

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN  
BOR TÜREVLERİNE YÖNELİK ÇALIŞMALARIN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tufan Bora SAMUK**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**Mayıs 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN  
BOR TÜREVLERİNE YÖNELİK ÇALIŞMALARIN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tufan Bora SAMUK  
(502121517)**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU**

**Mayıs 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502121517 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Tufan Bora SAMUK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN BOR TÜREVLERİNE YÖNELİK ÇALIŞMALARIN ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Erkan AVLAR** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **4 Mayıs 2015**  
**Savunma Tarihi :**      **29 Mayıs 2015**



*Vatani*



## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nihal Arıoğlu'na ve tüm süreç boyunca beni motive eden aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Tufan Bora Samuk  
(Mimar)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                                    | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....                                                             | ix        |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                          | xi        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                            | xiii      |
| ÖZET.....                                                                     | xv        |
| SUMMARY .....                                                                 | xvii      |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                         | <b>1</b>  |
| 1.1 Tezin Amacı .....                                                         | 1         |
| 1.2 Tezin Kapsamı.....                                                        | 1         |
| 1.3 Hipotez .....                                                             | 2         |
| <b>2. BOR.....</b>                                                            | <b>5</b>  |
| 2.1 Borun Önemi .....                                                         | 5         |
| 2.2 Borun Özellikleri.....                                                    | 6         |
| 2.2.1 Fiziksel özellikleri.....                                               | 6         |
| 2.2.2 Kimyasal özellikleri .....                                              | 7         |
| 2.3 Borun Tarihçesi .....                                                     | 8         |
| 2.3.1 Dünyada bor .....                                                       | 8         |
| 2.3.2 Türkiye’de bor.....                                                     | 10        |
| 2.4 Dünyada Bor Rezervi, Üretimi ve Satış Dağılımı.....                       | 12        |
| 2.5 Borun Kullanım Alanları.....                                              | 13        |
| <b>3. YAPI MALZEMESİNDE KULLANILAN BOR TÜREVLERİNİ</b>                        |           |
| <b>İNCELEYEN ÇALIŞMALARIN ANALİZİ .....</b>                                   | <b>17</b> |
| 3.1 Çimento Sanayisinde Bor Kullanımına Yönelik Çalışmalar.....               | 17        |
| 3.1.1 Çimento üretiminde bor katkısının pişme sıcaklığı ve dayanıma etkisi    | 18        |
| 3.1.2 Çimentonun priz süresi, hacim genleşmesi ve basınç dayanımı             |           |
| özelliklerinin bor katkısı ile ilişkisi.....                                  | 21        |
| 3.1.3 Çimentonun radyasyon geçirgenliği, basınç ve çekme dayanımı ile         |           |
| prizlenme süresine borun etkileri .....                                       | 27        |
| 3.2 Zemin ve Duvar Kaplama Malzemesinde Bor Kullanımına Yönelik               |           |
| Çalışmalar.....                                                               | 32        |
| 3.2.1 Porselen karo sinterleme sıcaklığı ve hacim genleşmesine borun etkileri | 33        |
| 3.2.2 Bor katkılı sır bünyeleri oluşturularak borun değerlendirilmesi .....   | 37        |
| 3.2.3 Bor mineralinin karo sırlarında hammadde olarak değerlendirilmesi ..... | 42        |
| 3.3 Ahşap ve Ahşap Kompozit Malzemede Bor Kullanımına Yönelik Çalışmalar      | 45        |
| 3.3.1 Borlu bileşiklerin ağaç malzemede kullanılabilirliği ve yanma           |           |
| üzerine etkileri.....                                                         | 46        |
| 3.3.2 Bor bileşikler ile emprenyenin odun yüzeyi üzerindeki etkilerinin       |           |
| belirlenmesi .....                                                            | 49        |
| 3.3.3 Lif levhalarda çürüklük dayanımının bor katkısı ile ilişkisi .....      | 55        |
| 3.4 Metal Sanayisinde Bor Kullanımına Yönelik Çalışmalar .....                | 59        |

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.1 Bor mineralinin radyasyon tutucu özelliğinin metal malzemede kullanılabilirliği ..... | 61        |
| 3.4.2 Metal malzemenin aşınma ve korozyon direncinin iyileştirilmesinde bor kullanımı ..... | 64        |
| 3.5 Değerlendirme .....                                                                     | 70        |
| <b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                            | <b>73</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                       | <b>75</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                        | <b>79</b> |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1: Ticari önem taşıyan bor mineralleri. ....                                                            | 8  |
| Çizelge 2.2: Dünya bor rezervi miktarları. ....                                                                   | 13 |
| Çizelge 3.1: Laboratuvar şartlarında üretilen bazı borlu klinker ve çimentoların<br>komple analiz sonuçları. .... | 21 |
| Çizelge 3.2: Üretilen katkılı çimentoların cinsleri ve kodu .....                                                 | 24 |
| Çizelge 3.3: Üretilen katkılı çimentoların priz süreleri ve hacim<br>genleşmesi değerleri.....                    | 25 |
| Çizelge 3.4: Üretilen katkılı çimentolardan elde edilen harçların<br>basınç dayanımları .....                     | 26 |
| Çizelge 3.5: Çalışılan bünye kompozisyonları .....                                                                | 35 |
| Çizelge 3.6: Seger reçetesine giren hammaddeler .....                                                             | 39 |
| Çizelge 3.7: Hazırlanan sır reçeteleri.....                                                                       | 44 |
| Çizelge 3.8: Başlangıç ve son ürüne uygulanan standart testlerin sonuçları.....                                   | 45 |
| Çizelge 3.9: Emprenye maddelerinin özellikleri .....                                                              | 48 |
| Çizelge 3.10: Yanma sonucu açığa çıkan ortalama değerler .....                                                    | 49 |
| Çizelge 3.11: Yaşlandırma öncesi ve sonrası ölçülen sertlik değerleri .....                                       | 51 |
| Çizelge 3.12: Yaşlandırma öncesi ve sonrası ölçülen renk değerleri. ....                                          | 53 |
| Çizelge 3.13: Yaşlandırma öncesi ve sonrası ölçülen parlaklık değerleri .....                                     | 54 |
| Çizelge 3.14: Deney malzemelerinin % ağırlık cinsinden kimyasal birleşimleri.....                                 | 66 |
| Çizelge 3.15: Ölçülen maksimum yüzey sertlik değerleri (HV0.05) .....                                             | 68 |
| Çizelge 3.16: Ortalama borlu tabaka kalınlıkları (µm).....                                                        | 68 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1: Tez akış şeması.....                                                                                                                                                     | 3  |
| Şekil 2.1: Doğada bulunan önemli bor mineralleri: (a) Boraks, (b) Kolemanit, (c) Üleksit. ....                                                                                      | 5  |
| Şekil 2.2: Dünya bor rezervleri.....                                                                                                                                                | 6  |
| Şekil 2.3: Bor kristallerinin tipik görünümü.....                                                                                                                                   | 7  |
| Şekil 2.4: Periyodik tabloda borun yeri. ....                                                                                                                                       | 7  |
| Şekil 2.5: Ülkelere göre bor hakkında yazılmış akademik makale dağılımı .....                                                                                                       | 9  |
| Şekil 2.6: 2008 Yılı akademik makale dağılımı ile bor rezervi karşılaştırması.....                                                                                                  | 10 |
| Şekil 2.7: Türkiye’de bulunan bor madenleri. ....                                                                                                                                   | 12 |
| Şekil 2.8: Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı.....                                                                                                                             | 14 |
| Şekil 2.9: Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları .....                                                                                                                | 15 |
| Şekil 3.1: Bor katkılı çimento ve bor katkılı çimento ile yapılmış bazı projeler.....                                                                                               | 18 |
| Şekil 3.2: Akış şeması. ....                                                                                                                                                        | 19 |
| Şekil 3.3: Akış şeması. ....                                                                                                                                                        | 22 |
| Şekil 3.4: Akış şeması. ....                                                                                                                                                        | 27 |
| Şekil 3.5: Radyasyon geçirgenliği deney şeması.....                                                                                                                                 | 29 |
| Şekil 3.6: Borojips ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük çekme dayanımlarının atık oranıyla değişimi.....                                                             | 30 |
| Şekil 3.7: Borojips ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımlarının atık oranıyla değişimi.....                                                            | 30 |
| Şekil 3.8: Kolemanit konsantrasyon atığı ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük çekme dayanımlarının atık oranıyla değişimi .....                                       | 30 |
| Şekil 3.9: Kolemanit konsantrasyon atığı ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımlarının atık oranıyla değişimi .....                                      | 31 |
| Şekil 3.10: Borojips ilaveli çimentoların priz sürelerinin katkı miktarı ile Değişimi .....                                                                                         | 31 |
| Şekil 3.11: Kolemanit konsantrasyon atığı ilaveli çimentoların priz sürelerinin katkı miktarı ile değişimi .....                                                                    | 31 |
| Şekil 3.12: AM241 nokta kaynakla yapılan radyasyon bombardıman sonuçlarının atık oranıyla değişimi .....                                                                            | 32 |
| Şekil 3.13: BA133 nokta kaynakla yapılan radyasyon bombardıman sonuçlarının atık oranıyla değişimi .....                                                                            | 32 |
| Şekil 3.14: Bor katkılı perselen ve seramik karo ürün görseli .....                                                                                                                 | 33 |
| Şekil 3.15: Akış şeması. ....                                                                                                                                                       | 34 |
| Şekil 3.16: Borik asit ilavesi ile ham mukavemet değişimi.....                                                                                                                      | 36 |
| Şekil 3.17: Akış şeması. ....                                                                                                                                                       | 37 |
| Şekil 3.18: Bor katkılı sıran seramik üzerinde kullanım örneği .....                                                                                                                | 38 |
| Şekil 3.19: Akış şeması. ....                                                                                                                                                       | 43 |
| Şekil 3.20: Ahşap ve emprenye : (a) Emprenye edilmiş ahşap malzeme, (b) emprenyeli ahşap kullanım alanı örneği, (c) Ahşap emprenye işlemi, (d) Emprenyeli ahşap kullanım alanı..... | 46 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.21:</b> Akış şeması.....                                                                                                             | 47 |
| <b>Şekil 3.22:</b> Akış şeması.....                                                                                                             | 50 |
| <b>Şekil 3.23:</b> Akış şeması.....                                                                                                             | 56 |
| <b>Şekil 3.24:</b> Deneme levhalarının çürüklük deneyi sonucunda ağırlık kaybı<br>değerlerindeki değişim .....                                  | 58 |
| <b>Şekil 3.25:</b> Borlama sonucu oluşan borür tabakası.....                                                                                    | 59 |
| <b>Şekil 3.26:</b> Bor katkılı bazı metal yapı malzemeleri.....                                                                                 | 60 |
| <b>Şekil 3.27:</b> Akış şeması.....                                                                                                             | 62 |
| <b>Şekil 3.28:</b> Borlamanın AISI 316L çeliğinin radyasyon zayıflatma<br>katsayısına etkisi. ....                                              | 63 |
| <b>Şekil 3.29:</b> Borlamanın AISI 1010, AISI 304 ve M2 çeliklerinin zayıflatma<br>katsayısına etkisi. ....                                     | 63 |
| <b>Şekil 3.30:</b> Akış şeması.....                                                                                                             | 65 |
| <b>Şekil 3.31:</b> Aşınma test düzeneğinin şematik gösterimi .....                                                                              | 67 |
| <b>Şekil 3.32:</b> 950 °C’de 6 saat borlanmış (a) AISI 1030 ve (b) AISI 1050 çeliklerinin<br>mikroyapı fotoğrafları .....                       | 68 |
| <b>Şekil 3.33:</b> AISI 1030 ve AISI 1050 malzemelerinin aşınma deneyleri sonunda<br>bulunan ağırlık kayıp yüzdelerinin karşılaştırılması ..... | 69 |

## **YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN BOR TÜREVLERİNE YÖNELİK ÇALIŞMALARIN ANALİZİ**

### **ÖZET**

Birlikte kullanıldığı malzemeye oldukça önemli nitelikler kazandıran ve bu nedenle de gün geçtikçe dünyadaki kullanımı hızla artan bor ve türevlerinin yapı malzemesindeki kullanım alanlarını irdelemek amacıyla yapılan bu çalışmada öncelikle bor tanıtılmış, borun tarihçesi hakkında bilgi verilmiş, bor mineralleri ve kullanım alanları anlatılmıştır. Kullanım alanlarının öncelikle niteliği, sonra niceliği ön planda tutularak; cam sanayisinde, seramik sanayisinde, temizleme ve beyazlatmada, inşaat ve çimento sanayisinde, yanmayı önleyici/geciktirici olarak, nükleer uygulamalarda, enerjide, makine ve metalürjide, sağlıkta ve tarımda kullanımı anlatılarak borun önemi vurgulanmıştır. Daha sonra geniş kullanım alanına sahip borun, özellikle yapı malzemesi alanında kullanımı irdelenmiş, kategorilere ayrılmış ve kullanıldığı malzemeye kattığı pozitif özelliklere vurgu yapılmıştır.

Üretiminde bor ve türevleri kullanılan yapı malzemeleri, çalışmanın üçüncü bölümünde; çimento sanayisi, zemin ve duvar kaplama malzemeleri, ahşap ve ahşap kompozit malzemeler ve metal sanayisi olarak kategorilendirilmiştir. Her bir kategori içerisinde, literatürde yapılmış olan deneysel çalışmalar irdelenerek deney sonuçlarından faydalanılmış ve malzemenin bor katkısı ile kazandığı inovatif özelliklere vurgu yapılmıştır.

Bu kapsamda incelenen çalışmalardan, çimento bünyesine katılan bor türevleri olan kolemanit ve borojips sayesinde çimentonun pişme sıcaklığında düşme, mukavemetinde artma, üretim maliyetinde düşme, hidratasyon ısısında azalma, yüksek nötron tutma özelliği ile radyasyona karşı koruma, çevre kirliliğinde düşme ve hammaddede tasarruf sağladığı ve ürünün kalitesini arttırdığı görülmüştür.

Zemin ve duvar kaplama malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanılan bor türevlerinden borik asit, bor oksit ve boraks hammaddeleri sayesinde, genellikle seramik ve porselen karo üzerinde yapılmış olan deneysel çalışmalar ile borun malzemeye kattığı inovatif özellikler belirlenmiştir. Bor katkı oranına bağlı olarak parlak yüzey oluşumu, dokulu yüzey oluşumu, mat yüzey oluşumu, sinterlemeyi kolaylaştırma, pişme sıcaklığını düşürme, malzemenin mukavemetini artırma, efektli ve lüsterli bir görünüm kazandırma, çevresel etkisini düşürerek daha çevreyle ilgili hale getirme şeklinde sıralanmıştır.

Ahşap ve ahşap kompozit malzemelerde yapılmış olan araştırmalara göre borun genellikle ahşap malzemeyi koruma amaçlı kullanıldığı anlaşılmıştır. Borlu bileşikler ile muamele edilen ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin, kullanım ömründe, yüzey sertliğinde, yangına karşı dayanımı, çürüklük dayanımı gibi bazı özelliklerinde önemli derecede iyileştirme elde edildiği görülmüştür.

Son olarak metal sanayisi kategorisinde incelenen çalışmalar, son yıllarda uygulanmaya başlanan, borun metal malzeme yüzeyine borlama yöntemi ile

uygulanmasının, ürünün kullanım ömründe artış, radyasyon tutma özelliğinde artış, yüzey sertliği ve korozyon direncinde artış, metal ergime sıcaklığında düşüş gibi pozitif özellikler kattığı görülmüştür.

Literatür tarama, derleme ve yorumlama tekniğiyle hazırlanan bu çalışma ile borun, yapı malzemesi alanına kazandırdığı yenilikler ve inovatif özelliklerinden elde edilen verilere dayalı olarak yapıda kullanılan malzemelerde bor kullanımının olası araştırma alanları belirlenerek öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bor, borun kullanım alanları, yapı malzemesi, kolemanit, boraks, üleksit.

## **THE ANALYSIS OF RESEARCHES WHICH STUDIES DERIVATIVES OF BORON USED IN BUILDING MATERIALS**

### **SUMMARY**

Use of boron in the world is increasing day by day because of the acquiring advantages by using boron minerals in the production phase of materials. For this reason, this study is aimed to evaluate the use areas in the context of building materials. In the flow of this study, firstly 'boron' have been introduced, informations have been given about history of boron, boron minerals and fields which use boron minerals have been presented. By using boron in glass industry, in ceramic industry, in cleaning and whitening, in construction and cement industry, as well as preventing and retarding, in nuclear applications, energy fields, machine and metallurgical industry, health fields and in agriculture have been given with the importance of boron. Then, with a wide range of applications, features and the use of structure is examined in the field of material, divided into categories which creates the building materials. And the positive features are emphasized, which boron adds to the materials used.

Boron is a multipurpose element. It is a crucial nutrient for plants, an important component in the nuclear industry and the main ingredient of a bizarre fluid called oobleck. Perched next to carbon on the Periodic Table of Elements, boron is a metalloid, a substance with both metallic and nonmetallic properties.

Boron compounds have been known for thousands of years, but the element was not isolated until 1808 by Sir Humphry Davy, Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) and Louis Jaques Thenard (1777-1857). This was accomplished through the reaction of boric acid ( $H_3BO_3$ ) with potassium. However, boron did not become of interest until the twentieth century when it was found that it formed many unusual and complex compounds. It has been during the last forty years that the right physical and chemical properties have been determined. High purity boron produced by electrolysis and vapor deposition methods have made such determinations possible.

Today, boron minerals and compounds are used to produce quite a different materials and products in various industrial fields. Very few countries have boron reserves in the world. Among these, Turkey has the 72% of boron minerals of total world reserves and it is in the first rank with this value. With regard to its trading capacity and the existence in Turkey, some important boron minerals are Borax, Kernit, Ulexit, Colemanite, Pandermite and Hydroboraxide. Among these minerals, Colemanite mineral are only present in Turkey and the USA. Most of the Colemanite reserve is located in Turkey.

Economically important sources of boron are the minerals colemanite, rasorite (kernite), ulexite and tincal. Together these constitute 90% of mined boron-containing ore. The largest global borax deposits known, many still untapped, are in Central and Western Turkey, including the provinces of Eskişehir, Kütahya and

Balıkesir. Global proven boron mineral mining reserves exceed one billion metric tonnes, against a yearly production of about four million tonnes.

In the third part of the study, boron and its derivatives which are used in the production of building materials are categorized as; cement industry, floor and wall coverings, wood and wood composites and metal industries.

In each category, the results of the experimental studies in the literature have benefited and the importance is taken with emphasising the materials' innovative features won by the boron additive. Examined studies about the cement industry in this context revealed that adding colemanite or boronates, which are the derivatives of boron found in nature, in the cement structure; decreases cement firing temperature, increases strength, decreases production costs, decreases hydration heat, gives protection against radiation with its high neutron retention properties, saves the raw materials, decreases environmental pollution and improves the quality of the product.

Some of the raw materials needed for cement production abundantly exist in colemanite. Besides, colemanite does not contain any alkali which does not wanted in cement. Colemanite mineral is just a raw material of cement because it mainly contains  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Boron modified active belite (BAB) cement has been developed by using these main characteristics of colemanite mineral. Also some researchers in the world determined that there have been improvements in the properties of the cement which are produced by using pure boric oxide. In that aspect, those types of studies have been started in our country and it has been determined that colemanite is the most suitable boron mineral in the production of cement.

In the category of floor and wall covering materials, experimental studies are mostly conducted on ceramic and porcelain tiles. These studies revealed that boron derivatives which are used as additive minerals are boric acid, borax and boric oxide through raw materials. Innovative features won by adding these boron derivatives are listed as, shiny surface formation, textured surface formation, matte surface formation depending on boron contribution rate, facilitating sintering, reduce the firing temperature, increasing the strength of the material, effected and lustered view, making the material more ecological reducing the environmental impact. Borates are used to initiate glass formation and reduce glass viscosity, helping to form a smooth surface; and to reduce thermal expansion; thus facilitating a good fit between the glaze and the clay. Borates also increase the refractive index, or lustre, of glazes and can enhance their resistance to chemicals.

According to experimental studies made in wood and wood composite materials field, Since boric acid and sodium borates are water soluble compounds which are absorbed by the wood surface and then penetrate by diffusion, they can be both used as wood preservatives. Moreover, these inorganic boron compounds are good fire retardants. Boric acid alone or in mixtures with sodium borates, is particularly effective in reducing the flammability of cellulose materials. Borax and Boric acid are therefore used as fire retardants in wood products and cellulose insulation.

Lastly, examined studies in the field of metallurgy revealed that, boron in general, used in metallurgy for reducing melting temperature, increasing fluidity, increasing strength of the steel and reduce the corrosion of the refractory material in the furnace. In steel treatments: Boron, as a non-metallic solid element, can penetrate and form an alloy with steel under high temperatures. It forms a molecular bond with the metal. Unlike chrome, boron does not add a layer to the original surface. Boron treatment

does the opposite. It removes carbon and other impurities from the steel, leaving a pure iron boride layer with boron. Also, some experimental researches showed that boron significantly increases metals' radiation retention properties.

This study, which is prepared by the method of literature analyse and commentate, states the building materials' innovative features gain by the use of boron compounds based on data obtained from experimental studies. And pointing out the area which is open to investigate about the use of boron minerals in the field of construction materials as adobe and mud bricks.

**Key words:** Boron, use of boron, building material, colemanite, ulexite, borax.



## 1. GİRİŞ

Bu çalışmaya konu olan bor ve türevleri dünyada uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Yapılmış olan araştırmalara göre bor madeni ilk kez 4 bin yıl önce Tibet göllerinden elde edilmiş, 875 yılında ise ilk kez Araplar tarafından ilaç yapımında kullanılmıştır [1,2]. Günümüzde ise bor, nihai kullanım alanı olan sektörlerde çoğunlukla bor kimyasalları şeklinde tüketildiği gibi, yoğunlaştırılmış bor ürünleri olarak doğrudan da tüketilebilmektedir. Bor ürünleri; uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askeri araçlar, yakıtlar, elektronik ve iletişim sektörü, tarım, cam sanayii, kimya ve deterjan sektörü ile seramik ve polimerik malzemeler, nano teknolojiler, otomotiv ve enerji sektörü, metalürji ve inşaat gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Dünyadaki önemli bor yatakları, Türkiye, Rusya ve A.B.D’ de bulunmaktadır. Dünya ticari bor rezervleri 4 bölgede toplanmaktadır. Bunlar; ABD Kaliforniya Eyaletinin güneyinde yer alan “Mojave Çölü”, Güney Amerika’da yer alan “And Kemerı”, Türkiye’nin de yer aldığı “Güney-Orta Asya Orojenik Kemerı” ve Doğu Rusya’dır [3].

### 1.1 Tezin Amacı

Çalışmadaki amaç, birlikte kullanıldığı malzemeye önemli nitelikler kazandıran bor mineralinden ülkemizde yeterince yararlanılamadığı düşüncesiyle, dünyada gittikçe artan bor tüketiminin yapı malzemesindeki kullanım alanlarını belirleyerek borun başlıca kullanım özelliklerine ışık tutmak ve yenilikçi malzeme geliştirmeye yol gösterici olmaktır.

### 1.2 Tezin Kapsamı

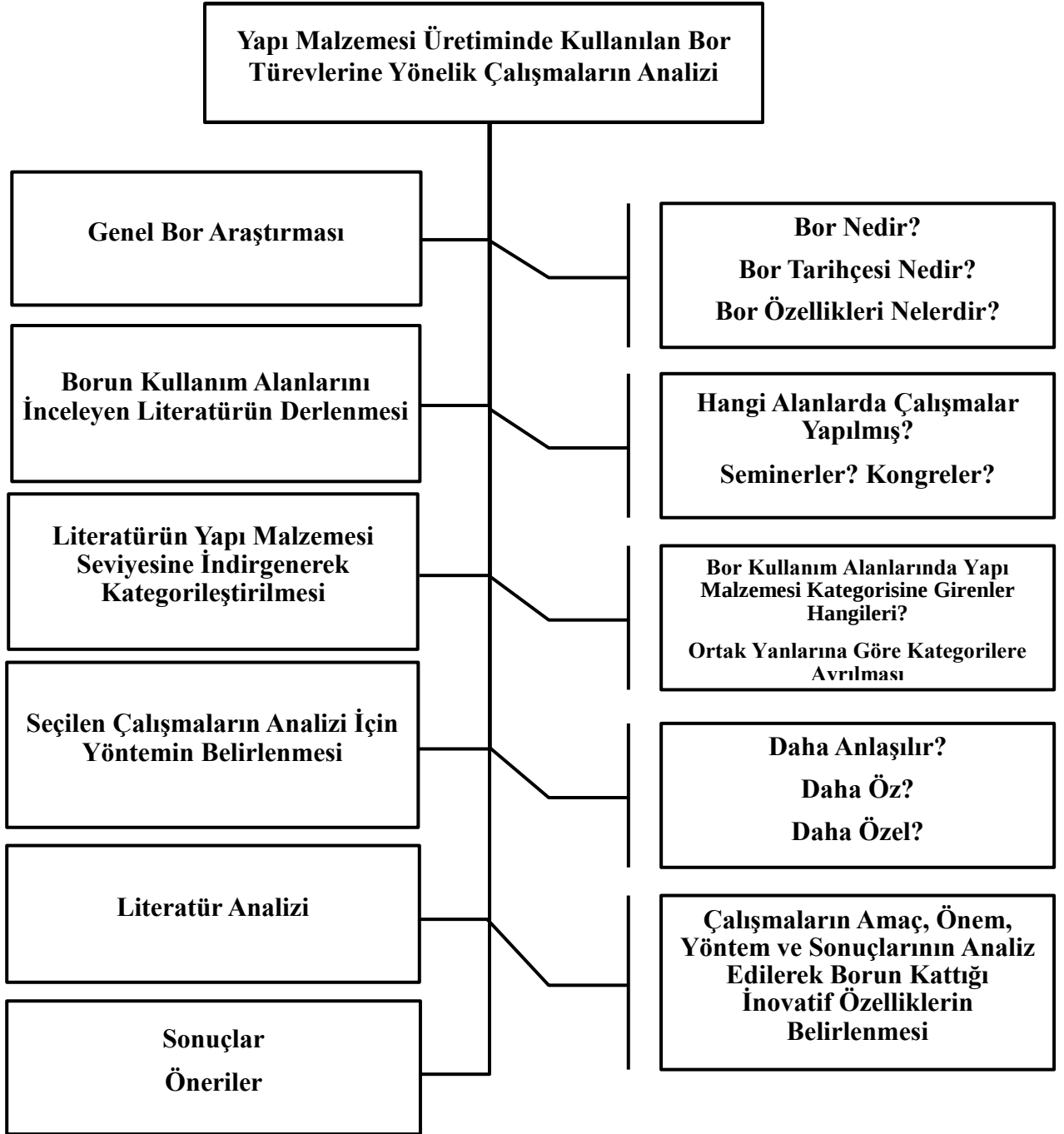
Varsayılan sorunun çözümü için; bor hammaddesinin yapı malzemesinde kullanım alanlarının anlaşılması adına fikir vermesi, yol göstermesi ve araştırmaların derinleştirilmesi için bu alanda yapılmış olan çalışmalar incelenerek analiz edilmiştir.

İncelenmiş olan bor hakkındaki çalışmalar, kimya mühendisliği, metalürji mühendisliği, malzeme mühendisliği gibi farklı disiplinler tarafından yapılmış olup bu çalışmada yapı malzemesi ile ilgili olan çalışmalar derlenerek kategorilendirilmiş ve analiz edilmiştir. Uygulanan adımlar ve özet içerik detayları Şekil 1.1’de bulunan tez akış şemasında belirtilmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Dünya bor rezervinin önemli bir bölümüne sahip olan Türkiye’ de, bor mineralinin kullanım alanları yeterince bilinmemekte ve bor minerallerinden yeteri düzeyde faydalanılamamaktadır. Bu nedenle, Türkiye’ de çıkarılan bor mineralleri rafine edilerek son ürüne dönüştürülmek yerine, ham olarak ihraç edilmekte ve finansal kayıp oluşmaktadır.

