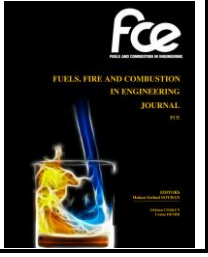
	<b>MÜHENDİSLİKTE YAKITLAR, YANGIN VE YANMA DERGİSİ</b> <i>FUELS, FIRE AND COMBUSTION IN ENGINEERING JOURNAL</i>		
	eISSN: 2564-6435 Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/fce">http://dergipark.gov.tr/fce</a>		
	<u>Geliş/Received</u> 25.12.2021 <u>Kabul/Accepted</u> 30.04.2022	Doi: <a href="https://doi.org/10.52702/fce.1039589">https://doi.org/10.52702/fce.1039589</a>	

## Bor Mineralinin Yangın Geciktirici Etkileri

Ulvi TOPÇU\*<sup>1</sup>, Hakan Serhad SOYHAN<sup>2</sup>

### ÖZ

Bu çalışmamızda ülkemizde bol miktarda bulunan bor minareli incelenmiş olup, kullanım alanları ve kullanım amaçları göz önüne alınarak yarattığı katma değer tespit edildi. Özellikle bor mineralinin bileşenlerinden, yangın geciktirici özelliğe sahip olan formu ele alındı. Gemilerde kullanılan güverte boya ları, bor katkılı formdan farklı oranlarda kullanılarak yeniden üretildi. Elde edilen farklı oranlardaki katkılı boyalar, gemi simülatörleri üzerine uygulanarak aynı ortamlarda ve eşit şartlarda yüksek sıcaklığa maruz bırakıldı. Denemeler sonucunda farklı oranlarda bor katkılı boya ile kaplı olan simülatörlerin, süre sonunda farklı sonuçlar verdiği kayıt altına alındı. Gemilerde kullanılan güverte boya larında bor karışımı lı boya kullanılmasının gemilerde çıkabilecek yangınlarda yangının büyümesini geciktirebileceği gibi aynı zamanda hızlı soğuma özelliği sayesinde yangını kontrol altına almakta kolaylık sağlayacağı değerlendirildi.

**Anahtar Kelimeler:** Bor, bor katkılı boya, yangın geciktiriciler, yangın

## Fire-Retarding Effects of Boron Minerals

### ABSTRACT

Boron minaret, which is abundant in our country, has been examined and the added value it creates has been determined by considering its usage areas and usage purposes. In particular, the fire-retardant form of the boron mineral was discussed. The deck paints used on the ships were reproduced using different proportions from the boron added form. The obtained paints with additives in different ratios were applied on ship simulators and exposed to high temperatures in the same environments and under equal conditions. As a result of the trials, it was recorded that the simulators covered with boron added paint at different rates gave different results at the end of the period. It has been evaluated that the use of boron-mixed paint in the deck paints used on ships can delay the growth of the fire in case of fires that may occur on the ships, and at the same time, it will provide convenience in controlling the fire thanks to its rapid cooling feature.

**Keywords:** Boron, boron additive paint, fire retardants, fire

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

<sup>1</sup> Milli Savunma Bakanlığı Gölçük Tersanesi Komutanlığı, Gölçük, Kocaeli; Türkiye. email: ulvi2424@gmail.com

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya; Türkiye email: hsoyhan@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada Kimyasal simgesi “B” olan, periyodik tabloda metalle ametal arasında, yarı iletken özelliğe sahip olan “Bor” mineralinin yangın geciktirici etkisi üzerine araştırma yapılmıştır. Borun kullanım alanları oldukça geniştir ve ayrı bileşikleri ayrı özelliklere sahiptir. Hafifliği, gerilmeye olan direnci ve kimyasal etkilere dayanıklılığı sebebiyle; plastiklerde, sanayi elyafı üretiminde, lastik ve kağıt endüstrisinde, tarımda, nükleer enerji santrallerinde, roket yakıtlarında da kullanılmaktadır. Camın sıcaklık ile genişmesini önemli ölçüde indirgediği, camı asite ve çizilmeye karşı koruduğu, titreşim, yüksek sıcaklık ve sıcaklık şoklarına karşı dayanıklılığı sağladığı için sıcaklığa dayanıklı cam gereçler, elektronik ve uzay araştırmalarında kullanılacak üstün nitelikli camların üretiminde de önemli yeri vardır[1]. Bor’un saf elementi; ilk kez 1808 yılında Fransız kimyager J.L. Gay – Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir [2].

