

**MAGNEZYUM BORAT SENTEZİ VE ALEV GECİKTİRİCİ PİGMENT
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ**

Önder ATALAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

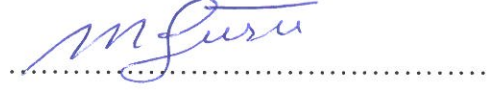
**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2012

ANKARA

Önder ATALAY tarafından hazırlanan “MAGNEZYUM BORAT SENTEZİ VE ALEV GECİKTİRİCİ PİGMENT OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ” adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Metin GÜRÜ



Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Musa ATAR



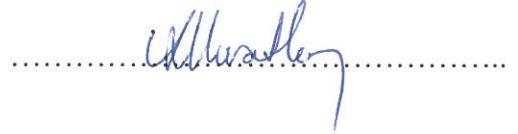
Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Metin GÜRÜ



Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Ayşe MURAHTAN



Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tez Savunma Tarihi: 08/01/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Önder ATALAY

**MAGNEZYUM BORAT SENTEZİ VE ALEV GECİKTİRİCİ PİGMENT
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Önder ATALAY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OCAK 2012**

ÖZET

Türkiye sahip olduğu bor rezervleri ve cevherlerinin kalitesi ile dünyanın önde gelen ülkelerindedir. Buna rağmen ürünlerinin çeşitliliği sahip olunan potansiyel yanında çok azdır. Ürün çeşidinin az olması ve pazarlama konusundaki sıkıntılar nedeniyle yapılan dış satışlar istenilen düzeyde olmayıp, konsantre cevher ve rafine ürünler ile sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle de değişik bor ürünleri elde edilmesine yönelik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde magnezyum borat sentezleri, kristallendirme ve çöktürme, mekanokimyasal işlem, mikrodalga ısıtma ve CVD yöntemleri gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Magnezyum borat sentezindeki amaç istenilen kimyasal yapıdaki bileşiği optimum şartlarda elde etmek ve ürünün tane boyutunu minimize ederek nano boyuta ulaşmaktır. Ayrıca çevreye duyarlı malzeme üretmek amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada magnezyum borat sentezi katı faz reaksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Katı faz reaksiyonu ile ülkemizde bol bulunan ve ucuz olan magnezyum oksit ve bor oksit ile yüksek sıcaklıkta magnezyum borat sinterlemesi yapılmıştır. Ürünler karakterize edilmiş ve uygun bir bağlayıcı vasıtasıyla boya haline dönüştürülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda

1-1 mol oranıyla hazırlanmış ve sinterlenmiş numunenin FTIR ve XRD grafiklerinde $Mg_2(B_2O_5)$ ve MgB_4O_7 piklerine rastlanmıştır ve $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1-1 mol oranıyla hazırlanmış numunenin ekonomiklik ve performans açısından en uygun mol oranı olduğu tespit edilmiştir. Magnezyum borat katkı boyaların alev geciktirme ve yüksek sıcaklığa dayanım özellikleri incelenmiş ve karakterizasyon işlemleri sonucu yüzeyi magnezyum borat katkı silikon bağlayıcı ile hazırlanmış çinko levhaların üzerinde $800\text{ }^\circ\text{C}$ ' de bozunmanın gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmalar sonucu bulunan %39'luk limit oksijen değeri ise üretilen magnezyum borat bileşiğinin alev geciktirici özelliği olduğunun göstergesidir.

Bilim Kodu : 912.1.094
Anahtar sözcükler : Magnezyum borat, alev geciktirici, yüksek sıcaklık, boyalar
Sayfa Adedi : 69
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

**MAGNESIUM BORATE SYNTHESIS AND USABILITY AS FLAME
RETARDANCE PIGMENT
(M.Sc. Thesis)**

Önder ATALAY

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
JANUARY 2012**

ABSTRACT

Turkey which has high boron reserves and boron quality is the one of the world's leading country. However, the variety of products possessed very low potential well. Product variety is less than the desired level of foreign sales and marketing are not carried out due to insecurity, concentrate ore and refined products remains limited. Therefore, there is a need for studies for obtaining various boron compounds.

In the literature synthesis of magnesium borate are crystallization and precipitation, mechanochemical process, microwave heating and CVD methods. Purpose of the synthesis of magnesium borate compound is to obtain the desired chemical composition at optimum conditions and to achieve minimum particle size (Nano size). It's aimed to produce environmentally-friendly material.

High temperature sintering of magnesium borate is made by solid-phase reaction. For the reaction magnesium oxide and boron oxide compounds which are found in abundance in our country and inexpensive are used. Products were characterized and transformed

into a dye by means of a suitable binder. As a result of the study, $Mg_2(B_2O_5)$ ve MgB_4O_7 peaks are observed at a sample's, prepared and sintered with 1-1 mole rate at 900 °C, FTIR and XRD charts. Fire retardation and resistance to high temperature specialties of Magnesium borate added dyes have been examined and as a result of characterization processes no decay has been observed on zinc plates which surfaces are prepared with magnesium borate added silicon binder at 800 °C.

Also efficiency and performance of this sample's molar ratio was found to be most suitable molar ratio. In addition, limit oxygen value (39%) identified as a result of studies is proved that flame retardant properties of magnesium borate compound.

Science code : 912.1.094
Key Words : Magnesium borate, flame retardant, high temperature, dye
Number of page : 69
Thesis supervisor : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Metin Gürü' ye yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç. Çetin Çakanyıldırım' a, Araő. Gör. İbrahim Bilici' ye ve araőtırmalarım boyunca bana yardımcı olan Kamil Aktan' a teőekkürü bir borç bilirim.

Önder ATALAY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Bor Mineralleri ve Özellikleri.....	4
2.1.1. Borun tarihçesi.....	6
2.1.2. Türkiye ve dünyada bor rezervleri.....	7
2.1.3. Ticari öneme sahip bor mineralleri.....	9
2.1.4. Borun önemi.....	11
2.2. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları.....	12
2.2.1. Cam sanayi.....	13
2.2.2. Fotoğraf ve görüş sistemleri.....	14
2.2.3.Seramik sanayi.....	14
2.2.4. Spor malzemeleri.....	15
2.2.5. Kâğıt hamuru sanayi.....	15

Sayfa

2.2.6. Elektronik, bilgisayar ve ileri teknoloji.....	15
2.2.7. Temizlik sanayi.....	16
2.2.8. Tarımda bor ürünleri.....	16
2.2.9. Nükleer uygulamalar.....	16
2.2.10. Enerji depolama.....	17
2.2.11. Savunma sanayi.....	17
2.2.12. Tıbbi cihaz ve ilaç sanayi.....	17
2.2.13. Kimya sanayi.....	18
2.2.14. Otomobil hava yastıkları ve antifriz.....	18
2.2.15. Atık temizleme sanayi.....	18
2.2.16. Alev geciktirici ve yavaşlatıcılarda bor ürünleri.....	18
2.2.17. Metalurji.....	19
2.2.18. Yakıt sanayi.....	21
2.2.19. Sağlık.....	21
2.2.20. Diğer kullanım alanları.....	21
2.3. Boyalar.....	22
2.3.1. Boya bileşimine giren maddeler.....	23
2.4. Pigmentler.....	24
2.4.1. İnorganik pigmentler.....	25
2.4.2. Pigmentlerin kristal yapısı.....	26
2.4.3. İnorganik pigmentlerin özelliklerini etkileyen etmenler.....	27
2.5. Magnezyum Boratlar ve Kullanım Alanları.....	28
2.5.1. Susuz magnezyum boratlar.....	29

	Sayfa
2.5.2. Hidratlı magnezyum boratlar.....	30
2.6. Magnezyum Borat Üretim Yöntemleri.....	32
2.7. Alev geciktirici katkı maddeleri.....	35
2.7.1. Alev geciktirici katkı maddelerinin etki mekanizmaları.....	36
2.7.2. Alev geciktirici katkı maddelerinin sınıflandırılmaları.....	41
2.7.3. Alev geciktiriciler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı boyalar.....	45
2.7.4. Alev geciktiricilerin pazarı ve gelişmeler.....	46
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	48
3.1. Katı Faz Reaksiyonu ile Magnezyum Borat Eldesi.....	48
3.2. Magnezyum Borat Pigmentli Boyanın Hazırlanması.....	50
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
4.1. Stokiyometrik Oranların Magnezyum Borat Oluşumuna Etkisi.....	53
4.2. Sonuçların Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi Ve Öneriler.....	62
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ekonomik açıdan önemli bor mineralleri	6
Çizelge 2.2. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı	8
Çizelge 2.3. Türkiye'deki bor rezervlerinin sahalara göre dağılımı (2009)	9
Çizelge 2.4. Bilinen magnezyum borat mineralleri	29
Çizelge 2.5. Halojen esaslı alev geciktirici katkı maddeleri	41
Çizelge 2.6. Fosfat esaslı alev geciktirici katkı maddeleri	43
Çizelge 2.6. Fosfat esaslı alev geciktirici katkı maddeleri	43
Çizelge 2.7. İnorganik alev geciktirici katkı maddeleri	44
Çizelge 2.8. Azot esaslı alev geciktirici katkı maddeleri	45
Çizelge 3.1. Magnezyum borat oluşumunda stokiometrik oranlar	49
Çizelge 4.1. Reaksiyon denklemleri ve oluşabilecek ürünler	53

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Polimerlerin yanma prosesi	37

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. SPEKS SAMPLE PREP marka değirmen cihazı	48
Resim 3.2. XRD cihazı	49
Resim 3.3. a) Boyasız Levha - b)Magnezyum borat pigmentli boya ile kaplanmış levha.....	50
Resim 3.4. Trade raypa markalı fırın.....	51
Resim 3.5. LOI test cihazı	52
Resim 3.6. Silikon esaslı bağlayıcı ile hazırlanan tahta numune.....	52
Resim 4.1. Sinterlenmemiş numunelerin FTIR analizleri	54
Resim 4.2. Sinterlenmemiş ve 900 C0'de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizi (1-0,5 mol oranı).....	64
Resim 4.3. Sinterlenmemiş ve 900 C0'de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizi (1-1 mol oranı).....	55
Resim 4.4. Sinterlenmemiş ve 900 C0'de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizi (1-2 mol oranı).....	55
Resim 4.5. 900 C0' de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizleri.....	56
Resim 4.6. 1-0,5 mol oranı ile hazırlanmış ve sinterlenmiş numunenin XRD analizi	56
Resim 4.7. 1-1 mol oranı ile hazırlanmış ve sinterlenmiş numunenin XRD analizi	57
Resim 4.8. 1-2 mol oranı ile hazırlanmış ve sinterlenmiş numunenin XRD analizi	57
Resim 4.9. 700 °C'de magnezyum borat pigmentli boya ile kaplanmış levha	59

Resim	Sayfa
Resim 4.10. 800 °C'de magnezyum borat pigmentli boya ile kaplanmış	59
Resim 4.11. %39 oksijen konsantrasyonu ile yakılan numuneler.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

°C

Açıklama

santigrad derece

mm

milimetre

g/cm³

birim hacim kütlesi

mohs

mohs sertlik cetveli

ppm

milyonda bir birim

Kısaltmalar

Açıklama

ABD

Amerika Birleşik Devletleri

Al

Alüminyum

Al(OH)₃

Alüminyum hidroksit

ATH

Alüminyum trihidrat

B₂O₃

Bor oksit

B₂H₆

Diboran

B₅H₉

Pentaboran

BBr₃

Bor bromür

BCl₃

Bor klorür

BNCT

Bor neutron terapisi

Ca

Kalsiyum

CaMgB₆O₁₀·6H₂O

Hidroborasit

Cl

Klorür

Co

Kobalt

Cr

Krom

Fe

Demir

FTIR

Fourier Dönüşümlü

Kızılötesi Spektrofotometresi

Kısaltmalar	Açıklama
H_3BO_3	Borik asid
HCl	Hidroklorik asit
H_2O	Su
$KMg(SO_4)Cl \cdot 3H_2O$	Kainit
METGLAS	Demir ve nadir toprak elementleri kombinasyonu
Mg	Magnezyum
$Mg_2B_2O_5$	Suanit
$Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O$	Szaybelyit
$Mg_3B_2O_6$	Kotoit
MgB_4O_7	Magnezyum hegzaborat
$Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$	Kurnakovit
$MgB_8O_{13} \cdot 4H_2O$	Paternoyit
$Mg(BO_2)2 \cdot 3H_2O$	Pinnoit
$MgCl_2$	Magnezyum klorür
$2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 17H_2O$	Dimagnezyum hegzaborat heptadekahidrat
Mn	Mangan
M.S	Milattan sonra
Na	Sodyum
$Na_2Mg(SO_4)2 \cdot 4H_2O$	Blödit
Ni	Nikel
LOI	Limit oksijen indeksi
Sr	Stronsiyum
SO_3	Kükürt trioksit
TEM	Taramalı elektron mikroskopu
Zn	Çinko
XRD	X-ray kırınım

1.GİRİŞ

Tarihte ilk olarak 4000 yıl önce Babiller uzak doğudan boraks ithal etmiş ve bunu altın işlemede kullanmışlardır. Mısırlıların da boru mumyalamada, tıpta ve metalürji uygulamalarında kullandıkları bilinmektedir. Borik asit 1700'lü yılların başında Borakstan yapılmış 1800'lü yılların başında ise elementel bor elde edilmiştir. Elementel Bor 1808 yılında Fransız kimyacı Gay - Lussac ile Baron Louis Thenard ve Sir Davy tarafından bulunmuştur [1].

Endüstri için önemi günden güne artan bor elementi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bor bileşiklerinin üretimi doğadaki bor minerallerinin madencilik, cevher hazırlama ve metalürjik işlemlerden geçirilmesinden sonra gerçekleştirilmektedir. Bor mineral veya cevherleri doğadaki halleriyle ticari önem taşıyabilirler, ancak farklı tipteki rafine bor bileşiklerinin üretilmesi için bazen teknolojik işlemlere tabi tutulurlar. Bu bor bileşikleri içerdikleri B_2O_3 miktarlarına veya taşıdıkları fiziksel veya kimyasal özelliklerine göre farklı alanlarda kullanım alanı bulurlar [2].

Kolemanit, üleksit, boraks gibi bor mineralleri kullanılarak boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, susuz boraks, borik asit, susuz borik asit, sodyum perborat vb. çeşitli bor bileşikleri üretilmektedir. Bu tür bileşikler cam, seramik, tarım, metalürji, nükleer sanayi, kimya ve polimerik malzemeler gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Günümüzde, bor konsantre ve rafine ürünleri kullanılarak çeşitli uç ürünler ve ileri teknoloji malzemeleri üretimi konularında çok sayıda araştırmalar yapılmakta ve bu çalışmaların bir bölümü de endüstriyel ölçekte üretime dönüşmektedir. Çinko borat, disodyum oktaborat tetrahidrat, magnezyum diborür, bor karbür, bor fiberler, sodyum bor hidrür bu konuda verilebilecek tipik örneklerdir [3].

Birçok farklı metal borat bileşiği yalnızca doğal kaynaklardan değil, laboratuvar koşullarında sentezlenerek de elde edilebilmektedir. Bu boratlar, monoborat ya da poliboratlar ($B_2O_4^{2-}$, $(BO_2)_n^{n-}$, $B_3O_n^{6-2n}$) olabilmektedir. Metal

boratlardan p-BaB₂O₄ tek kristali doğrusal olmayan optik materyal, LiB₄O₇ tek kristali ise piezoelektrik özelliğinden dolayı hareketli iletişim sistemlerinde kullanılmaktadırlar. Bor bileşikleri arasında magnezyum boratlar da önem arz etmekte ve çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Bu anlamda, doğal olarak elde edilmiş veya çeşitli yöntemlerle sentezlenmiş farklı bileşimlerde magnezyum borat bileşikleri bulunmaktadır. Örneğin, hidroborasit (CaMgB₆O₆·6H₂O) ve szaybelyit (Mg₂B₂O₅·H₂O) gibi bor mineralleri en fazla oranda Çin'de bulunmakta, bu ülkede ayrıca tuz içeren göllerden kolaylıkla kazanılabilen kloropinnoit (2MgO·2B₂O₃·MgCl₂·14H₂O) bileşiği de bulunmaktadır. Özellikle, kloropinnoit kullanılarak çeşitli magnezyum borat bileşikleri eldesi konusunda yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, çeşitli magnezyum ve bor içeren bileşiklerin etkileştirilmesi yoluyla yapay magnezyum borat bileşikleri sentezlemesi konusunda da çalışmalar bulunmaktadır.

Yapay olarak sentezlenen magnezyum boratlar ısı yöntemleri, sulu sistemlerden kloropinnoitten faz dönüşümü veya organik-anorganik magnezyum ve bor içeren bileşiklerin etkileştirilmesi yoluyla sentezlenebilmektedir. Yapay olarak üretilen magnezyum boratlar, MgOB₂O₃·nH₂O, MgO₃B₂O₃·nH₂O, 2MgOB₂O₃·nH₂O, 2MgO₃B₂O₃·nH₂O gibi çeşitli bileşimlerde olabilmekte ve özelliklerine bağlı olarak farklı kullanım alanları bulabilmektedirler.

Dünyanın en geniş bor rezervine sahip olması sebebiyle büyük bir gelir kaynağı potansiyeline sahiptir. Bor madenleri hem yüksek cevher kalitesi hem de geniş kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle Türkiye için çok önemli bir maden kaynağıdır fakat henüz konsantre ve temel rafine bor bileşikleri dışında herhangi bir üretim yapılmamaktadır. Magnezyum borat bileşikleri dikkate alındığında, boraks ve magnezyum bileşiklerinin etkinleştirilmesi yoluyla sentezleme yapılması yoluna gidilmesi daha uygun görünmektedir. Bu çalışma kapsamında katı faz reaksiyonu ile magnezyum borat sentezlenerek alev geciktirici olarak kullanılabilirliği araştırılacak ve

ulaşılan sonuçlarla bu bileşiklerin üretimleri ve kullanımları ile ilgili öneriler sunulacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Bor Mineralleri ve Özellikleri

Bor elementi periyodik sistemin üçüncü grubunda bulunur. Borun kimyasal simgesi (B), atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 ve elektron dağılımı $1s^2 2s^2 2p^1$ şeklindedir. Doğada kristalin ve amorf olmak üzere iki şekilde bulunur. Kristalin borun yoğunluğu $2,33 \text{ g/cm}^3$ amorf borun yoğunluğu ise $2,34 \text{ g/cm}^3$ tür. Ergime noktası $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası $2550 \text{ }^\circ\text{C}$ olan siyah renkte, metal ametal arası özelliklere sahiptir [3].