Yapı malzemesi alanında önemli bir kullanım payına sahip olan borun bu alandaki kullanım alanları, avantajları ve kullanım yöntemlerinin daha fazla tanıtılarak, bor minerali üretim sektörüne kazandırılmalıdır.



Şekil 1.1 : Tez akış şeması.



## 2. BOR

### 2.1 Borun Önemi

Doğal bir mineral olan borun Türkiye'deki yatakları, rezerv ve tenör bakımından tüm dünyada rakipsizdir. Doğada çeşitli bileşikler halinde bulunan bor, işlenerek saf hale getirilebilmektedir. Doğada bulunan bazı önemli bor minerali türevleri ise boraks, üleksit ve kolemanittir. Türkiye, dünyanın en büyük boraks, üleksit ve kolemanit yataklarına sahiptir. Tüm dünya ülkeleri, kolemanit üretimi yönünden tamamen, üleksit üretimi yönünden ise kısmen Türkiye'ye bağımlıdır [3]. Endüstride ise boratlar, borik asit içeren veya temin eden herhangi bir bileşik olarak tanımlanırlar. Çok sayıda mineral borik asit içerir, fakat tüm dünyada ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır: boraks, kolemanit ve üleksit, (Şekil 2.1). Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacının yaklaşık % 90'ını karşılayan başta Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere çok sınırlı sayıdaki ülkelerde üretilmektedir [4].



(a)

(b)

(c)

**Şekil 2.1** : Doğada bulunan önemli bor mineralleri: (a) Boraks, (b) Kolemanit, (c) Üleksit.

Bor ve bor ürünlerinin katma değerleri çok yüksektir. Kullanım alanları bakımından stratejik öneme sahiptirler. Dünyada bilinen bor rezervleri Şekil 2.2'de bulunan dünya haritası üzerinde oranları ile birlikte verilmiştir. Türkiye borat üretiminde önder ülke olabilmek amacıyla son yıllarda ABD ile rekabet etmede büyük adımlar atmıştır [1]. Bor ve borat mineralleri, bugünün modern endüstrisinde geniş kullanım alanları bulmaktadır.



**Şekil 2.2:** Dünya Bor Rezervleri

Ekonomik ve ticari boyuttaki üleksit ve kolemanitin büyük bir kesimi Bigadiç ve Emet bölgelerinden ve bunlara ek olarak boraks, Kırka'da bulunan büyük boyuttaki yataktan üretilmektedir. Boratlar, olağan olarak borik asit veya  $B_2O_3$  içeriği ile tanımlanır ve satılırlar [5]. En önemli istatistiksel veriler  $B_2O_3$ /Ton olarak listelenmektedir. Endüstride satılan ürünlerden en önemlileri boraks pentahidrat ve borik asittir [6].

## 2.2 Borun Özellikleri

### 2.2.1 Fiziksel özellikleri

Bor, kelime kökeni olarak Arapça buraq/baurach ve Farsça'da burah kelimelerinden gelen bir elementtir [1]. İlgi çekici ve yarı şeffaf bir görünümü vardır, bileşik halinde bulunduğu için rengi hafif farklılıklar gösterebilir ve tiftikli yüzeyi vardır, (Şekil 2.3). Doğada az bulunan ve duyarsız elementlerden birisi olan bor, yerkabuğunda ortalama 10 ppm'den (adet/milyon) az olarak bulunmaktadır. Bor elementinin yer kabuğundaki genel dağılımı çok az olmasına karşın, belli ortamlardaki bor konsantrasyonlarının çok fazla orandaki artışı, ekonomik bor yataklarının oluşumunu sağlamıştır. Türkiye borat yataklarının ayrıntılı mineralojileri önemli derecede farklılıklar göstermektedir. Yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka dışındaki tüm borat yataklarında egemen mineraldir. Üleksit (sodyum + kalsiyum borat) ve boraks (sodyum borat) önemli borat mineralleridir. Boraks yalnızca Kırka'da gözlenmektedir [2].



iki adet dengeli izotopa sahiptir [11]. Bor izotoplarının doğada bulunuş miktarları bölgelere göre farklı olmasına rağmen, bilinen bor yataklarındaki B10 miktarı A.B.D. California'da düşük, Türkiye'de ise yüksektir.

Doğadaki yaklaşık 150 mineralin bor elementi içerdiği bilinmesine rağmen, ticari açıdan değerlendirilen bor mineralleri tinkal, kolemanit, probertit, üleksit, kernit ve szaybelite olarak sınırlı sayıdadır [12]. Ticari önem taşıyan bor mineralleri ve bulunduğu ülkeler, Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.

**Çizelge 2.1 : Ticari önem taşıyan bor mineralleri [12].**

| Mineral               | Ortak/alternatif adı                                | Formülü                                                                | % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Bulunduğu yer                |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| <b>Na Boratlar</b>    |                                                     |                                                                        |                                 |                              |
| Kernit                | Rasorit                                             | Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .4H <sub>2</sub> O       | 51,00                           | A.B.D.                       |
| Tinkal                | Doğal Boraks,                                       | Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O      | 36,50                           | A.B.D., Türkiye, Çin         |
| Tinkalkonit           | Boraks dekahidrat<br>Mohavit, Boraks<br>pentahidrat | Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .5H <sub>2</sub> O       | 47,80                           | Arjantin                     |
| <b>Ca Boratlar</b>    |                                                     |                                                                        |                                 |                              |
| Kolemanit             | -                                                   | Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O      | 50,80                           | Türkiye, A.B.D., Arjantin    |
| Datolit               | -                                                   | CaBSiO <sub>4</sub> (OH)                                               | 21,80                           | Rusya                        |
| İnyoit                | -                                                   | Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .13H <sub>2</sub> O     | 37,60                           | Arjantin                     |
| Priseit               | Pandermit                                           | Ca <sub>4</sub> B <sub>10</sub> O <sub>19</sub> .7H <sub>2</sub> O     | 49,80                           | Türkiye                      |
| <b>Ca-Na Boratlar</b> |                                                     |                                                                        |                                 |                              |
| Probertit             | Kramerit                                            | NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .5H <sub>2</sub> O                   | 49,60                           | Türkiye, Şili,               |
| Üleksit               | Boronatrokalsit                                     | NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O                   | 43,00                           | Peru, Arjantin, Bolivya, Çin |
| <b>Ca-Mg Boratlar</b> |                                                     |                                                                        |                                 |                              |
| Hidroborasit          | -                                                   | CaMgB <sub>6</sub> O <sub>8</sub> (OH) <sub>6</sub> .3H <sub>2</sub> O | 50,50                           | Arjantin, Çin                |
| <b>Mg Boratlar</b>    |                                                     |                                                                        |                                 |                              |
| Borasit               | Stassfurit                                          | Mg <sub>6</sub> B <sub>14</sub> O <sub>26</sub> C <sub>12</sub>        | 62,20                           | Çin                          |
| Szaybelite            | Askerit                                             | MgBO <sub>3</sub> (OH)                                                 | 41,40                           |                              |

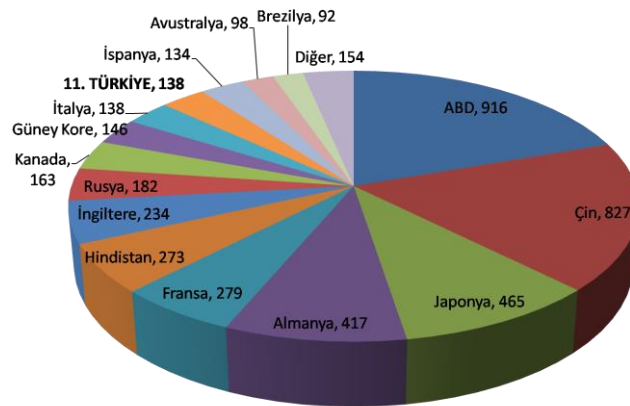
## 2.3 Borun Tarihçesi

### 2.3.1 Dünyada bor

Elementel bor 1808 yılında Fransız Kimyacı Gay Lussac, Thenard ve İngiliz Kimyacı Sir Humphry Davy tarafından aynı zamanda elde edilmiştir. Bu bilim adamları saflığı % 50'den fazla olmayan koyu renkli ve yanıcı özellik gösteren bor elementini elde etmeyi başarmışlardır [13]. 1895 yılında Henri Moissan borik oksit ve magnezyumu indirgeme işlemine tabi tutarak yaklaşık % 86 saflıkta ve yüksek

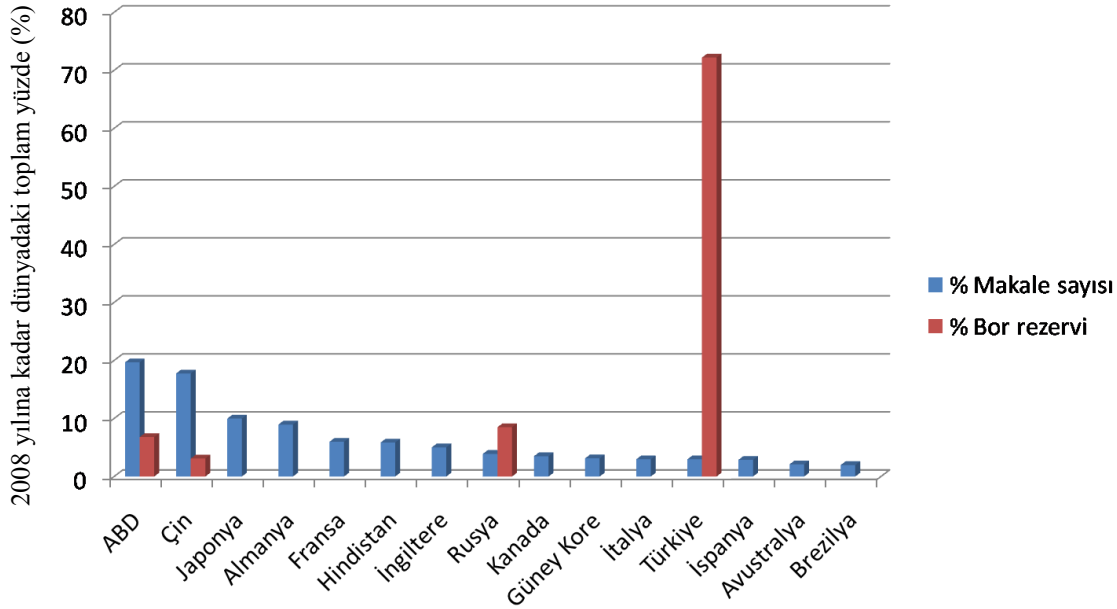
miktarda elementel bor elde edebilmiştir. Moissan prosesi günümüzde de ticari olarak düşük saflıkta bor elementi eldesinin temelini oluşturmaktadır [14]. 1909 yılında Weintrauss BCl<sub>3</sub> bileşiğin bir elektrik ark ocağında ergiterek % 99 saflıkta bor elementi elde etmiştir. Bu tarihten sonra da yüksek saflıkta bor elementi eldesi için yeni yöntemler geliştirilmesine devam edilmiştir. Bor içeren doğal minerallere genel olarak boratlar denilmekte ve boratlar insanoğlu tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır. Arapça'da boraks anlamına gelen "baurach" sözcüğüne 2000 yıl öncesinden kalan eski İran ve Arabistan'daki el yazmalarında rastlanılmaktadır. Boraks dekahidrat kimyasal bileşiğinin doğal hali olan tinkal ise Sanskritçe'de boraks anlamına gelen tincana'dan türemiştir [15]. Boratların M.Ö. 300 yıllarından kalan Çin seramiklerinde ve Babil uygarlığı zamanından önce altın dökümü için ergitici olarak kullanıldığı bilinmektedir. Marco Polo 13. yüzyılın sonlarında boraksı Tibet'ten Avrupa'ya getirmiş ve bu tarihlerde boraks lehimleme ve sırlama malzemesi olarak kullanılmaya başlamıştır. Türkiye'deki boratlar ise 13. yüzyıldan bu yana bilinmesine rağmen son zamanlara kadar çok az miktarda kullanılmıştır. 1772 yılında İtalya'nın Tuscany bölgesindeki sıcak su kaynaklarında doğal borik asit olan sasolit minerali keşfedilmiştir. 1836 yılında ise Şili ve Arjantin'deki boratlar bulunmuş ve bu yataklar 19. Yüzyılın sonlarına kadar Dünyada bor elde edilen en büyük kaynaklar haline gelmiştir. 1864 yılında A.B.D.'nin California ve Nevada eyaletlerindeki bor madeni yatakları keşfedilmiştir [16].

Bilim Stratejileri Araştırma Kurulu'nun 2008 yılında yaptığı araştırmaya göre bor ve bileşikleri üzerine dünyada 4656 adet makale yayınlanmış olup, ülkelere göre dağılımı Şekil 2.5'te verilmiştir [17]. Türkiye'nin ise 138 adet makale ile tüm ülkeler arasında 11. sırada olduğu görülmektedir.



**Şekil 2.5 :** Ükelere göre bor hakkında yazılmış akademik makale dağılımı [17].

Bor rezervi ile akademik makale sayısı karşılaştırması yapılan Şekil 2.6’da ise, bor rezervi olmayan ülkelerin, bor hakkında Türkiye’den daha fazla makale yayımladıkları açıkça görülmektedir.



Şekil 2.6 : 2008 Yılı akademik makale dağılımı ile bor rezervi karşılaştırması [17].

### 2.3.2 Türkiye’de bor

1850’li yılların başında, Bebek’te mermer işleri ile uğraşan Polonyalı mülteci Henry Groppler eski ortağı Fransız mühendis Camille Desmazes’e alçı taşından yapıldığını sandığı heykeller hediye etmiştir. Heykellerde yüksek oranda boraks olduğunu anlayan Fransız Camille Desmazes, ortağı ile birlikte Türkiye’de boraks aramaya başlamış ve Balıkesir ili Susurluk ilçesi yakınlarındaki Sultan çayırı mevkiinde bulmuşlardır. Buldukları “pandermit” adı verilen bir bor minerali türüdür [18]. Fransızlar, pandermitin işletilmesi için 1856 yılında Sultandan 37 dönüm arazi üzerine “alçıtaşı” madeni çıkarmak üzere 20 sene süreli işletme izni almışlardır [19]. Bor Osmanlı döneminde yabancı firmalar tarafından “alçıtaşı” olarak işletilmiştir.

1950 yılında Sultan çayırındaki cevherler Desmond Aber Smith’den 3/12002 sayılı Kararname ile bu yıllarda dünya tekeli firma durumundaki Borax Consolidated Ltd’ye devredilmiştir. Borax Consolidated 1951 yılında 11.000 tona yakın ihracat yapsa da 1954 yılında bor cevherinin tükendiğini ileri sürerek, Sultan çayırı ocağını kapatmıştır [20]. Ancak piyasalardaki düşük tenorlu cevherin satışını 1961 yılına

kadar sürdürerek Türkiye'deki faaliyetlerine devam etmiştir. 14 Haziran 1935 tarihinde kurulan Etibank da bor madenleri ile ilgisini sürdürmektedir [21].

Maden Tetkik ve Arama (MTA)'nın Kütahya/Emet yöresinde Tersiyer Linyit Arama adı altında yürüttüğü çalışmalarda kolemanit yatağı bulunmuştur. İlk jeolojik tespitlerden sonra alınan ruhsat 15 Mayıs 1958 de Etibank'a devredilmiştir. Etibank ruhsatı aldıktan sonra 1958 ve 1959 yıllarında aramalarını sürdürürken üretime de geçmiştir [22].

Etibank tarafından bu yatakları işlemek için gerekli çalışmalara 1969 yılında başlanarak 1970 yılında tesisler kurulmaya başlanmıştır. Balıkesir'in Bigadiç ilçesi yakınlarında da 1950 yılından beri bor tuzu (kolemanit ve üleksit) üretilip ihraç eden Türk girişimcileri (Bortas, Ali Sayakcı, Rasih-İhsan, Yakal Madencilik) bulunmaktaydı. 1976 yılında burada faaliyet gösteren Fransız KEMAD Ltd. (Kimya Endüstri Madenleri Ltd. Şti.)'nin saha sınır anlaşmazlığı nedeniyle Bakanlar Kurulu Kararıyla 13.02.1976'da Tulu Açık İşletmesinin bulunduğu sahanın Etibank'a verilmesi ile Etibank bölgede madencilik faaliyetlerine başlamış ve 08.04.1976 tarihinde Emet Müessesesine bağlı "Etibank Bigadiç Madenleri İşletmesi Şantiyesi" kurulmuştur. Bursa Mustafa Kemalpaşa'da Kestelek civarındaki bor tuzu yatakları (Kolemanit), MTA Enstitüsünün Linyit Araştırmaları esnasında 1954 yılında bulunmuştur. Diğer tüm bor tuzu sahalarının imtiyazı hakkında olduğu gibi 4 Ekim 1978 tarih ve 2172 sayılı Devletçe işletilecek Madenler ile ilgili yasa gereği 21.08.1979 tarihinde saha o tarihteki adı ile Etibank'a devredilmiştir. Bugün için bu görev 1983 yılında çıkartılan 2840 sayılı Devletçe işletilecek madenler kapsamında Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir [23]. Günümüzde Türkiye genelinde bor madenleri Şekil 2.7'de belirtildiği üzere; Bursa, Balıkesir, Eskişehir ve Kütahya illerinde bulunmakta ve çıkarılmaktadır.



**Şekil 2.7 : Türkiye’de bulunan bor madenleri**

#### **2.4 Dünyada Bor Rezervi, Üretimi ve Satış Dağılımı**

Endüstride çok yaygın ve çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olan bor bileşiklerinin önemi ve kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde 400'den fazla üründe vazgeçilmez bir element olarak kullanılmaktadır [24]. Kullanım alanları incelendiğinde; seramik sanayisinden deterjan sanayisine, yanmaz kumaş üretiminden hap ve ilaç sanayisine, diş macunlarından yanık kremlerine, yat sanayisine kadar günlük hayatımızın hemen her yerinde borun kullanıldığını görmek mümkündür. Örneğin bor; camlarda, motor yağlarında ve çelik jantlarda, araba boyalarının içinde, parlaklığı ve çizilmeye karşı dayanımı artırıcı olarak kullanılmaktadır. Lastiklerin içindeki çelik teller de borla güçlendirilmektedir. Bilgisayarlardan mp3'lere kadar, bilgi akışını kesintisiz sağlayan ince optik lifler de bor sayesinde güçlendirilmektedir. Tarım ilaçlarında ve gübrelerde, gıda ve hamur işi yapılan kalıplarda da bor kullanılmaktadır.

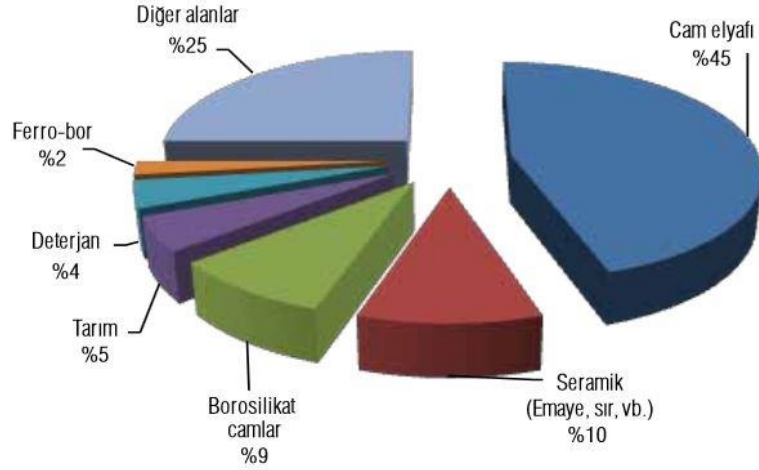
Dünyada yıllık bor tüketiminin kullanıldığı alanlar yüzde olarak; %41 izolasyon, fiberglas ve tekstil sanayisi, %13 seramik ve bileşikleri sanayisi, %12 deterjan ve temizlik sanayisi, %8 metalürji sanayisi, %7 tarım sanayisi ve %19 diğer sahalarda olmak üzere kategorilendirilmiştir [25]. Çizelge 2.2'de dünyadaki bor madeni toplam rezervleri ve bulunduğu ülkeler gösterilmektedir. Borat ise dünya genelinde en çok cam ve seramik üretiminde kullanılmaktadır [26].

**Çizelge 2.2 : Dünya bor rezervi miktarları [27].**

| Ülke                                                                                                                    | Toplam Rezerv (bin ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | Toplam Rezerv (% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Türkiye                                                                                                                 | 955.297                                                | 72                                               |
| ABD                                                                                                                     | 80.000                                                 | 6                                                |
| Rusya                                                                                                                   | 100.000                                                | 8                                                |
| Çin                                                                                                                     | 47.000                                                 | 4                                                |
| Arjantin                                                                                                                | 9.000                                                  | 0,6                                              |
| Bolivya                                                                                                                 | 19.000                                                 | 1,4                                              |
| Şili                                                                                                                    | 41.000                                                 | 3                                                |
| Peru                                                                                                                    | 22.000                                                 | 1,5                                              |
| Kazakistan*                                                                                                             | 36.000                                                 | 2,5                                              |
| Sırbistan                                                                                                               | 16.200                                                 | 1                                                |
| İran                                                                                                                    | 1.000                                                  | -                                                |
| <b>Toplam</b>                                                                                                           | <b>1.326.497</b>                                       | <b>100</b>                                       |
| *Kazakistan bor rezervi miktarı farklı kaynaklarda farklı olarak belirtilmesinden dolayı ortalama bir rakam alınmıştır. |                                                        |                                                  |

## 2.5 Borun Kullanım Alanları

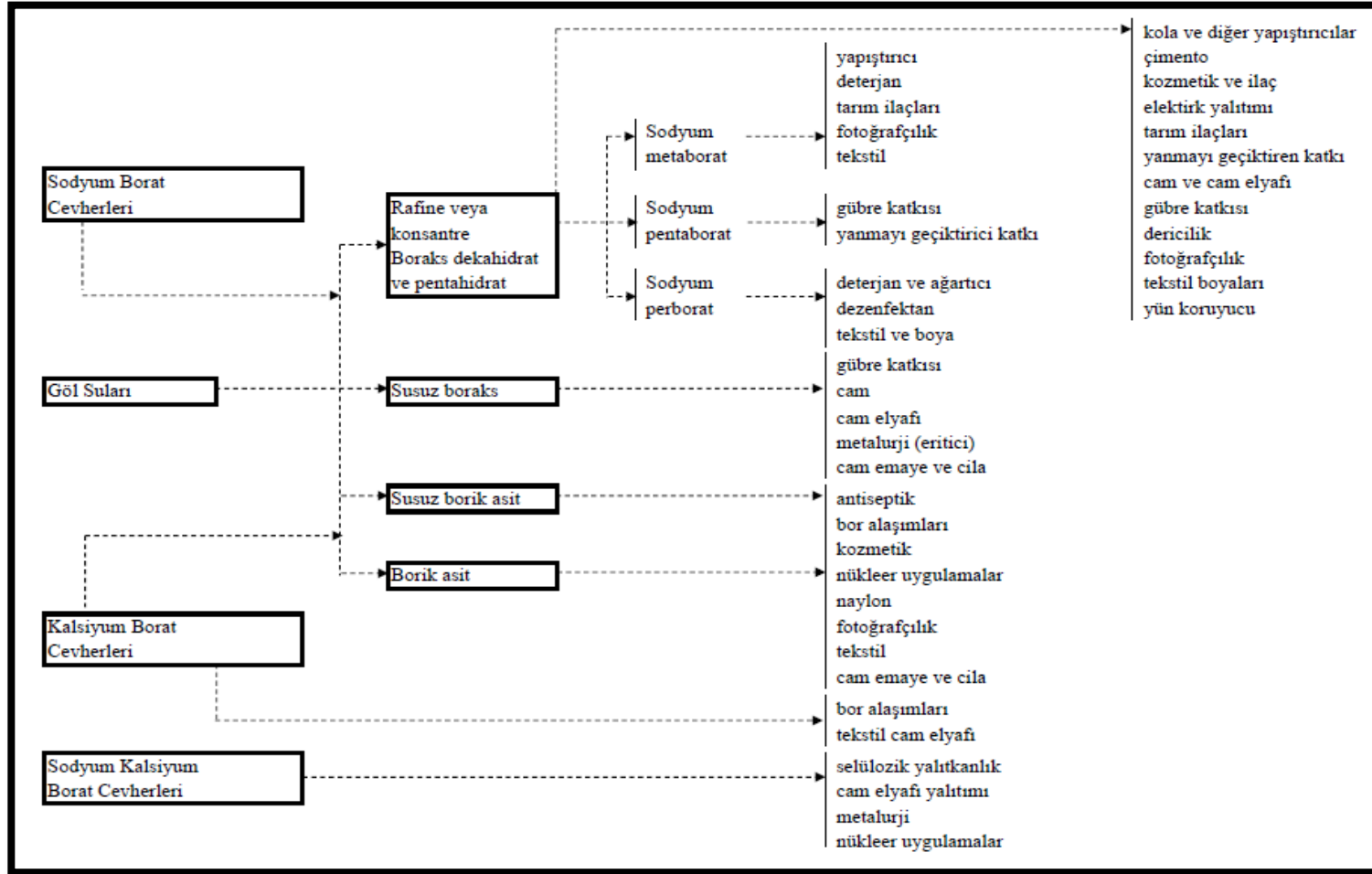
Bor, bor alaşımları, bor tuzları ve organometalik bor kompleksleri hem kendi başlarına ileri teknoloji malzemesi olarak kullanılır hem de başka maddelere katılarak, maddeye ileri teknoloji malzemesi özelliği kazandırır. Bor ürünleri hafifliği, gerilmeye karşı olan direnci ve kimyasal etkilere dayanıklılığı nedeniyle plastiklerde, sanayi elyafı üretiminde, lastik ve kâğıt endüstrisinde, ısıya dayanıklı cam gereçleri üretiminde, tarımda, nükleer enerji santrallerinde, roket yakıtlarında, sert çelik üretiminde, emaye ve porselen sırlarının üretiminde, ilaç, kimya ve kozmetik sanayisinde, fotoğrafçılıkta, boya, dericilik ve çimento sanayisinde kullanılmaktadır [27]. Dünyadaki borun genel tüketim alanları dağılımı Şekil 2.8’de verilmiştir.



**Şekil 2.8:** Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı

Dünyada üretilen bor cevherlerinin ancak % 10'u direkt olarak kullanım alanı bulurken, cevherlerin geriye kalan kısmı bor rafine ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Şekil 2.9'da genel olarak bor mineral ve bileşiklerinin kullanım alanları özetlenmiştir. Dünya bor tüketiminin yaklaşık olarak % 80'ini A.B.D. ve Batı Avrupa ülkeleri yapmaktadır [28]. Ülkemizde ise bor mineralleri üretiminin % 80 – % 90'ı rafine bor ürünlerinin üretiminde geriye kalan bor mineralleri ve ürünleri ise en çok kimya ve cam sanayiinde kullanılmaktadır. Genel olarak ülkemizde bor tüketimi çok düşük seviyelerde olup, üretilen bor cevherleri ve ürünlerinin büyük bir kısmı ihraç edilmektedir [29].

Çeşitli alanlarda ekonomik olarak kullanılan bor minerali ve bileşiklerinin kullanım alanları günlük yaşamımıza ve sanayinin her alanına girmiş olup, gün geçtikçe daha da artmaktadır. Tüketimde kullanım alanları bölgelere göre önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Avrupa'da en fazla bor tüketimi çok büyük bir farkla deterjan sanayinde kullanılan Sodyum Perborat üretiminde olurken, Kuzey ve Orta Amerika'da fiberglas alanında olmaktadır. Japonya'daki tüketimin ise tekstil ürünlerinde kullanılan borlu fiberlerde olduğu tahmin edilmektedir, [13].



Şekil 2.9: Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları [26].