### 1.1. Bor Mineralinin Önemi

Şekil 2’de görüldüğü üzere Dünya bor rezervinin %73’ü Türkiye coğrafyasından çıkarılmaktadır. Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Bursa-Kestelek ve Balıkesir- Bigadiç’te önemli rezerv kaynaklarımız bulunmaktadır. Ancak Bor mineralinin sadece ham madde olarak çıkarılması ve satılması tek başına yeterli değildir. Ticari anlamda üretilmesi ve çok farklı Bor bileşikleri olarak değerlendirilmesi de gerekmektedir. Bu amaçla Bor bileşiklerinin yurtiçi ve yurtdışı pazar payları araştırılmalı ve çok farklı alanlarda nasıl katma değer sağlayacağı araştırması yapılmalıdır. Türkiye’de Eti Maden tarafından çıkarılan Bor minerali daha sonra yüksek teknoloji ile donatılmış kansantratör tesislerinde işlenerek zenginleştirilir ve öğütülmüş hale getirilir [3].

Bor mineralleri yapılarında farklı oranlarda bor oksit içeren doğal bileşiklerdir. Ticari açıdan önemli bor mineralleri arasında; Tinkal, Kolemanit, Kernit, Üleksit, Pandermite, Borasit, Szaybelit ve Hidroborasit bulunmaktadır. Fakat bu mineraller içinde ticari olarak boraks, kolemanit ve üleksit daha fazla ön plana çıkmaktadır. (Şekil 1). Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacının yaklaşık % 90’ını karşılamakta ayrıca başta Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere çok az sayıda ülkede üretilmektedir [4].



Şekil 1 Doğada bulunan önemli bor mineralleri: (a) Boraks, (b) Kolemanit, (c) Üleksit

Dünyada yıllık bor tüketiminin kullanıldığı alanlar yüzde olarak; %41 izolasyon, fiberglas ve tekstil sanayisi, %13 seramik ve bileşikler sanayisi, %12 deterjan ve temizlik sanayisi, %8 metalürji sanayisi, %7 tarım sanayisi ve %19 diğer sahalarda olmak üzere kategorilendirilmiştir [5]. Dünya Bor rezervlerinin büyük bir çoğunluğunu elinde bulunduran Türkiye bu avantajını katma değeri yüksek ürünler üretmek için çok daha ileri düzeylere taşınmalıdır. Bor katkılı ürünler, üniversitemiz ve Ar-ge merkezlerimiz sayesinde gün geçtikçe yeni bir alanda ve üründe karşımıza çıkmaktadır.

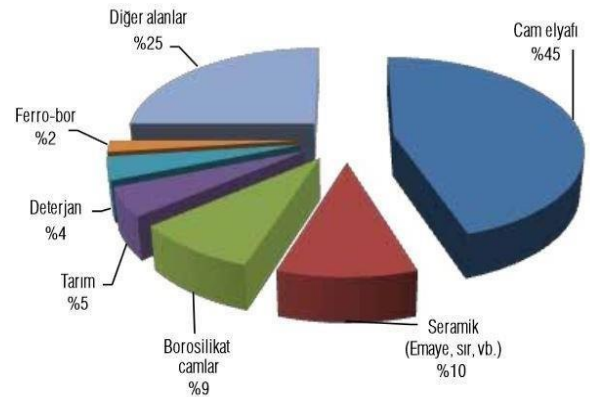


Şekil 2. Dünya Bor Rezervleri [6]