Borun sertliği 9,3 mohs değerindedir. Bu özelliği ile bor elmastan sonra en sert malzemedir [2].

Bor doğada serbest halde bulunmaz Ca, Na ve Mg 'un tuzları şeklinde bulunur. Bor doğada %19,78 saflıkta ^{10}B ya da %80,22 saflıkta ^{11}B olarak iki kararlı izotop halinde bulunur. Borun elektrik iletkenliği normal oda sıcaklığında düşük, daha fazla sıcaklıkta ise yüksektir [4].

Oksijene olan büyük ilgisi nedeniyle bor minerallerinin sayısı oldukça fazladır, doğada serbest olarak bulunmaz; volkanik kökenli kaynak sularında ortoborik asit ya da bor ve kolemanit türünden boratlar olarak içerilir. Silikatlar ya da O_2 ile birleşmiş olarak bor tuzlan bileşikleri de söz konusudur.

Na, Ca e Mg ile oluşturduğu bileşikleri en yaygın bulunan bileşiklerdir. Na-, Na-Ca-, Mg-Ca-, Sr-borat minerallerinin sayısı yüzü aşındır.

Bor yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Canlıların bu elementin varlığında evrim geçirdiği düşünülmektedir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı sularda ise

0,01-1,5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları borun oksijen ile bağlanmış bileşikler olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bölgelerinde bulunmaktadır [5].

Bir borat rezervinin ekonomik değere sahip olması, bor oksit içeriğine bağlıdır. Bunlardan;

- Sodyum kökenli olanlar TİNKAL
- Kalsiyum kökenli olanlar KOLEMANİT
- Sodyum-kalsiyum kökenli olanlar ÜLEKSİT

olarak adlandırılır. Ülkemizde Batı Anadolu bölgesinde, büyük ve ekonomik değerlere sahip bor yatakları bulunmaktadır. Bu minerallerden bazıları Çizelge 2.1 'de verilmektedir. Önemli borat yataklarının bulunduğu diğer yerler ise ABD, Güney Amerika'da Arjantin, Bolivya, Peru ve Şili, Çin ve Rusya'dır. Ancak ülkemiz rezervlerinin fazlalığı dünya borat rezervlerinin yaklaşık %72 'si ve tenörünün (mineral yerkabuğu içerisindeki oranının) yüksek olması nedeniyle bor rezervleri açısından ilk sırada yer almaktadır. Saf bor kristali, parlak siyah renkte, yüksek sıcaklıklarda elektriği bir metal gibi ileten, düşük sıcaklıklarda yalıtkan özellik gösteren bir yarı iletkenidir. Ayrıca bazı aşındırıcıları çizecek sertlikte olmasına rağmen, kırılgenlikleri nedeniyle kesici alet yapımına elverişli değildir [3].

Çizelge 2.1. Ekonomik açıdan önemli bor mineralleri [6]

Mineral	Kimyasal Formülü	%B ₂ O ₃	%H ₂ O	Bulunduğu Yer
Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	36,5	47,2	Türkiye, ABD, Arjantin
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ ·4H ₂ O	51,0	26,4	ABD, Arjantin
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ ·5H ₂ O	50,8	21,9	Türkiye, ABD, Meksika
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ ·8H ₂ O	43,0	35,6	Türkiye, ABD, Şili
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ ·5H ₂ O	49,6	25,6	ABD
Sasolit	H ₃ BO ₃	56,3	43,7	İtalya
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41,4	10,7	Kazakistan, Çin
Datolit	Ca ₂ B ₄ Si ₂ O ₁₂ ·2H ₂ O	26,7	5,6	Rusya, Kazakistan

2.1.1. Borun tarihçesi

Ekonomik değere sahip bor mineralleri, çok yönlü kullanımları açısından dünyanın en ilginç minerallerindendir. Değişik yararları ve kullanım alanları, uygarlığın eski günlerinden bu yana bilinmektedir. Boraksın ilk kez, yaklaşık 4000 yıl önce Babilliler tarafından, akışkanlığı arttırdığı için, kuyumculukta kullanıldığı tahmin edilmektedir. Zaman içerisinde kimi özelliklerin keşfi ile, seramiklerde sır malzemesi olarak, Mısırlılar tarafından mumyalama işlemlerinde, tedavi amaçlı mikrop öldürücü olarak ve temizlik maddesi olarak kullanılmıştır. İlk boraks kaynağının Tibet Göllerinde olduğuna inanılmaktadır. Boraks, koyunlara bağlanan torbalarla Himalayalar'dan Hindistana'a getirilmiştir. Eski Yunanlılar ve Romalılar boratları temizlik

maddesi olarak kullanmış, ilaç olarak ilk kez Arap doktorlar tarafından M.S. 875 yılında kullanılmıştır. Borik asit 1700'lü yılların başında borakstan yapılmış, 1800'lü yılların başında ise elementel bor elde edilmiştir [2].

Son yıllarda bilim ve teknoloji alanında gerçekleşen önemli gelişmeler, borun ileri teknolojilerde de büyük avantajlar sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle bilgi teknolojileri, otomotiv sanayi ve enerji alanlarında önemli araştırmalar yapılmaktadır. Örneğin, bir bor bileşiği olan sodyum bor hidrürün, suyla tepkimeye girerek katalizör aracılığı ile hidrojen gazı açığa çıkarma özelliğinden yararlanılarak elektrokimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürecek düzenekler olan yakıt ve çevre kirliliği sorununu ortadan kaldıracak olan bu teknolojinin pazara girmesiyle, gelecekte bor ve bor bileşiklerine olan talebin büyük ölçüde artacağı tahmin edilmektedir [2, 4].

Bor elementi ilk kez 1808 yılında Joseph Louis Gay - Lussac ile Louis-Jacques Thernad ve onlardan bağımsız olarak Sir Humphry Davy, borik asidi (H_3BO_4) potasyum ile ısıtılarak ayırtmışlardır. Bu yöntemle üretilen ve saf olmayan, amorf haldeki kahverengimsi siyah toz, yüzyılı aşkın bir süre borun bilinen en saf hali olarak kalmıştır. Saf bor kristalleri, bor bromür (BBr_3) ya da bor klorürü (BCl_3) elektrikle ısıtılmış bir tantal filaman üzerinde hidrojen ile indirgeyerek elde edilir. Bor kristali normal şartlarda kolay kolay tepkimeye girmez, kaynar hidrolik asitten etkilenmez; sıcak ve derişik nitrik asit ise ince toz haline getirilmiş boru, çok yavaş olarak borik aside dönüştürür. Kimyasal davranış açısından bor bir ametaldir.

2.1.2. Türkiye ve dünyada bor rezervleri

Dünyada Mevcut Durum

Dünya bor rezervleri hakkında güvenilir ve kesin bir rakam vermek güç olmakla birlikte, Çizelge 2.2 'de dünya rezervinin yaklaşık 170 milyon ton

B_2O_3 ve rezerv bazında ise 473 milyon ton B_2O_3 olarak verilmektedir. Dünyadaki bor yataklarının büyük bir bölümü Türkiye, Rusya ve ABD'dedir [6].

Çizelge 2.2. Bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı

Ülke	Toplam Rezerv (Bin ton B_2O_3)	Toplam Rezerv (% B_2O_3)
Türkiye	885,000	71,3
A.B.D.	80,000	6,5
Rusya	35,000	2,8
Çin	47,000	3,8
Arjantin	9,000	0,7
Bolivya	19,000	1,5
Şili	41,000	3,3
Peru	22,000	1,8
Kazakistan	102,000	8,2
Sırbistan	-	-
İran	1,000	0,1
Toplam	1,241,000	100

Ülkemiz bu ülkeler içinde rezerv kalitesi ve miktarı yönünden birinci sıradadır. Ülkemizden sonra ikinci sırayı ise ABD almaktadır. ABD'deki rezervler Kaliforniya Eyaletindeki Mojave Çölündedir. Yine aynı bölgede Searles Gölünde önemli borat yatakları mevcuttur.

Çizelge 2.2 'den anlaşılacağı gibi günümüze kadar yapılan rezerv tespit çalışmalarına göre Türkiye'nin toplam bor rezervlerindeki payı %70 civarındadır. Dünyanın en büyük bor üreticisi US Borax'ın elindeki rezervler ise ancak %6,5 'ine tekabül etmektedir. Bu değerler Türkiye'nin dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olduğunu açıkça göstermektedir.

Bu ülkelerdeki bor rezervlerinin ekonomik ömürleri kıyaslandığında Türkiye'deki rezervlerin bir süre sonra (tahminen 80 yıl) tüm dünyadaki ihtiyacı tek başına karşılayacak bir tekel olacağı anlaşılmaktadır. Yeni yapılan çalışmalarda bu öngörüü haklı çıkarmaktadır.

Uydudan çekilen fotoğraflar dünya bor rezervlerinin %90 'ının Türkiye'de olduğunu ortaya koymaktadır. Ama önemli olan fazla miktarda rezerve sahip olmak değil bunu en iyi şekilde değerlendirebilmektir.

Türkiye'de Mevcut Durum

Türkiye'de bor madeni yatakları özellikle Kırka, Emet, Bigadiç, Kestelek'te bulunmaktadır. Türkiye bor rezervleri ve minerallere göre rezerv dağılımı Çizelge 2.3 'de verilmiştir [6].

Çizelge 2.3. Türkiye'deki bor rezervlerinin sahalara göre dağılımı (2009)

Maden Sahası	Tabii Borat	Toplam Rezerv (Bin Ton)	% B ₂ O ₃
Bigadiç, Balıkesir	Kolemanit, Üleksit	623,459	29-31
Emet, Kütahya	Kolemanit	1,682,562	28-30
Kestelek, Bursa	Kolemanit	6,995	29
Kırka, Eskişehir	Tinkal	750,620	28

2.1.3. Ticari öneme sahip bor mineralleri

Bor elementinin birçok minerali vardır ancak bunlar içerisinde hepsinin ticari değerleri farklıdır. Ticari açıdan en çok değer taşıyan bor mineralleri;

- Boraks (Tinkal)
- Kernit (Razorit)
- Üleksit
- Probertit
- Kolemanit
- Pandermit
- Hidroborasit'tir

Boraks

Doğada renksiz ve saydam olarak bulunan bir mineraldir. İçerdiği bazı maddeler nedeniyle pembe, sarı, gri renklerde bulunur. Sertliği 2-2,5 mohs, özgül ağırlığı $1,7 \text{ g/cm}^3$ B_2O_3 içeriği %36,5 'tir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkolite dönüşebilir. Kille arakatlı tinkal tinkalkolit ve üleksit ile birlikte bulunur. Tinkal ülkemizde Eskişehir'in Kırka ilçesinde çıkmaktadır.

Kernit

Doğada renksiz saydam iğne şeklinde kümeleşmiş kristaller halinde bulunur. Sertliği 3 mohs, özgül ağırlığı $1,95 \text{ g/cm}^3$ 'tür. B_2O_3 içeriği %51 'dir. Soğuk sudaki çözünürlüğü yok denecek kadar azdır. Kırka da nah-borat kütlelerinin alt kısımlarındadır. Dünyada ise Arjantin ve ABD'de bulunur.

Üleksit

Doğada masif karnabahar şeklinde, lifsi veya sütun şeklinde bulunur. Saf olanı beyaz rengin tonlarındadır. İpek parlaklığında olanlarda vardır. Genelde kolemanit, hidroborasit ve probertit ile birlikte oluşmuştur. B_2O_3 içeriği %43 'tür. Kestelek yöresinde üleksit, kolemanitten sonra ikincil mineral olarak gözlenir. Buna karşın Emet'te birincil mineral olarak bulunur. Türkiye'de Kırka da, Bigadiç ve Emet ilçelerinde dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır.

Probertit

Kirli beyaz veya açık sarı renklerde olup ışınal ve lifsi kristaller halinde bulunur. Kristal boyutu 5 mm ile 5cm arasında değişir. B_2O_3 içeriği %49 'dur. Kestelek yataklarında üleksit ikincil mineral olarak gözlenir, ancak Emet'te tekdüze tabakada birincil olarak ve Doğanlar, İğde köy bölgesinde kalın tabakalı olarak oluşmuştur.

Kolemanit

Monoklinik sistemde kristalleşir. Sertliği 4-4,5 mohs, özgül ağırlığı 2,42 g/cm³ 'dir. B₂O₃ içeriği %50,8 'dir. Suda yavaş, HCl 'de hızla çözünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, dünyada ise ABD 'de bulunur.

Pandermit

Pandermit beyaz renkli ve yekpare olarak teşekkül etmiş olup kireçtaşına benzer. Türkiye'de Sultançayır ve Bigadiç yataklarında bulunur. B₂O₃ içeriği %49 'dur.

Hidroborasit

Tek bir noktadan çıkan rasgele uzanıp birbirini kesen kristaller şeklinde bulunan bir bor mineralidir. Lifsi bir dokusu vardır. B₂O₃ içeriği %50,5 'tir. Çoğunlukla beyaz renkli, nadiren de içerisindeki elementlere göre değişik renklerde bulunabilir. Örneğin arsenikten dolayı kırmızı renkte olabilir. Kolemanit, üleksit, probertit mineralleri ile birlikte bulunur. Türkiye'de en çok Emet ve Kestelek yörelerinde mevcuttur [7].

2.1.4. Borun önemi

Madenler ülkelerin gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olan sanayinin temel girdisidir. Madenler sadece direkt olarak değil dolaylı yollardan da ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır. Madenlerin çıkarılmasının yanında işlenmesi, taşınması hep ayrı istihdam noktalarıdır.

Bazı ülkeler sahip oldukları maden rezervleri açısından oldukça avantajlı konumdadır. Örneğin; Rusya, ABD, Şili, Brezilya, Arap ülkeleri ve Türkiye bor madeni açısından son derece şanslı ülkelerdir [8].

Ancak ülkelerin sahip oldukları bu yeraltı madenleri ülkenin az gelişmiş olması durumunda tamamen bir dezavantaja dönüşebilir. Bunun nedeni madenlerin yenilemeyen doğal kaynaklar olmasıdır. Bundan dolayı ülkeler ellerindeki kaynakları maksimum fayda sağlayacak şekilde kullanılmalıdır. Bu da sahip oldukları doğal kaynakları birer hammadde olarak tüketmekten çok onları mümkün olduğunca katma değeri yüksek, son ürün haline dönüştürüp pazarlamakla olur.

Türkiye bor rezervleri bakımından dünyanın en zengin ülkesidir ve bunu mutlaka kullanılmalıdır. Türkiye'de bor madenleri devlet eliyle çıkarılmakta ve işlenmektedir.

Boratlar stratejik hammaddelerdir ve gelecekte bu önemli iş konusu devlet kontrolü altında tutulacaktır. Stratejik hammadde kavramı, bazı ülkeler tarafından üretilen gelişmiş ülkeler tarafından kullanılan ve bazı gelişmiş teknolojiler için gerekli olan madenlerin hazırlanmasında kullanılan hammaddeler olarak ifade edilir. İşte bu nedenle bor madeninin neden stratejik bir maden olduğunu ortaya açıkça koymaktadır.

Türkiye dünya bor rezervlerinin %72 'sine sahiptir. Daha öncede belirtildiği gibi uydudan çekilen fotoğraflar ise rezerv bakımından ülkemizin dünya bor rezervlerinin %90 'ını ihtiva ettiğini göstermektedir [8].

Kütahya ilinin Emet ilçesi ile Balıkesir ilinin Bigadiç ilçesi dünyanın en geniş kolemanit ve üleksit yataklarına sahiptir [9].

2.2. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin %10 'una yakın bir bölümü doğrudan kullanılırken geriye kalan %90 'lık kısım bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır [10].

Özellikle gelişmiş ülkelerin sanayilerinin vazgeçilmez temel girdisi olan bor tıpkı yemeklere kattığımız tuz gibi sanayinin üretim mutfakları olan hammadde hazırlama bölümlerinin olmazsa olmaz temel girdisidir [11].

Boratlar yüksek gerilim dayanımlı fiberglas malzemelerin üretiminde %6 - %30 oranında kullanılır. E - glas ya da tekstil fiberglası, elektriksel amaçlı işler için kullanılmaktadır. Yüksek dayanımlı güçlendirilmiş cam malzemelerin iletken olmayan ve düşük dielektrik özelliği olanları radarlara karşı görünmez kılar. Bu tür camlar gizlilikle ilgili teknolojilerin önemli girdileridir.

Bor minerallerinin en önemli özelliklerinden birisi de yakıt olarak kullanılabilmesidir. Borun yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olması, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması nedeniyle borlu yakıtlar aynı zamanda çevreci yakıtlar olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle kara ve deniz taşıtlarında da yakıt olarak kullanılması çalışmaları vardır.

Bor, yakıt üretiminde kullanılmasının yanı sıra kompozit malzeme üretiminde de kullanılmaktadır. Havacılık sanayinde üretilen araçlarda kullanılan malzemelerin büyük bir bölümünü borlu kompozit malzemeler teşkil eder [12].

Borun başlıca kullanım alanları, cam sanayi, fotoğrafçılık, elektronik, bilgisayar, uzay ve havacılık sanayi, tıbbi cihaz ve ilaç sanayi, deterjan sektörü tarımsal ilaç sanayi, yakıt sanayi, kimya sanayi, seramik sanayi, nükleer sanayi ve metalürji gibi çeşitli sektörlerdir.

2.2.1. Cam sanayi

Bor otomobil camları, laboratuvar camları, uçak camları, bor camlar, pyreks, optik camlar, borosilikat camları (kamera ve mercek camı) saf silikat camları, pencere camı, cam ambalaj ve benzeri ürünlerde kullanılır. Ayrıca yine bordan elde edilen cam elyafı, inşaat sektöründe yalıtım malzemesi olarak

kullanılmaktadır. Avrupa ve Amerika'da oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptir.

Bor pencere camı, şişe camı ve benzeri sanayilerde ender hallerde kullanılmaktadır. Özel camlarda ise borik asit vazgeçilmez bir madde olup rafine sulu / susuz boraks, borik asit veya kolemanit / boraks gibi doğal haliyle kullanılmaktadır. Bor, erimiş haldeki cam ara mamulüne katıldığında onun viskozitesini artırıp, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükselttiğinden ısıya karşı izolasyonun gerekli gördüğü cam ürünlerine katılmaktadır. Dünyada borun %42'si, ABD'de ise %71 'i, cam endüstrisinde kullanılmaktadır [13].