### **3. YAPI MALZEMESİNDE KULLANILAN BOR TÜREVLERİNİ İNCELEYEN ÇALIŞMALARIN ANALİZİ**

Dünya rezervinin büyük bölümünün bulunduğu Türkiye’de, hammadde olarak çıkarılan borun ülke içerisinde son ürün olarak değerlendirilmesi hem hammaddenin zenginleşmesi açısından hem de malzeme performansına kattığı pozitif özelliklerden faydalanılması adına büyük önem arz etmektedir.

Bor, yapı malzemeleri alanında ürünlere kattığı özellik neticesinde; çimento, seramik ve karo, ahşap ve ahşap kompozit ve metal sanayilerinde kullanıldığı ve kullanılabileceği yapılan analizler sonucunda ortaya çıkmıştır.

Bu bölümde, borun bir katkı malzemesi olarak kullanımına yönelik yapılmış olan araştırmalar; çimento sanayisi, zemin ve duvar kaplama malzemeleri, ahşap ve ahşap kompozit malzemeler ile metal sanayisi olacak şekilde gruplandırılmış ve borun malzeme performansını artırma türüne göre ayıklanarak içerik açısından kapsamlı olan deneysel çalışmalar seçilerek analiz edilmiştir.

#### **3.1 Çimento Sanayisinde Bor Kullanımına Yönelik Çalışmalar**

Çimento sanayisi alanında yapılmış olan ve bu bölümde analiz edilen çalışmalardan da görüleceği üzere çimento sanayisinde bor kullanımı ürünün pişme sıcaklığında düşme, mukavemetinde artma, üretim maliyetini düşürme, hidrasyon ısısında azalma, yüksek nötron tutma özelliği ile radyasyona karşı koruma, çevre kirliliğinde düşme ve hammaddede tasarruf sağladığı ve ürünün kalitesinin arttırdığı saptanmıştır. Bor katkılı çimento ve Türkiye’ de bor katkılı çimento ile yapılmış olan bazı yapı örnekleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



(a) Bor katkılı çimento



(b) Karabük HES projesi



(c) Çankırı granit fabrikası



(d) Düzce otoyolu



(e) Eskişehir termik santrali



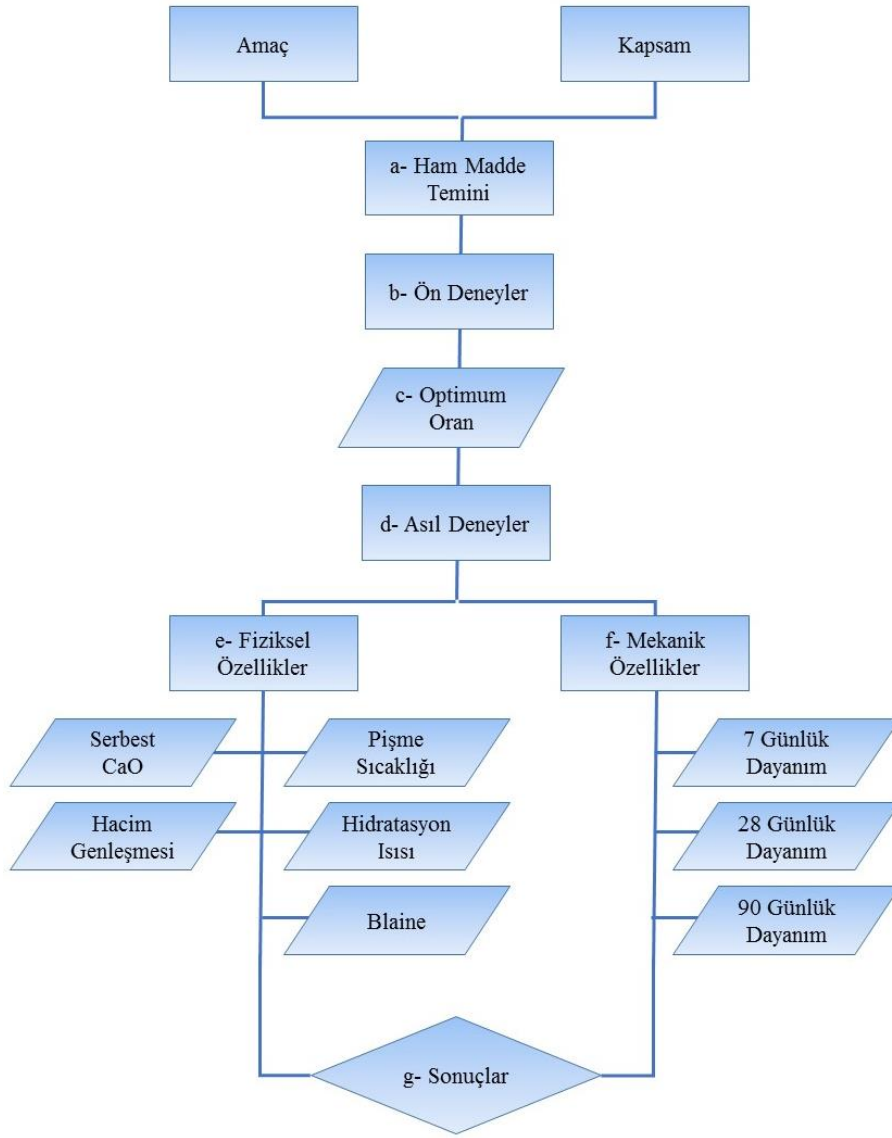
(f) Akçakoca otoyolu

### Şekil 3.1 : Bor katkılı çimento ve bor katkılı çimento ile yapılmış bazı projeler

TÇMB ile ortaklaşa yürütülmüş olan çimentoda bor kullanımı projesi; laboratuvar ölçeğinde 04.10.2004 tarihinde başlatılmış, 22.01.2007 tarihinde tamamlanmış ve Borlu Çimento'ya ait TS 13353 Türk Standardı alınmıştır [27].

#### 3.1.1 Çimento üretiminde bor katkısının pişme sıcaklığı ve dayanıma etkisi

Bor katkısının, çimentonun pişme sıcaklığı ve dayanım özelliklerine etkisinin tespiti için TÇMB AR-GE enstitüsü tarafından yapılmış olan “Klinker üretiminde kolemanit kullanımının araştırılması ve çimento endüstrisinde kullanılabilirliği [28]” isimli deneysel çalışma analiz edilmiştir. İncelenen çalışmada klinker üretiminde bor mineralleri kullanılarak klinker üretim sıcaklığının düşürülmesi ile bu şekilde elde edilen çimentoların özelliklerinin tespiti yapılmış ve pişme sıcaklığının düşürülmesi yolu ile enerji tasarrufunun sağlanması ve dayanıklılığı yüksek çimento elde edilmesi hedeflenmiştir. İncelenen çalışmanın içeriğini özetleyen akış şeması Şekil 3.2’de belirtilmiştir.



**Şekil 3.2 : Akış şeması.**

- a- Oluşturulan numunelerde, düşük tenörlü Balıkesir - Bigadiç ocaklarından alınan kolemanit kullanılmıştır.
- b- Farklı oranlarda saf bor ve bor türevi olan kolemanit katkısı ile çimento numuneleri oluşturularak optimum bor oranı tespit edilmiştir.
- c- Yapılan denemeler sonucunda optimum oranın %2,5 olduğu anlaşılmıştır.
- d- Bor katkı maddesi olarak optimum oranda çok sayıda numune hazırlanarak deneyler ve testler yapılarak sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.
- e- Numunelerin test edilen fiziksel özelliklerine bakıldığında;
  - Normal portland çimentosu pişme sıcaklığı 1400 – 1500 C arasında iken, borlu çimentonun pişme sıcaklığının 1325 C (bkz. tablo-3) olduğu

görülmektedir. Bu sonuca göre; bor katkısı, çimento üretiminde harcanan ısı enerjisinin önemli miktarda azalmasını sağladığı için, üretimde karbon emisyonunu düşürerek çevre korumada etkin bir rol oynamaktadır.

- Numunelerin hidrasyon ısılarına bakıldığında ise normal portland çimentosuna kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür.
- Çimentodaki serbest CaO miktarı ise kolemanitli olan numunelerde daha düşük olduğu tespit edilerek tüm numunelerde standartların içerisinde kaldığı görülmüştür.
- İçerisindeki serbest CaO (kireç) miktarına bağlı olarak, kolemanit katkılı ürünlerin hacim genleşmesi daha düşük olarak pozitif bir özellik sergilediği belirlenmiştir.
- Bir gram çimentoyu oluşturan tüm taneciklerinin kapladığı yüzey alanını ifade eden bir tür incelik ifadesi olan blaine (özellik yüzey) özelliğine bakıldığında ise, yoğunluğun iyi derecede olduğu ve normal portland çimentosu özelliklerinde olduğu görülmüştür.

f- Mekanik özellikleri ise,

- Saf bor katkılı numunelerin 7 günlük basınç dayanım değerleri 9-25 Mpa, Kolemanit katkılı olarak üretilen numunelerin 7 günlük basınç dayanım sonuçlarının ise 14 ile 37 MPa arasında değiştiği görülmüştür.
- Yine saf bor katkılı çimentoların 28 günlük dayanım değerleri 50-75 MPa arasında değiştiği gözlemlenirken, kolemanit katkılı olan 9 no'lu çimentodan 28 gün sonunda 74 MPa dayanım elde edilmiştir [28]. Bu sonuçla kolemanitli çimentonun, normal portland çimentosundan daha fazla dayanıma sahip olduğu ve 28 günlük basınç dayanım aralığının azaldığını, başka bir deyişle, malzeme mukavemetinin daha stabil hale getirdiği kanıtlanmıştır.

g- Yapılmış olan deneylerin karşılaştırmalı sonuç değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında, bor ve kolemanit minerallerinin çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabileceği, ayrıca son ürün olan betonun özelliklerini iyileştirerek inovatif bir özellik kattığı görülmektedir. Yapılmış olan çalışmada, bazı numunelerin 28 ve 90 günlük

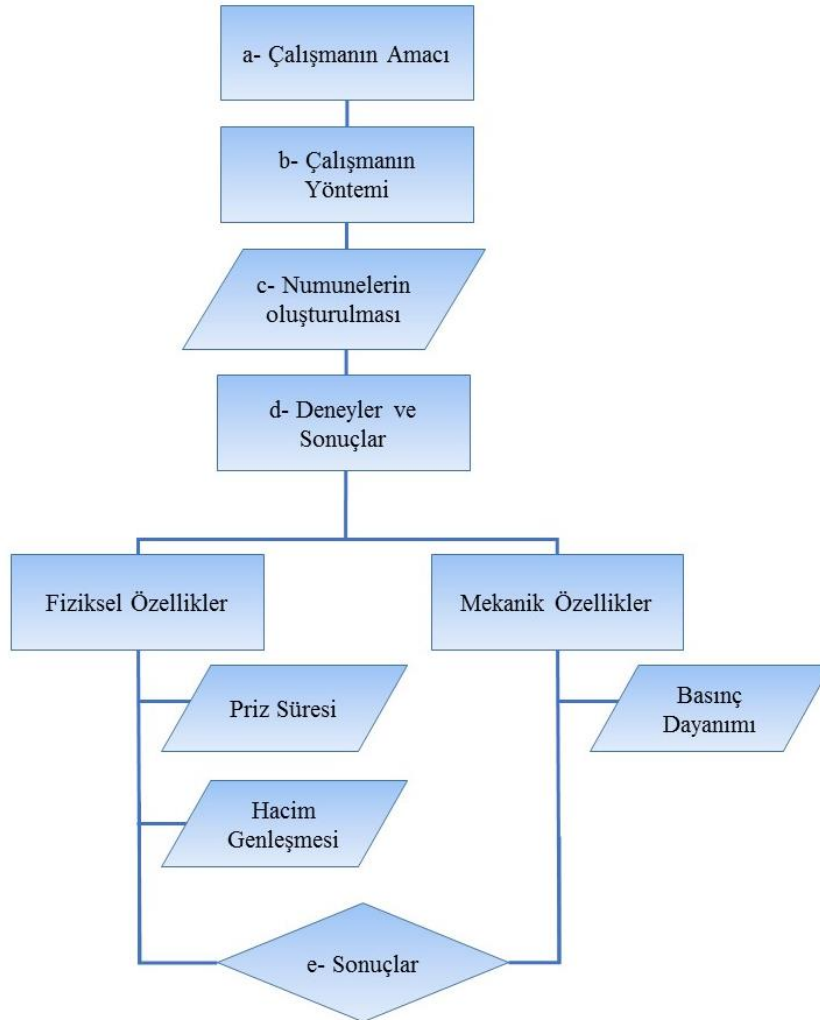
dayanım sonuçlarının verilmemiştir. Bu eksikliğin deneylerin henüz tamamlanmamasından kaynaklandığı belirtilmiş olup, çalışmada pişme sıcaklığı, 7 günlük dayanım ve çimento bünyesinde bulunan serbest kalsiyum oksit oranı analiz sonuçlarının tamamına yer verilmiştir. 28 ve 90 günlük dayanım haricinde elde edilen verilerin, borun iyileştirici özelliğini kanıtlamakta yeterli olduğu görülmektedir.

**Çizelge 3.1 :** Laboratuvar şartlarında üretilen bazı borlu klinker ve çimentoların komple analiz sonuçları [28].

| Özellik                                              | Saf B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'lü |      |      |      |      | Kolemanitli |      |      |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| Numune No                                            | 1                                     | 3    | 4    | 5    | 6    | 7           | 8    | 9    |
| <b>Pişme Sıcaklığı<br/>T (°C)</b>                    | 1350                                  | 1350 | 1325 | 1325 | 1325 | 1325        | 1325 | 1325 |
| <b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>                | 3,0                                   | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5         | 2,5  | 2,5  |
| <b>Klinker LSF</b>                                   | 86,0                                  | 88,7 | 88,0 | 84   | 88,7 | 88,7        | 89,6 | 89,2 |
| <b>Hidratasyon Isısı<br/>(cal/gr)<br/>(7 Günlük)</b> | -                                     | -    | -    | 34,6 | 38,3 | 52,1        | 31,1 | -    |
| <b>Ser. CaO (%)</b>                                  | 0,84                                  | 1,38 | 1,40 | 0,17 | 0,17 | 0,21        | 0,24 | 0,31 |
| <b>Hacim<br/>Genleşmesi (mm)</b>                     | 1                                     | 4    | 9    | 1    | 1    | 0           | 1    | 2    |
| <b>Blaine (cm<sup>2</sup>/g)</b>                     | 3270                                  | 3290 | 3170 | 3380 | 3200 | 3150        | 3420 | 3250 |
| <b>7 Gün. Dayanım<br/>(MPa)</b>                      | 8,5                                   | 10,6 | 24,6 | 14,4 | 21,6 | 24,7        | 31,7 | 37,2 |
| <b>28 Gün. Dayanım<br/>(MPa)</b>                     | 50,3                                  | 61,1 | 75   | -    | -    | -           | -    | 74,2 |
| <b>90 Gün. Dayanım<br/>(MPa)</b>                     | 68,5                                  | -    | -    | -    | -    | -           | -    | -    |

### 3.1.2 Çimentonun priz süresi, hacim genleşmesi ve basınç dayanımı özelliklerinin bor katkısı ile ilişkisi

Çimento bünyesinde katkı maddelerinin kullanılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi, hammadde kaynaklarında tasarruf edilmesi ve çevre kirliliğinin azaltılması gibi ekonomik ve ekolojik faydalar sağlamaktadır. Çimento bünyesinde bor katkısı kullanımının çimentodaki priz süresi, hacim genleşmesi ve basınç dayanımına etkisinin araştırılması için Gazi, Dumlupınar ve Muğla üniversitelerinin kimya bölümlerinin birlikte yürüttüğü “Bor endüstrisi atıkları, uçucu kül ve alümit içeren çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi [29]” isimli çalışma incelenmiştir. Analiz edilen çalışmada, bor mineralinin ve bor endüstrisi atıklarının çimentoda kullanılabilirliğine dikkat çekilmiş ve yapılmış olan deney sonuçlarına dayanarak optimum katkı oranı belirtilmiştir. İncelenen çalışmanın akış şeması Şekil 3.3’de özetlenmiştir.



**Şekil 3.3 : Akış şeması.**

- a- Ülkemizdeki bor işletmelerinin üretim sırasında milyonlarca ton bor atığı meydana getirmesi ve bu bor atıklarının ülkemize getirdiği ekonomik kayıp kadar çevre kirliliğinden dolayı, meydana gelen bor atıklarının kullanımı ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle bor endüstri atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Deneysel yöntemlerle, bor endüstrisinin atıkları olarak ortaya çıkan, kolemanit konsantratör, uçucu kül ve alünit mineralinin çimentoda katkı maddesi olarak kullanılmasıyla elde edilen çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyen bu çalışma analiz edilmiş ve sonuçlarından yararlanılmıştır.
- b- Kolemanit ve tinkal konsantratör atıklarının kimyasal bileşiminde bulunan sekiz oksit ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturmaktadır [29].
- Alünit minerali bağlayıcı özelliğinin olması, özel çimento ürünlerinde katkı maddesi olarak kullanılması ve hatta üretilmiş çimentoya katılabilmesinden dolayı çimento endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur [30]. Alünit katkılı çimentolar, hızlı sertleşen ve yüksek dayanım özelliklerine sahip çimentolar olarak bilinmektedir [31].
- c- Çalışmada uçucu kül katkılı, bor atığı katkılı, uçucu kül + bor atığı katkılı ve uçucu kül + bor atığı + alünit katkılı çimento numuneleri hazırlanmış ve üretilen katkılı çimentoların cinsleri ve kodu Çizelge 3.2’de verilmiştir. Daha sonra üretilen numunelerin priz süreleri, hacim genleşmesi değerleri ve basınç dayanımları analiz edilerek Türk Standartları’na uygunluğu incelenmiştir.

**Çizelge 3.2:** Üretilen katkılı çimentoların cinsleri ve kodu [29].

| <b>Çimentonun cinsi</b>                                                     | <b>Çimentonun kodu</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| %5 Uçucu kül katkılı çimento                                                | UKKÇ-5                 |
| %10 Uçucu kül katkılı çimento                                               | UKKÇ-10                |
| %15 Uçucu kül katkılı çimento                                               | UKKÇ-15                |
| %20 Uçucu kül katkılı çimento                                               | UKKÇ-20                |
| %25 Uçucu kül katkılı çimento                                               | UKKÇ-25                |
| <b>Çimentonun cinsi</b>                                                     | <b>Çimentonun kodu</b> |
| %1 Kolemanit konsantratör atığı katkılı çimento                             | KKAKÇ-1                |
| %3 Kolemanit konsantratör atığı katkılı çimento                             | KKAKÇ-3                |
| %5 Kolemanit konsantratör atığı katkılı çimento                             | KKAKÇ-5                |
| %7 Kolemanit konsantratör atığı katkılı çimento                             | KKAKÇ-7                |
| %9 Kolemanit konsantratör atığı katkılı çimento                             | KKAKÇ-9                |
| <b>Çimentonun cinsi</b>                                                     | <b>Çimentonun kodu</b> |
| %1 Kolemanit konsantratör atığı+ %4 Uçucu kül katkılı çimento               | KKAUKKÇ-5              |
| %3 Kolemanit konsantratör atığı + % 7 Uçucu kül katkılı çimento             | KKAUKKÇ-10             |
| %5 Kolemanit konsantratör atığı + % 1 O Uçucu kül katkılı çimento           | KKAUKKÇ-15             |
| %7 Kolemanit konsantratör atığı+ %13 Uçucu kül katkılı çimento              | KKAUKKÇ-20             |
| %9 Kolemanit konsantratör atığı + % 16 Uçucu kül katkılı çimento            | KKAUKKÇ-25             |
| <b>Çimentonun cinsi</b>                                                     | <b>Çimentonun kodu</b> |
| %1 Kolemanit konsantratör atığı+ %4 Uçucu k kül +% 1 Alünit katkılı çimento | KKAUKAKÇ-6             |
| %3 Kolemanit konsantratör atığı+ %7 Uçucu kül +% 1 Alünit katkılı çimento   | KKAUKAKÇ-11            |
| %5 Kolemanit konsantratör atığı+ %10 Uçucu kül +% 1 Alünit katkılı çimento  | KKAUKAKÇ-16            |
| %7 Kolemanit konsantratör atığı+ %13 Uçucu kül +% 1 Alünit katkılı çimento  | KKAUKAKÇ-21            |
| %9 Kolemanit konsantratör atığı+ %16 Uçucu kül +% 1 Alünit katkılı çimento  | KKAUKAKÇ-26            |

d- Fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel yöntem ile incelenen numunelerin test sonuçları Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3:** Üretilen katkılı çimentoların priz süreleri ve hacim genişmesi değerleri [29].

| Çimento kodu | Priz Süresi (saat: dakika) |              | Hacim genişmesi (mm) |         |        |
|--------------|----------------------------|--------------|----------------------|---------|--------|
|              | Priz Başlangıcı            | Priz Sonu    | Soğukta              | Sıcakta | Toplam |
| UKKÇ-5       | 02:45                      | 03:35        | 1                    | 1       | 2      |
| UKKÇ-10      | 02:55                      | 03:45        | 1                    | 1       | 2      |
| UKKÇ-15      | 03:05                      | 03:55        | 1                    | 0       | 1      |
| UKKÇ-20      | 03:30                      | 04:10        | 1                    | 0       | 1      |
| UKKÇ-25      | 03:50                      | 04:25        | 0                    | 0       | 0      |
| KKAKÇ-1      | 02:30                      | 03:10        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAKÇ-3      | 02:36                      | 03:25        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAKÇ-5      | 02:40                      | 03:40        | 1                    | 0       | 1      |
| KKAKÇ-7      | 02:45                      | 03:55        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAKÇ-9      | 02:55                      | 04:15        | 1                    | 0       | 1      |
| KKAUKKÇ-5    | 02:30                      | 03:05        | 0                    | 1       | 1      |
| KKAUKKÇ-10   | 03:10                      | 04:50        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAUKKÇ-15   | 03:50                      | 05:40        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAUKKÇ-20   | 04:20                      | 06:25        | 1                    | 0       | 1      |
| KKAUKKÇ-25   | 05:00                      | 07:40        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAUKAKÇ-6   | 03:00                      | 04:15        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAUKAKÇ-11  | 04:00                      | 05:30        | 1                    | 1       | 2      |
| KKAUKAKÇ-16  | 04:00                      | 09:45        | 2                    | 1       | 3      |
| KKAUKAKÇ-21  | 00:00                      | 13:00        | -                    | -       | -      |
| KKAUKAKÇ-26  | -                          | -            | -                    | -       | -      |
| TS 10156     | En az 1:00                 | En geç 10:00 |                      |         |        |

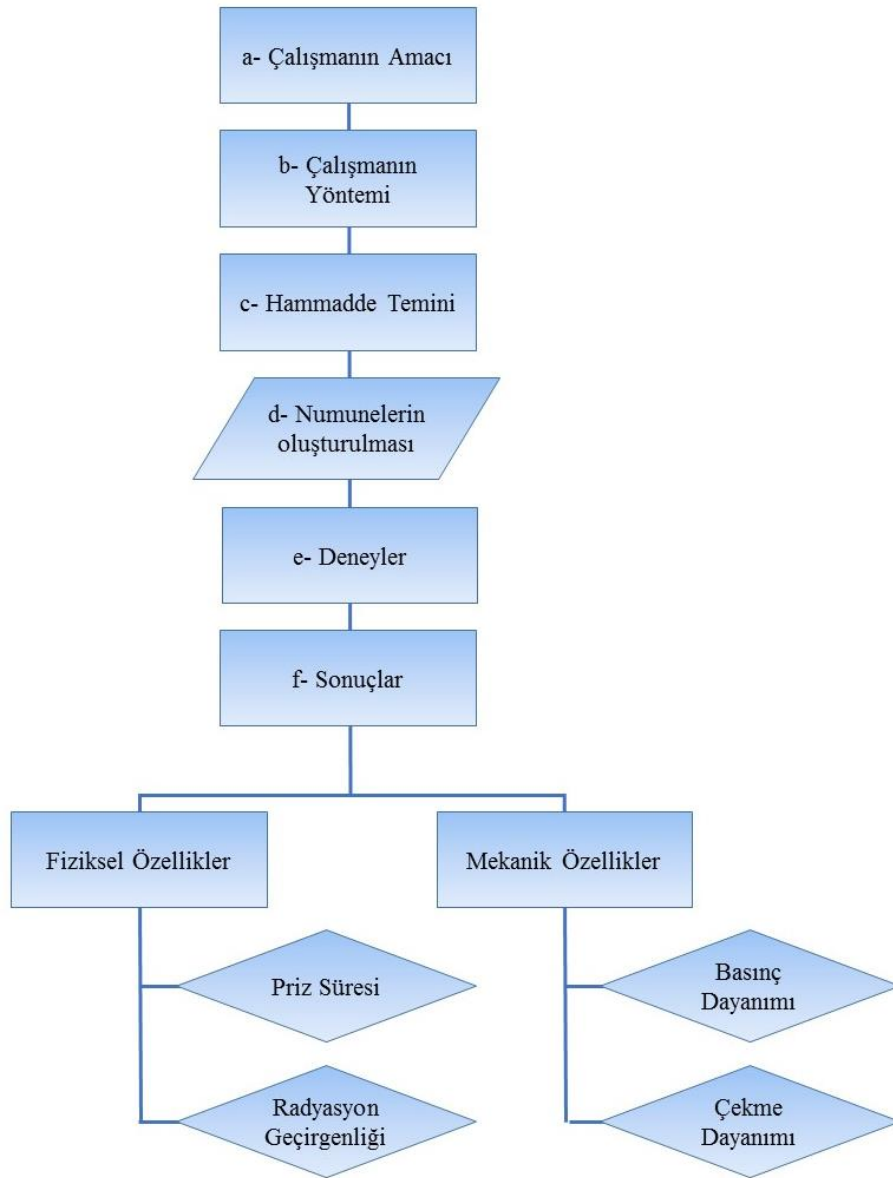
**Çizelge 3.4:** Üretilen katkılı çimentolardan elde edilen harçların basınç dayanımları [29].

| Çimento kodu | Basınç Dayanımı(N/mm <sup>2</sup> ) |       |        |
|--------------|-------------------------------------|-------|--------|
|              | 2 gün                               | 7 gün | 28 gün |
| UKKÇ-5       | 21,0                                | 33,5  | 47,4   |
| UKKÇ-10      | 17,6                                | 30,0  | 45,2   |
| UKKÇ-15      | 16,6                                | 37,6  | 45,1   |
| UKKÇ-20      | 14,7                                | 26,0  | 43,1   |
| UKKÇ-25      | 13,4                                | 23,8  | 40,6   |
| KKAKÇ-1      | 17,2                                | 32,0  | 45,5   |
| KKAKÇ-3      | 17,0                                | 30,5  | 43,1   |
| KKAKÇ-5      | 16,8                                | 27,6  | 41,5   |
| KKAKÇ-7      | 15,0                                | 26,8  | 37,3   |
| KKAKÇ-9      | 13,8                                | 24,5  | 34,5   |
| KKAUKKÇ-5    | 20,0                                | 32,9  | 46,5   |
| KKAUKKÇ-10   | 19,2                                | 31,0  | 45,4   |
| KKAUKKÇ-15   | 18,5                                | 28,6  | 44,6   |
| KKAUKKÇ-20   | 16,5                                | 27,2  | 42,6   |
| KKAUKKÇ-25   | 14,4                                | 25,0  | 41,8   |
| KKAUKAKÇ-6   | 18,2                                | 35,0  | 50,4   |
| KKAUKAKÇ-11  | 15,2                                | 34,9  | 49,1   |
| KKAUKAKÇ-16  | 12,2                                | 33,4  | 50,1   |
| KKAUKAKÇ-21  | 3,9                                 | 32,2  | 50,8   |
| KKAUKAKÇ-26  | -                                   | -     | -      |
| TS 10156     | >10,0                               | >21,0 | >32,5  |
| TS26         | >10,0                               | >21,0 | >32,5  |

- e- Yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde, üretilen numunelerin priz süreleri ve basınç dayanımlarının TS standartlarına uyduğu görülerek, çimento üretim maliyetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Çimentoda kullanılan hammaddenin bir miktarının yerine bor atıkları kullanılacağından çimento üretimi için kullanılan hammadde kaynaklarından tasarruf edildiği görülmüştür. Ayrıca bu şekilde üretilen çimentoların normal çimentolara göre çevreyi daha az kirlettiği görülerek ekolojik avantajı da yapılan çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır.