### 1.2. Bor Minerallerinin Kullanım Alanları

Bor, bor alaşımları, bor tuzları ve organometalik bor kompleksleri tek başına yüksek teknoloji malzemeler olarak kullanılmaktadır. Ayrıca diğer malzemelere yüksek teknoloji malzemelerin performansını katmaktadır. Bor ürünleri hafiftir, strese ve kimyasal etkilere dayanıklıdır, bu nedenle en çok kimya ve kozmetik endüstrilerinde, fotoğrafçılık, boya, deri ve çimento endüstrilerinde kullanılmaktadır. Ayrıca plastikte, endüstriyel elyaf üretiminde, kauçuk ve kağıt endüstrisinde, ısıya dayanıklı cam üretiminde, tarımda, nükleer santrallerde, roket yakıtlarında, sert çelik üretiminde, emaye ve porselen sırların üretiminde de kullanım alanları bulunmaktadır [7].

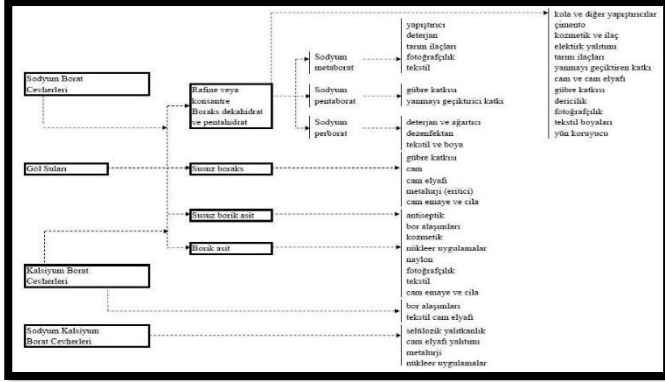
Dünyadaki genel Bor minerallerinin kullanımı Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Dünya bor kullanımı sektörel dağılımı [6].

Tüketim alanı bölgeden bölgeye değişmektedir. Örneğin Avrupa’daki en fazla bor kullanımı sodyum perborat üretiminde görülmektedir. Sodyum perborat Avrupa’da daha çok deterjan

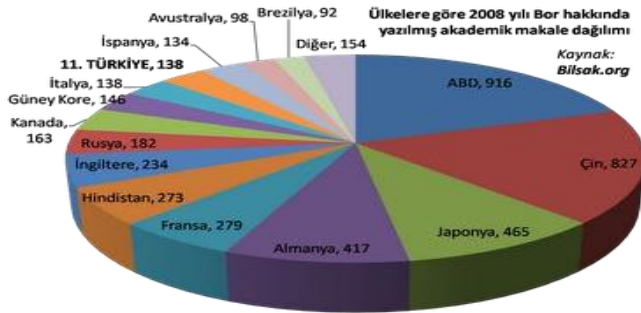
üretiminde kullanılırken; Kuzey Amerika ve Orta Amerika’da daha çok cam ve elyaf alanında kullanılmaktadır. Japonya’nın tekstil ürünlerinde bor lifi kullandığı tahmin edilmektedir [8]. Ülkemizde bor mineralleri üretiminin % 80 -% 90’ı rafine bor ürünleri üretiminde kullanılmakta, geri kalan bor mineralleri ve ürünleri ağırlıklı olarak kimya ve cam sanayinde kullanılmaktadır. Dünya bor tüketiminin yaklaşık olarak % 80’ini A.B.D. ve Batı Avrupa ülkeleri yapmaktadır. Genel olarak ülkemizde bor tüketimi çok düşüktür ve bor cevherleri ile üretilen ürünlerin çoğu ihraç edilmektedir [9]. Şekil 4’de genel olarak bor mineral ve bileşiklerinin kullanım alanları özetlenmiştir.



Şekil 4. Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanım alanları

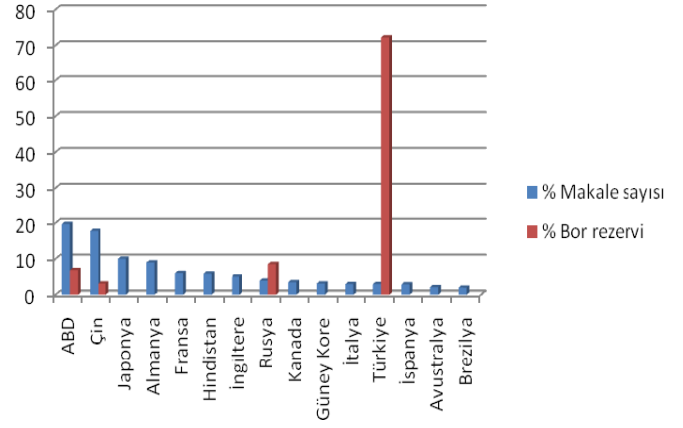
### 1.3. Bor Minerali ve Bileşikleri Hakkında Yazılan Makaleler