2.2.2. Fotoğraf ve görüş sistemleri

Borosilikat camlar hali hazırda kullanılan kameralar, fotoğraf makinaları, dürbünler ve çeşitli ileri görüş sistemlerinde kullanılırlar. Ayrıca fotoğrafçılıkta çeşitli rafine bor ürünleri banyo ve film imalinde kullanılmaktadır.

2.2.3.Seramik sanayi

Bor ve rafine bor ürünleri seramik ve emaye sanayinde de oldukça geniş kullanıma sahiptir. Doğrudan fayans ve değişik seramik ürünleri üretiminde katkı maddesi olarak kullanılır. Ayrıca seramik sır üretiminin ana girdisidir. Aside karşı dayanıklılığı artırdığı için mutfak aletleri, çelik, alüminyum, bakır, silahlar, banyolar, kimya sanayinde kullanılan teçhizatlar ve benzeri ürün ve malzemeler emaye ile kaplanır. Emaye kompozisyonuna B_2O_3 genellikle boraks dekahidrat veya boraks pentahidrat şeklinde bazı durumlarda ise susuz boraks veya borik asit şeklinde katılır. Parlak bir kaplama malzemesi olan emaye metal yüzeylere kaynatılarak yüzeyde dekoratif veya koruyucu amaçla ekonomik ve dayanıklı bir kaplama oluşturur. Ayrıca borik asit, boraks, kolemanit ve diğer sodyum boratlar seramik sırların üretiminde kullanılır. Diğer taraftan güzel sanatlara ilişkin olarak camsı süs ve süs

eşyalarının yapımında doğrudan ham bor ürünleri geniş ölçüde kullanılmaktadır [14].

2.2.4. Spor malzemeleri

Spor malzemeleri üretiminde de geniş bir biçimde bor ve rafine bor ürünlerinden yararlanılır. Kayak malzemeleri, tenis raketleri, balık oltası, misina, golf sopalan, ok, yay, çeşitli darbelere karşı koruyucular ve benzerleri örnek verilebilir.

2.2.5. Kâğıt hamuru sanayi

Kâğıda daha fazla parlaklık kazandırmak amacıyla ağaç hamurunu beyazlatmada sodyum bor hidrür kullanılmaktadır [15].

2.2.6. Elektronik, bilgisayar ve ileri teknoloji

Bor ve bor ürünlerinden mamul optik cam elyafı, ışık fotolarının etkin bir şekilde transferini sağlamaktadır. Gerek telefon gerekse bilgisayar alanlarında geniş bir kullanım alanı bulan fiber optik kablolar ileri teknolojilerin vazgeçilmez ürünleridir. Son yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilen yeni fiber optik kablolar üzerinden çok kısa zamanlarda çok yüksek veri transfer hızına ulaşılmıştır. Borik asit LCD ekranların üretilmesinde olmazsa olmaz bir öneme sahiptir.

Akım levhalarının teknolojisinin vazgeçilmez ham maddesi Türk kolemanitidir. Bu teknoloji üretimleri, dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları gibi mobil iletişim araçlarında, avuç içi bilgisayarlar ve bilgi işlem teknolojilerinde kullanılır.

Bor kapasitör üretiminde de kullanılmaktadır. Kapasitör bilgisayarlarda, otomobillerde, televizyonlarda, cep telefonlarında, stereo ekipmanlarında, CD

çalarlarda, hemen hemen bilinen diğer elektronik aygıtlarda, yanıp sönen ışıklarda enerjiyi stoklamak ve dağıtmak için kullanılır.

Bor, demir ve nadir toprak elementleri kombinasyonu (METGLAS) %70 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu güçlü manyetik ürün, bilgisayar disk sürücülerini, otomobillerde direk akım motorları ve elektrikli ev eşyaları ile portatif güç aletlerinde kullanılmaktadır [11].

2.2.7. Temizlik sanayi

Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü ve su yumuşatıcı etkisi nedeniyle %1 boraks dekahidrat ve beyazlatıcı etkiyi artırmak için toz deterjanlara %10-20 oranında sodyum perborat katılmaktadır. Çamaşır yıkamada kullanılan deterjanlara katılan sodyum perborat aktif bir oksijen kaynağı olduğu için etkili bir ağartıcıdır [13].

2.2.8. Tarımda bor ürünleri

Bor mineralleri bitki örtüsünün genişlemesini arttırmak veya önlemek amacıyla biyolojik gelişim ve kontrol kimyasallarında kullanılmaktadır. Bor, birçok bitkinin temel besin maddesidir. Bor eksikliği görülen bitkiler arasında yumru köklü bitkiler özellikle şeker pancarı, kaba yoncalar, meyve ağaçları, üzüm, zeytin, kahve, tütün ve pamuk sayılmaktadır. Bu gibi durumlarda susuz boraks ve boraks pentahidrattan mamul karışık bir gübre kullanılmaktadır. Ayrıca suda eriyebilen sodyum perborat veya disodyum oktaborat mahsul üzerine püskürtülerek kullanılabilir. Bor, sodyum klorat ve bromsol gibi bileşiklerle birlikte yabancı otların yok edilmesi veya toprağın sertleştirilmesi gereken durumlarda da kullanılır.

2.2.9. Nükleer uygulamalar

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

Atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörlerin alarm ile kapatılmasında bor kullanılır. Ayrıca nükleer atıklar bir bor minerali olan kolemanitten üretilen cam ambalajlar içine alınıp cam kütükler haline getirilerek depolanır.

2.2.10. Enerji depolama

Isı depolama pillerindeki, sodyum sülfat ve su ile yaklaşık %3 ağırlıktaki boraks dekahidratın kimyasal karışımı gündüz güneş enerjisi depolayıp gece ısınma amacıyla kullanılabilir. Ayrıca binalarda tavan malzemesine konulduğunda, güneş ışınlarını emerek, evlerin ısınmasını sağlayabilmektedir. Enerji konusunda yapılan araştırmalar bor ve rafine bor ürünlerinden, enerji alanında geniş bir kullanım alanı yaratacak aşamadır [14].

2.2.11. Savunma sanayi

Bor ve rafine bor ürünleri askeri alanda yüksek performanslı teçhizatlarda, zırhlı araçlarda ve silahlarda katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Piyade tüfeği, tabanca, top ve bunların namlularının imalinde, tank ve zırhlı personel taşıyıcılarında ve bu araçların zırhlarını kuvvetlendirici seramik plakalarda kullanıldığı bilinmektedir.

Yüksek dayanıklılığı borla artırılmış cam malzemelerin iletken olmayan ve düşük dielektrik özelliği onları radarlara karşı görünmez kıldığından, bunlardan mamul teçhizat askeri kullanım açısından oldukça önemlidir.

2.2.12. Tibbi cihaz ve haç sanayi

Son yıllarda bor, ilaç üreticileri tarafından tabletler şeklinde üretilerek ticari olarak kullanıma arz edilmiştir. Osteoporoz ve menopoz tedavilerinde, alerjik hastalıklarda, psikiyatride, kemik gelişiminde ve romatizmada

kullanılabilmektedir. Çeşitli antiseptik ilaçların yapımında, koruyucu solüsyonlarda (lens solüsyonları gibi) bor ve rafine bor ürünleri kullanılır. Aynı zamanda manyetik rezonans görüntüleme cihazlarında da kullanılmaktadır.

2.2.13. Kimya sanayi

Yapıştırıcı, donmayı önleyici-geciktirici, antifriz, fren sıvıları, nişasta (kola), soğutucu kimyasallar, yangın söndürücü granüle ve sıvı kimyasallar, yanmayı geciktiriciler, korozyon önleyiciler, mürekkep, boya, böcek öldürücü aerosoller, bitki öldürücüler, gübre, boya koruma mamulleri, pasta ve cilalar, kibrit, kireç önleyiciler, sentetik yüksek performanslı motor yağları (motor silk), patlayıcı, yüzme havuzu temizleyici kimyasalları, ağartıcılar, kolonya, bor ve çeşitli rafine bor ürünleri kullanılır.

2.2.14. Otomobil hava yastıkları ve antifriz

Bor hava yastıklarının hemen şişmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çarpma anında elementel bor ile potasyum nitrat toz karışımı elektronik sensör ile harekete geçirilir. Sistemin harekete geçirilmesi ve hava yastıklarının harekete geçirilmesi için geçen toplam zaman 40 milisaniyedir. Ayrıca otomobillerde antifriz olarak ve hidrolik sistemlerde de kullanılmaktadır.

2.2.15. Atık temizleme sanayi

Sodyum borohidrat, atık sulardaki cıva, kurşun, gümüş gibi ağır metallerin sulardan temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

2.2.16. Alev geciktirici ve yavaşlatıcılarda bor ürünleri

Yangın sırasında malzemenin yapısında bulunan bor bileşikleri o malzemenin alev almasını geciktirir veya engeller.

Alev Geciktirici Bor Bileşikleri ve Fonksiyonları

Çinko borat, yangın geciktirici olarak plastik malzemelerde kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan alev geciktirici Alümina trihidrat (ATH) 'tır. Çinko borat ATH ile birlikte alev geciktirici olarak kullanıldığında yangın sırasında çok az duman ve zehirlilik oluşur.

Diğer Alev Geciktirici Bor Bileşikleri

Bunlar borik asit, boraks pentahidrat, boraks dekahidrattır [15].

2.2.17. Metalürji

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

Bor bileşikleri, elektrolit kaplama sanayinde, elektrolit elde edilmesinde sarf edilmektedir. Borik asit nikel kaplamada, kalay, kurşun, bakır gibi demir dışı metaller için elektrolit olarak kullanılmaktadır.

Alaşımelerde özellikle çeliğin sertliğini arttırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu konuda ferrobora oldukça önem kazanmıştır. Çelik üretiminde 50 ppm bor ilavesi çeliğin sertleşebilme niteliğini geliştirmektedir [7].

ABD Flinkote Company 'nin aldığı bir patentte BOF yöntemiyle çelik üretiminde kireç ergimesinin çabuklaştırılması ve cüruf kontrolünde flor yerine bor kullanılmasının daha avantajlı olacağı tescil edilmiştir. Kanada, Almanya, Japonya ve ülkemizde çelik üretiminde florit yerine kolemanit kullanılmaktadır.

Alaşımlı elikler

Çeşitli alaşımlı çeliklere, çeliğin sertleşme derinliğini arttırmak amacıyla %0,002 - 4 arasında değişen oranlarda bor ilave edilmektedir.

Dökme Demirler

Dökme demirlere %0,02 - 0,1 oranlarında ilave edilen bor, dökme demirin yapısında grafit oluşumunu önler ve demirin yüzey sertliğini ve sertleşme derinliğini artırır.

Alüminyum

Alüminyumun yapısında ince ve homojen dağılmış taneler (kristal) oluşturmak amacıyla, alüminyuma düşük oranlarda bor veya titanyum katılır. Ayrıca eser miktarlarda bor ilavesi, alüminyumun elektrik iletkenliğini arttırmaktadır.

Sert Metal ve Alaşımlar

Aşınma direncini arttırmak amacıyla, çeşitli sert metal ve alaşımlara düşük oranlarda bor ilave edilmektedir.

Elektro Kaplama

Birçok elektro kaplama işlerinde, kaplama malzemesinin içine bor katılmaktadır. Kaplama malzemesi ergimiş sıvı Şeklinde olup, bunun içine katılan bor kaplama yapısında gözenek oluşumunu azaltmaktadır.

Manyetik Malzemeler

Bazı manyetik malzemelerin bünyesine bor ilave edilmektedir [15].

2.2.18. Yakıt sanayi

Sodyum tetraborat özel uygulamalarda yakıt katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Daha önce Amerikan Donanması tarafından uçuş yakıtı olarak kullanılmıştır.

Karboranlar için Amerikan Deniz Araştırma Ofisi ve Amerikan Ordusu tarafından katı roket yakıtı olarak kullanılması için araştırmalar yapılmıştır.

Dibor, B_2H_6 ve B_5H_9 gibi bor hidratlar; uçaklarda yüksek performanslı potansiyel yakıt olarak araştırılmıştır. Borenlere hidrojen ile karşılaştırıldığında daha yüksek performans ile yanmaktadır. Fakat onlar, pahalı, toksik ve yakıldığında açığa çıkan bor oksit çevresel açıdan uygun değildir.

2.2.19. Sağlık

Boron Neutron Therapy (BNCT) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesine yardımcı ve sağlıklı hücrelere zararın minimum düzeyde olması nedeniyle tercih nedeni olabilmektedir.

İnsan vücudunda normalde bulunan bor, bazı ülkelerde tabletler şeklinde üretilmeye başlanmıştır [16].

2.2.20. Diğer kullanım alanları

Ahşap malzeme korumacılığında sodyum oktoborat kullanılır. %30 luk sodyum oktoborat çözeltisi ile muamele görmüş tahta malzeme yavaş yavaş kurutulursa bozulmadan ve küflenmeden uzun süre kullanılabilir.

Silisyum üretiminde, polimer sanayinde, esterleşme ve alkilleme işleminde ve etilen benzen üretiminde bor triklorür katalizör olarak kullanılmaktadır. Bor karbür ve bor nitrid, döküm çeperlerinde, yüksek sıcaklığa dayanıklı

(refrakter) malzeme püskürtme memelerinde de aşınmaya dayanıklı (abrasif) malzeme olarak kullanılan önemli bileşiklerdir. Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere, ayrıca antifriz üretiminde katkı maddesi olarak da kullanılır.

Tekstil sanayinde, nişastalı yapıştırıcıların viskozitelerinin ayarlanmasında, kazeinli yapıştırıcıların çözücülerinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde, boru ve tel çekmede akıcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak boraks kullanılmaktadır.

Borun önümüzdeki yıllarda önemli miktarda kullanılabileceği bir üretim dalı da çimento sanayidir. Sodyum borohidrat atık sulardaki cıva, kurşun, gümüş gibi ağır metallerin sulardan temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Porselen sanayinde, tekne, yat, bot ve muhtelif deniz ulaşım araçlarının imalinde ve inşasında, aşındırıcı, zımpara parlatma ürünlerinde, çeşitli metal alaşımlarında, lehimde, plastik sektöründe, kâğıt ve mukavva üretiminde, mücevhercilikte, kurşun arıtımında, akaryakıtta oktan yükseltici olarak, rafinasyon işlemlerinde, mumyalama işlemlerinde, tekstil sanayinde, gıda sanayinde yaklaşık 250 üretim sektörü içinde binlerce üründe bor ve rafine bor ürünleri kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler her geçen gün yeni yeni kullanım alanları yaratmakta aynı zamanda mevcut kullanım alanlarında da tüketim hacmi giderek artmaktadır [14]

2.3. Boyalar

Boya dekoratif veya koruyucu amaçlarla çeşitli yüzeylere çeşitli şekillerde uygulanan ve uygulandığı yüzeylerde ince bir film tabakası bırakan kimyasal maddelerdir. Bu şekilde tanımlanan boya sözcüğü macun, astar, sonkat, vernik ve benzeri ürünleri kapsayan bir tanımdır.

2.3.1. Boya bileşimine giren maddeler

Boya üretiminde kullanılan kimyasal maddeler başlıca dört grup altında toplanabilir.

- Bağlayıcı
- Pigment ve dolgu maddeleri
- Çözücü
- Katkı maddeleri

Bağlayıcı

Pigment ve dolgu maddelerinin içinde homojen olarak dağıtıldığı, boyanın film oluşturan kısmıdır. Boyanın kuruma süresi, yapışma, kimyasal maddelere karşı direnç gibi fonksiyonel özellikleri büyük oranda bağlayıcı tarafından belirlenir. Bağlayıcılar çeşitli doğal veya yapay polimerlerdir. Bağlayıcılar, film tabakasını bir arada tutan kohezyonu sağladığı gibi boya filmi uygulandığı yüzeyi bir arada tutan adhezif kuvvetleri de sağlar. Başlıca bağlayıcı tipleri alkid, akrilik, klor, kauçuk, vinil, epoksi ve poliüretan esaslıdır.

Pigment ve Dolgu Maddeleri

Boyada renk, örtücülük ve parlaklık özelliklerini sağlayan, bağlayıcı ve çözücülerde çözünmeyen katı maddelere pigment denir. Renk ve örtücülüğü olmayan fakat boyaya bazı özellikler kazandıran ve ekonomi sağlayan pigmentlere ise dolgu maddesi denir.

Çözücü

Boyanın uçucu kısmını oluşturan kimyasal maddelerdir. Çözücüler boyanın çözünürlüğünü, viskozitesi, yoğunluğu ve kuruma hızını belirler. Bu nedenle boya üretiminde kullanılan çözücülerin seçiminde çözme gücü, buharlaşma

hızı, alevlenme noktası, insan ve çevreye zararlılık derecesi dikkate alınan özelliklerdir. Boya üretiminde bağlayıcı cinsine göre tek bir çözücü kullanılabileceği gibi çözücüler karışımı da kullanılabilir. Bu çözücüler karışımına tiner adı verilir. En çok kullanılan çözücüler alkoller, eterler, ketonlar ve aromatik hidrokarbonlardır.

Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri boyaya çok az miktarda ilave edilen ve çok değişik özellikleri olan kimyasallardır. Bunlar boyanın bazı özelliklerini iyileştirmek, istenmeyen olumsuz değişimleri önlemek veya hızını yavaşlatmak için kullanılır [17].

2.4. Pigmentler

Pigment karıştırıldığı kimyasal içerisinde çözünmeyen, ancak bu ortamda mekanik olarak dağıtılarak çözeltinin (boya) rengini ve ışık dağıtma (parlaklık) özelliklerini değiştiren maddelerdir [18].

Pigmentler seramiklerde birçok dekoratif, koruyucu ve işlevsel kaplama sisteminin ayrılmaz parçalarıdır. Pigmentlerin ana işlevleri kaplama tabakasında istenen rengi, örtücülüğü ve diğer görsel özellikleri sağlamaları yanında sertlik, dayanıklılık ve koruyuculuk gibi özelliklere katkıda bulunmalarıdır. Pigmentler hammadde ve bileşimlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi alt gruplara ayrılabilirler.