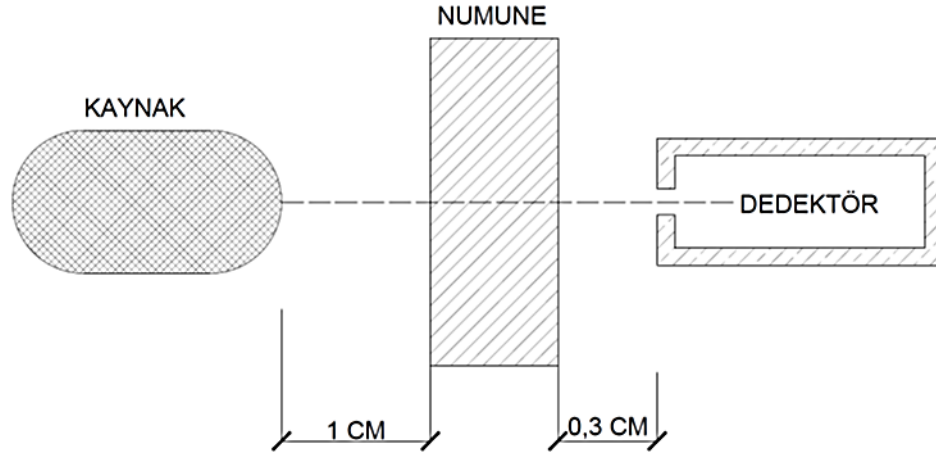
### 3.1.3 Çimentonun radyasyon geçirgenliği, basınç ve çekme dayanımı ile prizlenme süresine borun etkileri

Borojips, borik asit üretimi esnasında ortaya çıkan bir bor bileşiği atığıdır. Kolemanit konsantrasyon atığı ise, kolemanit cevherinin zenginleştirilmesi sırasında oluşan konsantrasyon atığıdır. Bu bölümde incelenen, Erzurum Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği ve Kimya Mühendisliği bölümlerinin ortak çalışmasıyla yapılmış olan “Borojips ve kolemanit konsantrasyon atığının çimentoda kullanılması [32]” bu çalışma, bor bileşiklerinin çimento sanayisinde kullanılabilirliğini ortaya koyma açısından önem arz etmektedir. Analiz edilen çalışmanın akış şeması, Şekil 3.4’te özetlenmiştir.



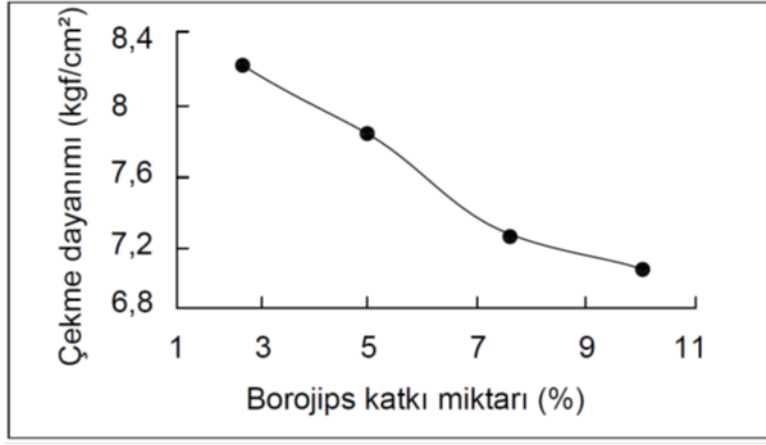
Şekil 3.4 : Akış şeması.

- a- Analiz edilen çalışmada; ülkemizde üretilen en önemli bor bileşiklerinden olan borik asidin üretimi sırasında oluşan ve borojips adı verilen atıklar ile başka bir bor bileşiği olan kolemanitin zenginleştirilmesi sırasında ortaya çıkan kolemanit konsantrasyon atığının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.
- b- Çalışmada, borojips ve kolemanit konsantrasyon atığının klinkere ilave edilerek elde edilen çimentoların prizlenme süreleri, basınç ve çekme dayanımları ile radyasyon geçirgenlikleri, deneysel yöntemler ile ölçülmüş ve standart portland çimentosu ile mukayese edilmiştir.
- c- Bu çalışma kapsamında Etibor A.Ş.'nin Bandırma tesislerinden temin edilen borojips ve Bigadiç konsantrasyon tesislerinden temin edilen kolemanit konsantrasyon atığı kullanılmıştır. Bu atıklar havada kurutulmuş ve 100 meş elekten geçecek şekilde öğütülmüşlerdir. Çalışmada kullanılan klinker, çimento ve modüler kum Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilmiştir [32].
- d- Öğütülmüş borojips %2.5, %5, %7.5, %10 ve %15 oranlarında klinkere katılarak değişik özelliklerde çimentolar elde edilmiş ve bu çimentoları standartlarda belirtilen miktarlarda su ve kum ile karıştırarak farklı harçlar hazırlanmıştır.
- e- Oluşturulan numune harçlar 4x4x12 cm boyutlarında standart kalıplara doldurulmuş, betonun kalıba tam oturması için vibrasyon işlemine tabi tutulmuştur ve vibratörden alınan betonun dış yüzeyi bir çelik cetvelle düzleştirilmiştir. Bu örnekler birinci hidratasyon için nemli bir ortamda (%90 neme doymuş) 24 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda kalıptan çıkarılan örnekler nihai hidratasyon için 7, 14 ve 28 gün boyunca içerisi kireçle doyurulmuş su bulunan havuzlarda bekletilmiştir. Hidratasyon işlemi sonunda örnekler uluslararası test cihazları kullanılarak çekme ve basınç dayanım testlerine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca, oluşturulan numunelerin ilk ve son prizlenme süreleri ölçülmüştür. Öte yandan hazırlanan örneklerin, Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümündeki mevcut düzenekle, radyasyon geçirgenlikleri ölçülmüştür. Kullanılan düzenek Şekil 3.5'te şematik olarak görülmektedir.

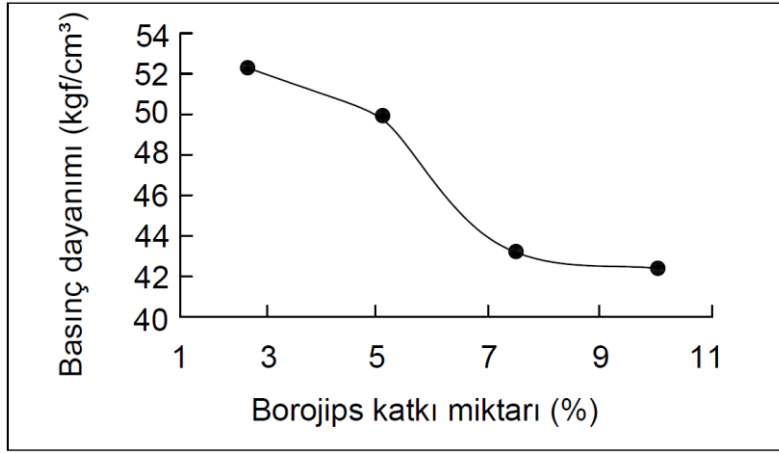


**Şekil 3.5 :** Radyasyon geçirgenliği deney şeması [32].

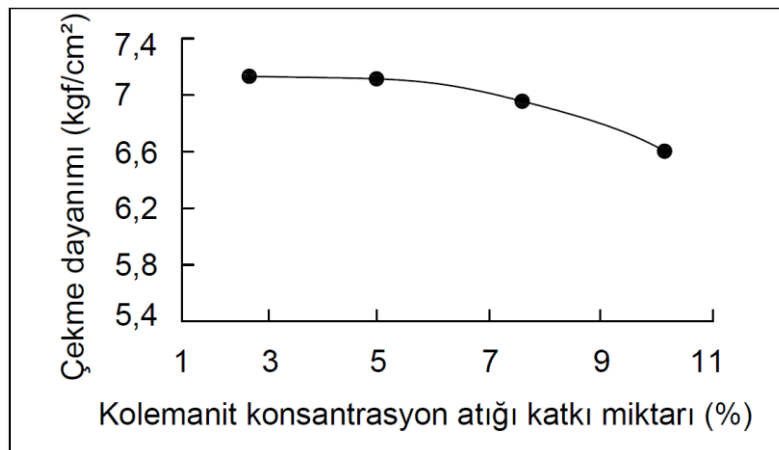
- f- Endüstri atıklarının klinkere ilave edilerek elde edilen çimentoların prizlenme süreleri, basınç dayanımları, çekme dayanımları ve radyasyon geçirgenliklerinin portland çimentosu ile mukayese edildiğinde;
- Borojips ile yapılan deney sonuçları Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de, kolemanit konsantrasyon atığı ile yapılan deney sonuçları ise Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, atık ilaveli çimentoların mukavemetleri %5 atık ilavesine kadar PÇ42.5 portland çimentosu ile elde edilen mukavemet değerlerinden daha yüksek veya aynıdır. %5 atıktan sonra ise mukavemet giderek azalmaktadır. Bu nedenle katkı oranının %5’i geçmesi tavsiye edilmemektedir.
- Borojips ve Kolemanit konsantratör atığı ile yapılan prizlenme süreleri deney sonuçları Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre prizlenme süresi bor miktarı ile doğru orantıda artmaktadır ve %5 borojips ilavesinin optimum oran olduğu anlaşılmaktadır.
- AM241 ve BA133 nokta kaynaklarıyla yapılan radyasyon geçirgenliği deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’te verilmiş olup, betonlarda bor oranı arttıkça radyasyonların daha fazla tutulduğu görülmektedir.



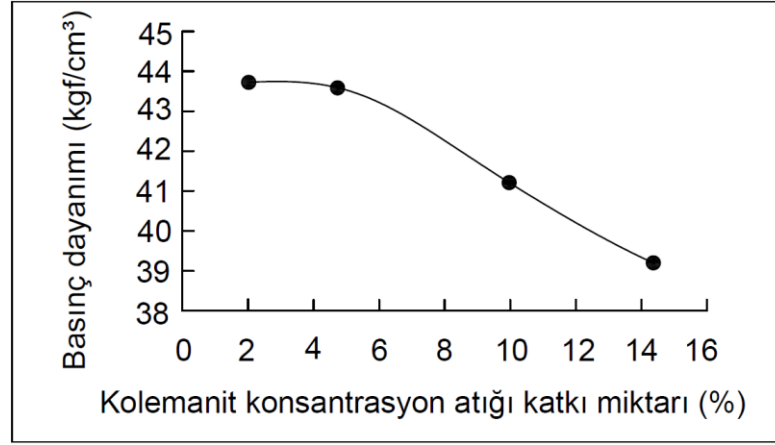
**Şekil 3.6 :** Borogips ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük çekme dayanımlarının atık oranıyla değişimi [32].



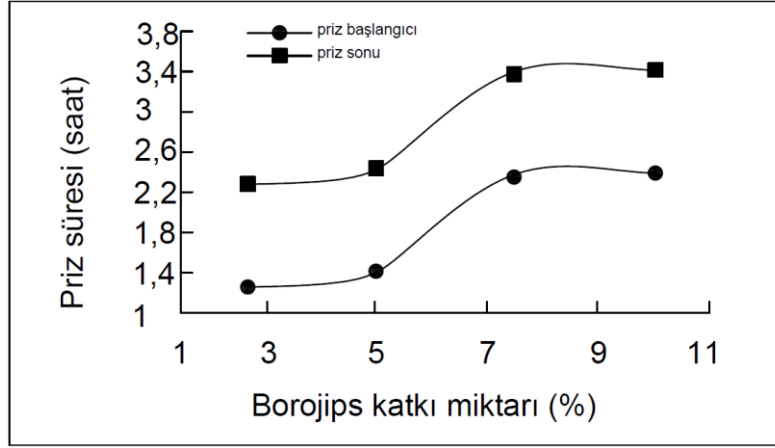
**Şekil 3.7 :** Borogips ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımlarının atık oranıyla değişimi [32].



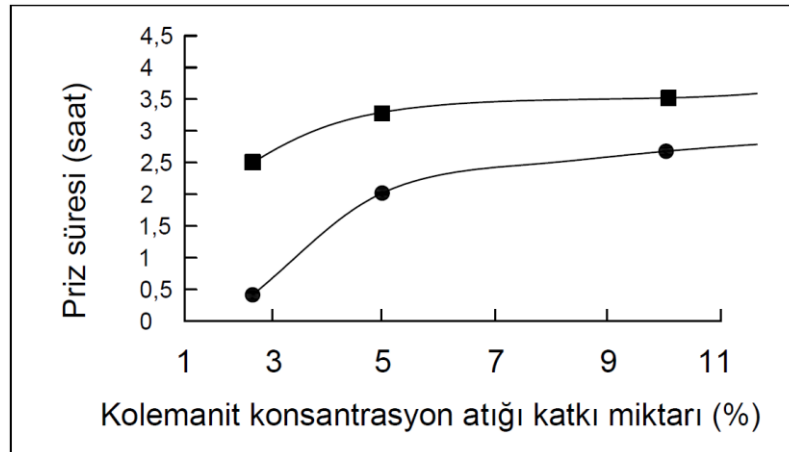
**Şekil 3.8 :** Kolemanit konsantrasyon atığı ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük çekme dayanımlarının atık oranıyla değişimi [32].



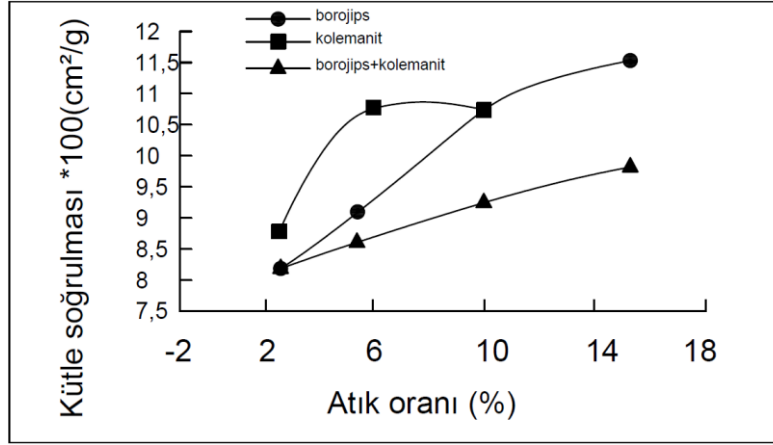
**Şekil 3.9 :** Kolemanit konsantrasyon atığı ilaveli çimentolardan yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımlarının atık oranıyla değişimi [32].



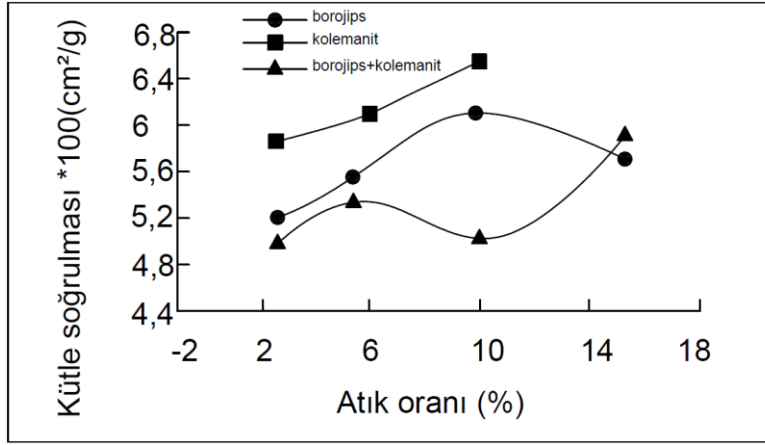
**Şekil 3.10 :** Borojips ilaveli çimentoların priz sürelerinin katkı miktarı ile değişimi [32].



**Şekil 3.11 :** Kolemanit konsantrasyon atığı ilaveli çimentoların priz sürelerinin katkı miktarı ile değişimi [32].



**Şekil 3.12 :** AM241 nokta kaynağıyla yapılan radyasyon bombardıman sonuçlarının atık oranıyla değişimi [32].



**Şekil 3.13 :** BA133 nokta kaynağıyla yapılan radyasyon bombardıman sonuçlarının atık oranıyla değişimi [32].

### 3.2 Zemin ve Duvar Kaplama Malzemesinde Bor Kullanımına Yönelik Çalışmalar

Günümüzde seramik sanayinde kullanılan hammaddelerin tüketimi seramik malzemelerin satışında ve maliyetinde önemli yer tutmaktadır. Kullanılan hammaddeler ürün kalitesini ve ekonomisini doğrudan etkilerler. Hammadde özelliklerindeki olumsuz bir değişim nihai ürün özelliklerini de olumsuz yönde değiştirir. Gün geçtikçe daralan rezervler nedeniyle seramik endüstrisinde yüksek kaliteli hammaddelerin temini ve dolayısıyla kullanımı giderek zorlaşmakta veya kalitesiz hammaddeler kullanılmaktadır.

Bitirme elemanları kapsamında, bu bölümde özetlenerek analiz edilen seramik ve porselen karolar üzerinde yapılan çalışmalarda, borun bu yapı malzemelerine kattığı

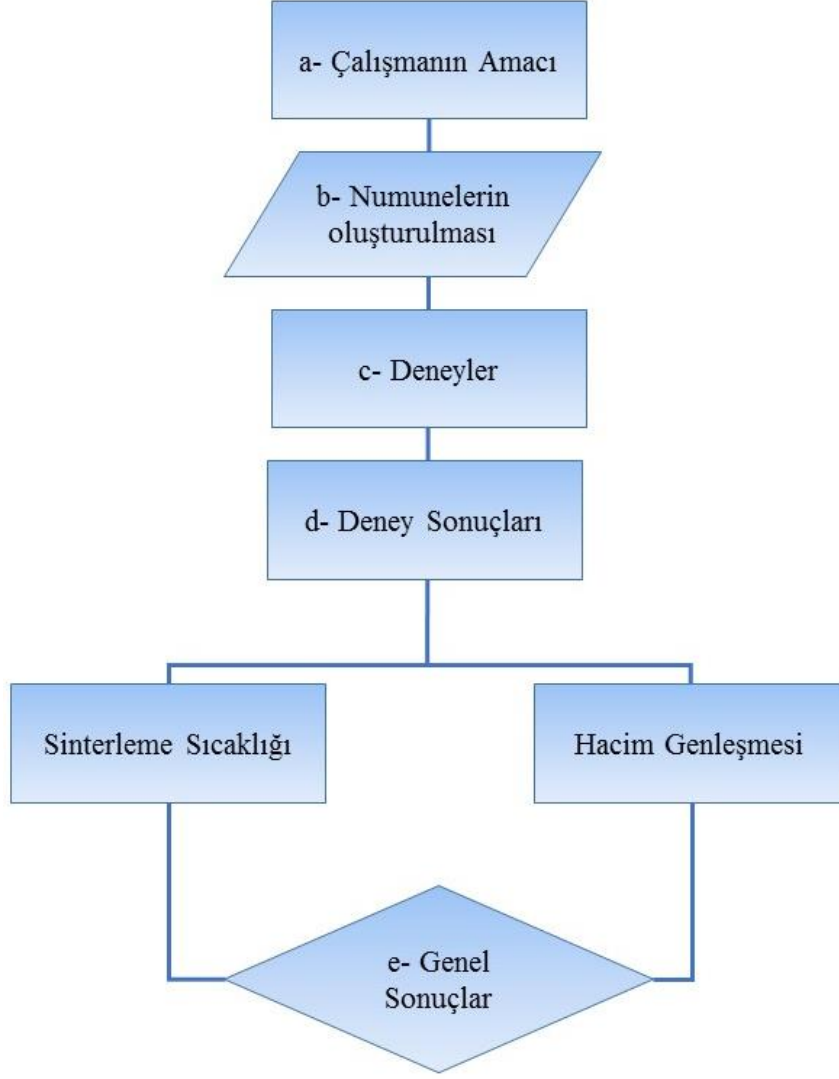
inovatif özellikler; parlak yüzey oluşumu, dokulu yüzey oluşumu, mat yüzey oluşumu, sinterlemeyi kolaylaştırma, pişme sıcaklığını düşürme, malzemenin mukavemetini artırma, efektli ve lüsterli bir görünüm kazandırma, çevresel etkisini düşürerek daha ekolojik hale getirme olarak ortaya koyulmuştur. Bor katkılı bazı porselen ve seramik karo ürünleri Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



**Şekil 3.14 :** Bor katkılı porselen ve seramik karo ürün görseli.

### **3.2.1 Porselen karo sinterleme sıcaklığı ve hacim genleşmesine borun etkileri**

Porselen karo ürünlerinin pişme sıcaklığının yüksek olmasından dolayı, bu ürünlerin üretim aşamasında yüksek enerji kaybı, çevre kirliliği, yüksek maliyet gibi olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır. Porselen karo ürünlerinde pişme sıcaklıklarının veya pişme sürelerinin düşürülmesi; seramik sektörü, ülkemiz ekonomisi ve çevreyi koruma adına büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle TÜBİTAK ve Anadolu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği bölümü işbirliği ile ortaya çıkan, “Porselen karo bünyesine borik asit ilavesinin etkileri [33]” isimli çalışma incelenerek deney sonuçları ele alınmıştır. Çalışmanın akış şeması Şekil 3.15’te özetlenmiştir.



**Şekil 3.15 :** Akış şeması.

- a- Günümüz seramik sektörü ihtiyaçları doğrultusunda ortaya çıkan bu çalışmada, standart porselen karo bünyesine değişik oranlarda borik asit ilave ederek, porselen karonun kuru mukavemeti, sinterleme sıcaklığı ve süresine etkilerini ortaya koyarak borik asidin sağladığı teknolojik ve ekonomik avantajları araştırmak amaçlanmıştır.
- b- Deneysel yöntem ile hazırlanan çalışma kapsamında; %30 kil içeren tipik bir porselen karo hazırlanmış ve bu karonun bünyesine sırasıyla %0,3, %0,6 ve %0,9 oranlarında borik asit ilave edilerek elde edilen çamurların reolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan porselen karo reçeteleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

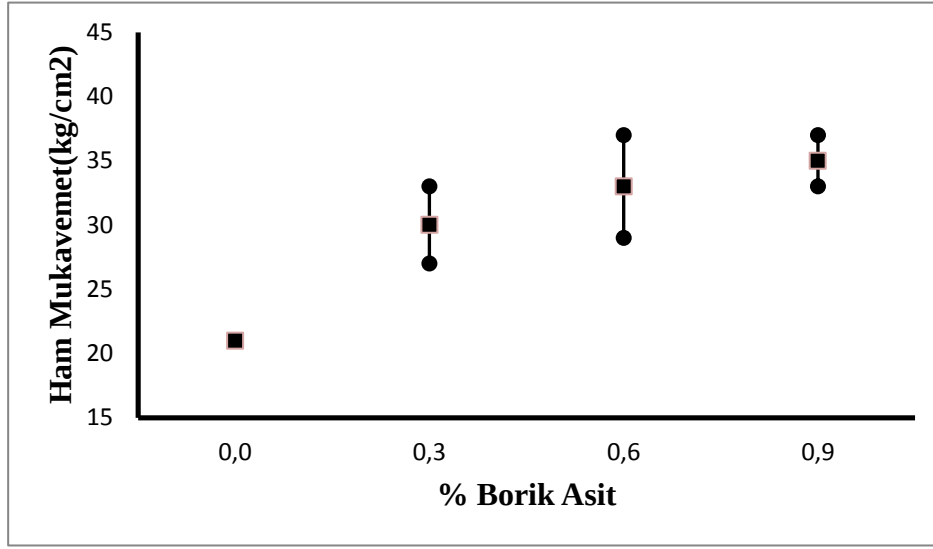
**Çizelge 3.5 : Çalışılan bünye kompozisyonları [33].**

| <b>Hammaddeler %</b>     | <b>STD</b> | <b>STD+0,3B</b> | <b>STD+0,6B</b> | <b>STD+0,9B</b> |
|--------------------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Balıkesir kaoleni</b> | 17         | 17              | 17              | 17              |
| <b>Ukrayna kili</b>      | 33         | 33              | 33              | 33              |
| <b>Kuvars</b>            | -          | -               | -               | -               |
| <b>Alümina</b>           | -          | -               | -               | -               |
| <b>Na-Feldispat</b>      | 50         | 50              | 50              | 50              |
| <b>Borik asit</b>        | -          | 0,3             | 0,6             | 0,9             |
| <b>TOPLAM</b>            | 100        | 100,3           | 100,6           | 100,9           |

c- Deneysel çalışmaların en son kısmında ise borik asit ilavesinin sinterleme üzerine etkisini belirlemek için kil kaolen, feldispat, kalsit ve manyezitten oluşan deneysel bir reçeteye %0,9 oranında borik asit ilave edilerek sinterleme davranışları Misure 3.32-0DHT-HSM 1600/80 marka ve model optik dilatometre cihazında incelenmiştir. Sinterleme çalışmalarında sektördeki hızlı pişirim ortamına uygun şekilde 50 °C /dak ısıtma hızı tercih edilmiştir. Borik asit ilave edilmiş ve ilave edilmemiş olan deneysel iki bünyenin sinterlenme davranışları incelenerek deformasyonun görülmediği ve vitrifikasyonun en kısa sürede tamamlandığı maksimum tepe sıcaklığı ve bu sıcaklıkta kalma süresi tespit edilmiştir. Ayrıca borik asit ilaveli bünye için belirlenen tepe sıcaklığının 10 °C altında pişirim yapılarak, pişme aralığı belirlenmiştir [33].

d- Yapılan analizlerden kuru mukavemet ölçüm sonuçlarına bakıldığında; laboratuvar şartlarında yapılan üç noktalı eğme testi sonuçlarına göre %0,3 borik asit ilavesi ile referansa göre % 40, %0,6 borik asit ilavesinde %57 ve %0,9 borik asit ilavesinde ise %65 civarında kuru mukavemet artışı tespit edilmiştir (Şekil 3.16). Laboratuvar ortamında granül hazırlanmasının yarattığı tekrarlanabilirlik problemlerinden dolayı, mukavemet değerlerindeki

sapmalar yüksek olsa da, borik asidin inorganik bağlayıcı özelliğinden dolayı kuru mukavemet artışı sağladığı ortaya çıkmıştır.



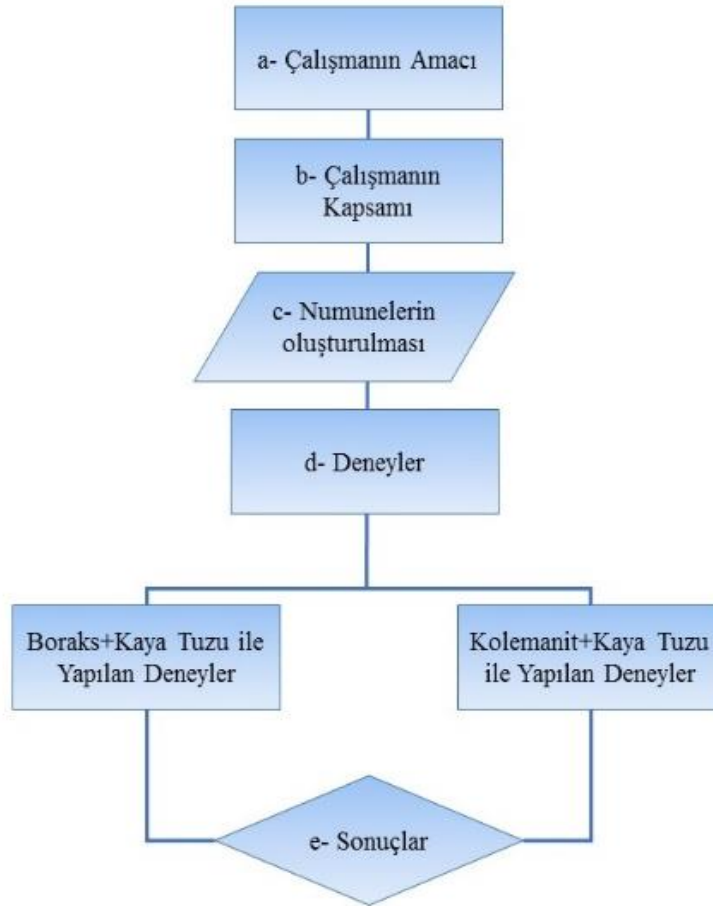
**Şekil 3.16 :** Borik asit ilavesi ile ham mukavemet değişimi [33].