Bilim Stratejileri Araştırma Kurulu’nun 2008 yılında yaptığı araştırmaya göre bor ve bileşikleri üzerine dünyada 4656 adet makale yayımlanmış olup, ülkelere göre dağılımı Şekil 5’de verilmiştir [10]. Şekil 5 ‘de görüldüğü üzere Türkiye’nin 138 adet makale ile tüm ülkeler arasında 11. sırada olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Ülkelere göre bor hakkında yazılmış akademik makale dağılımı [11].

Bor rezervi ile akademik makale sayısı karşılaştırması yapılan Şekil 6’da ise, bor rezervi ülkemizden çok daha az olan ülkelerin bile, bor hakkında Türkiye’den daha fazla makale yayımladıkları görülmektedir. Şekil 6’da görüldüğü üzere açık ara en önde olan ülkemizde yayınlanmış olan makale sayısının bu denli az olması Bor mineraline yeterince önem verilmemesi anlamı taşımaktadır.



Şekil 6. 2008 Yılı akademik makale dağılımı ile bor rezervi karşılaştırması [10].

### 1.4. Bor Minerali ve Bileşikleri Hakkında Yapılan Bazı Araştırmalar

Formicola ve arkadaşları; “çinkoborat” ve “çinko hidrokstanatları” epoksi bazlı ürünlerde denemiştir. Bu çalışmada ürünlerin toplam ısı salınımları sırasıyla %25 ve %30 oranında azaldığı, böylece bahse konu katkı maddelerinin “alev geciktirme” ve “duman bastırma” özellikleri bakımından ciddi katkılar sağladığı görülmüştür. [11]. Ishii ve arkadaşları; “kalsiyum boratın” yangın geciktirici niteliği üzerine yaptıkları çalışmada “kalsiyum borat” katkısının az miktarlarda bile epoksi bazlı ürünlerde yangın geciktirici olarak görev yaptığını gözlemlemiştir [12]. Kaynak ve arkadaşları, “çinko borat”, “bor oksit” ve “borik asit” polietilen hammaddeli kablo yalıtım ürünlerinde “yangın geciktirici” olarak uygulanabilirliğini incelemiştir. Yapılan denemelerde; bazı bor bileşikleri ile alüminyum hidroksit’in yer değiştirmesi sonucunda birçok yangın geciktirici parametrelerde artışa sebep olduğu görülmüştür [13]. Scharrel ve arkadaşları; “Melamin Boratın” epoksi bazlı reçinelerde yangın geciktirici özelliğini gözlemlemiştir. “Melamin borat” katkısının, LOI (Limiting Oxygen Index) değerinde artışa neden olduğunu, bu sebepten ürünün alev geciktirme özelliğini de arttırdığını söylemiştir [14]. Zhang ve arkadaşları; “borik asit”, “çinko borat” ve “amonyum boratın” yün kumaşa yangın geciktirici etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde ürünlerin ısı yalıtım bariyeri gibi davrandığı “karbon kalıntısının” arttığı ve alevin yayılma hızının yavaşladığı belirlenmiştir. Yünlü kumaşlar üzerine uygulanan Bor katkılı bileşiklerin, yangını geciktirdiği ve “termal dayanımı” arttığı sonucuna varılmıştır [15]. Atalay; “Magnezyum borat” katkılı boyaları çinko levhalar üzerinde denemiş, yangın geciktirici özelliğini incelemiştir. Ayrıca LOI cihazından aldığı sonuçlarda da “Magnezyum boratın” alev geciktirme özelliğinin boyalar üzerinde etkili olduğunu görmüştür. [16].