- İnorganik pigmentler
- Organik pigmentler
- Dağılmış pigmentler

Dağılmış pigmentler genellikle inorganik ve organik pigmentleri kapsarlar. Tek farkları buldukları ortam içerisinde toz halin dışında çok iyi dağılmış olmalarıdır [19].

Seramik pigmentin içinde bulunacağı sır, üzerinde bulunduğu seramik yapıyla birlikte pişirildiğinden, maruz kalacağı yüksek sıcaklık ve aşındırıcı etkiye dayanabilecek kristal yapıya sahip olması seramik pigmentin kullanılmasının ana nedenidir.

Bu sebeple, boya ve plastiklerde kullanılan pigmentlerden birkaçı seramiklerde de kullanılabilir. Seramik pigmentler hematit, spinel ya da zirkon gibi sır pişirim sıcaklığında kararlı olan ve sırla etkileşime girmeyen oksit kristallerden oluşurlar [20].

2.4.1. İnorganik pigmentler

İnorganik pigmentler oksitler, sülfürler, kromatlar, silikatlar, fosfatlar ve karbonatları içeren birçok kimyasal sınıfa aittirler. Genellikle kolaylıkla ulaşılan pigmentler arasında beyaz pigmentler (titanyum dioksit, çinko oksit ve çinko sülfür), kırmızı pigmentler (kadmiyum sülfür selenid ve demir oksit), sarı pigmentler (kadmiyum sülfür, kurşun kromat ve demir oksit), yeşil pigmentler (krom oksit yeşili), mavi pigmentler (demir kobalt mavisi) ve siyah pigmentler (karbon siyahı) bulunur. Pigmentler renkli, renksiz, siyah, beyaz ve metalik halde bulunabilirler ve içerisinde dağıldıkları ortamda çözünmezler ya da bir miktar çözünen küçük parçacıklar halinde bulanabilirler. Renk, pigmentlerin görünür ışığı seçici olarak emmeleri sonucu oluşur. Pigmentler ayrıca içinde buldukları ortama, büyük boyutlarından dolayı ışığı saçmaları neticesinde donuk renk verirler. Pigment özellikleri sadece pigmentin kimyasal bileşimine bağlı değildir. Ayrıca parçacık boyutu, şekli ve parçacık boyut dağılımı gibi diğer fiziksel ve kimyasal özellikler de pigment özelliklerini etkileyen etmenlerdendir. Su ya da suda çözünenler gibi yüzey kirlilikleri de pigment sisteminin davranışını etkiler. Kaempfer, pigment ile pigmentin içerisinde bulunduğu ortam arasında oluşan iyi bir etkileşimin pigment sistemi üzerinde olumlu etki yaptığını kanıtlamıştır [19].

2.4.2. Pigmentlerin kristal yapısı

İyonik ve inorganik katı malzemelerin yapıları çeşitli kristal kimyası kuralıyla çerçevelenmiştir. Bu kurallar malzemelerin kristal yapılarının karşılaştırılabilirliğini ve hangi kimyasal elementin istenilen yapıda elde edilebileceğini belirlemeyi sağlar.

İlk olarak seramik malzemelerin oda sıcaklığında serbest enerjisini oluşturan birincil bileşen onun kafes enerjisidir. Bu enerji en yakın katyon - anyon mesafesiyle belirlenir. Bir pigmentin kararlılığı iyondaki yük dağılımına bağlıdır.

İkinci olarak anyonların her bir katyonla bağlantısı iyonik yarıçapıyla belirlenir. Eğer çok fazla sayıda anyon katyon etrafında toplanırsa anyon - anyon itiş kuvveti anyonların yeterince yakına gelmesine engel olur. Böyle bir yapıda katyon etrafında daha az sayıda anyon olan bir yapıdan daha kararsız yapıda olurlar.

Çeşitli koordinasyonlarda kararlı olacak anyon - katyon yarıçap oranları üçlü, dördü, altılı ve kübik dizilimler için tablolar halinde belirlenmiştir ve belirlenen bu veriler deneysel olarak elde edilen verilere uyum göstermektedir. Anyon ve katyonların istenilen düzende yerleşimini sağlayan üçüncü kural da elektrostatik nötrlüktür. Yani kararlı bir iyonda anyonun etrafındaki katyonlarla yük toplamı sıfır ya da sıfıra yakın olmalıdır.

Dördüncü kurala göre de anyonun yük miktarı düştükçe katyonların koordinasyon sayısı artar ve alan kuvveti arttıkça da düşer. Bu dört kural ile aynı yapı içerisinde bulunan iki katyonun birbirine göre yerleşimleri tahmin edilebilir. Buna yapı alan haritası denir [21].

Pigment sistemlerinde en fazla görülen yapı spinel yapısıdır. Normal spinel yapıda en genel formülasyonu AB_2O_4 şeklindedir. Bu yapıda A iyonları

tetragonal boşluklarda bulunurlar ve +2 değerlekte olurlar. B iyonları ise oktahedral boşlukları işgal ederler ve +3 değerlikte bulunurlar. Ters spinel yapının en genel formülasyonu $(B)^T(A,B)^O_4$ şeklindedir. Burada T tetragonal boşluğu, O oktahedral boşluğu ifade eder. Ters spinel yapıda B iyonlarının yansı tetragonal boşluklarda bulunurken diğer yarısı oktahedral boşluklarda yer alır A iyonlarının tamamı ise oktahedral boşluklardadır. Karışık spinel yapıda +2 ve +3 değerlikli katyonlar A ve B iyonlarının yerlerinde bulunurlar. A ve B iyonlarının yerlerinde olabilecek elementler şunlar olabilir:

A iyonları: Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mg, Cd

B iyonları: Fe,

Spinel yapının seramik yöntemle üretilmesi için +2 ve +3 değerlikli metal oksitler, nitratlar ya da karbonatlar karıştırılarak sinterlenir. Sinterleme sıcaklığının 1000 °C 'nin üzerinde olması gerekir. Belirli durumlarda bileşimlerin kontrollü hava ortamında sinterlenmesi gerekirken diğer durumlarda normal hava ortamında sinterleme gerçekleştirilir.

2.4.3. İnorganik pigmentlerin özelliklerini etkileyen etmenler

Renk

Temiz, açık, şiddetli ve tekrar elde edilebilir renk tonları bütün pigmentler için çok önemlidir. Pigmentin ana tonu onun kimyasal bileşimiyle belirlenir. Rengin açıklığı, temizliği ve şiddeti pigment ve pigmentin içerisinde dağıldığı ortam arasındaki farklarla değişebilir. Diğer etmenler ise parçacık boyut dağılımı ile kristal ortamdır [19].

Kristal Ortamı ve Kristal Değişikliği

Pigmentler kübik, dörtgen ya da altıgen yapılarda bulunurlarken birkaç inorganik pigment amorf yapıda bulunur. Kristal kafesteki kristal hataları ve

değişiklikleri pigment özelliklerini etkilerler. Birden fazla kristal yapının bir arada bulunmasıyla meydana gelen pigmentlerde istenmeyen ton ve pigment özelliklerinden kaçınmak ve uygun pigment ortamını sağlayabilmek amacıyla deneylere pigment oluşumu üzerinde denetim sağlanmalıdır.

Parçacık Boyutu

Çoğu ticari pigmentin ortalama parçacık boyutu 0,01 – 0,1 µm arasındadır. Bazı pigmentlerin tane boyutu, ortalaması 50 µm olmakla birlikte 100 µm çıkabilir.

Pigmentlerin renk kuvveti öncelikle, dağılmış parçacıkların ışığı saçabilme kabiliyetlerine bağlıdır. Renk kuvvetini parçacık boyutu ve yansıtma indisleri etkiler. Parçacık boyutu küçüldükçe ışığın saçılması artar. Azalan parçacık boyutuyla renklerde meydana gelen değişimler için şu örnekler verilebilir. Kırmızı sarılaşır, turuncu sarılaşır, sarı yeşilleşir, mavi yeşilleşir ve mor kırmızılaşır.

Parçacık Şekli

Pigment parçacıkları genellikle, boğumlu (nodular), iğnesel (acicular), ve tabakalı (laminar) olmak üzere üç halde bulunurlar. Boğumlu yapıda parçacıklar az ya da çok küreseldirler. Titanyum dioksit ve beyaz kurşun tipik boğumlu yapı örnekleridir. İğnesel yapıya çinko oksit ve asbest örnek verilebilir. İğnesel yapı, kuvvetlendirici özelliğinden dolayı filmlerde mekanik özellikleri artırır. Tabakalı yapılarda filmlerde mekanik özellikleri artırır. Bazı pigmentlerin özellikleri tabakaların dizilim yönüne duyarlıdır [19].

2.5. Magnezyum Boratlar ve Kullanım Alanları

Doğal olarak bulunan ya da çeşitli sentez yöntemleriyle elde edilen farklı bileşimlerde çok sayıda magnezyum borat bileşiği mevcuttur ve çeşitli

alanlarda kullanılmaktadır. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve szaybelyt ($\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5\cdot \text{H}_2\text{O}$) ticari bakımdan önemli iki magnezyum borat mineralidir. Bilinen magnezyum borat mineralleri Çizelge 2.4 'de liste halinde verilmektedir [22].

2.5.1. Susuz magnezyum boratlar

Kotoyit ($\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$); Kore'de Suan yakınlarındaki Hol Kol madeninde bulunan Kotoyit'e ismi, bulucusu Bundjiro Koto (Japon jeoloğu) anısına verilmiştir. Kristal sistemi ortorombiktir. Sertliği $H = 6,5$ yoğunluğu $3,10$ 'dur. Camsı parlaklık verir. Bir magnezyum ortoborat olup, % 62,78 MgO ve % 35,20 B_2O_3 içerir. Yeri belirtilen Hol Kol madeninde granit dolomit kantağında bir kontakt zon minerali olarak bulunur. Nadir bir mineraldir. Ticari bir önemi yoktur.

Çizelge 2.4. Bilinen magnezyum borat mineralleri

Mineral Adı	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı	% B
Admontit	$\text{MgB}_6\text{O}_{10}\cdot 7(\text{H}_2\text{O})$	375,27	17,28
Aksait	$\text{MgB}_6\text{O}_7(\text{OH})_6\cdot 2(\text{H}_2\text{O})$	339,24	19,12
Borasit	$\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$	392,03	19,30
Floroborit	$\text{Mg}_3(\text{BO}_3)(\text{F},\text{OH})_3$	168,72	6,41
Halugrit	$\text{Mg}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]_2\cdot (\text{H}_2\text{O})$	449,16	19,25

Çizelge 2.4. (Devamı) Bilinen magnezyum borat mineralleri

Hungchaoit	$MgB_4O_5(OH)_4 \cdot 7(H_2O)$	341,68	12,66
İnderit	$MgB_3O_3(OH)_5 \cdot 5(H_2O)$	279,85	11,59
Kanavesit	$Mg_2(CO_3)(HBO_3) \cdot 5(H_2O)$	258,51	4,18
Kotoit	$Mg_3B_2O_6$	190,53	11,35
Kurnakovit	$MgB_3O_3(OH)_5 \cdot 5(H_2O)$	279,85	11,59
Mcallisterit	$Mg_2B_{12}O_{14}(OH)_{12} \cdot 9(H_2O)$	768,55	16,88
Pinnoit	$MgB_2O_4 \cdot 3(H_2O)$	163,97	13,19
Preobrazhenskit	$Mg_3B_{11}O_{15}(OH)_9$	584,88	20,33
Shabinit	$Mg_5(BO_3)Cl_2(OH)_5 \cdot 4(H_2O)$	408,34	2,65
Suanit	$Mg_2B_2O_5$	150,23	14,39
Sülfoborit	$Mg_3B_2(SO_4)(OH)_8(OH,F)_2$	361,67	5,98
Szaybelyt	$MgBO_2(OH)$	84,12	12,85
Wightmanit	$Mg_5(BO_3)O(OH)_5 \cdot 2(H_2O)$	317,40	3,41

2.5.2. Hidratlı magnezyum boratlar

Pinnoit ($Mg(BO_2)_2 \cdot 3H_2O$); Bir magnezyum metaborat hidratı olan pinnoit ilk defa Saksonya'da Stassfurt tuz yataklarında bulunmuştur. Kristal sistemi tetragonaldir. Sertliği 3,5 yoğunluğu 2,27-2,29'dur. Camsı parlaklık gösterir. Yeşilimsi veya kükürt sarısı renktedir. Pinnoit % 24,19 MgO, % 0,23 Fe, % 0,40 Cl, % 42,68 B_2O_3 , % 32,50 H_2O içerir. Saksonya'da Stassfurt tuz yataklarında üst "kainit" ($KMg(SO_4)Cl \cdot 3H_2O$) tabakaları arasında, doğal borasit ile birlikte bulunur. Ayrıca Almanya'da Anhalt ve Aschersleben'de bulunduğu bildirilmektedir. Bol miktarda bulunmadığından önemli bir endüstriyel değeri yoktur.

Kurnakovit ($Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$); Toplu kristaller olarak bulunur. İsmi kendisini bulan Rus mineralog N.S.Kurnakov'dan almıştır. Kristal sistemi monoklinikdir. Sertliği 3, yoğunluğu 1,85'tir. Beyaz renktedir ve camsı parlaklık

gösterir. Magnezyum borat hidratı olup, kimyasal analizi % 15,46 MgO, % 37,58 B₂O₃, % 47,09 H₂O verir. Suda erimez, sıcak asitlerde erir. Kazakistan'da Inder boraks yataklarında bulunur.

İnderit (Mg₂B₆O₁₁.15H₂O); İsmi bulduğu Kazakistan'daki Inder borasit yataklarından almaktadır. Kristal sistemi triklinikdir. Yumru agregatlar halinde bulunur. Sertliği 3, yoğunluğu 1,86'dır. Camsı parlaklık gösterir. Kristalleri renksiz ve saydamdır. Agregatları beyazdır. Magnezyum borat hidratı olup kimyasal bileşimi % 14,34 MgO, % 35,60 B₂O₃ ve % 48,20 H₂O'dur. 600 °C'de ergir. Soğuk ve sıcak suda erimez. Seyreltik sıcak asitlerde çözünür.

Paternoyit (MgB₈O₁₃.4H₂O); İsmi bulucusu İtalyan kimyageri, Emanuele Paterno'dan almıştır. Sicilya'da Monte Sambuco tuz yataklarında Blödit (Na₂Mg(SO₄)₂.4H₂O) tabakaları arasında ufak yumrular halinde bulunur. Yoğunluğu 2,1'dir. Beyaz renkte ve saydamdır. Magnezyum borat hidratı olup, kimyasal bileşimi % 0,36 Na₂O, % 1,08 Na₂O, % 10,93 MgO, % 66,02 B₂O₃, % 1,06 SO₃, % 2,35 Cl, % 19,16 H₂O şeklindedir [22].

Ayrıca çeşitli yöntemlerle sentezlenmiş veya doğal olarak elde edilen farklı kompozisyonlarda çok sayıda magnezyum borat bileşiği bulunmakta ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. Ticari öneme sahip hidroborasit ve szaybelyit yanında, bileşikler halinde sentezlenebilen yapay magnezyum boratlar da bulunmaktadır.

Bu tür bileşikler, kloropinnoit bileşiği kullanılarak doymuş çözeltilerden sıcaklık ve pH kontrolü altında kristallendirme veya çeşitli magnezyum ve bor bileşiklerinin sulu veya susuz ortamlarda etkileştirilerek çöktürülmesi sonucunda elde edilmektedirler.

Borun varlığı magnezyum boratı etkin bir alev bastırıcı yapar. Magnezyum boratlar, korozyon geciktirici boya maddelerinin (yanmaz boyalar)

oluşturulmasında bu nedenden dolayı kullanılabilir. Ayrıca magnezyum boratlar, alev geciktirici olarak tekstil ve kağıt endüstrisinde de kullanılabilir Genel olarak; hem magnezyum hem de bor içeriğinden dolayı;

- Toprağın pestisitlerden arındırılmasında [23],
- Süper iletken magnezyum diborürün üretilmesinde [24],
- Bor içeriğinden dolayı aşınma ve sürtünmeyi azaltıcı katkı olarak yağlarda [25-26],
- Metal yüzeyleri için yalıtkan kaplama [27], ısıya duyarlı renk veren mürekkep bileşimlerinde [28],
- Boyalarda korozyonu önleyici katkı olarak [29],
- Deterjan bileşimlerinde [30],
- Kontakt lens yıkama sularında [31],

Bununla birlikte, doğrudan ya da mangan ve nadir elementlerin aktivasyonu ile elde edilmiş magnezyum borat bileşimleri de dozimetrelerde termolüminesans malzeme olarak kullanılmaktadır [32, 33, 34, 35]. Yukarıda bahsedilen MgB_2 üretimi, yağlarda aşınmayı azaltıcı katkı ve dozimetrelerde termolüminesans malzeme olarak kullanım sadece Mg-boratin kullanımını gerektiren alanlardır.

2.6. Magnezyum Borat Üretim Yöntemleri

Jun ve arkadaşları, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ve sodyum borat başlangıç bileşiklerinden sulu ortamda, 25 °C ve birkaç saatlik tepkime süresi sonucunda dimagnezyum hegzaborat heptadekahidrat ($2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 17H_2O$) bileşimini elde etmişlerdir. Bu ürün üzerinde yaptıkları deneyler sonucu ürünün sudaki çözünürlüğünün %0,42 ve yapısal formülünün de $[B_3O_3(OH)_5] \cdot 6H_2O$ olduğunu belirlemişlerdir [36].

Yongzhong ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada asitlendirilmiş ve seyreltilmiş süper doymuş ve ağırlıkça 1:12:37 oranında $MgO:H_3BO_3:H_2O$ içeren izomerin IR davranımlarını belirlemişlerdir. Müdahalede bulunulmayan doymuş çözeltiden ancak birkaç gün sonra $MgB_6O_{10} \cdot 7H_2O$ kristallenerek ayrılmakta iken, çeşitli miktarlarda su veya asitle kristallendiği ve hatta aynı seyreltme veya asitlendirme oranlarında, oda sıcaklığında, aynı çözeltiden farklı zamanlarda farklı Mg boratların kristallenebildiğini de ortaya koymuşlardır [37].