Sinterleme sonuçlarına bakıldığında ise kil, kaolen, feldispat, kalsit ve manyezitten oluşan deneysel bir reçeteye %0,9 oranında borik asit ilave edilerek sinterleme davranışı optik dilatometre cihazında incelenmiş ve bünye için optimum tepe sıcaklığı tespit edilmiştir. %0,9 borik asit katkılı ve borik asit katkısız olan her iki bünye için sinterleşme hızının maksimum olduğu noktalar arasında 25-30 °C sıcaklık farkı görülmüştür. Borik asit kullanımının vitrifikasyon aralığına olumsuz bir etkisi olmadan sinterleşme sıcaklıklarını yaklaşık 1225-1230 °C civarından 1195-1200 °C civarına düşürülebildiği yapılan deney sonucunda ortaya çıkmıştır.

- e- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarda ise, porselen karo bünyesine bor ilave ederek sıvı fazın viskozitesini düşürmenin ve sinterleşmeyi kolaylaştırmanın mümkün olduğu görülmüştür. Böylece daha düşük sıcaklıkta ve daha hızlı sinterleme yapılabilir. Normal porselen karolara göre 25 – 30 °C daha düşük sıcaklıkta pişirme yapılabilirdi deneyler sonucunda ortaya çıkmıştır. Ayrıca bünyedeki borik asit miktarına bağlı olarak kuru mukavemetlerde %65'e varan artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Bu deneyler sonucunda karoların daha ince üretilmesinin mümkün olduğunu ortaya çıkarmaktadır.

### 3.2.2 Bor katkılı sır bünyeleri oluşturularak borun değerlendirilmesi

Seramik ürünlerin yüzeyini kaplayan ince camsı tabakaya sır denir. Çağdaş seramik sanatçıları, bor minerallerinden elde edilen oksitleri kullanarak kişisel buluş ve tekniklerine göre farklı renk ve dokulu yüzeylerden oluşan seramik formlar üretmektedirler. Bor mineralinin seramik ve porselen yapı malzemesi alanında kullanılabilirliğini irdelemek amacıyla Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi tarafından yapılmış olan “Bor oksitli artistik seramik sırları [34]” isimli çalışma incelenmiştir. Deneysel yöntem ile hazırlanmış olan çalışma, bor mineralinin seramik endüstrisindeki kullanım alanlarının genişletilmesi adına önem taşımaktadır. Analiz edilen çalışmanın sürecini özetleyen akış şeması Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17 : Akış şeması.

- a- İncelenen çalışmada endüstriyel bor ürünü olan kolemanit ve boraks hammaddelerinin seramik ürünler üzerindeki uygulanabilirliği ile seramik endüstrisinde bor kullanım alanının genişletilmesi ve alternatif sır bünyelerinin oluşturulması amaçlanmıştır.

- b- Seramik sektöründe, endüstriyel olarak üretilen seramik kullanım gereçlerinin sırlanması, porselen boyalarının yapımı, emaye kaplama yüzeylerinin oluşturulmasında kullanılan bu mineraller, farklı malzemelerle harmanlandığında, farklı efektler ve renkler oluşturmaktadır. Bu çalışmada, boraks ve kolemanit hammaddeleri, kaya tuzu ile harmanlanarak düşük sıcaklıklarda erime özelliğine sahip sır harmanları hazırlanarak, pişirim sonucu oluşan renk, efekt ve dokular incelenmiştir [34].

Boratlar, seramik sır bünyesi içerisinde özellikle; ergime derecesini ayarlamak, sır çatlaklarını ve kavlamaları gidermek, parlak bir yüzey elde etmek ve yüzeylerin çizilmelere karşı direncini arttırmak için kullanılmaktadır [35]. Bor katkılı sır ile üretilmiş olan seramik örneği Şekil 3.18’de verilmiştir.



**Şekil 3.18 :** Bor katkılı sıran seramik üzerinde kullanım örneği.

- c- Deneysel yöntem ile yapılan çalışmada, harmanlanan kolemanit, boraks ve kaya tuzu farklı oranlarda karıştırılarak yapılan denemelerde elde edilen ürünlerin özellikleri karşılaştırılmış ve elde edilmek istenilen ürün için optimum oran bulunmuştur. Seger reçetesine giren bor hammaddeleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Deneylerde kullanılan hammaddeler, Türkiye bor rezervleri arasında en yoğun bulunan bor minerallerinden kolemanit ve boraks olması açısından önem arz etmektedir.

**Çizelge 3.6:** Seger reçetesine giren hammaddeler [34].

| Seger formülündeki oksit      | Hesaplama da kullanılan ağırlık | Hammaddenin adı | Hesaplamaya uygulanan formül                          | Formülün mol ağırlığı | 1.Sütundaki oksitten başka sıra giren oksit |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 137                             | Kolemanit       | 2CaO.3B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5H <sub>2</sub> O | 412                   | 0,6 CaO                                     |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 101                             | Boraks          | Na <sub>2</sub> O.2B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | 202                   | 0,5 Na <sub>2</sub> O                       |

d- Camsı bünye oluşturacak şekilde tartımları yapılarak harmanlanan bu hammaddeler, hiçbir renklendirici oksit ilavesi olmadan, seramik plakalar üzerine toz halde konularak, 930 °c de 1 saat 30 dakika pişirilmiştir. Renklendirici oksit ilavesi yapılan denemelerse; % 70 oranında Boraks ve kolemanit ile% 30 Kaya tuzu alınarak hazırlanmış numune üzerinde denenmiştir. Bazı örnekler, 900 °c de indirgenerek, yüzey üzerindeki renk değişiklikleri incelenmiştir. Renklendirici oksit olarak Bakır oksit (CuO), Bakır sülfat, (CuSO<sub>4</sub>) kullanılmıştır [34].

e- Yukarıda belirtilen yöntem ile özellikleri incelenen numuneler ve elde edilen sonuçlar aşağıda belirtildiği gibidir;

- Numune 1: Kullanılan hammadde oranı: % 50 Boraks, % 50 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Camsı, yarı şeffaf, yer yer mavimsi ince bor tülü tabakası görülmektedir.
- Numune 2: Kullanılan hammadde oranı: % 60 Boraks, % 40 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de camsı, yarı şeffaf, yer yer beyaz, mavimsi bor tülü tabakası ile orta kısımda siyah bir hare görülmektedir.
- Numune 3: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Boraks, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Camsı, yarı şeffaf, yer yer beyaz, mavimsi bor tülü tabakası görülmektedir.
- Numune 4: Kullanılan hammadde oranı: % 80 Boraks, % 20 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Camsı, ince krakle çatlamlarının görüldüğü, yarı şeffaf, yer yer beyaz, mavimsi bor tülü tabakası görülmektedir.

- Numune 5: Kullanılan hammadde oranı: % 90 Boraks, % 10 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Kalın camsı, yarı şeffaf, ince krakle çatlaklı, beyaz ile mavimsi bir tül tabakası görülmektedir.
- Numune 6: Kullanılan hammadde oranı: % 50 Kolemanit, % 50 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Kalın camsı, yarı şeffaf, ince krakle çatlaklı, beyaz ile turkuaz yeşiline yakın bir tül tabakası görülmektedir.
- Numune 7: Kullanılan hammadde oranı: % 60 Kolemanit, % 40 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Kalın camsı, yarı şeffaf, ince krakle çatlaklı, beyaz ile çok açık turkuaz yeşiline yakın bir tül tabakası ile orta kısımda siyah bir hare görülmektedir.
- Numune 8: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Kolemanit, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Kalın camsı, yarı şeffaf, ince krakle çatlaklı, beyaz ile turkuaz yeşiline yakın bir tül tabakası görülmektedir.
- Numune 9: Kullanılan hammadde oranı: % 80 Kolemanit, % 20 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Kalın camsı, örtücü, yarı şeffaf, ince krakle çatlaklı, iğne başı deliklerin olduğu, turkuaz yeşilinden, kalın sürülen bölgelere doğru koyu yeşile doğru bir renk aldığı ve tül tabakası görülmektedir.
- Numune 10: Kullanılan hammadde oranı: % 90 Kolemanit, % 10 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: 930 °C’de Kalın camsı, örtücü, yarı şeffaf, ince krakle çatlaklı, iğne başı deliklerin olduğu, turkuaz yeşilinden, kalın sürülen bölgelere doğru koyu yeşile doğru bir renk aldığı ve tül tabakası görülmektedir.
- Numune 11: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Boraks, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + % 3 CuO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış, 900 °C indirgeme işlemine tabi tutulduğunda, örtücü, parlak, yeşil ve kırmızı renklerden oluşan bir yüzey elde edilmiştir.

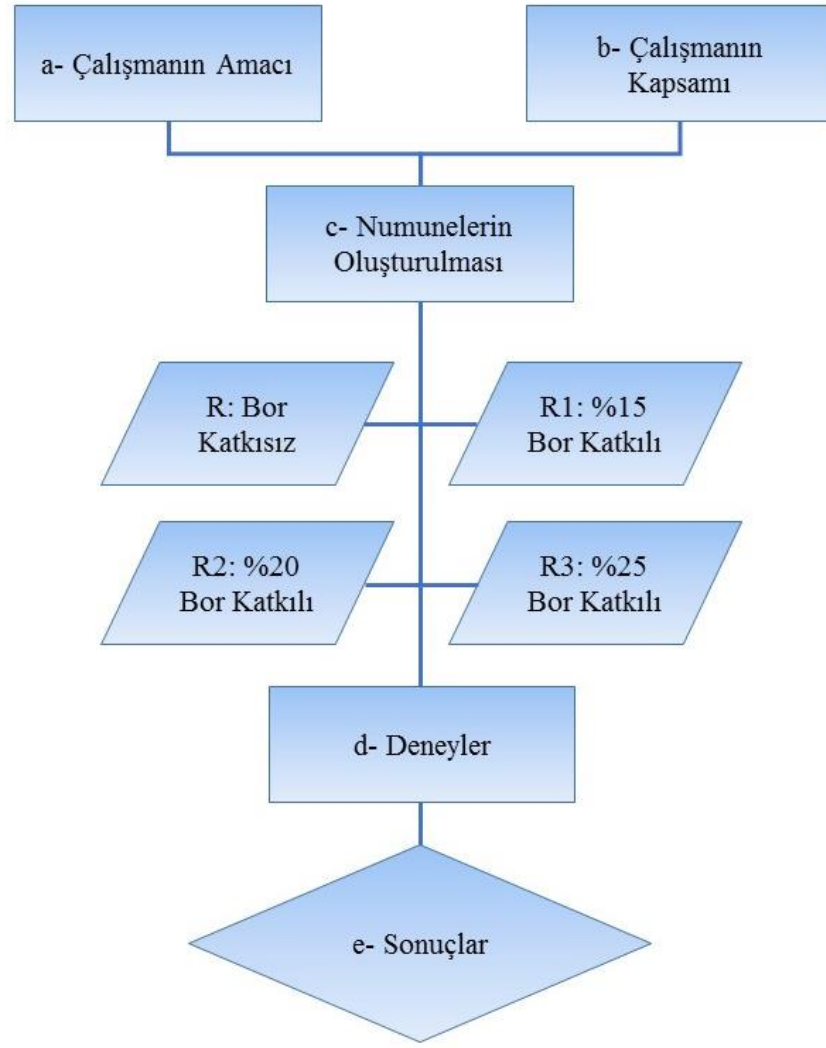
- Numune 12: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Boraks, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + % 5 CuO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış, 900 °C indirgeme işlemine tabi tutulduğunda, örtücü, mat yüzeyde kabarmaların görüldüğü, yeşil ve kırmızı renklerden oluşan, kenarlarda gümüş parlakların olduğu bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 13: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Boraks, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + % 7 CuO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış, 900 °C indirgeme işlemine tabi tutulduğunda, örtücü, mat, yüzeyde kabarmaların ve toplanmaların görüldüğü, yeşil ve kırmızı renklerden oluşan, bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 14: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Boraks, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %3 CuSO<sub>4</sub> ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, koyu yeşil, yer yer deliklerin olduğu bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 15: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Boraks, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %5 CuSO<sub>4</sub> ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, koyu yeşil ve metalik siyah renk ile yer yer iri deliklerin olduğu bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 16: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Boraks, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %7 CuSO<sub>4</sub> ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, koyu yeşil ve metalik siyah renk ile yer yer iri deliklerin olduğu bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 17: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Kolemanit, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %3 CuO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, koyu yeşil, yer yer deliklerin olduğu bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 18: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Kolemanit, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %5 CuO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, koyu yeşil ve siyah renk ile yer yer deliklerin olduğu bir yüzey elde edilmiştir.

- Numune 19: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Kolemanit, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %7 CuO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, çok koyu yeşil ve metalik dalgalı siyah renkli bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 20: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Kolemanit, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %3 CuSO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, yeşil bor tülünün olduğu bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 21: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Kolemanit, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %5 CuSO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yeşil ve metalik siyah renk ile yer yer iri deliklerin olduğu bir yüzey elde edilmiştir.
- Numune 22: Kullanılan hammadde oranı: % 70 Kolemanit, % 30 Kaya Tuzu. Elde edilen sonuç: + %7 CuSO ilavesi; 930 °C’de pişirimi yapılmış örtücü, yarı parlak, çok koyu yeşil, metalik dalgalı siyah ve kırmızı renkli bir yüzey elde edilmiştir.

Sonuç olarak; boraks, kolemanit ve kaya tuzunun çeşitli oranlarda karışımı ile yapılan harmanlardan düşük dereceli, parlak, mat, yarı mat, ve dokulu olmak üzere dört farklı yüzey oluşumu elde edilebildiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu sırların indirgeme işlemine tabii tutulması ile çok etkili, parlak ve lüsterli bir görünüm kazandığı görülmüştür.

### **3.2.3 Bor mineralinin karo sırlarında hammadde olarak değerlendirilmesi**

Bor mineralinin ergitici özelliğine dayanarak, günümüz teknolojisinde duvar karosu sırlarında ergitici olarak kullanılan K-feldspat ile bor minerallerinin kıyaslandığı “Konsantre boraks atığının duvar karosu sırlarında K-Feldspat yerine kullanımı [36]” isimli çalışma, Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü tarafından yürütülmüştür. Bu bölümde incelenen ve başarıyla sonuçlanan bu deneysel çalışma, duvar karosu üretim sektöründe bor mineralinin yerini belirlemek ve sektöre kazandırmak açısından önem arz etmektedir. İncelenen ve analiz edilerek tez kapsamına alınan bu çalışmanın akış şeması Şekil 3.19’da verilmiştir.



**Şekil 3.19 : Akış şeması**

- a- Ülkemizdeki bor işletmelerinin üretimi sırasında meydana gelen milyonlarca ton bor atığı ve bu bor atıklarının ülkemize getirdiği ekonomik kayıp kadar çevre kirliliğini de engellemek amacıyla, bor endüstri atıklarının duvar karosu sırlarında katkı maddesi olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir.
- b- Eti kırka boraks işletmesi konsantre atığının daha önce yapılan farklı çalışmalarda geleneksel seramik bünye ve sırlarında değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Bu araştırmada ise bor atıklarının, duvar karosu sır bileşimindeki ergitici eleman potasyum feldspatın yerini alıp alamayacağına bakılmıştır [36].

Türkiye’de seramik sektörü, ürün kalitesi ve üretim miktarı bakımından Avrupa ile rekabet edebilecek boyuta gelmiş olup, fayans ve seramik imalatında temel hammaddelerden biri olan feldspatın üretimi ve kalitesi

büyük önem taşımaktadır. Feldspat, yer kabuğundaki birçok magmatik, metamorfik ve sedimanter kayacın bileşiminde büyük ölçüde bulunması, dolayısıyla ticari olarak çeşitli kaynaklardan üretimi veya feldspat oranı yeterli olduğu takdirde bu kayaçların doğrudan sanayide kullanımı mümkün olmaktadır. Kural olarak, seramik sanayinde potasyum feldspat daha yaygındır. Potasyum feldspatın avantajı, yüksek viskoziteye sahip bir eriyik oluşturması ve bu eriyiğin sonucu olarak, pişirme sırasında seramiğin şekil bozulmalarına karşı mukavemet sağlamasıdır [37].

- c- Deneysel testler için hazırlanan sır reçeteleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Başlangıç sır reçetesindeki (\*R) feldspatın yerine % 15, % 20 ve % 25 oranlarında bor atığı kullanılmış ve bu şekilde R1, R2 ve R3 adlı yeni reçeteler oluşturulmuştur.
- d- Reçeteler, uygun miktarda su ilavesiyle alumina bilyeli hızlı değirmenlerde 20 dakika öğütülmüştür. Daha sonra nihai sır çamuru 100 meşlik elekten geçirilmiş ve astarlı duvar karosu bünyelerinin üzerine püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır. Bünyeler 1 saat etüvde kurutulup Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası hızlı pişirim fırınında 1130 °C’de pişirilmiştir. Son ürünlere Harkort (TS EN ISO 10545-9, 1997), otoklav (TS EN ISO 10545-11, 1997 ), lekelenme (TS EN 122, 1995), asit-baz (TS EN ISO 10545-13, 2000) ve renk ölçüm testleri yapılarak sonuçları Çizelge 3.8’de verilmiştir [36].

**Çizelge 3.7 : Hazırlanan sır reçeteleri [36].**

| Reçeteler             | Opak Frit | Hammaddeler % |        |         |        |                   |              |
|-----------------------|-----------|---------------|--------|---------|--------|-------------------|--------------|
|                       |           | Kuvars        | Kalsit | Alumina | Kaolen | Potasyum Feldspat | Boraks Atığı |
| *R                    | 35,12     | 12,64         | 11,04  | 8,02    | 5,18   | 28,00             | -            |
| R1                    | 35,12     | 12,64         | 11,04  | 8,02    | 5,18   | 13,00             | 15,00        |
| R2                    | 35,12     | 12,64         | 11,04  | 8,02    | 5,18   | 8,00              | 20,00        |
| R3                    | 35,12     | 12,64         | 11,04  | 8,02    | 5,18   | 3,00              | 25,00        |
| R: Başlangıç Reçetesi |           |               |        |         |        |                   |              |

**Çizelge 3.8 :** Başlangıç ve son ürüne uygulanan standart testlerin sonuçları [36].

| Reçeteler             | Harkort Testi | Otoklav Testi | Lekelenme Testi | Asit-Baz Testi |     | Renk Parametreleri |       |       |
|-----------------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|-----|--------------------|-------|-------|
|                       |               |               |                 | Asit           | Baz | L                  | a     | b     |
| *R                    | 175 °C<br>(+) | +             | 5. Derece       | GHA            | GHA | 91,66              | +0,06 | +2.70 |
| R1                    | 175°C<br>(+)  | +             | 5. Derece       | GHA            | GHA | 89,94              | +0,08 | +2.51 |
| R2                    | 175 °C<br>(+) | +             | 5. Derece       | GHA            | GHA | 90,06              | +0,21 | +2.33 |
| R3                    | 175 °C<br>(+) | +             | 5. Derece       | GHA            | GHB | 90,21              | +0,22 | +2,24 |
| R: Başlangıç Reçetesi |               |               |                 |                |     |                    |       |       |

e- Yapılan test sonuçlarına bakıldığında; R3 reçetesinin dışındaki reçetelerin hepsinin asit ve baza karşı dayanımlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Renk analizi sonucuna göre, artan atık miktarıyla başlangıç reçetesinin beyazlık değeri azalarak gözle tespit edilemeyecek ölçüde kırmızılığa doğru kaymıştır. Bu değişimin atık içerisinde bulunan safsızlıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Oluşturulan yeni reçetelerden elde edilen sırların gerek olgunlaşma gerekse karosu bünyelerine endüstriyel koşullarda uygulanıp pişirilmelerinden sonra yapılan standart testler açısından tatminkâr olduğu dolayısıyla, boraks konsantre atığının duvar karosu sır reçetesindeki k-feldspatın yaklaşık %89'unun yerini alabileceği görülmüştür [36].

### 3.3 Ahşap ve Ahşap Kompozit Malzemede Bor Kullanımına Yönelik Çalışmalar

Ağaç malzemenin olumsuz bazı özelliklerini gidermek için uzunca bir süreden beri çeşitli kimyasallarla farklı teknikler kullanılarak koruyucu ve stabilizasyonu artırıcı işlemler uygulanmaktadır [37]. Odun lifsel ve yapısal kullanım için çevre bakımından istenen bir materyaldir. Oduna yeni kullanım alanları sağlamak için, bazen çeşitli kimyasal maddelerle muamele edilmesi gereklidir.

Bu bölümde analiz edilen çalışmalarda görülmektedir ki; bor, ahşap ve ahşap kompozit malzemeye yangına karşı dayanımı arttırma, çekme direncini arttırma gibi önemli özellikler katarak, ahşap malzemeyi günümüz teknolojisine ulaştırmaktadır. Borlu bileşikler ile yapılan emprenye işlemi Şekil 3.20’de verilmiştir.



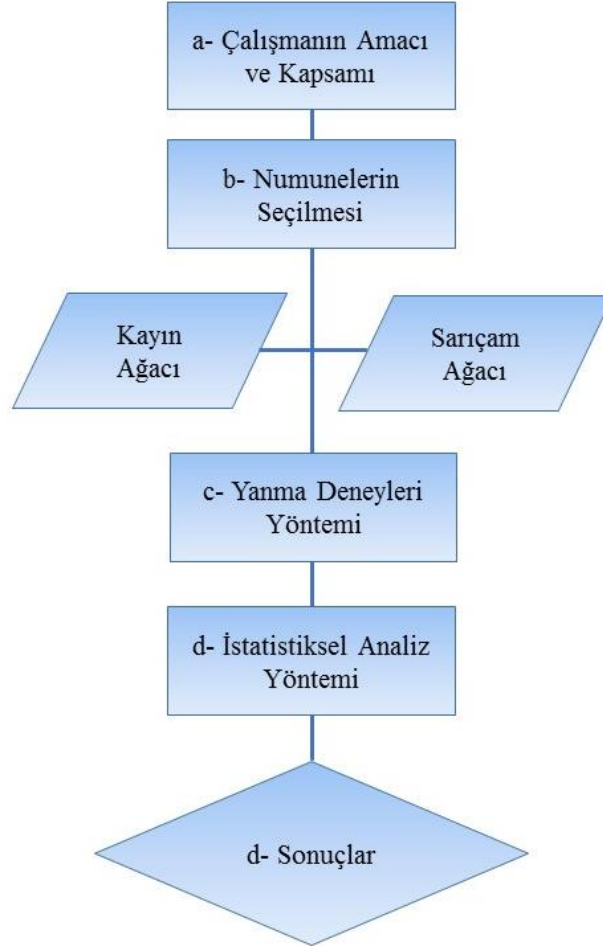
**Şekil 3.20 :** Ahşap malzemenin borlu bileşikler ile emprenye edilmesi işlemi.

Bu bölümde analiz edilen çalışmalardan, bor madeninin ahşap ve ahşap kompozit malzemede kullanımının avantajları ortaya koyulmuş ve dünya rezervinin %72’sine sahip olan ülkemizdeki borun, ahşap malzemede kullanımı ile son ürüne dönüştürülerek değerinin yükseltilebileceği görülmüştür. Bu hedefe varmak için, ahşap malzemede bor kullanım alanlarının ve malzemeye kattığı inovatif özelliklerin bilimsel çalışmalarla kanıtlanarak kişilerin bilinçlendirilmesi ve borun bu sektördeki yerini alması sağlanmalıdır.

### **3.3.1 Borlu bileşiklerin ağaç malzemede kullanılabilirliği ve yanma üzerine etkileri**

Türkiye’de bor esaslı koruyucu maddeler henüz yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda bor esaslı koruyucu maddeler orman ürünleri endüstrisinde, çevre dostu olarak kabul edilen en etkin bileşenlerdir. Bu konuda çok sayıda bilimsel araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Günümüz yüksek teknolojisi ve bilimsel çalışmaları sayesinde ahşap gibi limitli özelliklere sahip bir malzeme bile oldukça ileri özelliklere sahip bir duruma gelebilmektedir. Ağaç malzemeyi yanmaya, böcek ve mantar zararlılarına karşı koruyabilmek için çeşitli emprenye maddeleri ve emprenye yöntemleri uygulanmaktadır. Bor katkısının ağaç malzemedeki yanıcılık sorunu

üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla Karabük Üniversitesi tarafından yapılmış olan “Borlu bileşikler ile emprenye edilmiş kayın ve sarıçam ağaçlarının yanma özellikleri [38]” isimli deneysel çalışma incelenmiştir. Çalışmanın akış şeması Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.21:** Akış şeması.

- a- Çalışmada, bor minerali ve türevlerinin yanmayı geciktirici özelliğinden yararlanılarak, bor minerallerinin ahşap endüstrisinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bazı ağaç numunelerine bor katkılı koruyucu kimyasallar ile emprenye işlemi uygulanmış ve yanma testleri yapılmıştır.
- b- Çalışmada deneysel bir yol izlenerek, piyasada yoğunlukla kullanılan kayın ve sarıçam ağaçları tercih edilmiştir. Yapılan çalışma için seçilen ağaç malzemenin, budaksız, düzgün gövdeli, böcek ve mantar zararlılarına maruz kalmamış olmaları ve özellikle diri odun kısmından olmasına dikkat edilmiştir. Kullanılan ağaç malzeme kereste satıcılarından temin edilmiştir.

Kimyasal olarak ise, özellikle yanmayı geciktirici veya önleyici özelliği olan bor bileşenlerinden boraks, borik asit ve boraks-borik asit tercih edilmiştir. Çözeltiler %10'luk konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Boraks-borik asit karışımı iki kimyasaldan eşit olacak şekilde %50'lik konsantrasyonlarda birleştirilmiştir. Bu bağlamda, kullanılan emprenye maddelerine ilişkin teknik özellikler Çizelge 3.9'da verilmiştir.

**Çizelge 3.9 :** Emprenye maddelerinin özellikleri [38].

| Emprenye maddesi  | Çözücü | PH              |                  | Yoğunluk (g/ml) |                  |
|-------------------|--------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
|                   |        | Emprenye öncesi | Emprenye sonrası | Emprenye öncesi | Emprenye sonrası |
| Boraks            | Saf su | 9,0             | 9,0              | 1.090           | 1.095            |
| Borik asit        | Saf su | 5,1             | 5,1              | 1.042           | 1.047            |
| Boraks-borik asit | Saf su | 7,2             | 7,2              | 1.024           | 1.029            |

- c- Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan kaba ölçülerdeki örnekler, sıcaklığı  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ve bağıl nemi  $\%65 \pm 3$  olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmişlerdir. Daha sonra hava kurusu rutubetteki (%12) taslaklar  $9 \times 19 \times 1016$  mm boyutlarında kesilmişlerdir. Çalışmada 2 farklı ağaç türü, 3 farklı emprenye maddesi ve kontrol grubu olmak üzere ( $2 \times 3 \times 10 + 20$ ) toplam 80 adet örnek üzerinde yanma deneyi yapılmıştır.

Yanma deneyleri ASTM-E-69 standartlarına göre yapılmıştır. Yanma esnasında meydana gelen ağırlık kaybını ölçmek için 0,01 gram hassasiyetli dijital terazi kullanılmıştır. Yanmayı başlatmak için ise bütan gazı kullanılmıştır. Standartlarda belirtildiği gibi alev yüksekliği en fazla 25 cm ve ısı en fazla  $1000^{\circ}\text{C}$  olacak şekilde düzenlenmiştir.

