

Magnezyum borat ilave edilen bant hamuruna ait numunelerde alev kaynağı uzaklaştırıldıktan sonra alevin sönmesi için geçen süre sırasıyla:

$t_1 = 2$  saniye,

$t_2 = 2$  saniye,

$t_3 = 2$  saniye olarak ölçüldü.

Alev kaynağı kesildikten sonra numune 1,5 m/s hava akımı hızı ile havaya maruz bırakıldığında akkorlaşmanın meydana geldikten sonra hızlıca kaybolduğu gözlemlendi. Yeniden alevlenmeye elverişli olmadığı çıkarımı yapıldı.

#### **4.3.4 Kalsiyum ve Magnezyum Borat İlaveli Lastik Bant Hamurunun Alev Alma Karakteristiğı Test Sonuçları**

Kalsiyum ve magnezyum borat ilave edilen bant hamuruna ait numunelerde alev kaynağı uzaklaştırıldıktan sonra alevin sönmesi için geçen süre sırasıyla:

$t_1 = 2$  saniye,

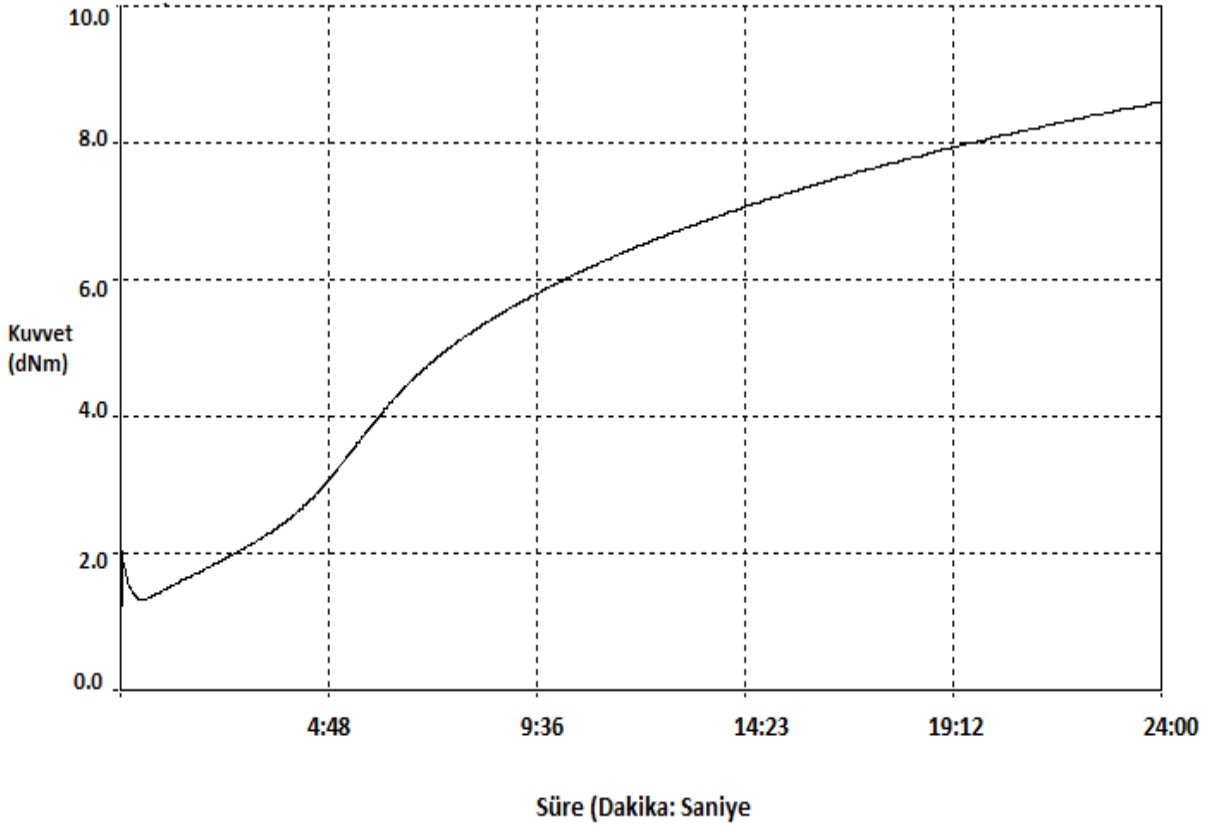
$t_2 = 2$  saniye,

$t_3 = 2$  saniye olarak ölçüldü.