### 1.5. Yangın geciktiriciler

Yangın geciktirici katkı maddeleri, hedefimiz doğrultusunda yanmanın geç başlamasını sağladığı gibi söndürmeye de yardımcı olmaktadır. Ayrıca can ve mal kaybının önlenmesinde de dolaylı yoldan çevrenin korunması konusunda da etkili olmaktadır. Yangın geciktirici katkı maddelerinin eklenmesi, yanıcı malzemelerin daha geç alev almasını sağlamak ve yanma sürecini önemli ölçüde azaltmak için kullanılabilir. Bor bileşikleri, yangın geciktiriciler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Borun yangın geciktirici etkisi pek çok araştırmaya konu olmuştur. Çinko borat ve floroborat gibi

bazı özel mineraller, yangın geciktirici bor bileşikleri olarak kullanılmaktadır. Öte yandan yüksek sıcaklığa dayanıklı pigmentler özelliği taşımaktadır [17]. Malzemenin yanma özellikleri çok önemlidir. Yanmanın başlangıç sıcaklığı olarak malzeme yandıktan sonra kendiliğinden yanma iletim hızı da önemlidir. Örneğin; Organik bir bileşik olarak plastik, yüksek alev hassasiyetine sahiptir. Genellikle termoplastiklerin çoğu aşırı sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra değişkenlik gösterirler. Yanma hızı, bazı katkı maddeleri kullanılarak yavaşlatılabilir [18]. Ana hedefimiz olan yan- gınlarda can ve mal kaybını azaltmak gayesiyle “plastikler”, “ağaç ürünleri”, “tekstil ürünleri”, “kağıt yapıştırıcılar”, “kaplama malzemeleri”, havacılık ve elektronik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan “epoksi reçine” vb. malzemelerin içine “yanmayı geciktirici” ve “dumanı bastırıcı” mineral katkı maddelerinin ilavesi zamanla ihtiyaç duyulur hale gelmiştir. Yangın geciktiriciler ilk başta alevi geciktirme etkisine sahip olmalı ve aynı zamanda içine katıldığı ana malzemenin yapısal özelliklerine zarar vermemelidir. Yangın geciktiriciler alevin, malzemenin üstünde ilerlememesi ve yanmayı geciktirmesi bakımından gereklidirler.

İyi bir yangın geciktiriciden beklentimiz düşük tutuşma hızına malik olmasıdır. Yanıcılığın şiddetini azaltabilmeli ve ayrıca dumanın hızını ve miktarını azaltabilmelidir. Belli bir oranda eklenen alev geciktirici katkı maddeleri sadece yanıcı ana malzemeyi seyreltmekle kalmaz, aynı zamanda ana malzemenin yanmaya devam etmesi için gereken minimum oksijen miktarını da azaltır. Her yangın geciktirici katkı maddesi aynı alanda kullanılmaz. Özel alanlar ve özel ihtiyaçlar için bir ya da birkaç katkı maddesi karıştırılarak en iyi sonuç alınması beklenilir. Karbon molekülleri yangın sırasında bol miktarda ortaya çıkabilmekte ve gaz fazına geçtiklerinde yanma sürecini kuvvetlendiren serbest radikaller oluştururlar. Bir süre sonra yangın zincirleme reaksiyona dönüşür ve daha da çok serbest radikaller oluştururlar. Yangın geciktirici katkı maddeleri bu oluşan zincirleme reaksiyonu yavaşlatmakta ve serbest radikaller oluşmasını engellemektedir. Böylece yangını bastırır ve geciktirir. Özellikle “Brom” ve “klorlu” yangın geciktiricilerin çalışma prensibi bu şekildedir [19].

### 1.5.1. Yangın geciktiricilerin etki prensipleri

Yangın geciktiricilerden beklentilerimiz;

- Yanıcı maddenin yanıcılık özelliğini azaltması,
- Tutuşma sıcaklığını azaltması,
- Alevin yayılmasını önlemesi,
- Zehirli gaz oluşumunu engellemesi,
- Kaçış ve müdahale süresini uzatması.

Şekil 7’de yangına sebep olan parametreler gösterilmiştir.