- d- Emprenye edilmiş farklı ağaç türlerinin yanmaya, yanma sonucu oluşan ağırlık kaybına, sıcaklık değerlerine ve açığa çıkan gaz ( $\text{CO}$ ,  $\text{NOX}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ), miktarlarına etkisi olup olmadığını saptamak için verilere çoklu varyans analizi uygulanmıştır. Analiz neticesinde aralarında fark bulunan verilere, farkın hangi düzeyde önemli olduğunu saptamak için Duncan testi uygulanmıştır.
- e- Yanma sonucu meydana gelen ağırlık kaybı, sıcaklık değerleri ve açığa çıkan gazlara ilişkin ortalama değerler Çizelge 3.10'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre yanma sonucu meydana gelen ortalama sıcaklık değerleri ve ağırlık kayıpları en fazla kayın ve sarıçam ağaçlarının kontrol örneklerinde görülmektedir. Bütün

örnekler içerisindeki en fazla ağırlık kaybı, yanmayı geciktirici kimyasallarla emprenye edilmemiş, yoğunluğu fazla olan kayın ağacı örneklerinde (% 82) görülmüştür.

**Çizelge 3.10 : Yanma sonucu açığa çıkan ortalama değerler [38].**

| <b>Ağaç türü</b>            | <b>Kayın</b> |        |            |                   | <b>Sarıçam</b> |        |            |                   |
|-----------------------------|--------------|--------|------------|-------------------|----------------|--------|------------|-------------------|
| <b>Maddeler</b>             | Kontrol      | Boraks | Borik Asit | Boraks-Borik Asit | Kontrol        | Boraks | Borik Asit | Boraks-Borik Asit |
| <b>CO (ppm)</b>             | 957          | 1077   | 759        | 816               | 825            | 411    | 394        | 184               |
| <b>NOX (ppm)</b>            | 16           | 9      | 9          | 10                | 10             | 14     | 10         | 11                |
| <b>SO<sub>2</sub> (ppm)</b> | 4            | 8      | 6          | 4                 | 4              | 1      | 1          | 1                 |
| <b>Sıcaklık °C</b>          | 345          | 281    | 284        | 281               | 346            | 259    | 300        | 159               |
| <b>O<sub>2</sub> (%)</b>    | 16,9         | 19,4   | 19,5       | 19,4              | 16,8           | 19,7   | 19,5       | 19,6              |
| <b>Ağır. Kaybı (%)</b>      | 82           | 30     | 14         | 21                | 50             | 30     | 13         | 10                |

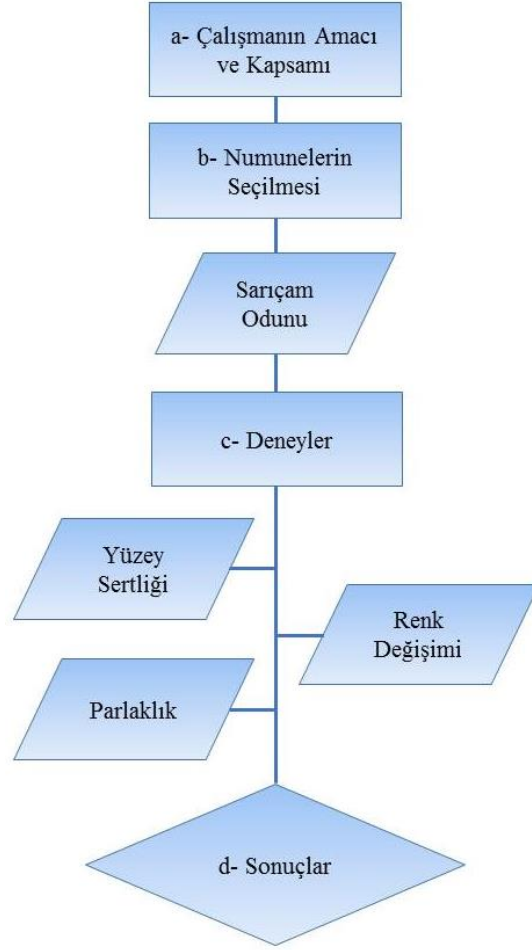
Tabloda bulunan verilere bakıldığında, ağaç malzemenin borlu bileşikler ile emprenye edilmesinin, yanmayı geciktirdiği kanıtlanmış olup, farklı ağaç türüne göre farklı bileşiklerin daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır. Yapılmış olan deney sonuçlarına göre kayın ağacı için borik asit en iyi yanmayı önleyici etkiyi sağlarken sarıçam ağacı için boraks-borik asit karışıklı emprenye maddesi en iyi performansı vermiştir. Sonuç olarak, çevresel etki değeri düşük olan bor mineralinin ağaç malzeme üretiminin bir aşaması olan emprenye işleminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi hem çevre açısından hem maliyet açısından avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

### 3.3.2 Bor bileşikler ile emprenyenin odun yüzeyi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi

Ağaç malzemede ışık karşısında görülen sararma, grileşme, kahverengi renk oluşumu gibi renk bozulmalarının temel sebebi, ağaç malzemenin UV absorpsiyonu altında hücre çeperinin temel bileşenlerinden ligninin kimyasal yapısının değişmesi olduğu bildirilmektedir [40]. Günümüzde ağaç malzemenin UV absorpsiyonu altında ligninin yıkımını önlemek amacı ile çeşitli kimyasal emprenye maddesi kullanılmakla birlikte, özellikle bakır içerikli emprenye maddelerinin bozunumu engellemekte daha etkili olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [41,42].

Bu bölümde analiz edilen, çeşitli borlu bileşiklerle emprenye edilen ağaç malzemenin hızlandırılmış-yaşlandırma sonrası yüzey sertlikleri, renk değişimi ve

parlaklık değerleri belirlenen “Borlu bileşiklerle muamele edilen odunda hızlandırılmış yaşlandırma sonrası bazı yüzey özellikleri [39]” isimli çalışmanın akış şeması Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.22 : Akış şeması.**

- a- Bu çalışma borlu bileşiklerle emprenye edilen odunun hızlandırılmış-yaşlandırma işlemi sonrası yüzey sertliği, renk değişimi ve parlaklık değerlerinin belirlenmesi amaçlarına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir [39].
- b- Analiz edilen bu çalışma kapsamındaki deney örnekleri sarıçam odunundan hazırlanmıştır. Hızlandırılmış-yaşlandırma testi 8 saat UV ışını ve ardından 4 saatlik kondenzasyon periyodu şeklinde uygulanmıştır. Borik asit (BA), boraks (BX), (BA+BX), çinko borat (ÇB), disodyum oktaborat tetrahidrat (DOT) ve sodyum pentaborat (SPB) borlu bileşikler olarak denenmiştir. Testlerden önce deney örnekleri, borlu bileşiklerin %1, %2 ve %4'lük çözeltileriyle ASTM D 1413-76 standardına göre emprenye edilmişlerdir.

c- Yüzey sertlik değerlerine ilişkin bulgular :

Deney örneklerinin 250 saat hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonrası ölçülen yüzey sertlik değerlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 3.11’da verilmiştir.

**Çizelge 3.11:** Yaşlandırma öncesi ve sonrası ölçülen sertlik değerleri [39]

| <b>Emp. Mad.</b>                                                                                                           | <b>Konsantrasyon %</b> | <b>Yaşlandırma öncesi sertlik değeri</b> | <b>250 saat sonrası sertlik değeri</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Kontrol</b>                                                                                                             | -                      | 24,25 ± 5,38                             | 20,25 ± 3,20                           |
| <b>BA</b>                                                                                                                  | 1                      | 31,30 ± 8,10                             | 25,60 ± 4,88                           |
| <b>BA</b>                                                                                                                  | 2                      | 18,60 ± 3,58                             | 16,00 ± 3,49                           |
| <b>BA</b>                                                                                                                  | 4                      | 20,20 ± 5,26                             | 18,60 ± 2,95                           |
| <b>BX</b>                                                                                                                  | 1                      | 21,80 ± 5,72                             | 21,40 ± 4,14                           |
| <b>BX</b>                                                                                                                  | 2                      | 20,80 ± 6,30                             | 17,60 ± 4,16                           |
| <b>BX</b>                                                                                                                  | 4                      | 20,60 ± 3,21                             | 18,20 ± 2,95                           |
| <b>BA+BX</b>                                                                                                               | 1                      | 24,50 ± 6,40                             | 22,25 ± 3,20                           |
| <b>BA+BX</b>                                                                                                               | 2                      | 17,40 ± 3,58                             | 17,00 ± 3,74                           |
| <b>BA+BX</b>                                                                                                               | 4                      | 22,20 ± 7,16                             | 16,20 ± 3,27                           |
| <b>DOT</b>                                                                                                                 | 1                      | 27,00 ± 2,83                             | 21,00 ± 3,27                           |
| <b>DOT</b>                                                                                                                 | 2                      | 20,50 ± 3,88                             | 18,60 ± 3,79                           |
| <b>DOT</b>                                                                                                                 | 4                      | 26,00 ± 5,90                             | 24,00 ± 6,27                           |
| <b>ÇB</b>                                                                                                                  | 1                      | 21,75 ± 3,32                             | 19,80 ± 0,96                           |
| <b>ÇB</b>                                                                                                                  | 2                      | 19,50 ± 4,43                             | 19,00 ± 4,42                           |
| <b>ÇB</b>                                                                                                                  | 4                      | 22,00 ± 2,94                             | 19,75 ± 3,85                           |
| <b>SPB</b>                                                                                                                 | 1                      | 28,00 ± 4,27                             | 24,75 ± 5,56                           |
| <b>SPB</b>                                                                                                                 | 2                      | 19,50 ± 3,14                             | 18,00 ± 2,16                           |
| <b>SPB</b>                                                                                                                 | 4                      | 20,75 ± 2,06                             | 20,75 ± 4,03                           |
| BA : Borik asit      ÇB : Çinkoborat      SPB : Sodyum pentaborat<br>BX : Boraks      DOT : Disodyum oktaborat tetrahidrat |                        |                                          |                                        |

Çizelge 3.11 incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

- Deney ve kontrol örneklerinin tamamında, doğal olarak hızlandırılmış yaşlandırma sonrası sertlik değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir. Kontrol

grubunda %16,5 olan sertlik değeri düşüşü, bor katkılı koruyucu ürünler ile muamele edilen diğer gruplarda ise % 0 ile % 18 arasında meydana gelmiştir.

- Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi öncesi kontrol örneğinin sertlik değeri 24,25 iken yaşlandırma işlemi sonucunda 20,25 değerine düşmüştür. Emprenyeli deney örneklerinde de yaşlandırma işlemi öncesi sertlik değerleri 17-31 arasında değişen değerler gösterirken; hızlandırılmış yaşlandırma sonucunda 16-25 arasında değişen değerler göstermiştir.
- Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonucunda kontrol ve test örneklerinin yüzey sertlik değerlerinde meydana gelen azalma miktarları arasında, belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir.

#### **Renk değerlerine ilişkin bulgular :**

Deney örneklerinin 250 saat hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonrası ölçülen renk değerlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 3.12’de verilmiştir. Çizelge 3.12 incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

- Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası deney örneklerinin L değerlerinde belli düzeyde düşüşler meydana gelmiştir. L değerlerinin 0 ile 100 arasında 100’ e yaklaştıkça beyazlık, 0'a yaklaştıkça siyahlaştığı göz önüne alınırsa; L değerinde meydana gelen düşüşler ile deney örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonucu siyahlaştığı sonucuna varılabilir.
- Deney örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonucu a değerlerinde önemli ölçüde artışlar kaydedilirken, b değerlerinde hem artış hem de azalma meydana gelmiş, fakat bu artış ve azalışlar düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Deney örneklerinin a değerlerindeki artış deney örneklerinin kırmızılaşma eğiliminde olduğunu göstermektedir.
- Hızlandırılmış yaşlandırma sonunda, deney örneklerinde meydana gelen toplam renk değişimi ortalama 13-19 arasında değişen değerler göstermiştir. Borlu bileşiklerle muamele edilen deney örneklerinde toplam renk değişimi, kontrol örneğine kıyasla daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir.

**Çizelge 3.12 : Yaşlandırma öncesi ve sonrası ölçülen renk değerleri [39].**

| Emp. Mad. | Kons | Yaşlandırma Öncesi Renk Değerleri |       |       |      | 250 Saat Sonrası Renk Değerleri |       |       |       |
|-----------|------|-----------------------------------|-------|-------|------|---------------------------------|-------|-------|-------|
|           |      | %                                 | L     | a     | b    | ΔE                              | L     | a     | b     |
| Kontrol   | -    | 73,43                             | 9,24  | 34,91 | -    | 57,47                           | 18,26 | 39,13 | 18,87 |
| BA        | 1    | 72,71                             | 8,84  | 35,38 | 4,23 | 56,72                           | 17,79 | 38,04 | 18,55 |
| BA        | 2    | 71,14                             | 9,45  | 34,63 | 4,83 | 54,99                           | 19,93 | 37,17 | 18,43 |
| BA        | 4    | 70,45                             | 9,32  | 31,68 | 7,41 | 54,30                           | 14,28 | 31,09 | 17,15 |
| BX        | 1    | 68,44                             | 10,22 | 35,81 | 4,69 | 53,65                           | 17,29 | 36,65 | 16,51 |
| BX        | 2    | 71,94                             | 7,97  | 32,71 | 5,28 | 55,83                           | 16,87 | 37,76 | 19,12 |
| BX        | 4    | 70,33                             | 8,53  | 33,75 | 5,36 | 55,98                           | 14,97 | 33,97 | 15,79 |
| BA+BX     | 1    | 70,00                             | 10,45 | 37,10 | 4,35 | 54,77                           | 16,84 | 35,42 | 15,71 |
| BA+BX     | 2    | 71,85                             | 9,02  | 35,32 | 4,03 | 58,68                           | 18,18 | 40,03 | 16,74 |
| BA+BX     | 4    | 70,26                             | 9,55  | 35,10 | 4,00 | 56,44                           | 16,50 | 36,79 | 15,74 |
| DOT       | 1    | 68,00                             | 10,46 | 35,86 | 3,83 | 55,53                           | 16,50 | 35,34 | 13,88 |
| DOT       | 2    | 72,49                             | 7,77  | 33,14 | 4,63 | 58,31                           | 13,94 | 32,28 | 15,53 |
| DOT       | 4    | 70,42                             | 8,90  | 34,71 | 4,69 | 57,26                           | 13,92 | 32,00 | 14,43 |
| ÇB        | 1    | 69,24                             | 9,85  | 35,81 | 4,64 | 54,94                           | 16,39 | 36,83 | 15,85 |
| ÇB        | 2    | 70,79                             | 9,82  | 35,75 | 4,54 | 58,24                           | 17,27 | 37,11 | 14,68 |
| ÇB        | 4    | 67,46                             | 10,93 | 36,17 | 4,97 | 54,72                           | 17,08 | 35,28 | 14,24 |
| SPB       | 1    | 70,10                             | 9,30  | 35,27 | 5,18 | 54,74                           | 17,32 | 37,41 | 17,49 |
| SPB       | 2    | 72,95                             | 8,03  | 33,00 | 4,87 | 58,12                           | 14,89 | 33,18 | 16,50 |
| SPB       | 4    | 71,99                             | 8,03  | 33,73 | 4,54 | 56,32                           | 16,31 | 37,13 | 18,07 |

BA : Borik asit

BX : Boraks

DOT : Disodyum oktaborat tetrahidrat

ÇB : Çinkoborat

SPB : Sodyum pentaborat

**Parlaklık değerine ilişkin bulgular :**

Deney örneklerinin 250 saat hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonrası ölçülen parlaklık değerlerine ilişkin elde edilen bulgular Çizelge 3.13’de verilmiştir. Çizelge 3.13 incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

- Hızlandırılmış yaşlandırma öncesi kontrol örneğinin her 3 açı ile ölçülen parlaklık değerleri, borlu bileşikler ile emprenye edilen deney örneklerine oranla daha yüksek düzeyde gerçekleşmiştir.

- Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonunda, genellikle tüm deney örneklerinin parlaklık değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir.

**Çizelge 3.13 : Yaşlandırma öncesi ve sonrası ölçülen parlaklık değerleri [39]**

| Emp. Mad. | Kons . | Yaşlandırma Öncesi Parlaklık Değerleri |                         |                         | 250 Saat Sonrası Parlaklık Değerleri |                         |                         |
|-----------|--------|----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|           | %      | 20 °<br>Paralel/<br>Dik                | 60 °<br>Paralel<br>/Dik | 85 °<br>Paralel/<br>Dik | 20 °<br>Paralel/<br>Dik              | 60 °<br>Paralel/<br>Dik | 85 °<br>Paralel/<br>Dik |
| Kontrol   | -      | 1,03/0,95                              | 4,53/3,80               | 3,73/1,33               | 0,73/0,63                            | 3,35/2,65               | 3,40/0,70               |
| BA        | 1      | 0,96/0,90                              | 4,00/3,20               | 2,16/0,82               | 0,70/0,60                            | 3,26/2,54               | 2,60/0,84               |
| BA        | 2      | 0,96/0,86                              | 3,76/3,20               | 2,28/1,08               | 0,60/0,58                            | 2,98/2,46               | 2,78/0,62               |
| BA        | 4      | 0,78/0,82                              | 2,88/2,60               | 0,88/0,64               | 0,56/0,60                            | 2,94/3,48               | 2,04/0,74               |
| BX        | 1      | 0,92/0,82                              | 4,06/3,30               | 3,42/1,04               | 0,64/0,56                            | 3,34/2,64               | 3,58/0,76               |
| BX        | 2      | 0,76/0,82                              | 2,82/2,74               | 1,10/0,54               | 0,48/0,46                            | 2,16/2,18               | 1,54/0,66               |
| BX        | 4      | 0,88/0,82                              | 3,66/2,90               | 1,70/0,88               | 0,66/0,54                            | 3,42/2,40               | 2,32/0,88               |
| BA+BX     | 1      | 0,90/1,13                              | 3,75/3,55               | 2,48/0,88               | 0,63/0,70                            | 3,28/2,93               | 3,23/0,73               |
| BA+BX     | 2      | 0,94/0,98                              | 4,02/3,56               | 2,44/1,10               | 0,64/0,70                            | 3,34/3,12               | 2,66/1,00               |
| BA+BX     | 4      | 0,92/0,88                              | 4,12/3,38               | 2,74/1,22               | 0,60/0,60                            | 3,44/2,58               | 3,56/0,78               |
| DOT       | 1      | 0,88/0,80                              | 4,13/3,25               | 3,85/0,90               | 0,60/0,53                            | 3,25/2,70               | 3,93/0,83               |
| DOT       | 2      | 0,88/0,88                              | 3,70/2,95               | 1,50/0,88               | 0,63/0,63                            | 3,28/2,65               | 2,13/1,15               |
| DOT       | 4      | 0,90/0,85                              | 3,83/3,25               | 1,68/1,00               | 0,70/0,60                            | 3,48/2,68               | 2,53/0,85               |
| ÇB        | 1      | 0,90/0,85                              | 4,00/3,23               | 2,95/1,05               | 0,60/0,58                            | 3,18/2,50               | 2,93/0,70               |
| ÇB        | 2      | 0,93/0,90                              | 3,80/3,58               | 3,25/1,15               | 0,60/0,58                            | 3,18/2,50               | 2,93/0,70               |
| ÇB        | 4      | 0,80/0,85                              | 3,35/3,23               | 1,65/0,68               | 0,53/0,58                            | 2,68/2,33               | 2,00/0,30               |
| SPB       | 1      | 0,83/0,83                              | 3,33/2,88               | 1,38/0,63               | 0,53/0,53                            | 2,43/2,03               | 1,65/0,48               |
| SPB       | 2      | 0,93/0,93                              | 4,00/3,35               | 2,35/0,83               | 0,63/0,70                            | 3,15/2,70               | 3,18/0,65               |
| SPB       | 4      | 0,88/0,88                              | 3,48/2,83               | 1,60/0,43               | 0,58/0,60                            | 2,65/2,23               | 2,33/0,40               |

BA : Borik asit

BX : Boraks

DOT : Disodyum oktaborat tetrahidrat

ÇB : Çinkoborat

SPB : Sodyum pentaborat

d- Analiz edilen bu çalışma, borlu bileşiklerle emprenye edilen odunun hızlandırılmış yaşlandırma sonucu, çeşitli üst yüzey özelliklerinin belirlenmesi amaçlarına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; deney ve kontrol örneklerinin her ikisinin de hızlandırılmış yaşlandırma sonrası sertlik değerlerinde bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kontrol ve deney örneklerinin sertlik değerlerinde meydana gelen azalma miktarları arasında belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir. Odunun borlu bileşikler ile

muamele edilmesinde, odunun sertlik niteliği açısından bir sakınca olmadığı ortaya çıkmıştır.

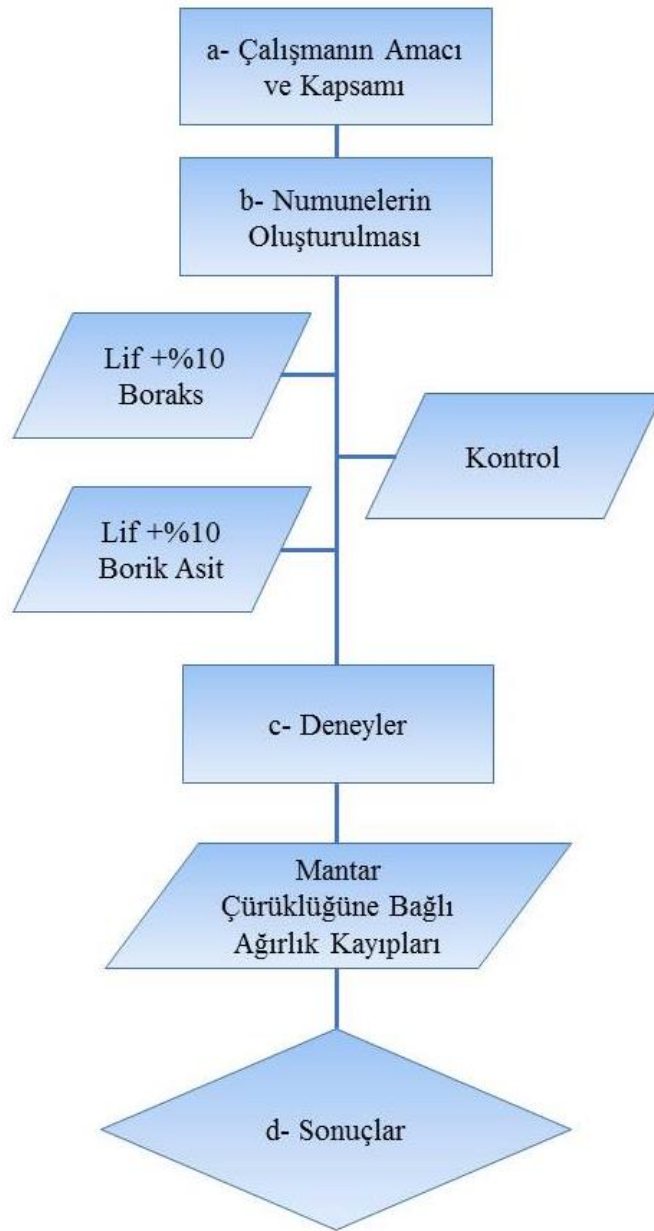
Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası deney örneklerinin “L” değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Buradan, hızlandırılmış yaşlandırma sonucu deney örneklerinde koyulaşma meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonucu “a” değerlerinde meydana gelen artış ile deney örneklerinde kırmızılaşma eğilimi olduğu sonucuna varılmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma sonunda genellikle, deney örneklerinde meydana gelen toplam renk değişimi miktarı, borlu bileşiklerle muamele edilen deney örneklerinde kontrol örneğine kıyasla daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonunda, genellikle deney örneklerinin hepsinin parlaklık değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir [39].

### **3.3.3 Lif levhalarda çürüklük dayanımının bor katkısı ile ilişkisi**

Lif levhalar, masif ağaç malzemeye alternatif olarak geliştirilmiş levha ürünlerinin en önemlilerinden birisidir. Levhaların ana maddesini odun veya diğer lignoselülozik maddeler ile tutkal oluşturmaktadır [43]. Bu nedenle, levha üretiminde kullanılan odun türü, tutkal türü ve çeşitli amaçlarla ilave edilen kimyasal maddeler üretilen levhaların fiziksel, mekanik, biyolojik ve termal özelliklerini etkilemektedir.

Günümüzde, odun ve odun esaslı materyallerin çeşitli biyotik ve abiyotik faktörlere karşı korunması amacıyla, birçok kimyasal madde kullanılmasına rağmen, borlu bileşikler bu kimyasal maddeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Borlu bileşikler; ucuz olmaları, doğada bol miktarda bulunmaları, biyolojik olarak aktif olmaları, insan sağlığına nispeten daha az olumsuz etki etmeleri, çevre dostu olmaları, renksiz ve kokusuz olmaları, yanmayı geciktirici özellik taşımaları gibi birçok avantajlı özelliklere sahiptir [41,42,43].

Bu bölümde analiz edilen ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilmiş olan, %10 konsantrasyonda boraks (BX) ve borik asit (BA) kimyasalları ile muamele edilen MDF levhaların mantar çürüklüğüne karşı direncinin araştırıldığı, “Boraks ve borik asit ile muamele edilerek üretilmiş orta yoğunluklu lif levhalarda (MDF) çürüklük dayanımının belirlenmesi [43]” isimli deneysel çalışmanın akış şeması Şekil 3.23’te verilmiştir.



**Şekil 3.23 : Akış şeması.**

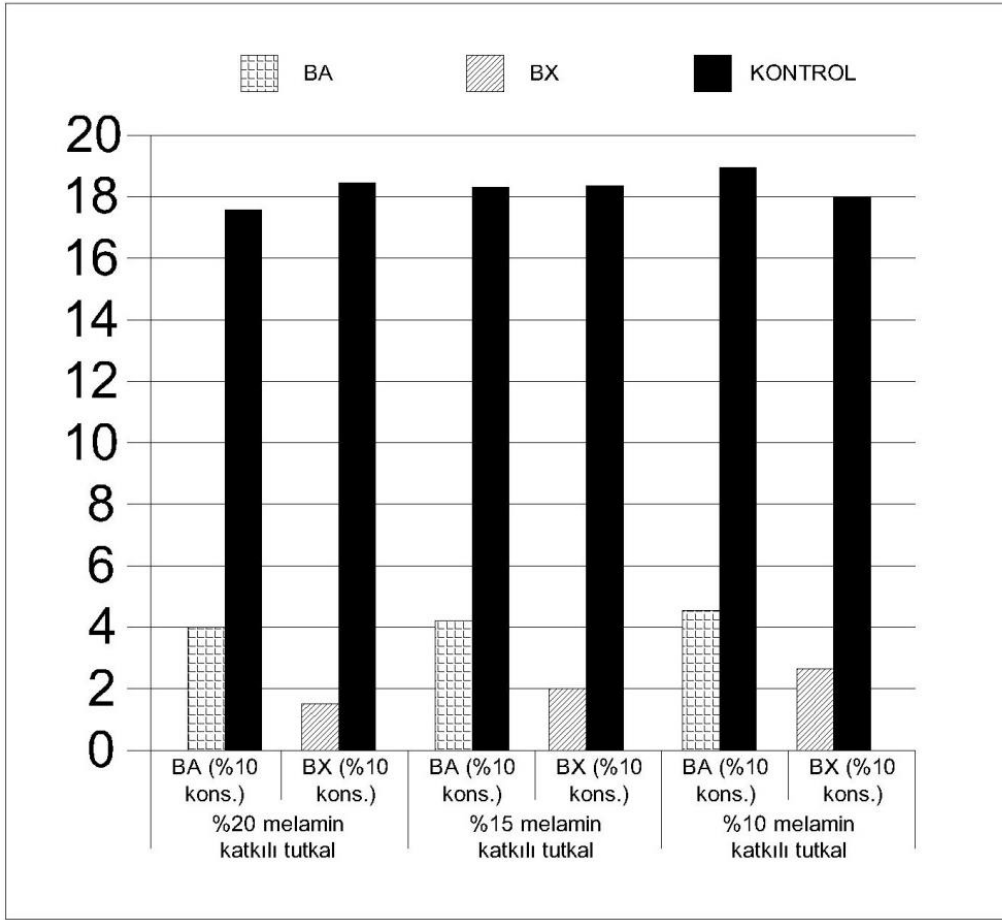
- a- Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümünde yapılmış olan bu çalışmanın amacı; yüksek konsantrasyonda borik asit ve boraks ile muamele edilerek ve farklı melamin içeriğine sahip melamin-üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen deneme levhalarının, mantar çürüklüğü dayanımı üzerinde; kimyasal madde ve tutkalın birlikte gösterdikleri etkileri belirlemektir [43].
- b- Deneyisel çalışmada kullanılmış olan hammadde, Çamsan A.Ş.'den temin edilen, büyük çoğunluğu yapraklı ağaç odunundan elde edilmiş lif karışımıdır. Tutkal olarak, Polisan A.Ş.'den temin edilen %10, %15 ve %20

melamin katkılı melamin-üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Kimyasal emprenye maddeleri olarak ise Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen boraks (BX) ve borik asit (BA) kullanılmıştır.