Testin son aşaması olarak 1,5 m/s hava akımı hızı ile numune üzerine hava verildiğinde anlık bir akkorlaşma gözlendi ancak bu akkorlaşma hemen sona erdi. Yeniden alevlenmeye elverişli olmadığı çıkarımı yapıldı.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Konveyör bant firmasına ait alev geciktirici katkı ilaveli olan ve alev yürütmez bant olarak bilinen bantlar ISO 6502 ve ASTM D 5289 standartları referans alınarak üretilmektedirler. Konveyör bant firmasına ait alev yürütmez bantların vulkanizasyon grafiği Şekil 5.1’de, reolojik test sonuçları da Çizelge 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1 Alev yürütmez bant hamurunun vulkanizasyon grafiği.

Çizelge 5.1 Alev yürütmez bant hamurunun reolojik test sonuçları.

| Numune                          | S'min | S'max | Scorch<br>Time | TC 50 | TC 90 |
|---------------------------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| Alev<br>yürütmez<br>bant hamuru | 1,31  | 8,58  | 5,06           | 7,28  | 18,43 |

Alev yürütmez bant olarak üretilen bant hamurlarında alev alma karakteristiği test sonuçlarının 1 – 2 saniye aralığında olduğu bilinmektedir. Bahsi geçen bantlara ait reolojik kontrol ve alev alma karakteristiği test sonuçları ile tez çalışmasında elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında borat ilaveli bantların alev yürütmez bantlar kadar etkili sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür.

Katkı eklenen 3 ayrı numunenin de öncelikle pişme süresini katkısız hamur numunesinin pişme süresine göre arttırarak istenilen yönde etki sağladığı görülmüştür. Çizelge 5.2’de bütün bant hamuru numunelerine ait alev alma karakteristiği test sonuçları verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi katkısız olan hamur numunesi standartlara göre verilen alev kaynağı kesildikten sonra kendi kendine ortalama olarak 4 saniye daha yanmaya devam ederken, magnezyum borat ve kalsiyum borat ilave edilen diğer üç hamur numunesinin de alev kaynağının kesilmesinin ardından yanmaya devam ettiği süre 2 saniye olarak belirlenmiştir. Alev yürütmez bant olarak üretilen piyasadaki bantların alev alma karakteristiği test sonuçları da borat ilaveli hamur numuneleri ile benzer aralıkta sonuçlar vermektedir. Katkısız hamur ile borat ilaveli hamur numuneleri arasında laboratuvar şartlarında yapılan analizler eşliğinde ortaya konulan 2 saniyelik fark, işletmelerde meydana gelecek olası bir yangına elverişlilik halinde hayati önem taşıyacak kadar önemli olabilmektedir. Yapılan alev alma karakteristiği test sonuçlarına bakılarak borat katkılı ürünlerin iyi düzeyde alev geciktirici etkiye sahip oldukları tespit edilmiş ve tekrar kıvılcım alma eğilimi göstermemeleri sonucunda alev yürütmez / alev geciktirici katkı olarak kullanılabilirlikleri kanıtlanmıştır.

**Çizelge 5.2** Bütün bant hamuru numunelerine ait alev alma karakteristiği test sonuçları.

| <b>Hamur Numunesi Türü</b>                | <b>Pişme Süresi (dk)</b> | <b>Alev Alma Karakteristiği (sn)</b> |
|-------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Alev geciktirici katkı ilavesiz           | 12 dk 56 sn              | 4<br>3<br>4                          |
| Kalsiyum borat ilaveli                    | 14 dk 48 sn              | 2<br>2<br>2                          |
| Magnezyum borat ilaveli                   | 15 dk 08 sn              | 2<br>2<br>2                          |
| Kalsiyum borat ve magnezyum borat ilaveli | 15 dk 14 sn              | 2<br>2<br>2                          |
| Piyasadaki alev yürütmez bant             | 18 dk 43 sn              | 1<br>1<br>2                          |