Hu ve arkadaşlar, etanolde çözünmüş $MgCl_2$ çözeltisine damla damla şiddetli karıştırma ve ısıtma varlığında boraks çözeltisi ilave ederek magnezyum borat çöktürmesi yapmışlardır. Elde edilen ürün, etanol süperkritik kurutma tekniği ile kurutulduktan sonra üzerinde TEM ve XRD analizleri yapılmıştır. Sonuçta, elde edilen ürünün yağlarda aşınma ve sürtünmeyi azaltıcı katkı maddesi olarak kullanılabilir, nanoboyutlu (10 nm) ve amorf yapıda bir magnezyum borat olduğu belirlemişlerdir [38].

Yi Zeng ve arkadaşları, $Mg(BO_2)_2$ tableti ve grafit tozuyla vakum altında $Mg_2B_2O_5$ nanotüplerini sentezlemişler ve yağlayıcılık özelliğini incelemişlerdir. Reaksiyon süresini ve sıcaklığını optimize ederek 1200 °C ve 1 saat değerlerine ulaşmışlardır. XRD analizlerinde, 1000 °C sıcaklıkta MgB_4O_7 oluştuğunu, sıcaklık yükseldikçe bu bileşiğin yerini $Mg_2B_2O_5$ bileşiğine bıraktığını gözlemlemişlerdir [39].

Murat Körük ve İsmail Girgin, suda çözünmüş magnezyum sülfat çözeltisine damla damla şiddetli karıştırma ve ısıtma varlığında boraks pentahidrat çözeltisi ilave ederek magnezyum borat çöktürmesi yapmışlardır. Çalışmada B/Mg oranı, pH ve karıştırma süresi gibi parametreleri ele almışlar ve elde edilen numuneleri XRD ve SEM’de incelemişlerdir. Artan pH, karıştırma hızı ve sıcaklıkta elde edilen ürünün saflığının arttığını gözlemlemişlerdir. Reaksiyonun;

$MgSO_4 \cdot 7H_2O + Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O \longrightarrow MgB_4O_7 \cdot nH_2O + Na_2SO_4 + (17-n)H_2O$ şeklinde olduğunu öngörmüşlerdir [40].

Süleyman Köytepe, Sema Vural ve Turgay Seçkin, sıvı mikro emülsiyon membran sistemi ile çinko borat çöktürmesi yapmışlar ve alev geciktirici olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Alev geciktirici özelliğini belirleyebilmek için Pİ-Çinko borat nanokompozitini üretmişlerdir. Sıvı ve yağ fazı olarak iki faz oluşturmuşlar ve yüzey aktif maddesi olarak Span 80 kullanmışlardır [41].

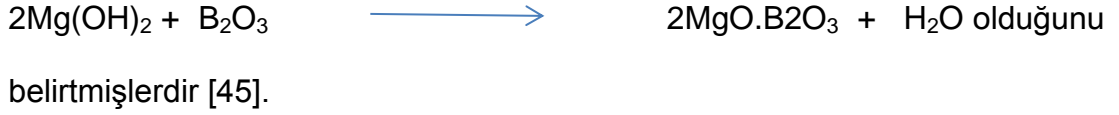
Dosler ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada kurutulmuş MgO-B₂O₃ karışımını asetonda homojenize ettikten sonra yüksek sıcaklıkta öğüterek Mg₃B₂O₆, Mg₂B₂O₅ bileşiklerini sinterlemişler ve mikrodalga yalıtım özelliklerini incelemişlerdir. 900 °C' de Mg₃B₂O₆ bileşiğinin dominant faz olduğunu, 1000 °C' de ise Mg₂B₂O₅ fazının üstün geldiğini gözlemlemişlerdir [42].

A.Obut, yaptığı çalışmada MgO-B₂O₃ ve MgO-B(OH)₃ karışımı kullanarak değişik mol oranları ile yüksek enerjili değirmende Mg₃B₂O₆, Mg₂B₂O₅ ve MgB₄O₇ üretmeyi başarmıştır. 500 °C' den yüksek sıcaklıklarda ürünlerin saflığının ve kristalliklerinin arttığını gözlemlemiş ve çalışmalarını 900 °C' ye kadar sürdürmüştür. Ayrıca belirlediği deney şartlarında MgB₂O₄ bileşiğinin sentezlenmesinin mümkün olmadığını belirtmiştir [43].

Barış Ayar yaptığı çalışmada yaş ve kuru metotlarla 3,5 sulu çinko borat ile susuz çinko borat bileşiklerini üretmiş ve yüksek sıcaklıkta pigment olarak kullanılabilirliklerini incelemiştir. Reaktif olarak yaş metotta çinko oksit ve borik asit, kuru metotta ise elementel çinko ve bok oksit kullanmıştır. Elde ettiği ürünleri alkid esaslı boyalar ile katkılandırmış ve bu ürünün 400 °C' ye kadar yanmadığını tespit etmiştir [44].

Metin Gürü, Ayhan Mergen ve arkadaşları, magnezyum hidroksiti borik asit çözeltisinde 95 °C' de karıştırmış, reaksiyondan sonra çözeltiyi

buharlaştırmış ve hazırlanan pelletleri 1250 °C'de 3 saat kalsine ederek $Mg_2B_2O_5$ bileşimini elde etmişlerdir. Elde edilen ürünü karakterize etmişler, elektriksel ve optik özelliklerini incelemişlerdir. Reaksiyonun;



2.7. Alev Geciktirici Katkı Maddeleri

Polimerik malzemelerin alevlenebilirliğini azaltmanın yolu, yanma sürecinin karmaşık aşamalarını, bir veya birkaç noktada yanma hızını azaltarak ve/veya mekanizmasını değiştirerek süreci yarıda kesmekten geçer.

Uygulanabilirlik açısından bakmak gerekirse bu işlem uygun bir alev geciktirici malzemenin, ya polimerik malzeme ile mekanik olarak karıştırılması sonucu (katkı maddesi ilavesi) ya da basit bir kopolimerizasyon işlemi veya önceden hazırlanmış polimerin kimyasal modifikasyonu ile geciktiricinin polimer molekülüne kimyasal olarak katılmasıyla gerçekleştirilebilir.

Günümüzde alev geciktiricilerin katkı maddesi olarak polimerik malzemeye ilave edilmesi daha çok tercih edilen bir yöntemdir. Bazı katkı maddelerinin istenilen etkiyi gösterebilmesi için genellikle yüksek oranlarda (örnek olarak ağırlıkça % 30 veya daha fazla) kullanılması gerekebilir. Bu durumda zaman zaman polimerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde bozulmalar gözlenebilir. Reaktif alev geciktiricilerde bu etkilere daha az rastlanır olsa da katkı maddelerinin ucuz ve yaygın olması tercih edilmelerinin asıl sebebidir.

Polimerik malzemeye uygun alev geciktiricinin seçimi, polimerin bozunma karakteristikleri, tipi ve alev geciktirici malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak yapılır. İdeal bir alev geciktirici-polimer sistemi tutuşmaya ve alev ilerlemesine karşı yüksek direnç göstermeli, yanma esnasında çıkardığı ısı ve duman miktarı az olmalıdır.

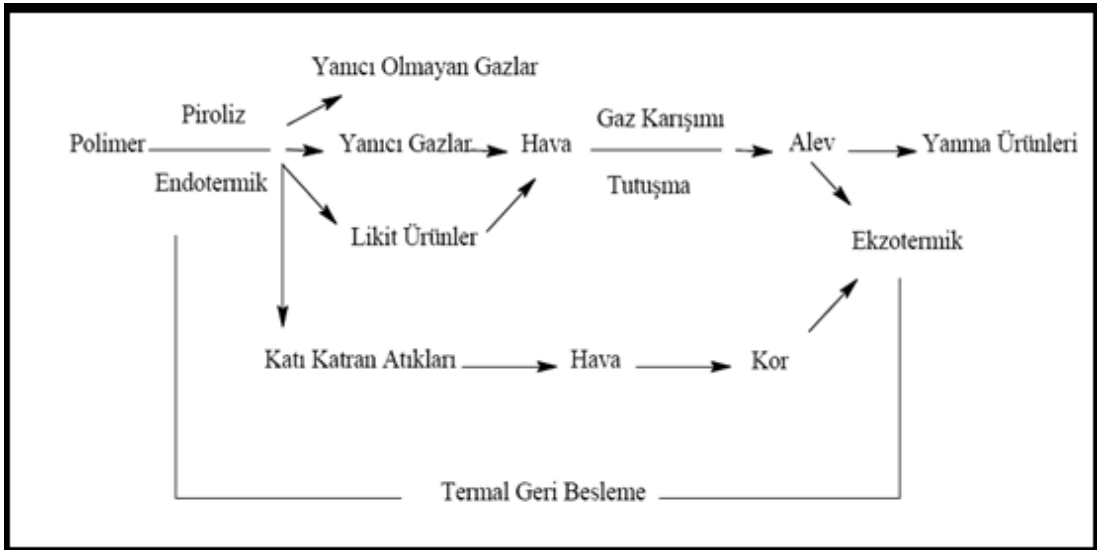
2.7.1. Alev geciktirici katkı maddelerinin etki mekanizmaları

Alev geciktiricilerin etki mekanizmalarını ele almadan evvel alevli yanmanın ne olduğunu anlamak gerekir. Alevli yanma, gaz fazında gerçekleşen bir kimyasal tepkimedir. Bu sebepten ötürü, bir maddenin alevli yanabilmesi için öncelikle gaz haline gelmesi gereklidir. Mum örneği incelenirse; balmumu erir ve kapiler çekme sonucu mumun fitiline doğru hareket eder. Fitilin yüzeyinde, 600-800 °C aralığında eriyik balmumu sıcaklık tesiriyle bozunur ve uçucu hidrokarbonlara dönüşür.

Alevin merkezinde oksijen bulunmaz. Hidrokarbonların bir kısmı aromatize olarak is parçacıklarına dönüşür ve alevin parlak bölgesinde su ve karbon dioksitle tepkimeye girerek karbon monoksit oluşturur. Çoğu piroliz gazı alevin dış tarafına taşınır ve burada içe doğru difüze olan oksijenle karşılaşır.

Bu karşılaşma, ısı açığa çıkaran ekzotermik bir tepkimeye neden olur. Ortamda artan sıcaklık sebebiyle daha fazla balmumu erir ve bozunur, bu sayede yanma tepkimesinin devam etmesi sağlanır. Ortamda yeterli miktarda oksijen mevcut olursa, mumun yanması sonucu ürün olarak karbon dioksit ve su açığa çıkar.

Doğal ve sentetik polimerler ısıya maruz bırakıldıklarında tutuşabilirler. Tutuşma, kendiliğinden olabilir veya kıvılcım ya da alev gibi bir dış kaynak etkisiyle gerçekleşebilir. Alevin ürettiği ısı, açığa çıkan yanıcıları alev alabilirlik sınırları içinde tutmak için gerekli polimer bozunma hızını sağlayacak kadar yüksekse, yakıt bitene kadar kendini devam ettiren bir yanma çevrimi başlar. Bu çevrim hem buhar hem de katı fazda olur. Alev geciktiriciler, bir ya da her iki fazda meydana gelen kimyasal ve/veya fiziksel süreçlere etki ederek bu çevrimi kırmak üzere formüle edilmiştir.



Şekil 2.1. Polimerlerin Yanma Prosesi

Polimer yanabilirliği söz konusu olduğunda temel olarak dört süreç vardır:

Ön ısıtma, Bozunma, Tutuşma, Yanma/Alev dağılması

Ön ısıtma, malzemenin bir dış kaynaktan gelen enerjiyle ısıtılmasına denir. Isınmanın hızı, kaynağın gücüne, malzemenin ısı iletkenliğine, ısı kapasitesine, erime ve buharlaşma ısısına bağlıdır. Yeterli derecede ısıtıldığında, malzeme bozunmaya başlar, yani en zayıf bağları kırılırken özgün özellikleri de kaybolmaya başlar. Buhar fazında yanma ürünleri ortaya çıkar; bunların oluşma hızı, kaynağın gücüne, bozunma sıcaklığına ve hızına bağlıdır. Yanıcı gazların derişimi, tutuşturucu kaynağın olduğu yerde kendini devam ettirebilen bir oksidasyon tepkimesi başlayıncaya kadar artar. Gazın tutuşma özellikleri ve oksijenin bulunabilirliği tutuşma sürecini etkileyen iki önemli değişkendir. Tutuşma bittikten ve kaynağın ortamdaki uzaklaştırılmasından sonra, yeterli miktarda ısı açığa çıkmış ve malzemeye (polimer) bozunmayı sürdürecektir şekilde yansımışsa, yanma süreci kendi kendine yayılabilir duruma gelir.

Yanma sürecinde ısı üretim hızı, yüzeye ısı aktarım hızı, yüzey alanı ve bozunma hızları etkili olur. Bu yüzden, alev geciktiriciliği, bu değişkenlerden herhangi birinin etkisini ortadan kaldırmakla uygulanabilir.

Alev geciktiriciler, yanma sürecini kesintiye uğratmalı veya tamamen engel olmalıdır. Yapılarına bağlı olarak, alev geciktiriciler katı, sıvı ya da buhar fazında kimyasal ve/veya fiziksel olarak etki gösterebilmektedir. Alev geciktiriciler, ısınma, bozunma, tutuşma veya alev yayılması gibi belli aşamalarda yanma sürecini bitirmek üzere tasarlanmıştır.

Fiziksel etki

Yanma sürecinin fiziksel etkiyle geciktirilmesinin birkaç yolu vardır:

- a) Soğutma: Katkı maddelerinin tetiklediği endotermik süreçler, maddenin sıcaklığını, yanmanın kendi kendine devam edebilmesi için gerekli sıcaklığın altına düşürür.

- b) Koruyucu Tabaka: Kondense olmuş yanıcı kısmın buhar fazıyla teması, katı veya gaz halindeki koruyucu tabaka sayesinde önlenir. Böylece kondense fazın sıcaklığı düşer, açığa çıkan gaz miktarı azalır, yanma için gerekli oksijen izole edilmiş olur ve ısı aktarımı engellenir.
- c) Derişimi Düşürmek: Bozunma esnasında yakıtın buhar ve katı fazda derişimini azaltan inert dolgu maddelerinin katılımıyla alt tutuşma sıcaklığının yükseltilmesi sağlanır.

Kimyasal Etki

Yanma sürecini kesintiye uğratan en önemli kimyasal tepkimeler katı ve buhar fazında gerçekleşir.

- a) Buhar Fazı Tepkimesi: Yanma sürecinin buhar fazındaki serbest radikal mekanizması alev geciktirici tarafından kesintiye uğratılır. Böylece ekzotermik tepkime durur, sistem soğumaya başlar, yanıcı gaz akışı azalır ve sonunda tamamen durur.
- b) Katı Faz Tepkimesi: Bu durumda iki tip tepkime gerçekleşebilir. İlk olarak, alev geciktirici polimerin bozulmasını hızlandırabilir; bu da polimerin eriyik halde alevlerin etkin olduğu bölgeden bir an önce uzaklaşmasını sağlayacaktır. İkincisi ise, alev geciktirici polimer yüzeyinde karbon tabaka oluşturabilir. Bunun bir sebebi, alev geciktiricinin dehidrasyon etkisiyle polimer yüzeyinde çifte bağlar oluşmasına öncü olmasıdır. Çapraz ve zincir bağlarla karbonlu yapı oluşur.

Alev geciktiricilik, yüzeyde düşük ısı iletkenliğe ve/veya yüksek yansıtıcılığa sahip film tabaka oluşturan ve bu sayede ısınma hızını düşüren alev geciktiriciler kullanılarak artırılır. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda özellikle bozunmak ve ısı emici vazifesi görmek üzere tasarlanmış geciktiriciler de alev geciktiriciliği artırır. Bu özelliği artırmanın son bir yolu da, ısıya maruz kalınca köpüksü ve ısı iletim özellikleri düşük bir yüzey tabakası oluşturacak şekilde kabaran alev geciktirici kaplayıcılar kullanmaktır. Bir alev geciktirici plastiğin kömür haline gelmesini hızlandırabilir ve yanıcı karbon içeren gazların üretimini yavaşlatabilir. Aynı anda, yüzeydeki kömürsü tabaka ısı iletkenliği de düşürür. Alev geciktiriciler bozunma ürünlerini de kimyasal olarak değiştirebilir ve böylece yanıcı gazların derişimini azaltır. Yakıtın azalması daha az ısı üretimine ve dolayısıyla alevin kendi başına sönmesine neden olabilecektir.

Plastiğin yapısal olarak modifikasyonu veya plastiğe alev geciktirici madde eklenmesi, malzeme ısı kaynağına maruz bırakıldığında bozunmaya veya erimeye neden olabilir. Böylece plastik ısı kaynağından küçülerek ya da damlayarak uzaklaşmış olur. Polimerin kimyasal olarak dayanıklılığını artıracak maddelerle veya yapısal modifikasyonlarla bozunma süreci önemli ölçüde geciktirilebilir.

Genellikle, yanıcı bir gaz karışımının oluşumunu engelleyecek bir madde ya da şartlar, tutuşmayı da engellemiş olur. Alev geciktirici veya modifiye polimerin, ısıya maruz kaldığında buhar fazında kimyasal tepkimeye girerek tutuşmayı engellediği durumlar da mevcuttur. Alev geciktiricinin çalışma prensibi, yanma ve yayılma süreçlerinde açığa çıkan ısı miktarını azaltmak veya substratı soğutmaktan ibarettir. Yukarıda bahse konu mekanizmalardan tümü ya da herhangi biri kendi başına yanmayı engelleyebilir.

2.7.2. Alev geciktirici katkı maddelerinin sınıflandırılmaları

Alev geciktirici katkı maddeleri, içerdikleri kimyasal bileşiklere göre halojen esaslı, fosfat esaslı ve inorganik alev geciktiriciler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilirler. Bu gruplara ilave olarak azot esaslı alev geciktiriciler, sınırlı sayıda polimerlerde kullanılabilirler.