Borik asit ve boraks %10 konsantrasyonda alınarak su içerisinde çözündürülmüş ve sulu çözelti haline getirilmiştir. Daha sonra bu sulu çözelti ile lifler bir büyük kazan içerisinde muamele edilmiştir. Bu muamele işlemine, lifler çözelti tarafından tam olarak ıslatılınca ve tamamen sulu çözeltiyi eminceye kadar karıştırılarak devam edilmiş, böylelikle kimyasalların liflere nüfuz etmesi sağlanmıştır. Kimyasal madde çözeltileri içerisinde bekletilerek yaş hale gelen lifler, bu muamele işlemini takiben, önce açık havada daha sonra da kurutma fırınında levha üretimi için istenilen lif kuruluşuna ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Kimyasal maddelerle muamele edildikten sonra kurutulan ve elek yardımıyla bireysel hale getirilen lifler; levha üretim işlemine geçilmeden önce, çeşitli oranlarda melamin katkılı melamin-üre formaldehit (MÜF) tutkalı kullanılarak homojen bir şekilde karıştırmak suretiyle tutkallanmıştır. Tutkal, tam kuru lif ağırlığına oranla %16 oranında kullanılmıştır. Tutkallanan lifler serme işleminin ardından preslenerek levha haline getirilmiştir. Deney pres parametreleri ise, sıcaklık 190 C, pres süresi 8 dakika ve pres basıncı 30-35 kg/cm<sup>2</sup> olarak alınmıştır [43].

- c- Levha üretiminde kullanılan hammaddenin büyük çoğunluğu yapraklı ağaç odunu olduğu için test örnekleri bir beyaz çürüklük mantarı olan “Trametes versicolor” mantarının saldırısına maruz bırakılmıştır. Trametes versicolor mantarının saldırısına maruz bırakılan örneklerin ağırlık kayıpları, yaklaşık 4 ay sonra inkübasyon süresi bitiminde hesaplanmıştır [43].

Boraks ve borik asit ile muamele edilerek ve üç farklı melamin katkı oranına sahip MÜF tutkalı kullanılarak üretilen deneme levhalarının Trametes versicolor'a maruz bırakılması sonucu elde edilen ağırlık kaybı değerleri üzerinde; boraks ve borik asit ile kullanılan tutkaldaki melamin katkı oranının etkisi Şekil 3.24'teki gibidir.



**Şekil 3.24:** Deneme levhalarının çürüklük deneyi sonucunda ağırlık kaybı değerlerindeki değişim [43].

- d- Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda; %10, %15, %20 melamin katkılı MÜF tutkalı ile %10 konsantrasyonda kimyasal madde kullanılarak üretilen levha gruplarının ağırlık kaybı üzerinde; kimyasal madde türünün ve tutkaldaki melamin katkı oranının %5 yanılma olasılığı ile anlamlı olduğu, bu iki faktör etkileşiminin ise anlamsız olduğu bulunmuştur.

Şekil 3.24'te grafiklendirilen deney sonuçları incelendiğinde, elde edilen tüm kontrol ağırlık değerlerinin %18 ile %19 arasında değiştiği ve bu değerlerin EN 113 standardında belirtilen değerlere uygunluk gösterdiği görülmektedir.

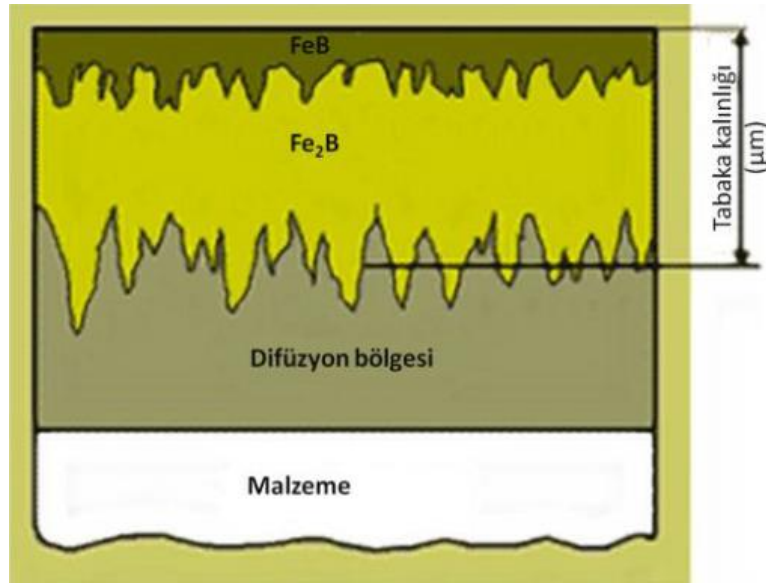
Şekil 3.24'ten görüleceği üzere; BX ve BA ile muamele edilerek üretilmiş tüm levha örneklerinin ağırlık kaybı değerlerinin, kontrol grubu değerlerinden oldukça düşük olduğu, boraks ve borik asit kullanımının, örneklerin beyaz mantar çürüklük dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Yine test sonuçlarından görüleceği üzere, BX kullanılan örneklerde BA kullanılan örneklere göre daha düşük ağırlık kaybı değerleri tespit edilmiştir [43].

Literatürde yapılan bir çok çalışmada çeşitli borlu bileşikler kullanılarak muamele edilen odun esaslı materyallerin mantar çürüklüğüne karşı oldukça iyi dayanım gösterdikleri, bor kullanım oranı artışına da bağlı olarak etkin bir koruma sağlandığı bildirilmiştir, [40,41,42,43].

### 3.4 Metal Sanayisinde Bor Kullanımına Yönelik Çalışmalar

Bor bileşikleri, yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve çapaksız sıvı oluşturma özellikleri nedeniyle ahşap, seramik cam gibi demir dışı metal sanayinde koruyucu cüruf oluşturunu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Bor bileşiklerinin kullanıldığı diğer bir uygulama ise borlamadır. Borlama ile çelik yüzeylerinin sertliği artırılmaktadır. Borlanmış çelikler, yüksek derecede korozyona ve aşınma direncine sahip olup özellikle hidrolik aletlerin yüzeylerinin cilalanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Borlanmış çelik malzemenin yüzeyinde oluşan borür tabakası Şekil 3.25'te görsel olarak detaylandırılmıştır.



**Şekil 3.25 :** Borlama sonucu oluşan borür tabakası.

Metal ve/veya alaşımlarının yüzeylerine bor elementinin yayımlandığı ve borlama işlemi olarak isimlendirilen yöntem, ilk kez 1895 yılında Moisson tarafından Rusya'da uygulanmıştır [44,45]. Bor ve bileşikleri özellikle metalürji sanayinde üç önemli kullanım alanı bulmuştur. Bunlar; çelik üretiminde cüruf yapıcı, çeliklerde alaşım elementi olarak ve çeliklerde ısı işlemi ile yüzey kaplama ve sertleştirme olarak kullanılmasıdır [46,47]. Metal yüzeyleri üzerinde bor bileşiklerinin kullanımı,

insanlık tarihinin en eski teknolojilerinden günümüze kadar kullanıla gelmiştir. Babilliler, 4000 yıl kadar önceleri Altını (Au) işlemek için ve kaynak işlemlerinde boraks olduğu düşünülen kristallerini kullanmışlardır. Daha sonraları bor bileşiklerini temizleyici madde, yağlayıcı, korozyon önleyici ve cüruf yapıcı madde olarak kullanmışlardır [45,47,48]. Bor ile yüzey sertleştirmenin diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert, sürtünme katsayısının ise çok düşük olmasının yanı sıra, asit ve bazlarının oluşturacakları korozyona ve yüksek sıcaklık korozyonuna direnç göstermesidir. Ayrıca borlama işleminin alaşımsız çeliklere uygulanabilmesi ekonomik açıdan bir üstünlük teşkil etmektedir [48]. Ülkemiz bor madeni bakımından dünya rezervlerinin yaklaşık %72'si gibi önemli bir orana sahip olmakla birlikte borlama ısıl işleminde kullanımı yok denecek kadar azdır.

Bor ilavesi çeliğin sertlik ve mukavemetini artırmaktadır. Çelikler 50 ppm düzeyine kadar bor ihtiva edebilirler. Borlu çeliklerin sertleşebilme kabiliyetleri daha yüksektir. Bor, paslanmaz çeliklere de ilave edilmektedir. Büyük ve küçük ölçekte bor ilaveli bazı çelik malzemeler Şekil 3.26'da verilmiştir.



**Şekil 3.26 :** Bor katkılı bazı metal yapı malzemeleri.

Ferrobor; çelik, dökme demir, sürekli mıknatıslar ve amorf metallerin üretiminde kullanılır. Dünya ferrobor üretiminin %50'den fazlası çelik endüstrisinde kullanılmaktadır.

A.B.D. Flinkote Company'nin aldığı bir patentte bazik oksijen fırını (BOF) yöntemi ile çelik üretiminde kireç ergimesinin çabuklaştırılması ve cüruf kontrolünde flor yerine bor kullanılmasının daha avantajlı olacağı tescil edilmiştir. Kanada, Batı Almanya, Japonya ve Ülkemizde de çelik üretiminde florit yerine kolemanit kullanılmaya başlanmıştır.

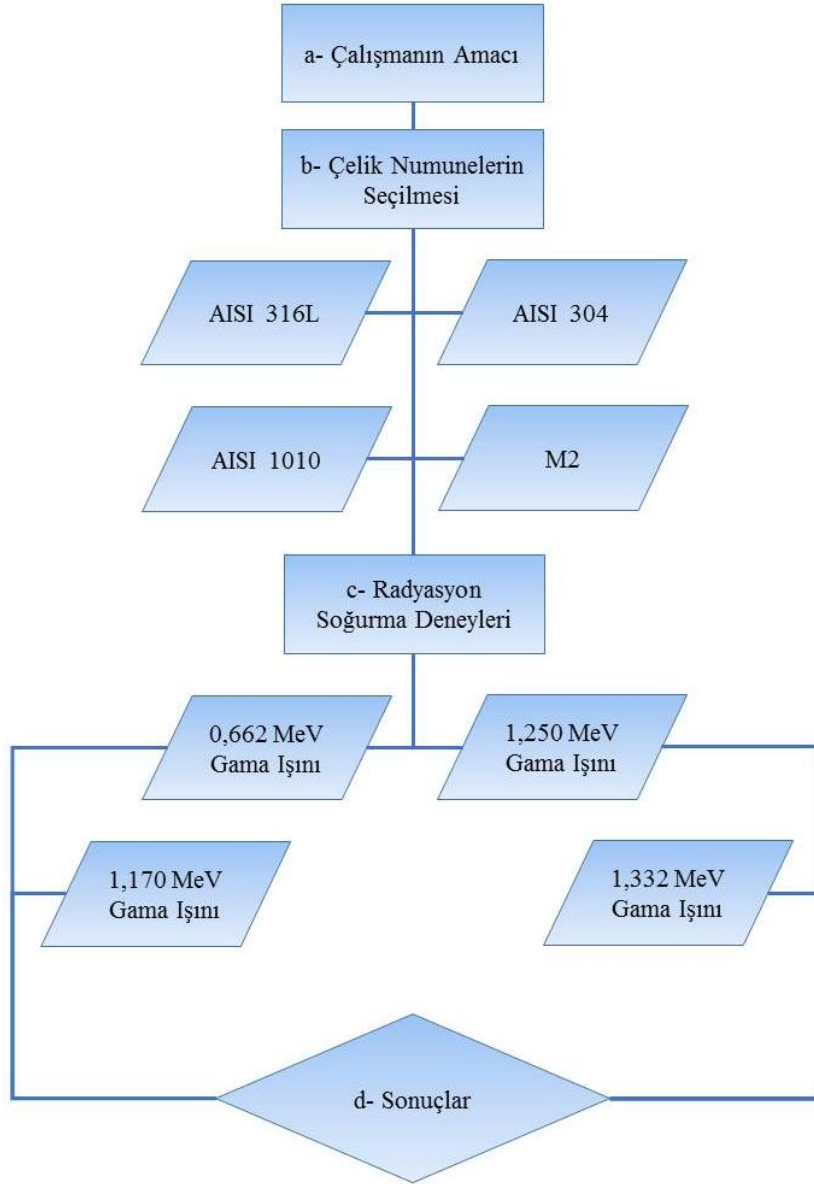
Bu bölümde analiz edilen çalışmalarda demir-çelik ürünleri grubunda borun; çelik, yüksek sıcaklık refrakterleri, kaynak elektrotları, alaşımlar, kaplama, mıknatıslar, süper iletkenler, sürtünmeye ve aşınmaya dayanıklı malzemelerde kullanıldığı ve kullanılabileceği ortaya koyulmuştur.

Bor, metalürji uygulamalarında, kolemanit, sodyum tetraborat, susuz boraks, borik asit ve bor oksit formlarında kullanılmaktadır. Malzemeye kattığı inovatif özellikler ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Çeliğin sertleşme özelliğini geliştirir.
- Ergime sıcaklığını düşürür, enerji tasarrufu sağlar.
- Korozyon direncini artırır.
- Metal çürümelerini azaltır, paslanmayı geciktirir.
- Elektriksel iletkenliği artırır.
- Mıknatıslarda manyetik performansı artırır.

#### **3.4.1 Bor mineralinin radyasyon tutucu özelliğinin metal malzemede kullanılabilirliği**

Radyasyon ışını, canlı mekanizmalar ve insan sağlığı için son derece zararlıdır. Bu olumsuz etkilere karşı canlıların ve insanların korunması önemlidir. Radyasyonun değişik alanlarda hayatımızın her alanına girdiği için radyasyona maruz kalma kaçınılmaz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulamada mümkün olduğu kadar, bu zararlı ışınlardan korunmak için teknolojik gelişmeler sayesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Radyasyon ışınından koruma ve radyasyon ışın zayıflama ile sönmüleme amaçlı değişik malzeme ve malzeme kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Diğer taraftan bazı durumlarda radyasyondan korumak için malzeme yeterli olmamaktadır. Bu durumlarda kullanılan malzemeleri değişik kaplama işlemlerine tabi tutmak gerekir. Günümüz gelişen teknolojisinde bu amaçla yapılan termokimyasal borlama yöntemi ile radyasyon sönmüleme işleminde iyi bir sonuç alınmaktadır. Bu bölümde analiz edilen “Borlama: Malzemenin radyasyondan koruma özelliklerinin iyileştirilmesi [49]” isimli çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü ve Fizik Bölümü ortak çalışması ile yürütülmüş olup, borlama yöntemlerine değinilerek, bazı metallerin borlanmış ve borlanmamış radyasyon soğurma ölçüm sonuçlarını ortaya koymaktadır [49]. Çalışmanın akış şeması Şekil 3.27’deki gibidir.

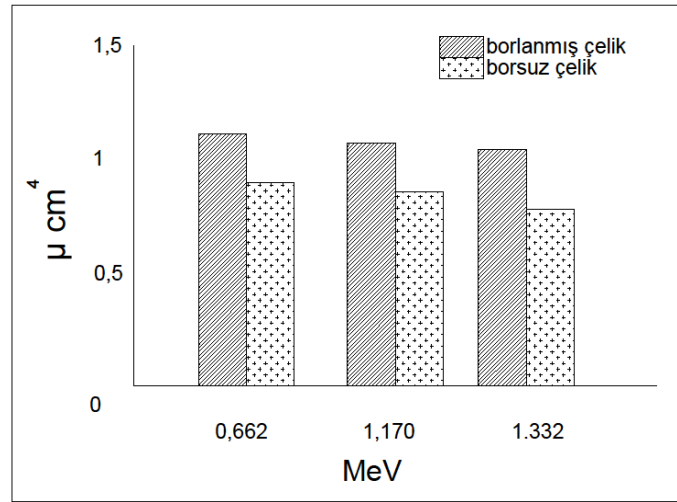


**Şekil 3.27 : Akış şeması.**

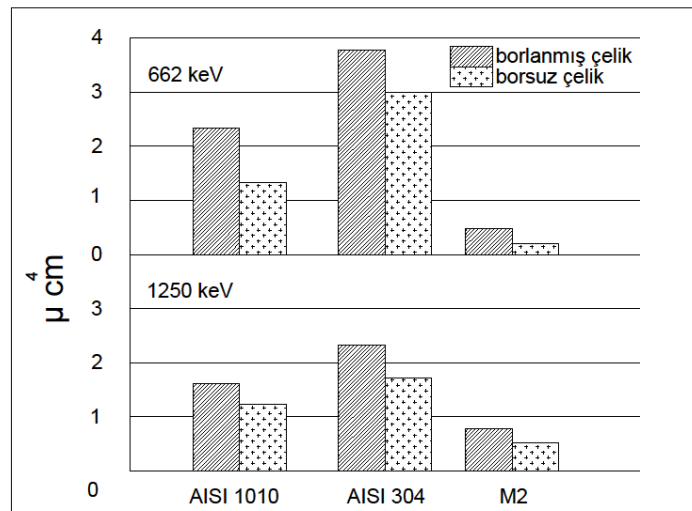
- a- Canlı mekanizmalar ve insan sağlığı için son derece zararlı olan radyasyon ışınlarından korunmak için geliştirilen çalışmada, metal malzemelerin borlama yöntemi ile radyasyon sönümlene özelliklerindeki gelişmeleri ortaya çıkarmak ve ülkemizdeki zengin bor yataklarının kullanım alanının geliştirilmesi hedeflenmiştir [49].
- b- Deneyisel yol izlenen çalışmada, borlamanın radyasyon soğurma özelliğine katkısının araştırılması amacıyla dört grup çelik numuneler seçilmiştir. Bunlar AISI 316L, AISI 304, AISI 1010 ve M2 seçilmişlerdir. Seçilen bu çelikler önce herhangi bir işlem yapılmadan ve daha sonra borlama işlemi yapılarak radyasyon soğurma özellikleri araştırılmıştır.

Borlama işlemi katı ortamda termokimyasal yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler paslanmaz çelik potaları içerisinde 900°C sıcaklıkta difüzyon işlemlerine tabi tutularak yapılmıştır. Isıl işlem 1200°C sıcaklık kapasiteli bir kül fırınında gerçekleştirilmiş ve bu sıcaklık sabit tutulmuştur [49].

- c- Elde edilen bor kaplı çeliklerin radyasyon soğurma katsayıları 0.662, 1.17 ve 1.332 MeV enerjili gama ışınları için gerçekleştirilmiştir. Bu enerjideki ışınlar  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  kaynaklarından elde edilmiştir [49]. Radyasyon soğurma deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’da verilmiştir.



**Şekil 3.28 :** Borlamanın AISI 316L çeliğinin radyasyon zayıflatma katsayısına etkisi [49].



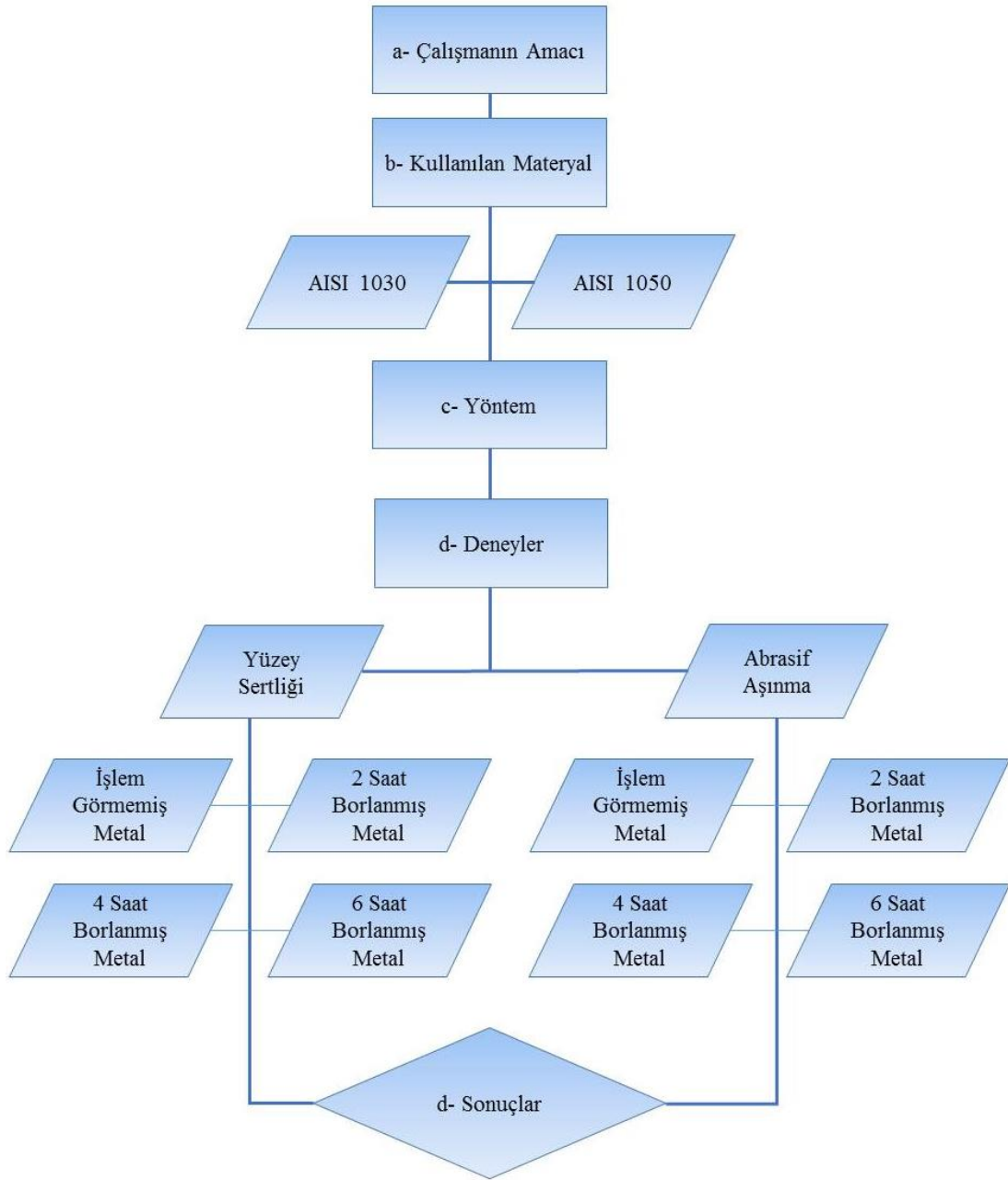
**Şekil 3.29 :** Borlamanın AISI 1010, AISI 304 ve M2 çeliklerinin zayıflatma katsayısına etkisi [49].

Deneyde önce borlama malzemesinin lineer zayıflatma katsayısı hesaplanmış ve elde edilen sonuç Şekil 3.28'de 0.662, 1.17 ve 1.332 MeV enerjilerdeki ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 3.29'da ise 662 KeV ve 1250 KeV enerjilerdeki ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

- d- Deneylerin sonucunda, bor ile kaplanmış olan metallerin normal değerlerinden daha fazla radyasyon sönümlendiği ortaya çıkmıştır. Bu durum, dünya rezervinin %72'sine sahip olan ülkemizde bor için yeni ve önemli bir kullanım alanı oluşabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, yapılmış olan bu çalışma, bor mineralinin tek başına çok iyi bir radyasyon sönümleme malzemesi olduğunu ve yüksek maliyetin önüne geçmek için, metal gibi malzemelerin bor ile kaplanarak bu alanda kullanılabileceğine dikkat çekmiştir.

### **3.4.2 Metal malzemenin aşınma ve korozyon direncinin iyileştirilmesinde bor kullanımı**

Diğer maden hammaddelerinde olduğu gibi bor minerallerinden üretilen ara ve uç ürünlerin ekonomik katma değeri oldukça fazladır. Borun faydalandığı bir saha da çeliklerin yüzey sertleştirmesindeki kullanımıdır. Bu kapsamda “Demir esaslı makine elemanlarının aşınma ve korozyon direncinin artırılmasında borun rolü [50]” isimli çalışma incelenmiştir. İlgili çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği ve Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümleri tarafından ortaklaşa yürütülmüştür. Bu çalışmada, AISI 1030 ve AISI 1050 sade karbon çeliklerine 950 °C sıcaklıkta 2, 4 ve 6 saat sürelerde katı ortamda toz borlama tekniği ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen numuneler aynı çeliklerin işlemsiz halleriyle abrasif aşınma dayanımları açısından laboratuvar ortamında incelenmiştir. Çalışmada, elde edilen borlu tabakaların kalınlıkları ve yüzey sertlik değerleri de ölçülmüştür. Borlamayla AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin işlemsiz hallerine göre yüzey sertliklerinde ve abrasif aşınma dayanımlarında oldukça yüksek oranda artışlar elde edilen çalışmanın akış şeması Şekil 3.30'da verilmiştir.



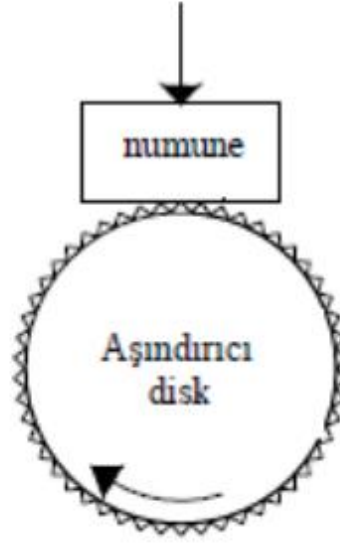
**Şekil 3.30 : Akış şeması.**

- a- Analiz edilen bu çalışmada, borun çelik sanayisinde kullanımı ve malzemeye kattığı inovatif özelliklerin deneysel olarak ortaya çıkarılması ve çeşitli ülkelerde önemli ölçüde kullanılan bu yöntemin, ülkemizde de önemsenmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır [50].
- b- Bu çalışmada, borlanmış sade karbonlu AISI 1030 ve 1050 çeliklerinin işlemsiz hallerine göre yüzey sertlik ve abrazif aşınma dayanımlarında oluşan değişimler incelenmiştir. Denemeye alınan çeliklerin Eskişehir KOSGEB laboratuvarlarında belirlenen kimyasal bileşimleri Çizelge 3.14’te verilmiştir.