Kaplama ve polimerler üzerinde alev geciktirici katkı olarak en çok antimon veya alüminyum oksit tercih edilmektedir. Klor ve brom içeren alev geciktirici katkıları yanma esnasında karbon monoksit, fosgen ve benzeri toksik bileşiklerin oluşumuna neden olmaktadır. Borat bileşiklerinin alev geciktirici pigment olarak kullanımı ise hala araştırılmakta olan bir konudur. Magnezyum borat antimon ile birlikte yüksek dereceli bir alev geciktirici özelliği gösterir. Alüminyum oksit ile beraber kullanıldığında ise duman bastırma özelliğini güçlendirir. Alev geciktirici magnezyum boratın en önemli özellikleri; bor varlığının magnezyum boratı etkin bir alev bastırıcı yapması, metal ve plastik ürünler arasında yapışkanlık özelliğini arttırması, zehirli özelliğe sahip olmaması, reçinelere ilaveleri sırasında özel yapılı aletlere ihtiyaç olmaması ve antimon ile kıyaslandığında daha ucuz olmasıdır. Magnezyum boratın bu üstün özellikleri alev geciktirici pigment olarak kullanılma oranlarını yükseltmektedir (Atalay 2012).

Bu tez çalışmasında magnezyum borat ve kalsiyum borat sıvı reaksiyon yöntemiyle sentezlenmiştir. Alev geciktirici katkılı üretim için kullanılan lastik bant üretim reçetesine uygun miktarları hesaplanarak magnezyum borat ve kalsiyum borat ilavesi

hem ayrı ayrı yapılmış hem de iki katkı birden kullanılmış olmak üzere 3 farklı hamur numunesi hazırlanmıştır. Katkısız halde bırakılan bir hamur parçası referans alınarak bütün hamur numunelerinde reolojik testler ve alev alma karakteristiği testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerin sonucunda elde edilen bilgilere bakılarak kalsiyum ve magnezyum boratın konveyör bant içeriğinde kullanılması durumunda alev geciktirici özelliklerin iyileştirilmesinin mümkün olduğu kanıtlanmıştır.

Test sonuçları baz alınarak, laboratuvar ortamında alev kaynağının kesilmesinin ardından kendi kendine yanmayı kalsiyum borat katkılı hamur, magnezyum borat katkılı hamur ve hem kalsiyum borat hem de magnezyum borat katkılı hamur numuneleri 2 saniyede sona erdirmişlerdir. Elde edilen ürünler hakkında bir karşılaştırma yapmak gerekirse; aralarındaki tek fark pişme süreleri olduğu için pişme süreleri karşılaştırılabilir. Magnezyum borat ilaveli hamurun 15 dakika 08 saniye, kalsiyum borat ilaveli hamurun ise 14 dakika 48 saniye pişme süresinin olduğunun tespit edilmesi nedeniyle; magnezyum borat katkısının pişme süresini kalsiyum borata göre daha fazla uzattığı görülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Adams R, 1964, Boron, Metallo Boron Compounds and Boranes, Interscience Publishers, USA.
- Anonim, 2004, Uluslararası Bor Sempozyumu Bildirileri, 23-25 Eylül, Eskişehir, Türkiye, 133-138.
- Aşık E, 1988, Bantlı Konveyörler Hesap ve Konstrüksiyon Esasları,. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın no: 98, Ankara.
- Atalay Ö, 2012, Magnezyum Borat Sentezi ve Alev Geciktirici Pigment Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ayar B, 2007, Çinko Borat Sentezi ve Yüksek Sıcaklıkta Pigment Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ağaoğulları D, Balcı Ö, Gökçe H, Duman İ, Öveçoğlu M L, 2012, Synthesis of Magnesium Borates by Mechanically Activated Annealing, The Minerals, Metals Materials Society and ASM International, 43: 2520-2533.
- Briggs C C, 1998, Calcium Carbonate, Part of the Polymer Science and Technology Series, Plastics Additives An A Z Reference In Pritchard G, London, 148-52.
- Büyükgüzel K, Büyükgüzel E, 2004, İnsan Çevre ve Tarımsal Açından Borik Asitin Zararlı Böceklerin ve Diğer Artropodların Mücadeledeki Önemi, II Bor Çalıştayı, 6 Mayıs Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Carpentier F, Bourbigot S, Bras M L, Delobel R, 2000, Rheological Investigations in Fire Retardancy, Application to Ethylene Vinyl Acetate Copolymer Magnesium Hydroxide Zinc Borate Formulations, Polymer International, Cilt 49, 1216-1221.
- Cengiz E, 2001, Özelleştirmenin Odağındaki Bor, 1. Uluslar arası Bor Sempozyumu, Kütahya 20-25.
- Choorackal E, Riviera P P, Santagata E, 2019, Mix Design and Mechanical Characterization of Self-Compacting Cement-Bound Mixtures For Paving Applications, in Construction and Building Materials, 229, 1-11.
- Cullity B D, Stock S, 2001, Elements of X-Ray Diffraction (Third Edition), Pearson