Halojen esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Çizelge 2.5. Halojen esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Alev Geciktirici Katkı Maddesi	Kullanım Alanları
Dekabromobifenil	ABS, polistiren
Dekabromodifenil etan	Yüksek darbe dayanımlı polistiren, ABS, polipropilen, poliamid ve poliester
Dekabromodifenil eter	Polistiren, poliesterler, poliamidler, tekstil
Oktabromodifenil eter	ABS

Çizelge 2.5. (Devam) Halojen esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Pentabromodifenil eter	Tekstil, poliüretanlar
Tetrabromobisfenol A	Epoksi reçineler, poliester reçineler, polikarbonat reçineler, doymamış poliesterler, ABS
Tetrabromobisfenol A-bis-(2,3 dibromopropil eter)	Poliolefin reçineler
Tetrabromobisfenol A-bis-(2-hidroksietileter)	Doymamış poliesterler
Tetrabromobisfenol A-bis-(allil eter)	Polistiren köpük
Tetrabromobisfenol A-dimetil eter	Şişirilebilir polistiren
Etilen-bistetrapbromoftalimid	Polietilen, polipropilen
Pentabromotoluen	Doymamış poliesterler, polietilen, polipropilen, polistiren, tekstil
Bromofenoller	Epoksi reçineleri, fenolik reçineler, poliester reçineler, poliolefinler
Tetrabromoftalik anhidrit	Doymamış poliesterler, sert poliüretan köpük, kağıt, tekstil
Hekzabromosiklododekan	Şişirilebilir polistiren, tekstil, yüksek darbe dayanımlı polistiren

Çizelge 2.5. (Devam) Halojen esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Klorlanmış parafinler	Yüksek ve alçak yoğunluklu polietilen, yüksek darbe dayanımlı polistiren, PVC, doymamış poliester reçineleri, tekstil
Tetrakloroftalik anhidrit	Doymamış poliesterler, alkidler

Fosfat esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Çizelge 2.6. Fosfat esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Alev Geciktirici Katkı Maddesi	Kullanım Alanları
Trisesil fosfat	Çözücüler, PVC
Trifenil fosfat	PVC, fenolik reçineler
Dimetil fosfonat	Tekstil, poliamid boyalar

Çizelge 2.6. (Devam) Fosfat esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Trioktil fosfat	PVC, poliüretan
Trietil fosfat	PVC, poliester reçineler, poliüretan
Tris (2-kloro-1-propil) fosfat	Poliüretan köpük
Tris (1-kloro-2-propil) fosfat	Poliüretan ve poliester köpük
Tris (1,3-dikloro-2-propil) fosfat	Poliüretan
İzodesildifenil fosfat	PVC

İnorganik alev geciktirici katkı maddeleri

Çizelge 2.7. İnorganik alev geciktirici katkı maddeleri

Alev Geciktirici Katkı Maddesi	Kullanım Alanları
Alüminyum hidroksit	PVC, poliolefinler
Borik asit	Tekstil, selülozik ürünler
Antimon trioksit	PVC, polipropilen, polietilen, poliüretan köpük, kağıt endüstrisi, kauçuk, tekstil
Amonyum sülfamat	Selülozik ürünler, tekstil
Çinko borat	PVC, poliolefinler
Amonyum polifosfat	Selülozik ürünler,

Çizelge 2.7. (Devamı) İnorganik alev geciktirici katkı maddeleri

Amonyum oktamolibdat	PVC
Magnezyum hidroksit	Termoplastikler, termosetler
Kırmızı fosfor	Poliamid, fenolikler

Azot esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Çizelge 2.8. Azot esaslı alev geciktirici katkı maddeleri

Alev Geciktirici Katkı Maddesi	Kullanım Alanları
Melamin	Poliüretan köpük
Melamin fosfat	Polipropilen
Melamin siyanurat	Poliamid, poliüretan, poliolefinler, poliester, epoksi reçineler

2.7.3. Alev geciktiriciler ve yüksek sıcaklığa dayanıklı boyalar

Uygun bağlayıcı, çözücü ve renk, örtücülük gibi özellikleri sağlayan pigmentlerin yanı sıra alev geciktiricilik ve yüksek sıcaklığa dayanım sağlanması için içerisinde özel katkı maddeleri içeren boyalardır. Bu özel katkı maddeleri ;

1. Brom katkılı yangın geciktiriciler,
2. Melamin bazlı yangın geciktiriciler,

3. Metal hidroksitler (alüminyum trihidroksit, magnezyum hidroksit)
4. Antimon oksit
5. Çinko boratlar olarak sınıflandırılabilir [44].

Antimon oksidin pahalı ve toksik madde oluşu, yüksek sıcaklığa dayanıklı, duman bastırıcı ve korozyon geciktirici bir madde olan çinko borat üretiminin önemini arttırmıştır. Bu amaçla 3,5 sulu ve susuz çinko borat bileşikleri yaş ve kuru metotla üretilmiş ve patentleri alınmıştır [44, 46-47].

2.7.4. Alev geciktiricilerin pazarı ve gelişmeler

Alev geciktiricilerin tüketildiği pazarların başında ABD ve Batı Avrupa gelmektedir. Dünyada üretilen alev geciktiricilerin %85 'i plastik ürünlerde tüketilmektedir. Plastik malzemelerde kullanılan alev geciktiricilerin en önemlisi $Al(OH)_3$ olup, bu alandaki pazar payı %50 civarındadır. Mevcut durumda bor bileşikleri dünya alev geciktirici pazarından düşük bir pay almaktadır. Örneğin; 350,000 ton/yıl alev geciktirici tüketimi olan Kuzey Amerika'da borlu bileşiklerin payı yaklaşık %1'dir. Bununla birlikte, ABD'de borlu bileşiklerin alev geciktirici olarak kullanımı 1990'lı yıllarda artmıştır.

Alev geciktirici katkı malzemeleri endüstrisi yaklaşık 3,6 milyar dolarlık bir pazarı kapsıyor ve bu pazarın her yıl %5 oranında büyüyeceği öngörülmüyor. Dünyada yıllık toplam üretimi 2 milyon ton civarında olan bu malzemelerin en büyük sağlayıcısı Kuzey Amerika ve ardından da Batı Avrupa ülkeleri gelmektedir.

Alev geciktirici katkı malzemeleri çeşitli açılardan, örneğin temel etki mekanizmalarına, hedefledikleri polimer tiplerine ve içerdikleri element veya bileşik tiplerine göre sınıflandırılabilir. Yaygın olarak kullanılan sınıflandırma biçimine göre, alev geciktiriciler metal hidroksit bileşikleri ve fosfor (P), azot (N) veya 7A grubu (halojen) elementlerinden birini veya birden çoğunu içeren bileşiklerdir. Bu bileşik sınıflarının Pazar payları incelendiğinde en büyük orana-düşük maliyet ve çevresel etki avantajları sayesinde metal hidroksitlerin sahip olduğu, onları da sırasıyla halojenli ve halojen içermeyen bileşiklerin takip ettiği görülüyor.

Polimerler, otomobil, yapı malzemeleri, elektrik ve elektronik parçalar, çeşitli boru ve bağlantı parçaları vb. uygulama alanlarına sahiptir. Polimerler yanıcı makro moleküler malzemelerdir ve alev geciktirici gerektiren durumlarda yetersizdir. Bu gereksinimi karşılamak için, mevcut Çin pazarında, alev dayanıklı polimer, antimon trioksit ile halojen içeren organik maddenin birleştirilmesiyle elde edilir.

Halojen alev geciktirici içeren plastik ürünler yandığı zaman, yaşamı tehdit edici ve insan vücudundaki diğer organlara da zarar veren, çok miktarda toksin ve korozif gaz üretir. Bundan dolayı, bazı gelişmiş ülkelerde halojen alev geciktirici içeren çeşitli plastik ürünlerin kullanılmasında yasaklar vardır. Küresel çevre bilincinin artmasıyla birlikte, plastik ürünler için insanların alev geciktirici gereksinimi giderek daha artmaktadır. Halojensiz, düşük duman, düşük toksin ve çevre dostu olan alev insanların hedefi haline gelmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Katı Faz Reaksiyonu ile Magnezyum Borat Eldesi

Bu çalışmada ana malzeme olarak stokiometrik oranda MgO ve B₂O₃ (susuz) kullanılmıştır. Magnezyum oksit toz halde kullanılmıştır. Toz magnezyum oksit MERCK firmasından alınmıştır. Deneyde kullanılan B₂O₃, Eti Madenleri Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Stokiometrik oranları değiştirilerek hazırlanan 3 ayrı numune SPEX SAMPLE PREP marka değirmen cihazında öğütülmüştür. Speks, gerektiğinde inert atmosferde çalışabilen, katı öğütme yapabilen ve çok yönlü hareket sayesinde nano boyutlara kadar öğütücü olarak kullanılan bir cihazdır. Öğütme sırasında çelik bilyeler ve çelik kap kullanılmıştır. Söz konusu cihaz Resim 3.1 'de görülmektedir.



Resim 3.1. SPEKS SAMPLE PREP marka değirmen cihazı

Çizelge 3.1 'deki stokiyometrik oranlar gereğince MgO ile B₂O₃ verilen reaksiyon denklemine göre atmosferik ortamda SPEX SAMPLE PREP marka değirmen cihazında 600 rpm 'de öğütüldükten sonra 900 °C'de 1 saat PROTERM marka fırında tepkimeye sokulmuştur. Sinterleme sonrası elde edilen pellet numuneler SPEKS tipi öğütücüde çekilerek ortalama tane boyutu küçültülmüştür.

Çizelge 3.1. Magnezyum borat oluşumunda stokiyometrik oranlar

	1.Numune	2.Numune	3.Numune
MgO	1 mol	0,5mol	2 mol
B ₂ O ₃	1 mol	1 mol	1 mol

Bu işlemden sonra hazırlanan orijinal ve sinterlenen numunelerin FTIR analizleri yapılmış ve Rigaku D/Max – 2200 ULTIMAN+/PC marka XRD cihazında Eti Maden İşletmeleri Teknoloji Dairesi'nde analiz edilmiştir. Elde edilen pigment yüksek sıcaklık boya üretiminde kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu amaçla silikon esaslı bağlayıcıya, pigment girdisi yapılmış ve boya karıştırıcısında üniform hale getirilmiştir. Fırça ile uygulanabilirlik testi açısından boyanın viskozitesi talk ve tiner ile ayarlanmıştır. Söz konusu cihaz Resim 3.2 'de görülmektedir.



Resim 3.2. XRD cihazı

3.2. Magnezyum Borat Pigmentli Boyanın Hazırlanması

Bu aşamada katı faz metodu ile elde edilen magnezyum borat pigmentleri yüksek sıcaklık boya üretiminde kullanılabilir hale gelmiştir. Katı faz reaksiyonu ile elde edilen magnezyum borat pigmenti ile hazırlanan boyada, Boyut Limited Şirketi tarafından temin edilen silikon esaslı bağlayıcı kullanılmıştır. Bu bağlayıcıya kütlece % 3, % 4 ve % 5 'lik olacak şekilde 3 farklı pigment girdisi yapılmıştır. Son aşamada boya üniform hale getirilerek levha üzerine iki kat film tabakası şeklinde çekilmiştir. Hazırlanan numuneler Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Resim 3.3. a) Boyasız levha - b)Magnezyum borat pigmentli boya ile kaplanmış levha

Boyanın yüksek sıcaklığa dayanımı testi, Resim 3.4.'de verilen TRADE RAYPA ELECTRIC FURNACE HM-9 markalı fırında 400° C, 500° C, 600° C, 700° C ve 800° C için gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.4. Trade raypa markalı fırın

Silikon esaslı bağlayıcı ile hazırlanan yüksek sıcaklık boya numunemize bir sonraki aşama olarak aleve karşı duyarlılık testleri uygulanmıştır. Bu amaçla Resim 3.5'de gösterilen LOI test cihazında ölçümler yapılmıştır. ISO 4589-2 (TS11162-2) test standart 'ı ile numuneler hazırlanmış, limit oksijen değerleri belirlenmiştir. Test standartlarına göre hazırlanan tahta numuneler silikon esaslı yüksek sıcaklık boyasıyla, fırça ile iki kat olacak şekilde tatbik edilerek hazırlanıp oda sıcaklığında 12 saat kurutulmuştur. Resim 3.6 'de hazırlanan tahta numunesi verilmiştir.



Resim 3.5. LOI test cihazı



Resim 3.6. Silikon esaslı bağlayıcı ile hazırlanan ahşap numune

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Stokiyometrik Oranların Magnezyum Borat Oluşumuna Etkisi

Çizelge 4.1.' de belirtilen MgO ile B₂O₃ reaksiyon denklemlerine göre belirlenmiş çeşitli stokiyometrik oranlar kullanılarak ekonomiklik ve performans açısından en uygun stokiyometrik oran tespiti yapılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 4.1. Reaksiyon denklemleri ve oluşabilecek ürünler

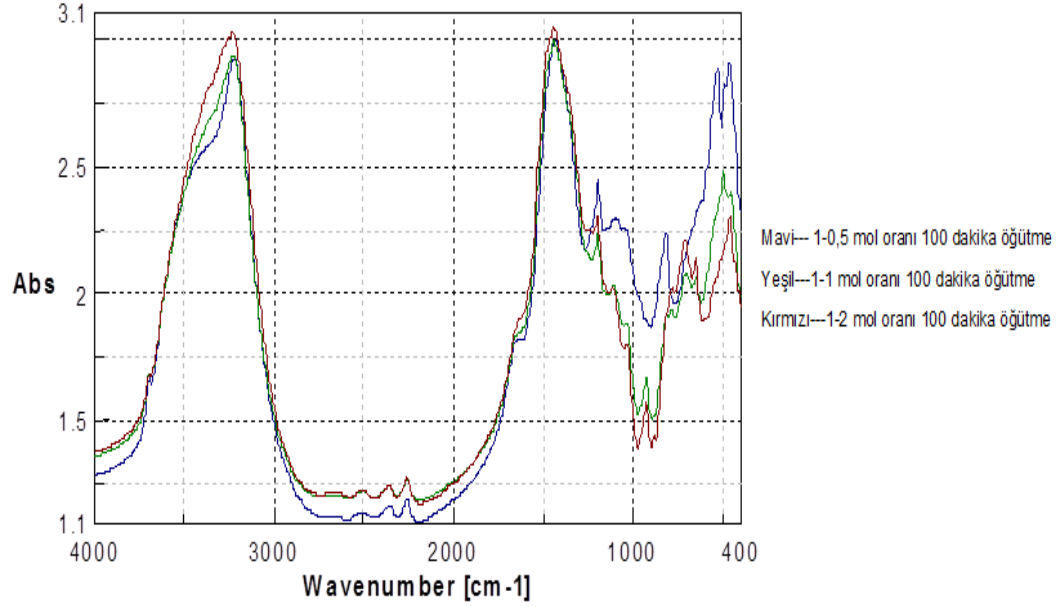
Oluşabilecek Reaksiyonlar	$*2\text{MgO} + 2\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 + 4\text{H}_2\text{O}$
	$\text{MgO} + 4\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{MgB}_4\text{O}_7 + 7\text{H}_2\text{O}$
	$3\text{MgO} + 2\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Mg}_3\text{B}_2\text{O}_6 + 4\text{H}_2\text{O}$
	$**\text{MgO} + 2\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{MgB}_2\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$

Yeni malzeme mullit potada 900 °C'de 1 saat PROTERM marka fırında sinterlenerek katı faz reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Sinterleme sonrası elde edilen pellet incelendiğinde katı faz reaksiyonu ile elde ettiğimiz magnezyum boratın külçe halindeki bir sonucudur. Külçe şeklindeki pellet toz haline getirilmiştir. Bu amaçla pellet, speks tipi öğütücüde 20 dakika öğütülerek ortalama tane boyutu küçültülmüştür.

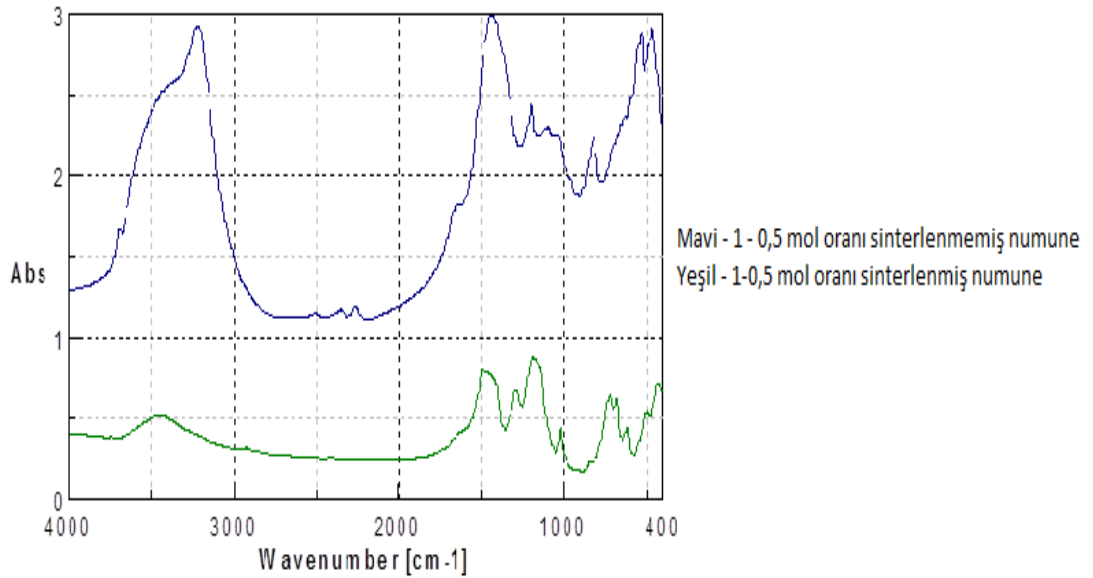
Boyalarda partikül boyutu oldukça önemlidir. Eğer yeterli boyuta ulaşılmaz ise iyi bir örtme gücü elde etmek mümkün değildir. Sonraki aşamada FTIR ve XRD analizleri çıkarılmıştır. Bu amaçla Çizelge 4.1 'deki stokiyometrik oranlar ile hazırlanan orijinal ve 900 °C 'de 1 saat sinterlenen numunelerin XRD ve FTIR grafikleri incelenmiştir.