Şekil 7 Yangına sebep olan parametreler

Bazı tür yangın geciktiriciler malzemenin ısı kapasitesini arttırmaya ya da tutuşma sıcaklığına gelmeden önce fiziksel bir seyreltme prensibiyle çalışırlar. Bu kategoriye örnekler cam elyafı ve bazı minerallerdir. Ürün yanma işlemi sırasında ayrıştığında, belirli alev geciktirici türleri büyük miktarda yanmaz gaz üretecektir. Bu gazlar alev oksijen kaynağını veya yakıt konsantrasyonunu yanıcı sınırın altında seyreltir. Metal hidroksitler ve metal karbonatlar bu grubun örnekleridir. Gaz yan ürünleri ayrıca yanma bölgesindeki oksijen içeriğini de düşürür, böylece alev yayılmasını azaltır. Antimon trioksit ve magnezyum hidroksit, oksitler ve su üretmek için termal olarak ayrıştırılır. Bu endotermik süreç polimer yüzeyini soğutur ve yangının yayılmasını bir süre geciktirir. Alev geciktirici hacimdeki su miktarı arttıkça alev geciktirici malzemenin etkinliği de artar. Kristal su molekülleri endotermik özelliklerinden dolayı ısıyı düşürür ve sıcaklık artışı geciktirir. Öte yandan malzemenin yüzeyinde oluşan özel katmanlar, malzemenin oksijen ile temasını keserler. Aynı zamanda oluşan bu tabaka yanma sırasında ortaya çıkan çeşitli gazların salınımını engellerler. Bu gazlardan tehlike arz eden Fosfor ve bileşikleri Fosforik aside dönüşerek yanıcılıkları azalır[20].

#### 1.5.1. Borlu yangın geciktiriciler

Günümüzde Alev geciktirici olarak bor bileşiklerinin kullanımına yönelik araştırmalar artmaktadır. Bor bileşikleri alev geciktirici olarak kullanıldığında çevreye zararlı değildir. Zehirli gazların salınımına neden olmazlar. Düşük volatilitite değerlerine sahiptirler. Borlu alev geciktirici, polimer zincirlerinin oksidasyonuna karşı bir bariyer görevi gören cam benzeri bir koruyucu tabaka oluşturur. Yanan malzemeyi örterler ve oksijenle temasını keserek yanmayı engellerler. Sadowska ve meslektaşları; boru, poliüretan ve poliözosiyanürat köpük yapımında kullanmışlar ve yaptıkları bu köpüklerin alev geciktirici etkisini olduğunu kanıtlamışlardır [21].

Akarşlan ise yaptığı çalışmada pamuklu kumaşlarda denediği Borik Asit’in alev geciktirici özelliğini incelemiş ve borik asitin pamuklu kumaştaki gerilme mukavemetini azalttığını ve alev geciktirme özelliğini arttırdığını gözlemlemiştir [22].

#### 1.5.2. Borat Bileşikleri

Borat bileşikleri içinde Çinko borat yanmaya dayanıklı boyalarda yangın geciktirici olarak, duman örtücü olarak, korozyon azaltıcı olarak kullanılabilir. Yüksek



sıcaklıklara dayanıklı plastik malzemelerin imalatında Çinko borat kullanılmasının sebebi aşırı dehidrasyon sıcaklığına sahip olmasıdır. Çinko boratın diğer alev geciktiricilere olan üstünlüğü, çok daha etkili bir duman bastırıcı olması ve diğer alev geciktiricilere göre daha ucuz olmasıdır.

Çinko boratın başlıca özellikleri şöyledir; alev geciktirici olarak kullanılması dışında, mantar ve böcek önleyici olarak ahşap akşamların korunmasında kullanılabilir. Duman emisyonunu azaltma özelliğine sahiptir ve kömürleşmeyi çabuklaştırmaktadır. Yangın ve duman bastırması zor olan plastik ürünlerde Çinko Borat etkili biçimde kullanılabilir. Bazı özel ihtiyaçlı ürünlerde Antimon ile birlikte kullanılabilir. Boyama (renk verme) kuvveti zayıftır, elektriksel özellikleri iyileştirir, metallerle plastikler arasında yapışma özelliğini artırır. Zehirleyici özelliğe sahip olmadığından dolayı, reçnelere ilave edilmeleri esnasında özel aletlere ve yöntemlere ihtiyaç yoktur. Nem salma özellikleri yoktur ve suda çözünmezler [23].