Prentice Hall, New Jersey.

- Çayıroğlu Ş, İpek M, 2019, Sol-jel Yöntemiyle Kalsiyum Borat Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Çıtak E, Demirel B, Yuvalı G, Akkurt F, 2019, Kalsiyum Boratlı Antibakteriyel Sıvıların Hazırlanması ve Antibakteriyel Özelliklerinin İncelenmesi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Araştırma Makalesi, 1017100, 9, 31-38.
- Çelebi K, 2009, Poliester Örme Kumaşların Güç Tutuşurluk Davranışının İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Demirtaş A, 2004, Bor Bileşikleri ve Tarımda Kullanımı, 08 Temmuz, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Erzurum.
- Doonan D J, Lower L D, 1978, Boran Compounds (oxides acid, borates) In Knk Oihmer Encyclopedia ol Chemical Technology John Wiley an Sons Vol 4.3, 67-110, NewYork.
- DPT, 2006, Dokuzuncu Kalkınma Planı, Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu, Bor Çalışma Grubu Raporu, Türkiye İçin Önemli Bir Maden Bor An Important Ore for Turkey: Boron.
- Durak D, 2007, Bazı Metal Boratların Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 109 s, Kırıkkale.
- Durin France A, Ferry L, Cuesta L, Crespy A, 2000, Magnesium Hydroxide/Zinc Borate Talc Compositions as Flame-Retardants in EVA Copolymer, Polymer International, 49, 1101-1105.
- Erd R C, Mc Allister J F, Vlisidis A C, 1961, Nobleite, Another New Hydrous Calcium Borate From The Death Valley Region, American Mineralogist, 46; 560-571, California.
- Erdem B, Ceylanoğlu A, Duran Z, 2016, Alev Yürütmez Bant Kullanımının Yeraltı Madenciliği için Değerlendirilmesi, Bilimsel Madencilik Dergisi, 55/4, 23-36.
- Fabien C, Serge B, Michel L B, Michel F, 2000, Charring of Fire Retarded Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, Magnesium Hydroxide/Zinc Borate Formulations, Polymer Degradation and Stability, 69, 83-92.
- Groenewald, T. 1976. The Dissolution of Gold in Acidic Solutions fo Thioured, Hydrometallurgy, 277-290.