Sinterlenmiş ve sinterlenmemiş numunelerin FTIR grafikleri incelendiğinde sadece 1-1 mol oranıyla hazırlanan ve 900 C⁰ 'de sinterlenen numunede

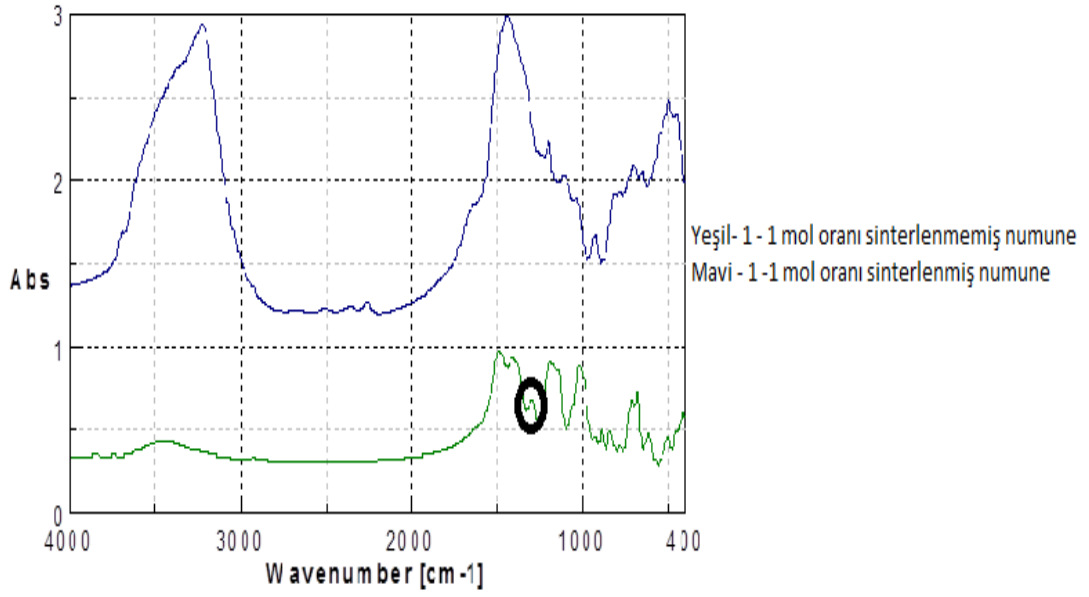
$Mg_2(B_2O_5)$ 'in karakteristik piki olan 632, 682 ve 1295 bandlarına rastlanmıştır [37, 48].



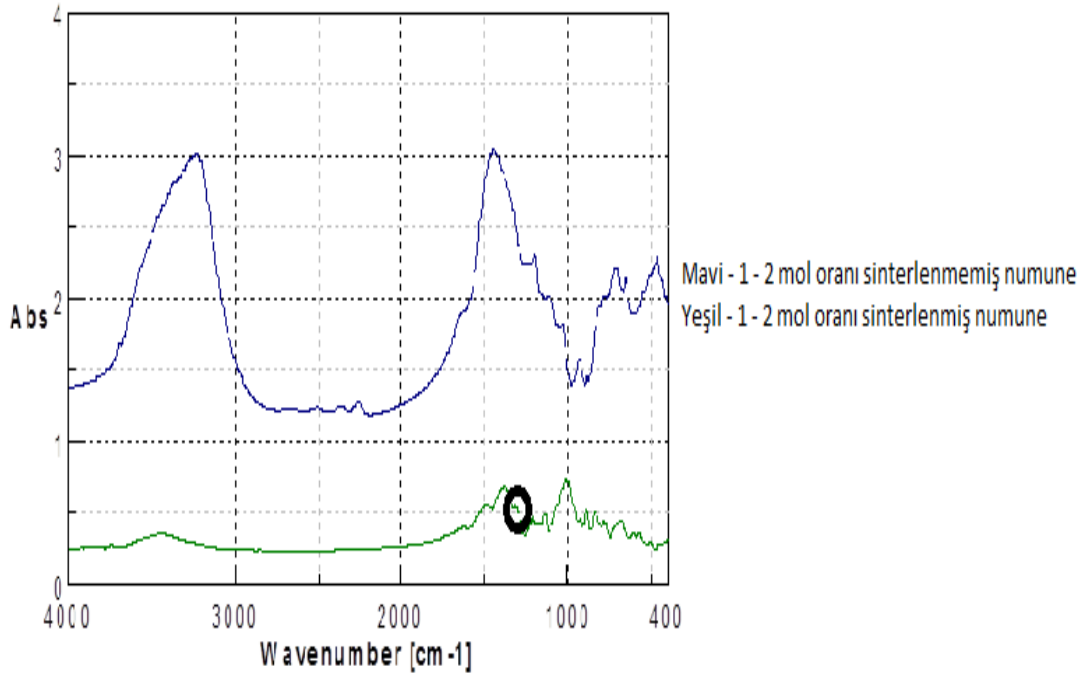
Resim 4.1. Sinterlenmemiş numunelerin FTIR analizleri



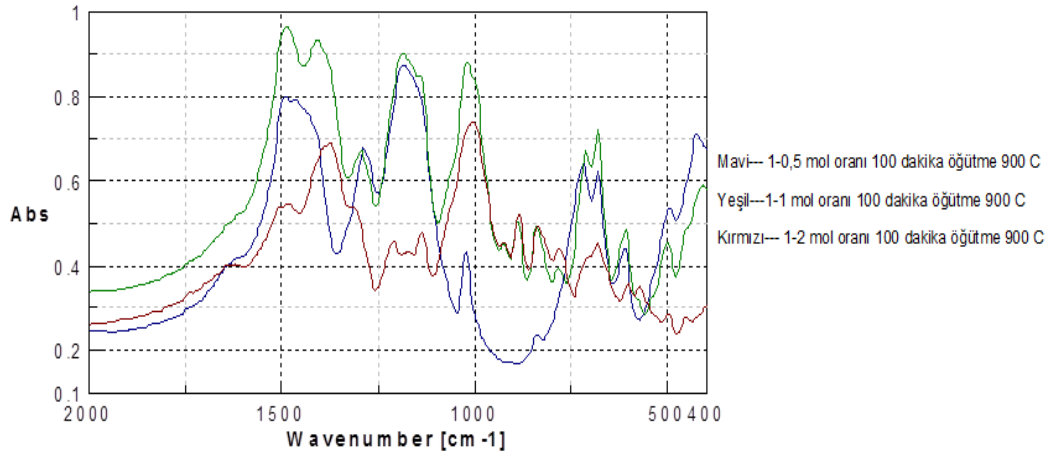
Resim 4.2. Sinterlenmemiş ve 900 C⁰ de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizi (1-0,5 mol oranı)



Resim 4.3. Sinterlenmemiş ve 900 C⁰ de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizi (1-1 mol oranı)

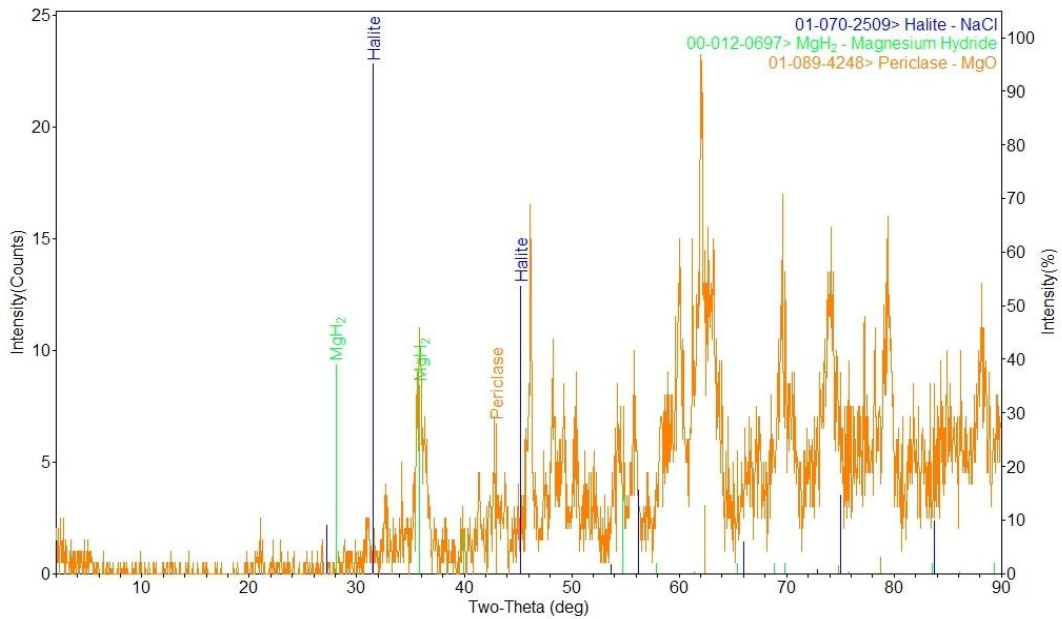


Resim 4.4. Sinterlenmemiş ve 900 C⁰ de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizi (1-2 mol oranı)

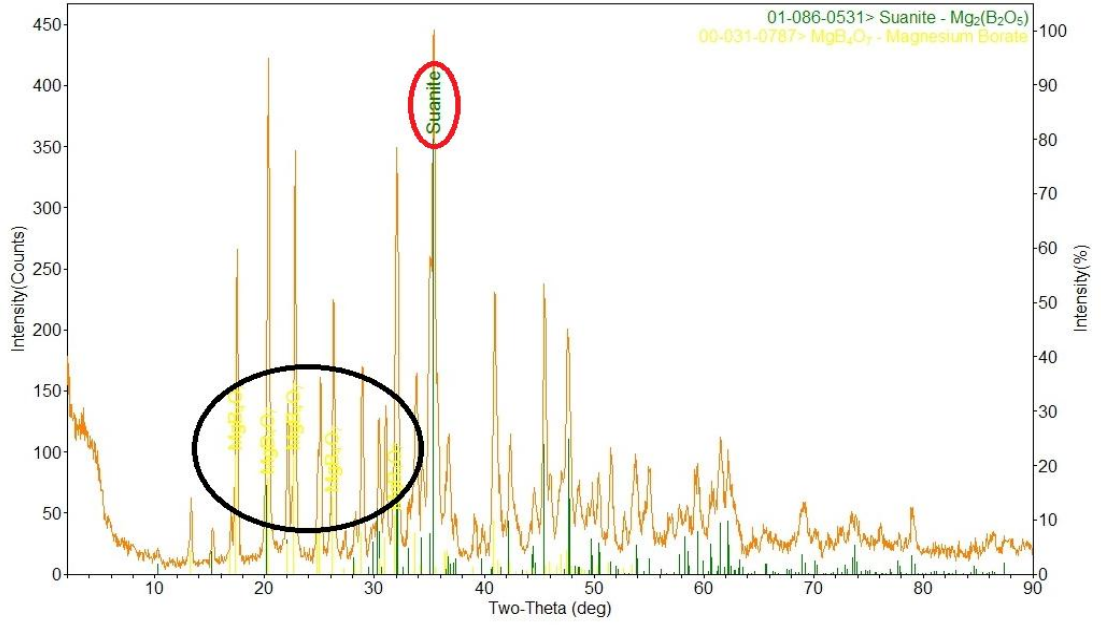


Resim 4.5. 900 C⁰ de sinterlenmiş numunelerin FTIR analizleri

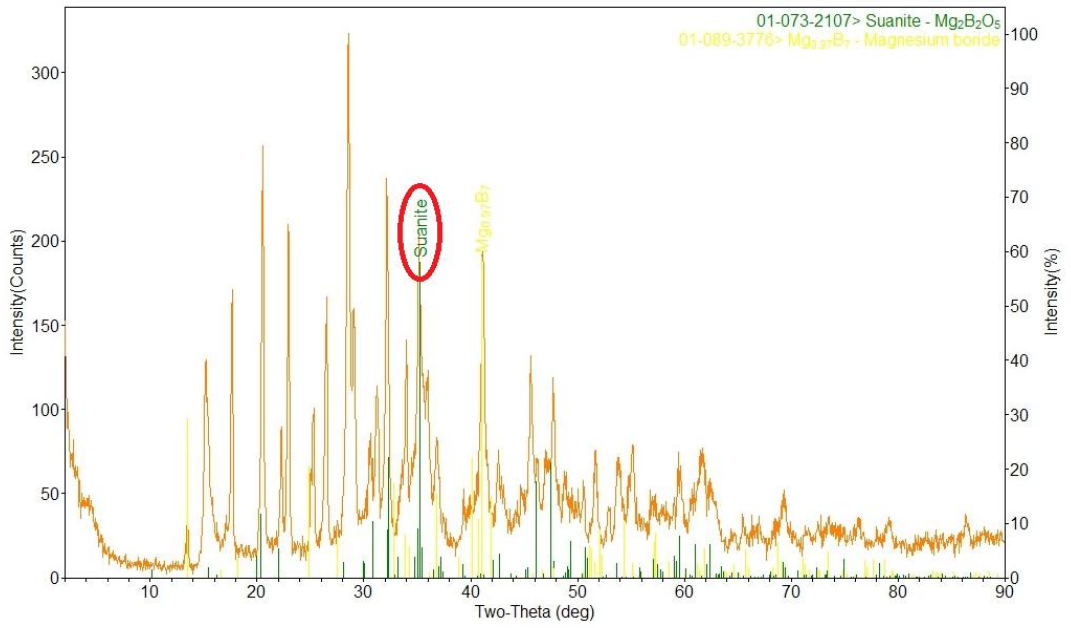
FTIR analizi sonucunda elden edilen bilgiler ışığında XRD analizlerine geçilmiş ve 1-1 mol oranıyla hazırlanan ve sinterlenen numunede $Mg_2(B_2O_5)$ ve MgB_4O_7 , 1-2 mol oranıyla hazırlanan ve sinterlenen numunede $Mg_2(B_2O_5)$ pikine rastlanmıştır. Reaksiyon ve XRD grafikleri incelendiğinde yan ürün oluşumu, ürün çeşitliliği ve ekonomiklik açısından 1-1 mol oranıyla hazırlanmış magnezyum borat numunesinin daha iyi olduğu anlaşılmış ve diğer deneyler bu numune üzerinden yapılmıştır.



Resim 4.6. 1-0,5 mol oranı ile hazırlanmış ve sinterlenmiş numunenin XRD analizi



Resim 4.7. 1-1 mol oranı ile hazırlanmış ve sinterlenmiş numunenin XRD analizi



Resim 4.8. 1-2 mol oranı ile hazırlanmış ve sinterlenmiş numunenin XRD analizi

XRD sonuçlarına göre performans ve ekonomiklik açısından en uygun pigment tespit edilmiş olup, son aşamada elde edilen pigment yüksek sıcaklık boya üretiminde kullanılmıştır. Bu amaçla silikon esaslı bağlayıcıya %3, %4 ve %5'lik pigment girdileri yapılmıştır ve silikon esaslı bağlayıcı ile boya üretimi gerçekleştirilmiştir.

%3, %4 ve %5 'lik pigment girdileri ile boya üniform hale getirilmeye çalışılmıştır. Levha üzerine boya film tabakası şeklinde çekilmiştir. Levha üzerine uygulanan yüksek sıcaklık boyası incelendiğinde fırça ile tatbik edilmesine rağmen kaplama özelliğinin oldukça iyi olduğu görülmüştür. Bu pigment girdileri ile iyi bir örtme gücünün elde edilmesi, boya olarak mükemmelliğinin bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle borun çok iyi dağılmış olması malzemedeki kısmi yanmalarını önleyeceği ve tamamen yangında yanma geciktiricisi olarak kullanabileceğimizin bir göstergesidir.

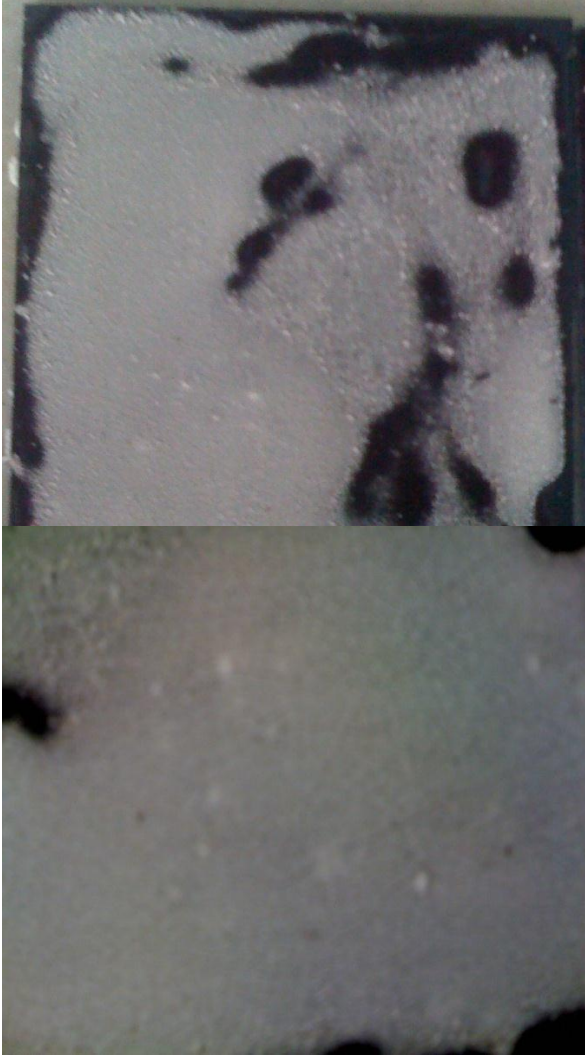
Hazırlanan yüksek sıcaklık boya numunesi ile film tabakası şeklinde kaplanan levhalar oda sıcaklığında 12 saat bekletilmek koşulu ile kurutulmuştur ve bu amaçla performans testine hazır hale getirilmiştir. Boyanın yüksek sıcaklığa dayanımı testi, TRADE RAYPA ELECTRIC FURNACE HM-9 markalı fırında gerçekleştirilmiştir. Boya numunemiz 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C 'de 2'şer saat bekletilerek levha üzerindeki değişimleri karakterize edilmiştir ve yüksek sıcaklığa dayanımı gözlenmiştir.

Sıcaklık 700 °C 'ye kadar çıktığı halde boya numunemizin görüntüsünde henüz mikro boyutta bir değişikliğe rastlanmamıştır. Ancak silikon esaslı magnezyum borat pigmentli boya ile kaplanmış levha üzerinde yerel olarak renk değişimi gözlenmiştir.



Resim 4.9. 700 °C'de magnezyum borat pigmentli boya ile kaplanmış levha

Sıcaklık 800 °C 'ye kadar çıktığında ise ısı etkisi ile renk değişimi biraz daha artmıştır. Burada bor bileşikleri bizim için oldukça önemlidir. Çünkü amacımız alev geciktirme ve duman bastırma ise bu elementin sistemde çok iyi bir şekilde dağılmış olması ve daha da önemlisi bozunmamış olması gerekmektedir. Bor bileşikleri herhangi bir yerde bozunmaya uğrarsa tane büyümesi meydana getirebilir ya da herhangi bir şekilde parçalanıp gaz fazına geçerse istenen optimum şartlardan uzaklaşılır. Bu açıdan sistemde bor bileşiklerinin varlığı oldukça önemli ve gereklidir.