## 2. YANGIN GECIKTIRICILER HAKKINDA YAPILMIŞ OLAN BAZI UYGULAMALAR

### 2.1. Limiting Oxygen Index Testi;

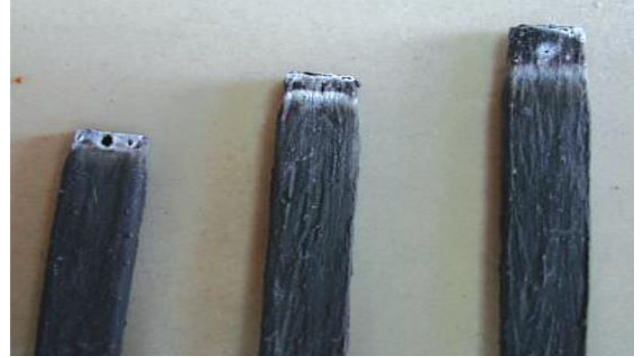
LOI değeri, herhangi bir materyalin yanmaya reaksiyonuna devam etmesi için gereksinim duyduğu minimum % oksijen miktarını ifade eder. Şekil 8'da LOI test cihazı laboratuvar ortamında ölçüm yapabilmeye sahiptir. Yüksek LOI değeri ortalama atmosfer ortamlarında, o malzemenin daha zor yanma karakterine sahip olduğunu göstermektedir. Bir malzemenin alev geciktirici olarak söylenebilmesi için, LOI cihazından çıkan limit % 28 ve daha üzeri LOI oranıdır. Yani bu malzemenin yanmaya devam etmesi için havadaki ortalama %14-16 olan Oksijen oranı yeterli gelmeyecektir. Yanıcı malzemenin yanmaya devam etmesi için yeteri kadar oksijen olmadığı için yanma reaksiyonu gerçekleşmeyecektir [24].



Şekil 8 LOI test cihazı

Şekil 9 görselinde, ahşap numunelere çinko borat katkılı boya uygulanmış ve LOI değeri tespiti için test edilmiştir. İşlem görmemiş ahşap blokların alev testinde deney sonucunda % oksijen konsantrasyonu %23.7 olarak tespit edilmiştir. Çinko borat ile işlem görmüş ahşapta LOI değerinin oksijen konsantrasyonunun %55'inin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Çinko borat, borat

bileşiği olarak etkin bir alev geciktiricidir. TGA-DSC analizinde çinko borat pigmentinin çok yüksek sıcaklıklarda dahi bozulmadığı ve stabil bir yapı sergilediği gözlemlenmiştir. Kritik oksijen indeksi, malzemenin havada yanmaya devam etmesi için gereken oksijen yüzdesi olarak tanımlanabilir. Yüksek LOI değeri, malzemenin standart atmosferik koşullar altında yakılmasının daha zor olduğunu gösterir. LOI testinde çinko borat pigment boya ile kaplanmış ahşap bloğun LOI değerinin %55'in üzerinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. %45, %50, %55 oksijen konsantrasyonu ile yakılan numuneler

Çinko borat bir borat bileşiğidir ve oldukça etkili bir alev geciktiricidir. TGA-DSC analizinde çinko borat pigmentinin çok yüksek sıcaklıklarda dahi bozulmadığı ve stabil bir yapı sergilediği gözlemlenmiştir. Kritik oksijen indeksi, malzemenin havada yanmaya devam etmesi için gereken oksijen yüzdesi olarak tanımlanabilir. Yüksek LOI değeri, malzemenin standart atmosferik koşullar altında yakılmasının daha zor olduğunu gösterir. LOI testinde çinko borat pigment boya ile kaplanmış ahşap bloğun LOI değerinin %55'in üzerinde olduğu görülmüştür. Bu sonuç çinko boratın alev geciktiriciliğinin çok iyi olduğunu ve çinko borat ile eklenen kaplamanın yanıcı ahşap ürünler için yüksek yanmazlık sağladığını göstermektedir. Tekstil sektöründe ise alevle temas ettiğinde yanmazlık özelliği gösteren kumaşlar çinko borat katkılı boyalar ile boyanabilmektedir [25].