- Gündoğmaz G, 2007, Bazı Bor İçeren Apatit Malzemelerin Sentezi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 193 s, Balıkesir.
- Gürü M, Qasrawi A F, Kaye T S, Mergen A, 2005, Synthesis and Characterization of  $Mg_2B_2O_5$ , Materials Research Bulletin, 40, 83-589.
- Haydar A, Büber H, 2003, Türkiye’de Bor Madeninin Ekonomik Analizi, Standart, Türk Standartları Enstitüsü, 501, 71-76.
- Helvacı C, 2015, Bor Yataklarının Mineral ve Kimyası Yönünden Genel Değerlendirilmesi ve Gelecek Öngörüsü. Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi. 66-78.
- Hermansson A, Hjertberg T, Sultan B A, 2003, The Flame Retardant Mechanism of Polyolefins Modified With Chalk and Silicone Elastomer, Fire Mater, 27, 51 70, 2003
- HSE 2015, The Prevention and Control of Fire and Explosion in Mines, Health and Safety Executive, Deep Mined Coal Industry Advisory Committee, England.
- Hunt C D, 1996, Biochemical Effects of Physiological Amounts Dietary Boron, J Trace Elem, 177 Med, Vol 9, 185-213.
- İbrikcan E, Kaynak C, 2014, Usability of Three Boron Compounds for Enhancement of Flame Retardancy in Polyethylene-Based Cable Insulation Materials, Journal of Fire Sciences, 32/2, 99-120.
- Kalın M B, 2008, Tekstil Yüzeylerinin Yanmaya Karşı Dirençlerinin Arttırılması, Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Karadeniz M, 1996, Cevher Zenginleştirme Tespit Artıklarının Çevreye Etkileri ve Önlemler, MTA MAT Daire Başkanlığı, Ankara, 332.
- Kopylov V M, Kovyazin V A, Kostyleva E I, Fedorov A Y, Kovyazin A V, 2016, The Thermal Stabilisation and Ceramifying of Silicone Rubbers, International Polymer Science and Technology, 43, 33-40.
- Köytepe s, Vural S, Seçkin T, 2009, Molecular Desing of Nanometric Zinc Borate Containing Polyimide as a Route to Flame Retardant Materials, Materials Research Bulletin, Cilt 44, 369-376.
- Kürkçüoğlu M E, Aytekin. H, 2004, Bor ile Nötron Yakalama Terapisi, II Bor Çalıştay, 6 Mayıs, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

- Laoutid F, Bonnaud L, Alexandre M, Lopez Cuesta J M, Dubois P, 2009, New Prospects in Flame Retardant Polymermaterials From Fundamentals to Nanocomposites, Material Sciency Engineering, 63, 25-100.
- Meacham S L, Hund C D, 1998, Dietary Boron Intakes Selected Populations in the United States, Biol Tiace Bern, Re Vol 66, 6-78.
- Miroğlu C, 2005, Yerli Kaynaklardan Çinko Borat Üretimi ve Yanmaz Kablo İmalinde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Moseman, R, 1994, Chemical Disposition of Boron in Animals and Humans, Enviromental Health Perspect, 102, 113-117.
- Onat S T, Konuk M, 2004, BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) ile Kanser Tedavisi II Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Oruç F, Sabah E, Erkan Z E, 2004, Türkiye’de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri, 2.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Osman M A, Atallah A, Muller m, Suter U W, 2001, Reinforcement of Poly Dimethylsiloxane Networks by Mica Flakes, Polymer, 42, 6545-56.
- Özkan Ş G, 1994, Flotation Studies of Colemanite Ores from the Emet Deposits of Türkiye, Ph.D.
- Özkan Ş G, Çebi H, Delice S, Doğan M, 1997, Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciligi, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 224-228, İzmir.
- Paciorek Sadowska J, Czuprynski B, Liszkowska J, 2012, Fire Safe Polyuretanes Modified with New Antipyren, 66/4, 297-306.
- PAO, 1976, Water Quality for Agriculture, Jrig and Dramege pp 29, Rome, 81.
- Park E S, 2007, Mechanical Properties and Processibility of Glass Fiber, Wollastonite and Fluoro Rubber Reinforced Silicone Rubber Composites, J Appl, Polymer Science, 105, 460-8.
- Pritchard G, Fillers, 1998, Plastics Additives: An A Z Reference, In Pritchard G, United Kingdom, 241-51.
- Saçak M, 2005, Polimer Teknolojisi, Gazi Kitapevi, Ankara.
- Sadowska J P, Czuprynski B, Liszkowska J, 2015, Boron Containing Fire Retardant Rigid Polyurethane Foams, Part 2, Preparation and Evaluation, Journal of Fire