Resim 4.10. 800 °C'de magnezyum borat pigmentli boya ile kaplanmış levha

Levha incelendiğinde malzeme üzerinde herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Yüksek sıcaklık etkisi ile kaplamada çatlaklar, kabarcıkların oluşumunun az olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bu oldukça önemli bir aşamadır. Silikon esaslı bağlayıcı ile hazırlanan yüksek sıcaklık boyası bu yönü ile mükemmel bir örtme gücü sağlamaktadır. Burada silikon bağlayıcı ile pigment uyumluluk göstermektedir, hem bağlayıcı hem de pigment yanmazlık özelliğine sahip olduğundan ürettiğimiz yüksek sıcaklık boyası da başlı başına yanmazlık özelliğine sahip olmuştur. Pigment ve silikon esaslı bağlayıcının birlikte kullanılması sonucu malzememizin 800 °C 'ye kadar herhangi bir değişim olmadan kullanılması böylelikle tespit

edilmiştir. Borat bileşikleri ile kıyaslandığında 400 °C deformasyona uğrayan çinko borat pigmentli boyalardan daha iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir [44].

Silikon esaslı bağlayıcı ile hazırlanan yüksek sıcaklık boya numunemize bir sonraki aşama olarak alev karşı duyarlılık testleri uygulanmıştır. Bu amaçla LOI test cihazında ölçümler yapılmıştır. ISO 4589-2 (TS11162-2) test standardı ile numuneler hazırlanmış, limit oksijen değerleri belirlenmiştir. Test standartlarına göre hazırlanan tahta numuneler silikon esaslı yüksek sıcaklık boyasıyla, fırça ile tatbik edilerek hazırlanıp oda sıcaklığında 12 saat kurutulmuştur.

LOI testi, bir karışım içindeki oksijenin azotla birlikte minimum konsantrasyonda bulunmasını sağlar ve bu da malzemenin denge koşulları altında yanmasını gösterir. Bu metot malzemenin ateş ile temas halindeyken gerçek davranışını göstermez, ama alev geciktiricilerin geliştirilmesinde kullanılan bir metottur.

Bu çalışmalardan hareketle; hazırlanan tahta numunesinde LOI değeri hesabı için çeşitli % oksijen konsantrasyonlarında yanma deneyleri yapılmıştır.

Literatür araştırmasında yanma için limit değer olan % 28 oksijen konsantrasyonundaki yanmazlık testinde rotametre O₂ için 70, N₂ için 85,5 değerlerine ayarlanıp numunemiz yakılmıştır. Numunede herhangi bir yanma meydana gelmemiştir. % 35 oksijen konsantrasyonda rotametre O₂ için akış hızı 86,5 ve N₂ için 76,5 akış hızı değerlerine ayarlanıp numune yakılmıştır. Aynı şekilde yanmadığı tespit edilmiştir. % 39 oksijen konsantrasyonda rotametre O₂ için 100,5 ve N₂ için 70,5 değerlerine ayarlanıp numune yakılmıştır ve bu konsantrasyon değerlerinde yanma meydana gelmiştir. Malzememizin yanıyor sayılabilmesi için, alev aldıktan sonra 30 s süreklilik olarak alevi sürdürmesi gerekmektedir.



Resim 4.11. %39 oksijen konsantrasyonu ile yakılan numuneler

İşlem görmemiş tahta parçasının alev testinde % oksijen konsantrasyonu yapılan deneyler neticesinde %22 olarak tespit edilmiştir. Hazırlanan yüksek sıcaklık boyası ile kaplanan tahta parçasında ise LOI değeri % 39 oksijen konsantrasyonunda olduğu belirlenmiştir. Borat bileşikleriyle kıyaslandığında % 55 oksijen değerine ulaşılan çinko borat pigmentli boyalardan alev geciktirme açısından daha düşük seviyede olduğu görülmektedir [44].

4.2. Sonuçların Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi Ve Öneriler

Polimerler organik madde olduklarından ateşten/alevden kolay etkilenirler. Alev geciktirici ilaveleri, ateşe karşı oluşturulan direncin bir ölçüsüdür. Sonuçta, tüm polimerler yanar. Ancak alev geciktiricilerin önemi, katastrofik yanmayı geciktirmek veya yangın hasarını en aza indirmektir

Genelde alev geciktiricilerden iki görev istenir. Öncelikle alev geciktirme etkisine sahip olmak ve daha sonra içine katıldığı ana malzemenin işleme özelliklerine zarar vermemek/uygun olmak. Belli oranlarda ilave edilen alev geciktirici katkı maddeleri hem kolay yanıcı ana malzemeyi seyreltmekte hem de ana maddenin oksijen indeksini azaltmaktadır. Oksijen indeksi ana maddenin yanmasına devam edebilmesi için gerekli olan minimum oksijen miktarıdır. Etkin bir alev geciktiriciden şu özellikler istenir:

- Bozuşma esnasında, yüzey alanı fazla oksitler oluşturması,
- İnce parça boyutunda olması,
- Renksiz veya beyaz renkli olması,
- Zehirsiz olması,
- Çözünmeyen veya çok az çözünen safsızlıklar içermesi,
- Mohs sertliği 4'den az olmasıdır.

Kaplamalarda ve polimerlerde alev geciktirici katkı maddesi olarak genellikle antimon oksit veya alüminyum oksit (ATH) kullanılmaktadır. Klorlu ve bromlu alev geciktirici bileşikler yanma sırasında karbon monoksit ile fosgen gibi toksin bileşikler oluşturmaktadır. Borat bileşiklerinin alev geciktirici pigment olarak kullanımı ise araştırılmakta olan bir konudur. Magnezyum borat, antimon ile birlikte yüksek dereceli bir alev geciktirici özelliği gösterir. ATH ile birlikte kullanıldığında ise duman bastırma özelliğini kuvvetlendirir. Alev geciktirici magnezyum boratın en önemli özellikleri; borun varlığı magnezyum boratı etkin bir alev bastırıcı yapması, metallerle plastikler arasında yapışma özelliğini artırması, zehirli özelliğe sahip olmaması, reçinelere ilave edilmeleri esnasında özel aletlere ihtiyaç olmaması ve antimon ile kıyaslandığında daha ucuz olmasıdır. Magnezyum boratların bu üstün özellikleri alev geciktirici pigment olarak kullanılma oranlarını artırmaktadır. Ayrıca toksik özelliği yüksek olan Antimon oksidin aksine Magnezyum Boratların toksik özelliği bulunmamaktadır. Magnezyum boratların bütün bu üstün özellikleri göz önüne alındığında, ekonomiye de çok büyük katkıları olacağı görülmektedir. Yüksek sıcaklık koşullarının geçerli olduğu füze ve roket sanayi alanlarında da magnezyum boratlar, kullanılan diğer alev geciktiricilere göre daha ucuz fiyatları ile artan bir kullanım oranına sahiptirler. Magnezyum borat üretiminde kullanılan hammaddeler olan magnezyum oksit ve borik asit kaynaklarının ülkemizde bol olması ve hammadde maliyetlerinin düşük olması magnezyum boratların diğer alev geciktiricilere göre daha ekonomik olmasını sağlamaktadır.

Üretim methodu olarak incelendiğinde ise sıvı faz reaksiyonlarından farklı olarak katı faz reaksiyonu ile üretilen ürünün susuz olması nedeniyle yüksek sıcaklığa maruz kalan magnezyum borat katkılı boyalarda bağlı suyun buharlaşması nedeniyle oluşabilecek çatlama gibi deformasyonların önlenmesi büyük avantaj sağlayacaktır.

Ülkemizde hızlı nüfus artışı, çarpık kentleşme ve hızlı sanayileşme sonucunda her yıl olan yangın sayısı ve yangından dolayı meydana gelen zarar miktarı artmaktadır. Isı saniyede yaklaşık 27 m yükselebilirken, yangınlardan ölümlerin %90'ı evde ve yangın ölümlerinde %90 uyku esnasında olmaktadır. Ev yangınları tüm yangınların %80'i kadardır. Yangınlardan dolayı ortaya çıkan can ve mal kaybını en aza indirmek için alınacak tedbirlerden biride yanmayan veya yanmayı geciktirici malzemeler kullanımımızdır. u mal ve can kayıplarını önlemek için, deneyler sonucunda elde edilen %39 limit oksijen değerine göre magnezyum boratlar üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılması gereken bir bor bileşiğidir.

Plastiklerin bileşiminde polimer dışındaki alev geciktirici katkı mineral miktarı sürekli artmaktadır. Bu yardımcı malzemeler plastik yapma (karıştırma, çekme veya döküm esnasında viskozite değiştirici, plastikleştiriciler, döküm kalıbından gevşeticiler vs) ve aynı zamanda nihai ürüne mukavemet, esneklik ve kullanım şartlarına direnç de verir. Alev geciktirme ve duman bastırmada inorganik mineraller/bileşikler önemli rol oynamaktadır.

Bor ürünlerinden olan Magnezyum Boratların üretilmesi ve karakterizasyonu belirtilen nedenlerden dolayı oldukça önemlidir. Yapılan deneyler haricinde magnezyum borat üretilimi ve alev geciktirici, yüksek sıcaklığa dayanım özelliklerinin tam olarak tespiti açısından;

- Magnezyum Boratın sıvı faz reaksiyonuyla eldesi ve aleve duyarlılık testlerinin yapılması

- Yüksek sıcaklık boya içine katılacak pigment tane boyutunun 10 µm 'nin altına da olması için farklı yöntemlerin denenmesi,
- Değişik tür bağlayıcıların kullanılması ve uygun bağlayıcının tespit edilmesi, Örneğin alkid esaslı bağlayıcıların kullanılması,
- Levha yerine yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme kullanmak, Örneğin cam paneller,
- Magnezyum boratın polimerlerde de yanmazlık etkisinin incelenmesi,
- Magnezyum boratın tekstil ürünlerinde de alev geciktirici özelliğinin incelenmesi

yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Toul, R., "Organik Bor Bileşikleri ve Üretim Teknolojisi" , **Tübitak**, 7-77 (1987).
2. Cengiz, E., Özelleştirmenin Odağındaki Bor, **1. Uluslar arası Bor Sempozyumu**, Kütahya 20-25 (2001).
3. Yılmaz, A. "Her Derde Deva Hazinemiz Bor", **Bilim ve Teknik Dergisi**, 414: 39-48 (2002).
4. "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu", **Bor Madenleri Alt Komisyonu Raporu, D.P.T.** 17-56, (2000).
5. Göktan, D., Ünsal, K., Kavas, A., Altuğ, T., Etibank Bigadiç Bor İşletmesi Civarındaki İçme Suyunda ve Bazı Besinlerde Bor İçeriği ile Bunların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi, Nihai Rapor, **Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü , İzmir**, 15-97, (1995).
6. İnternet : BOREN
<http://www.boren.gov.tr/icerik.php?id=26>
7. Fırat, A., "Bor Madenleri Alt Komisyonu Raporu", **DTP**, Ankara, 1-100 (2001).
8. Ademdir, O., "Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye'deki Durumu", **Maden Mühendisleri Odası Dergisi**, 34: 7-11, (2001).
9. Anaç, S., Bilek, C., and Kanalı, H., "Processing Boron-Eti Holding upgrades Bigadiç" , **Industrial Minerals**, January 376 : 45-49 (1999).
10. Acarkan, N., Bor Ürün Çeşitleri ve kullanım Alanları" , **Maden Mühendisleri Odası Dergisi**, 29: 10-17, (2001).
11. "Türkiye'nin geleceğini aydınlatan ışık: Bor", **Konya Ticaret Odası Dergisi**, 173: 22-36, (2002).
12. Cıncı, M.M., "Ulusal Maden Varlığımız ve Bor Gerçeği", **Ankara Ticaret Odası**, 60:7-17, (2000).
13. Duman, İ., "Bor Madenleri ve Stratejik Bor Ürünleri" **Kimya Mühendisleri Odası Dergisi**, 35: 7-11 (2003).
14. "Ulusal maden varlığımız ve bor gerçeği", **Ankara Ticaret Odası**, 57-169 (2001).
15. "Roskill Information Services Ltd"., **The Economy of Boron**, 1-7, (1999).

16. Şaylı, B., "An Assessment of Fertility in Boron - Exposed Turkish Subpops, 2. Evidence That Boron Has Effect o Human Reproduction" **Biogicial Trace Element Research**, 409-426 (1998).
17. Erol Z., "Boya En Yaygın Uygulanan Korozyon Kontrol Yöntemi" 1. Korozyon Sempozyum Bildirileri, **ODTÜ**, Ankara, 189-199 (1990).
18. "ITS Dyeing - Printing - Finishing", **ITS**, 24-35 (1990).
19. Paul, S., "Surface Coatings Science and Technology", John Willey and Sons, **USA**, 5-19 (1996).
20. Eppler, D.R. and Eppler, R.A., The Relative Stability of Ceramic Pigments, **Ceramic Engineering Science Proceedings**, 18: 139-149 (1997).
21. Eppler, R.A., and Eppler, DR., Glazes and Glass Coatings, **Am. Ceram. Soc. Pub**, 35-56, (2000)
22. Wilkie, C.A., Morgan, A.B., "Fire Retandancy of Polymeric Materials. 2nd Ed." , **CRC Press**, USA, 1-349
23. Yamashita, T.T., Detoxification of soil, **US5582627**, (1996)
24. Yoshii, K., Junichiro, M., Abe, H., Kitazawa, H. Ve Matsushita, A. , **US 0150744 A1**, (2003)
25. Hu, Z.S., Lai, R., Lou, F., Wang, L.G., Chen, Z.L.,Chen, G.X., Dong, J.X., **Wear**, No.252, 370-374, (2002)
26. Araki, T., Tanaka, Y., Kumegawa, M., Oka, N., Sanemasa, H. ve Shimizu, T., **US6677044**, (2004)
27. Heimann, R.L. ve Dalton, W.L., **US6455100**, (2002)
28. Endo, N., Sawahara, Y., **US5528280**, (1996)
29. Nagayama, T. ve Yokoyama, M., **US6139616**, (2003)
30. Swami, K.K., Gupta, A.A., Parkash, S.,Mohan Rai, M. ve Bhatnagar, A.K., **US5854182**, (1998)
31. Asgharian, B., Chowhan, M. ve Stach, P., **US5494937**, (1996)
32. Driscoll, C.M.H., Francis, T.M. ve Richards, D.J., **Radiation Protection Dosimetry**, 9: 295-298 (1984)
33. Okuno, J.M., Harris, S.J. ve Stewart, J.C., **Radiation Protection Dosimetry**, 8: 257-260 (1984)
34. Prokic, M.S., **International Congress on Radiation Protection**, Vienna, Austria, 296-298 (1996)
35. Karali, T., Rowlands, A. P., Prokic, M., **Radiation Protection Dosimetry**, No.100,333-336 (2002)

36. Jun, L. , Peng-Sheng, S. ve Bai, S., “Synthesis and properties of dimagnesium hexaborate heptadecahydrate”, ***Thermochim Acta***, 233: 211-218, (1994)
37. Yongzhong, J. , Shiyang, G., Shuping, X. ve Jun, L., “FT-IR spectroscopy of supersaturated aqueous solutions of magnesium borate”, ***Spectrochim Acta Part A***, 56: 1291-1297, (2000)
38. Hu, Z.S. , Lai, R., Lou, F., “Preparation and tribological properties of nanometer magnesium borate as lubricating oil additive”, ***Wear***, 252: 370-374, (2002)
39. Yi, Z. , Haibin, Y. , Wuyou, F., Liang, Q. , Lianxia, C., “Synthesis of magnesium borate ($Mg_2B_2O_5$) nanowires, growth mechanism and their lubricating properties”, ***Materials Research Bulletin***, 43: 2239–2247, (2008)
40. Körük, M. , Girgin, İ. , “Synthesis of magnesium borates using sodium borate and magnesium sulfate”, ***Journal of Non-Crystalline Solids***, 355: 965-969, (2009)
41. Köytepe, S. , Vural, S., Seçkin, T., “Molecular design of nanometric zinc borate-containing polyimide as a route to flame retardant materials”, ***Materials Research Bulletin***, 44: 369-376, (2009)
42. Dosler, U. , Krzmac, M.M., Suvorov, D., “The synthesis and microwave dielectric properties of $Mg_3B_2O_6$ and $Mg_2B_2O_5$ ceramics”, ***Journal of the European Ceramic Society***, (2009)
43. Obut, .A. , “Thermal syntheses of magnesium borate compounds from high energy milled $MgO-B_2O_3$ and $MgO-B(OH)_3$ mixtures”, ***Journal of Alloys and Compounds***, 457: 86–89,(2008)
44. Ayar, B. , “Çinko Borat Sentezi ve Yüksek Sıcaklıkta Pigment Olarak Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği***, (2007)
45. Qasrawi, A.F. , Kayed, T.S., Gürü, M., Mergen, A., “Synthesis and characterization of $Mg_2B_2O_5$ ”, ***Materials Research Bulletin***, 40: 83-589, (2005)
46. Gürü, M. , Ayar, B. , Çakanyıldırım, Ç., Bilen, M. , “Synthesis and Characterization of Zinc Borate Pigment Resistant to Corrosion and Stable at High Temperatures”, ***17th International Congress of Chemical and Process Engineering***, Czech Republic, (2006)
47. Gürü, M, Ayar, B, Çakanyıldırım, Ç, Özmen, L, “Aleve ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Boya ve Üretim Yöntemi” **TPE Dosya No: 23871.06**
48. Suknev, V. , Infrared Spectra of High Temperature Borates Containing B_2O_5 and B_3O_6 radicals, ***Journal of Applied Spectroscopy***, 12 : 64-66, (1970)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATALAY, Önder
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 17.10.1985 KOCAELİ
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 296 64 86
Faks : 0 (312) 215 50 27
e-mail : onderatalay@windowslive.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Kimya Müh. Böl.	2008
Lise	İhsaniye A.L.	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	Hitit Oil	Üretim Mühendisi
2010- -	ÇSGB	İSG Uzman Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Futbol