**Çizelge 3.14 :** Deney malzemelerinin % ağırlık cinsinden kimyasal birleşimleri [50].

| Malzeme   | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cr    | Mo    | Ni    | Al    | Sn    | Cu    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AISI 1030 | 0,308 | 0,222 | 0,747 | 0,013 | 0,017 | 0,25  | 0,05  | 0,288 | 0,014 | 0,008 | 0,252 |
| AISI 1050 | 0,492 | 0,221 | 0,718 | 0,011 | 0,01  | 0,149 | 0,054 | 0,125 | 0,021 | 0,012 | 0,261 |

Aşınma test cihazının şekil ve boyutlarına uygun olarak deney numuneleri (her bir şart için 3'er tane) hazırlanmıştır. Borlama işleminden önce numunelerin yüzeyleri sırasıyla 400, 800 ve 1200 meşlik SiC'li sulu zımpara kâğıtlarıyla zımparalanmış ve sonra alkolle temizlenip kurulanmışlardır. Aşınma deneylerinde Plint TE53 arka aşınma test cihazı kullanılmıştır. Aşınma test cihazının şematik şekli Şekil 3.31'de görülmektedir. Aşınma deneyleri normal oda sıcaklığı ve nem miktarına sahip laboratuvar ortamında yapılmıştır. Aşındırıcı karşıt cisim olarak alüminyum oksitli ( $Al_2O_3$ ) 500 gritlik zımpara kâğıtları kullanılmıştır. Cihazın aşındırıcı metal diski, çift taraflı yapışkan bant kullanılarak zımpara kâğıtlarıyla kaplanmış ve her numune için yeni bir zımpara kâğıdı kullanılmıştır. Aşındırma işleminden sonra numunelerin ağırlıklarında ortaya çıkan değişimlerin ölçümü Precisa 125A markalı, 10-4 gr hassasiyetli terazi ile yapılmıştır. Aşınma deneyleri tamamlandıktan sonra aşındırılan numuneler, sertleştirilmiş örneklerle uygun kesme diski kullanılarak düşük kesme hızında kesilmiş ve Struers marka Labopress-3 model sıcak kalıplama cihazıyla kalıba alınmıştır. Metalografik yöntemlere uygun olarak zımparalanıp parlatılan numuneler % 2'lik nital ile dağlandıktan sonra borür tabakaların mikro yapıları Olympus PMG3 marka optik mikroskopla incelenmiştir. Borlu tabakaların kalınlıklarının ölçümü optik mikroskoba monte edilebilen cihazın kendi optik mikrometresi yardımıyla ölçülmüştür. Yüzey sertlikleri ölçümü Shimadzu HMV-2000 mikro sertlik ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Yüzey sertliklerinin ölçümünde 50 gr yük, 20 sn. süre ile uygulanmıştır [50].



**Şekil 3.31 :** Aşınma test düzeneğinin şematik gösterimi [50].

- c- Borlama işlemi, katı ortamda Ekabor<sup>®</sup>2 toz bor verici karışımıyla ısıl dirençli çelik kutular içerisinde 950 °C sıcaklık ve 2, 4, 6 saat işlem sürelerinde gerçekleştirilmiştir. İşlem sıcaklığında gerekli süre bekletilen kutu fırından çıkartılmış ve üzerine su dökülerek soğutulmuştur. Soğuyan kutunun içinden numuneler çıkartılıp temizlenerek incelemelere hazır hale getirilmişlerdir.

Aşınma deneylerinde aşındırıcı zımpara kâğıdı kaplı disk ile numune yüzeyi arasındaki temas, 42 N sabit yük ile sağlanmıştır. 42 N yük aşınma test cihazının minimum yüküdür. Tüm aşınma deneylerinde diskin dönme hızı 100 devir/dakika seçilmiş ve aşınmayla oluşan ağırlık kayıpları 250, 500, 1000, 1500, 2000 ve 2500 tur sonunda ölçülmüştür. Aşınma deneyleri 3'er kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Her numunenin ilk ağırlıkları birbirinden farklı olduğundan aynı cins malzeme türü içinde karşılaştırmanın daha kolay yapılabilmesi için ağırlık kayıpları, ilk ağırlığa göre her tur sonundaki yüzde ağırlık kaybı cinsinden tanımlanmıştır.

Borür tabakalarının yüzey sertlik değerleri borlu tabaka alanlarının ortasından yapılan 10'ar ölçümle belirlenmiştir. Borür tabakaların kalınlıklarıysa, net görülen uzun 10 adet dişin uzunluklarının ortalaması alınarak tek bir değer cinsinden belirlenmiştir.

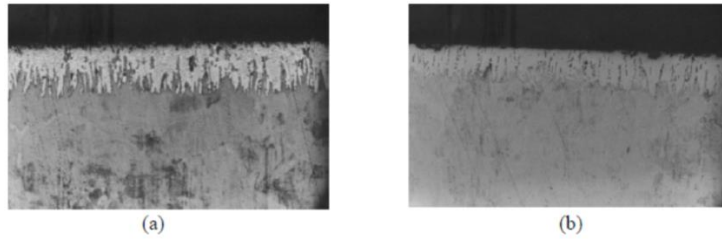
d- AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin işlemsiz ve 950 °C’de 2, 4, 6 saat borlanmış numunelerinde ölçülen minimum ve maksimum yüzey sertlik değerleri Çizelge 3.15’te ve borlama sonucu elde edilen borlu tabaka kalınlığı ortalamaları Çizelge 3.16’da verilmiştir. Şekil 3.32’de 950 °C’de 6 saat borlama işlemi sonucu elde edilen borlu tabakaların mikro yapı fotoğrafları ve Şekil 3.33’de ise her iki malzemenin abrasif aşınma deneyleri sonunda bulunan ağırlık kayıp yüzdelerinin karşılaştırıldığı grafik görülmektedir.

**Çizelge 3.15 :** Ölçülen maksimum yüzey sertlik değerleri (HV<sub>0.05</sub>) [50].

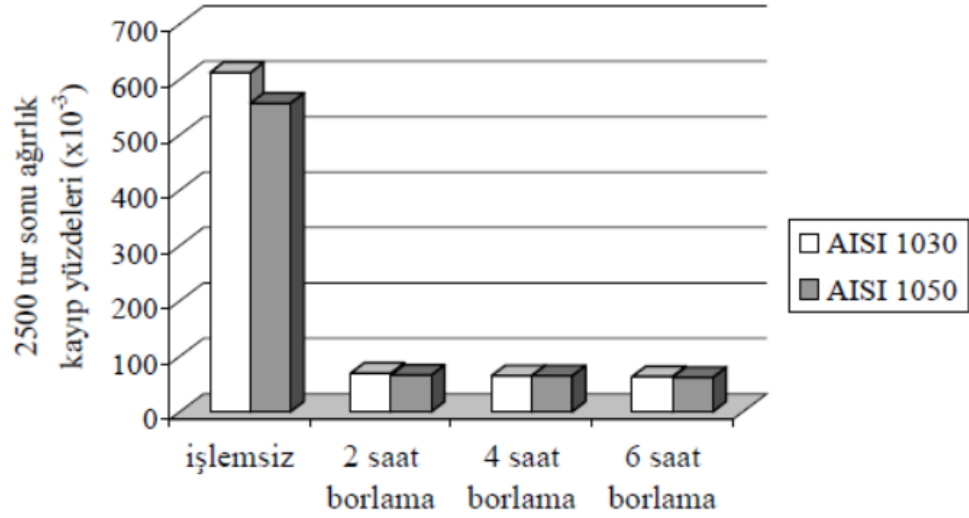
| İşlem şartları |          |                            |                            |                            |
|----------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Mazleme        | İşlemsiz | Borlama<br>950 °C – 2 saat | Borlama<br>950 °C – 4 saat | Borlama<br>950 °C – 4 saat |
| AISI 1030      | 153-170  | 1298-1648                  | 1211-1523                  | 1504-1716                  |
| AISI 1050      | 225-235  | 1224-1693                  | 1362-1839                  | 1314-1892                  |

**Çizelge 3.16 :** Ortalama borlu tabaka kalınlıkları (µm) [50].

| İşlem şartları |                            |                            |                            |
|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Mazleme        | Borlama<br>950 °C – 2 saat | Borlama<br>950 °C – 4 saat | Borlama<br>950 °C – 4 saat |
| AISI 1030      | 73.80                      | 82.30                      | 118.20                     |
| AISI 1050      | 68.20                      | 75.15                      | 108.70                     |



**Şekil 3.32 :** 950 °C’de 6 saat borlanmış (a) AISI 1030 ve (b) AISI 1050 çeliklerinin mikro yapı fotoğrafları [50].



**Şekil 3.33 :** AISI 1030 ve AISI 1050 malzemelerinin aşınma deneyleri sonunda bulunan ağırlık kayıp yüzdelерinin karşılaştırılması [50].

- e- Çizelge 3.15 incelendiğinde borlama sonucu malzemelerin yüzey sertlik değerlerinin işlemsiz hallerine göre yaklaşık 8 – 10 kat arttığı görülmektedir. Çizelge 3.16’da belirtilen ortalama borlu tabaka kalınlıkları incelendiğinde ise aynı malzeme için artan işlem süresinin tabaka kalınlığının düzenli olarak artmasına neden olduğu gözlenmiştir. İncelemeye alınan sade karbonlu çelik malzemelerde artan karbon miktarının elde edilen borür tabaka kalınlıklarını belirgin bir şekilde azalttığı buna karşılık yüzey sertlik değerlerinde ise az da olsa artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Sade karbonlu çelik numunelerle (AISI 1030 ve 1050) yapılan abrasif aşınma deney sonuçları incelendiğinde ise, borlanmış çeliklerin alüminyum oksit aşındırıcısına karşı çok büyük oranlarda abrasif aşınma dayanımı kazanmış oldukları belirlenmiştir. Bu malzemelerin işlemsiz hallerinin aşınma davranışları incelendiğinde artan karbon miktarıyla artan yüzey sertliğinin abrasif aşınma dayanımını olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir. Şekil 3.33 ele alındığında, AISI 1030 çeliğinde 2, 4 ve 6 saatlik süreler sonunda, borlanmış numunelerin işlemsiz numunelere göre  $Al_2O_3$ -500 grit aşındırıcı karşısında 8.77, 9.44, 9.58 kat ve AISI 1050 çeliğinde aynı süreler sonunda borlanmış numunelerin işlemsizlere göre  $Al_2O_3$ -500 grit aşındırıcı karşısında 8.39, 8.56 ve 8.97 kat daha az aşındıkları tespit edilmiştir.

Aynı malzemede artan borlama işlem süresiyle, artan borlu tabaka kalınlığı aşınmanın azalmasına neden olurken; farklı karbon miktarına sahip iki malzeme karşılaştırıldığında elde edilen borür tabakaların yaklaşık aynı aşınma davranışını sergiledikleri gözlenmiştir. Bu da, borlanmış sade karbonlu çeliklerin abrasif aşınma dayanımında kullanılan altlık malzemesinin karbon oranının ne derece önemli olup olmadığının belirlenmesi için araştırmaların farklı karbon miktarları içeren malzemelerle genişletilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır [50].

### 3.5 Değerlendirme

Bu bölümde yapılmış olan değerlendirmeler, tezin üçüncü bölümünde yer alan kategori sırasına göre yapılmıştır. Üçüncü bölümde analiz edilen çalışmaların, yapıda kullanılan malzeme çerçevesinde elde edilen somut sonuçlarına dayalı olarak, borun yapı malzemesi üretiminde sağladığı avantajlara bakıldığında;

- Çimento sanayisinde bor:

Borun çimento sanayisinde kullanımına yönelik olarak yapılmış çalışmalara bakıldığında, ülkemizin bu alanda öncülük sağlayarak bor katkılı çimentonun patentini aldığı ve oluşturduğu Türk Standardının uygulamada yer aldığı görülmektedir.

Bir bor minerali olan kolemanit, %8 oranında çimento üretiminde kullanılarak klinker pişirme sıcaklığını düşürmekte ve çimentonun özelliklerini iyileştirmektedir. Borlu çimento; mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidrasyon ısı, prizlenme süresi gibi parametreler açısından portland çimentosuna göre daha iyi özellikler sergilemektedir. Hidrasyon ısısının düşük olması özellikle kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır. Ayrıca, yapılmış olan deney sonuçlarına bakıldığında borlu çimentonun radyasyon geçirgenliği özelliğinin, portland çimentosuna göre önemli ölçüde azalarak, radyasyon korunumu sağladığı görülmektedir.

Çimento üretiminde kolemanit kullanımı ayrıca, atmosfere salınan karbon dioksit miktarını % 25-30 gibi önemli bir oranda düşürmektedir. Borlu çimento üretimi, Kyoto protokolünün getirdiği sorumluluklar dâhilinde çevre kontrolü için de önem arz etmektedir.

- Zemin ve Duvar Kaplama Malzemesinde Bor:

Bu alanda yapılmış olan çalışmalardan da anlaşılabacağı üzere günümüzde bor, zemin ve duvar kaplama malzemesi üretiminde sır bünyelerine ve fritlere kattığı inovatif özellikler sayesinde keşfedilerek sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Seramik sırlarında kullanılan bor oksit oranı ağırlıkça %8-24 arasında değişmektedir. Sırlarda bor oksidin temel fonksiyonu, esas itibarıyla cam ve malzeme arasında ısısal açıdan uyum sağlamak ve sırrın ısısal genleşme kat sayısını düzenlemektir. Sırlara, bor ilavesinin diğer bir sebebi, ergimenin ilk aşamalarında cam oluşumunu sağlamaktır. Boratlar, aynı zamanda sırçaların refakate endeksini artırarak görünümünü de iyileştirmektedir. Sır bünyesine bor eklenmesinin, mekanik gücü ve çizilme direncini artırdığı, deneylerle ortaya koyulmuştur. Bor ayrıca, zemin ve duvar kaplama malzemelerinde kimyasalların ve suyun etkilerine karşı direnci artırmaktadır. Diğer taraftan borlar renklendiricilerin katılımına taban oluşturmaktadır.

Emayelerin akışkanlığını ve doymuşlaşma ısını azaltan bor oksit, emaye bünyesinde %20' ye kadar kullanılabilir ve sulu boraks tercih edilmektedir. Seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor ise, %3-24 oranlarında kolemanit halinde sırlara katılabilir.

- Ahşap ve ahşap kompozit malzemede bor:

Çalışmanın üçüncü bölümünde incelenen ahşap ve ahşap kompozit malzemede bor kullanımına yönelik çalışmalarda, borun bu sektörde kullanımının önemi ve avantajı vurgulanmıştır. Borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat gibi çözünebilir boratlar, tahta, kontraplak, ağaç fiber, kâğıt ve pamuk gibi selülozik malzemelerde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

İncelenen çalışmalardan görüleceği üzere; ahşap ve ahşap kompozit malzemenin bor katkılı ürünlerle emprenye edilmesi ile malzemenin yangına karşı dayanımında önemli ölçüde artış sağlanırken, çekme dayanımında da bir miktar artış sağladığı ortaya çıkmıştır.

Ayrıca, borlu bileşikler ile emprenye edilen ahşap ve ahşap kompozit malzemeler üzerinde yapılan deneysel araştırmalar bu numunelerin, bor katkısız bileşikler ile emprenye edilen malzemelere göre böcek ve mantar oluşumuna bağlı çürüklük dayanımının önemli ölçüde arttığını göstererek, ahşap malzemenin bor sayesinde kullanım ömrünün arttığını ve dolaylı olarak ham maddeden tasarruf sağlandığını

ortaya çıkarmıştır. Yapılmış olan hızlandırılmış yaşlandırma deneylerinde ise, bor katkılı bileşikler ile emprenye edilen ahşap ve ahşap kompozit malzemelerin yüzey sertliği, yüzey parlaklığı ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, kontrol gruplarına kıyasla önemli ölçüde daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır.

- Metal sanayisinde bor:

nceki bölümlerde incelendiği üzere bor mineralinin kullanıldığı yeni alanlardan bir tanesi de metal sanayisidir. Bor, metal sanayisinde borlama yöntemi ile dünyada kendisine uygulama alanı bulmuş ve kattığı inovatif özellikler ile günümüz teknolojisinde metal sanayisinde kullanılmaya başlanmıştır.

Metal sanayisi alanında incelenmiş olan çalışmalara göre dünyanın çeşitli ülkelerinde elik üretiminde aktif olarak kullanılan bor, metalin radyasyon sönümleme ve korozyon direnci özelliklerinde önemli derecede artış sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, incelenen deneysel çalışmalardan görüleceği üzere borlama sayesinde çeliğin yüzey sertlik değerinde ve aşınma direncinde çok büyük artış sağlanmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Analiz edilen çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, dünya rezervinin önemli bir bölümünün ülkemizde bulunduğu bor minerali, çimento, seramik, ahşap, metal gibi birçok yapı malzemesinde kullanılmakta ve yeni kullanım alanları ortaya çıkmaya devam etmektedir. Türkiye, sahip olduğu bor mineralleri rezervlerinin büyüklüğü ve minerallerin dünya pazarında aranılan nitelikleri açısından önemli bir konumdadır. Bu nedenle, bor cevherlerinin en verimli şekilde üretilerek kullanılması ve açığa çıkan atıkların değerlendirilmesi ülkemiz açısından büyük önem arz etmektedir. Ülkemiz büyük bir bor potansiyeline sahip olmasına rağmen son ürün üretimi, çeşitliliği ve pazar payı yönünden oldukça zayıf kalmaktadır.

Sektörde her geçen gün artan çimento kullanımı, bor mineralinin değerlendirilebileceği önemli sektörlerden biri olacağı düşünülmektedir. Özellikle dayanım açısından sağladığı avantaj ile sektörde öne çıkabilecek bir potansiyele sahip olan borlu çimento, yüksek dayanım özelliği sayesinde farklı tasarımların da uygulamaya geçebilmesi için bir avantaj oluşturmaktadır. Hammadde tasarrufu ve CO<sub>2</sub> gazı salınımında sağladığı avantaj ise, borlu çimentonun kullanılması için çevresel bir sebep olmaktadır.

Seramik sektöründe bor mineralinin kil bünyesinde kullanılabileceği gibi seramik üzerindeki sır bünyesinde de kullanılabileceği incelenen çalışmalarda vurgulanmıştır. Sır bünyesinde kullanıldığında özellikle yüzey sertliğini arttırarak malzemeye mukavemet kazandırması ve malzemenin kullanım ömrünün artması, bu sektörde bor kullanımını teşvik edecek niteliktedir. Ayrıca, bor mineralinin seramik bünyesinde katkı maddesi olarak kullanılması ile malzemenin mukavemetinin arttığı çalışmalarla sabitlenmiştir. Bu sonuç ise, seramik zemin ve duvar kaplama malzemelerinin daha ince, estetik ve yüksek mukavemetli üretilebileceğinin ve seramik sektöründe yeni bir ürünün oluşabileceğinin göstergesidir.

Bor, Türkiye' de ve dünyada ahşap koruma endüstrisi için de oldukça önem arz etmektedir. Bu alanda önemli miktarda bor tüketimi sağlanarak bor hammaddesi, emprenye uç ürünlerinin üretiminde kullanılabilecek kapasiteye sahip olduğu

incelenen çalışmalardan görülmektedir. Bor mineralinin ahşap sanayisine kazandırılması ile ormanlar üzerindeki baskılar azaltılabilir, orman ürünlerini (kereste, yonga levha, lif levha, kontrplak vs.) emprenye etmek suretiyle kullanım ömürleri artırılabilir. Ülkemizde bulunan bor minerali rezervi göz önüne alındığında, bor mineralinin ahşap koruma sektörüne kazandırılması ile yeni istihdam alanlarının da oluşacağı düşünülmektedir.

Metal sanayisinde ise, diğer sektörlere oranla daha az bor tüketimi olmasına rağmen, bor uç ürün çeşitliliği açısından önem arz etmektedir. İncelenen çalışmalardan görüldüğü üzere, borlama yöntemi ile elik malzemenin aşınma ve korozyon direncinin artmasının yanısıra yüzey sertlik ve radyasyon tutma değerlerinde de iyileşme sağlanmaktadır. Bor mineralinin malzemeye kattığı bu inovatif özellikler, yapı malzemesi alanında borlanmış elik malzemelerin tercih edilebileceğine şüphe bırakmamaktadır.

Bor mineralinin mevcut kimyasal ve fiziksel özellikleri ile yapı malzemelerine kattığı özellikler ele alındığında, bor mineralinin yapı malzemesi alanında farklı kullanım alanları bulabileceği düşünülmektedir. Bor mineralinin; mukavemet arttırıcı, bağlayıcı, pişme sıcaklığı düşürücü gibi özellikleri göz önüne alınarak, pişme evresinden geçen diğer yapı malzemelerinde de kullanılabilirliğinin araştırılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

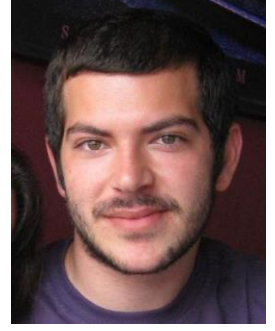
- [1] **Url-1** <http://www.etimaden.gov.tr> Eti Maden İşletmeleri resmi web sitesi, erişim tar. 10.04.2015
- [2] **Ediz, N. ve Özdağ, H.**, 2001, Bor Mineralleri ve Ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 2, Kütahya, Türkiye.
- [3] **C. Helvacı**, 2004, Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- [4] **Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M.**, 1997, 2. endüstriyel hammaddeler sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- [5] **İsmail H. A.**, “Türkiye’de ve Dünya’da Bor”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri
- [6] **D. E. Garrett**, 1998, Borates, a recent survey of the industry. Academic Press, San Diego, California, USA
- [7] **Beatty, Richard**, 2005, “boron” the elements, Marshall Cavendish Corp.
- [8] **Adair, Rick**, 2007, “boron” understanding the elements of periodic table. The Rosen Publishing Group.
- [9] **Angulo, Marc A.**, 2012, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, USA
- [10] **“Flotation Studies of Colemanite Ores from the Emet Deposits of Türkiye”**, 1994, Doktora Tezi, Birmingham Üni., Kimya Müh. Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı, Birmingham, İngiltere
- [11] **Özkan, Ş.G., Lyday, P.A.**, 1995, “Physical and Chemical Treatment of Boron Ores”, SME’s Annual Meeting, Preprint 95-186, Denver, USA
- [12] **İ. H. Kırşan**, 2001, Madencilik Sektörünün Sorunları ve Çözüm Önerileri, 17. Uluslararası Madencilik Kongresi
- [13] **Url-2** <http://www.boren.gov.tr/> ulusal bor araştırma enstitüsü resmi web sayfası, erişim tar: 10.12.2014
- [14] **Beatty, Richard**, 2005, “boron” the elements, Marshall Cavendish Corp.
- [15] **Kahraman, B., Özkan, Ş.G.**, 2001, “Borun Stratejik Önemi”, Radikal Gazetesi, Yorum Köşesi, Yıl: 5, Sayı: 1689, s. 6, İstanbul
- [16] **Schauss, A.G.**, 1999, Minerals, Trace Elements and Human Health. Life Sciences Press: Tacoma, WA
- [17] **T.Yavuz, Cafer.**, 2008, “Bor’u ne kadar tanıyoruz”, Bilim Stratejileri Araştırma Kurulu (BİLSAK).

- [18] **Adnan Ç.**, 2002, Türkiye'nin bor madenleri ve özellikleri, Mühendis ve Makina Cilt: 43 Sayı: 508
- [19] **Zbayolu, G., Poslu, K.**, 1992, "Mining and Processing of Borates in Turkey". Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review 9 : 245–254.
- [20] **Özkan, Ş.G., Lyday, P.A.**, 1995, “Physical and Chemical Treatment of Boron Ores”, SME’s Annual Meeting, Preprint 95-186, Denver.
- [21] Bor madenlerinin ruhsat ve saha işletme hakkındaki 01.10.1978 tarih, 2172 sayı ve 10.06.1983 tarih, 2840 sayılı kanunlar
- [22] **Yrd. Doç. Dr. Atilla EVCİN**, 2007, Bor teknolojisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- [23] **Roskill M.**, 1999, The Economics of Boron, 9th Edition. Roskill Information Services Ltd., London.
- [24] **Bor Sektör Raporu**, 2011, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.
- [25] **TUBİTAK – MAM**, “Borun Kullanım alanları” , (www.mam.gov.tr)
- [26] **Kar, Y. Şen, Nejd, Demirbaş, Ayhan**, 2006, "Boron Minerals in Turkey, Their Application Areas and Importance for the Country's Economy". Minerals & Energy – Raw Materials Report.
- [27] **Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M.**, 1997, “Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madencilik”, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 224-228, İzmir.
- [28] **Ertün, T.**, 2009, Klinker üretiminde kolemanit kullanımının araştırılması ve çimento endüstrisinde uygulanabilirliği, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
- [29] **F. Özmal, Y. Erdoğan, A. Olgun, N. Atar, İ. Kula, M.S. Erdoğan, O.M. Kalfa**, 2005, Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül ve Alümit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi, I.Ulusal Bor Çalıştayı, Ankara.
- [30] **Gülensoy H. ve Şengil İ.A.**, 1988, Alümit cevherinin çimento sanayinde kullanılması, Türkiye Çimento Müstahsilleri.
- [31] **Şükrü Y., Ahmet Ç.**, 2005, Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 17 (4), 687-692.
- [32] **G. Keleş, M.M. Kocakerim, R. Boncukçuoğlu**, 2005, Borojips ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması, I.Ulusal Bor Çalıştayı, Ankara.
- [33] **Çiğdemir, G., Kara, A., Kara, F.**, 2005, Porselen Karo Bünyelerine Borik Asit İlavesinin Etkileri, S.19-25, I. Ulusal Bor Çalıştayı, Ankara.
- [34] **M. B. Kayman, F. Baycani G. Haskılıç, S. Yılmaz**, 2005, Bor oksitli artistik seramik sırları, I. Ulusal Bor Çalıştayı, Ankara.
- [35] **Arcasoy A.** 1985, Seramik Teknolojisi. Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı, Yayınlan No:2

- [36] **B. Karasu, G. Kaya & R. Kozulu**, 2002, Konsantre boraks atığının duvar karosu sırlarında K-feldispat yerine kullanımı, Kütahya I. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı, Sayfa 193-97, Kütahya.
- [37] **Alma M.H., Acemioğlu B.**, 2001, Türkiye'nin bor kaynakları, kullanım yerleri ve orman ürünleri endüstrisi, KSÜ fen ve mühendislik dergisi, cilt 4, sayı 2.
- [38] **B. Uysal, Ş. Kurt**, 2005, Borlu Bileşiklerle Emprenye Edilmiş Kayın ve Sarıçam Ağaçlarının Yanma Özellikleri. Karabük Üniversitesi, I. Ulusal Bor Çalıştayı.
- [39] **A. Topgul, E. Baysal, H. Toker, O. Göktas, M. Çolak, H. Şimşek, H. Peker**. 2009, Borlu Bileşiklerle Muamele Edilen Odunda Hızlandırılmış-Yaşlandırma Sonrası Bazı Yüzey Özellikleri. IV. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 15-17 Ekim 2009 Eskişehir 569-577.
- [40] **Sönmez, A.** 2002, Üst Yüzey işlemlerine Hazırlık. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, Ankara s.141.
- [41] **Feist, W.C.**, 1979, Protection of wood surfaces with chromium trioxide. Forest Product Laboratory, Research Paper.
- [42] **Feist, W.C., R.S. Williams**, 1991, Weathering durability of chromium-treated southern pine. Forest Products J.41.
- [43] **Ustaömer, D., Usta, M., Yıldız, Ü.C., Yıldız, S., Tomak, E.D.**, 2009, Boraks ve Borik Asit ile Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunlukta Liflevhalarda MDF Çürüklük Dayanımının Belirlenmesi, IV.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- [44] **Matuschka, A. G. V**; 1980, Boranizing München, Wien: Hanser 100 s.,
- [45] **Özsoy, A.**, 1991, Çeliğin Borlanması Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Anamatriksin Özelliklerinin İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [46] **Taşçı, A.**, 1993, Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları, Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] **Çalık, A.**, 2002, Türkiye'nin Bor Madenleri ve Özellikleri, Makine ve Mühendis Dergisi, Sayı 508, 36-41.
- [48] **Roskill, M.**, 1999, The Economics of Boron, 9th Edition, Roskill Information Services Ltd., London.
- [49] **Çalık, A., Akkurt, İ., Akyıldırım, H., Günoğlu, K.**, 2009, Borlama: Malzemelerin Radyasyon Koruma Özelliklerinin İyileştirilmesi. 4. Uluslararası Bor Sempozyumu.
- [50] **Selçuk, B., Yüksek, S. ve Uysal, Ö.**, 2002, Demir Esaslı Makine Elemanlarının Aşınma ve Korozyon Direncinin Arttırılmasında Borun Rölü, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 114-118, Kütahya.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Tufan Bora Samuk

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Üsküdar – 03.06.1988

**E-Posta** : tufan.samuk@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Mimarlık, Mimarlık