- Sciences, 33/1, 48-68.
- Schartel B, Weis A, Mohr F, Kleemeier M, Hartwig A, Braun U, 2010, Journal Application Polymer Science, 118/2, 1134-3343.
- Sümer G, 2004, Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir.
- Tektaş E, Mergen A, 2003, Eti Holding A Ş, Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Çinko Borat Üretimi Ön Fizibilite Etüdü.
- Ting, C, Jian C, Long Shuo W, Gang F, 2009, Preparation and Characterization of Nano-Zinc Borate by a New Method, Journal of Materials Processing Technology, 209, 4076-4079.
- Toporcel, L H, Dibling M R, 1993, Flame Retardant Elastomeric Composition, US Patent 5, 260-372.
- Ubaladini S, Massidda R, Abbruzzese C, Veglio F, Toro L, 1966, Gold Recovery From Fitnely Disseminated one by Use of Cyanidation and Thioureation, in, Kemal Arslan, Cenbazogen, Changing Scopes in Mineral Processing, Balkema, Rotterdam, 559-562.
- Uygan D, Çetin Ö, 2004, Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri, Seydisuyu Su Toplama Havzası, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Velioğlu S, Şimşek A, 2003, İnsan Sağlığı ve Beslenme Açısından Bor, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Vol 4/2, 123-130.
- WHO. 1998, Boron, Environmental Health Criteria, A Who Monograph, World Healt Organization, No 204, Geneva Switzerland, 201 p.
- Yedier U, Engin E, 2019, Sol-jel Yöntemiyle Magnezyum Borat Sentezi ve Karakterizasyonu, Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Yıldız B, Seydibeyoğlu M Ö, Güner F S, 2009, Polyurethane–Zinc Borate Composites with High Oxidative Stability and Flame Retardancy, Polymer Degradation and Stability, 94/7, 1072-1075.
- Yılmaz Aydın D, Gürü M, Ayar B, Çakanyıldırım Ç, 2016, Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Pigment Olarak Uygulanabilirliği, Bor Dergisi, 1/1, 33-39.
- Yiğitbaşoğlu H, 2004, Türkiye için Önemli Bir Maden: Bor, Coğrafi Bilimler Dergisi 2, 13-25.

Zhang Q, Zhang W, Huang J, Lai Y, Xing T, Chen G, Jin G, Liu H, Sun B, 2015, Flame Retardance and Thermal Stability of Wool Fabric Treated by Boron Containing Silica Sols, *Materials and Desing*, 85, 796-799.



## İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.etimaden.gov.tr> (03.03.2020)
- 2- <http://science.ankara.edu.tr/~kavusan/borpage> (03.03.2020)
- 3- <http://www.ido-forum.org/doga-ve-cevre/154676-bor-hakkinda-hersey.html> (03.03.2020)
- 4- <http://www.ozerbant.com/site/about-us> (13.03.2020)
- 5- <http://www.conveyordynamics.com> (13.03.2020)
- 6- <http://www.konveyorbant.com/P/56/Guvenlik-Testleri.html> (13.03.2020)
- 7- <https://www.boren.gov.tr/Sayfa/rezervler/26> (12.03.2020)
- 8- <http://demircelikstore.com/-1-2335-bor-madeni-borik-asit-fabrikalar305yla-art305-de287er-kazan305yor.html> (23.03.2020)
- 9- <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/uleksit> (18.04.2020)
- 10- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/mineraller> (18.04.2020)
- 11- <https://www.mineralatlas.eu/lexikon/index.php/MineralData?lang=en&mineral=Kermit> (18.04.2020)
- 12- <http://www.mineralscollector.com/lokalite/evropske-minerale/probertit.html> (18.04.2020)
- 13- <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/hidrobor> (26.06.2020)
- 14- <https://vatanlar.wordpress.com/2011/12/29/reometre-rheometer-nedir/> (29.06.2020)
- 15- <http://www.ozerbant.com/katalog/files/assets/downloads/publication.pdf> (29.06.2020)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sena DEDEOĞLU  
Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli 23.10.1994  
Yabancı Dili : İngilizce, Rusça  
İletişim (Telefon / e-posta) : 0552 253 08 04 / sena.dedeoglu@yahoo.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Denizli Anadolu Lisesi (2008 – 2012)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Böl.,  
(2012– 2017)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Kimya  
Mühendisliği ABD, (2017– 2020)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

:Afyon beton ve Yapı Malz. Lab. (2017 – 2017)  
:Şenler Beton A.Ş. (2017 – 2018)  
:Çevrepet A.Ş. (2019 – 2020)