Uygulama herhangi bir su üstü savaş gemisinin yapımında kullanılan çelik sac profil kullanılmıştır. Aynı şartlar altında güvertede çıkan bir yangın simüle edilmiştir. Bor katkılı ve katkısız boyalı gemi saclarının üzerinde çıkan bu yangında, yüksek sıcaklık altında, metalin verdiği tepkiler gözlemlenerek kıyaslama yapılmıştır.

## 3. BOR KATKILI BOYALAR İLE YAPILAN GÖZLEMLER

Savaş gemileri özel ya da askeri tersanelerde, tecrübeli kişiler tarafından, dikkatle ve gününün teknolojisine uygun olarak inşa edilmektedir. Bu gemilerin içerisinde birçok bölme vardır ve bu bölmeler arasında hava su ve ışık sızdırmazlığı bulunmaktadır. Bunun nedenleri arasında geminin olası bir darbe alması durumunda bölmeye su dolacağından, diğer bölmelere taşmadan o bölmeyi tamamen sızdırmaz yaparak gemiyi stabil duruma getirmek, ayrıca olası bir yangın durumunda o bölgeyi tamamen hava sızdırmaz duruma getirerek yangını kontrol altına almaktır. Bölümlendirme sayesinde hasar almış bir gemi deniz üzerinde

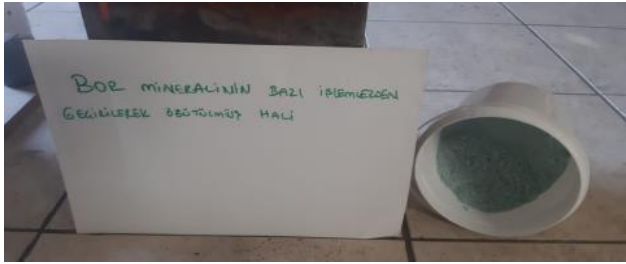
stabil kalır ve en yakın dost limana gidebilmek için zaman kazanabilmektedir.

Savaş gemilerinde düzenli aralıklarla sızdırmazlık testleri yapılmaktadır [26]

Gemideki bölmeler arası sızdırmazlığın tam olması durumunda, içerideki oksijeni boğacağı için yangına müdahale etme şansı yüksek olacaktır. Savaş gemilerindeki bu sızdırmazlık bor katkı boya ile boyanan bölmeler ile desteklenirse hem yanmanın etkilerinin gecikebileceği hem de yangının yan bölmeye sıçramasına engel olacağı düşünülmektedir.

### 3.1. Bor katkıli gemi boyası hazırlanması

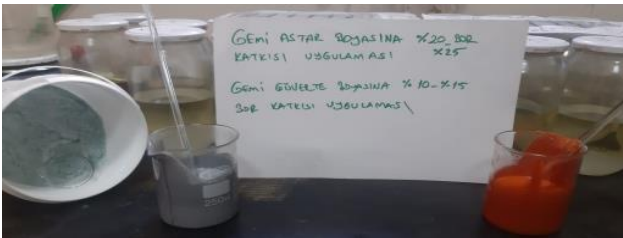
Bor madeni ilk bakışta beyaz bir kayayı andırır. Çok sert ve ısıya dayanıklı olup diğer elementlere olan yüksek kimyasal ilgisi nedeniyle doğada serbest bir element olarak değil, başka elementlerle bileşikler halinde, tuz şeklinde bulunmaktadır. Bor madenleri, topraktan çıkarıldıktan sonra kırma, eleme, yıkama ve öğütme işlemlerini müteakip kullanıma hazır hale getirilmektedir. Toz halindeki Borat tozları, kullanılacak alana göre bazı kimyasal ve fiziksel işlemlerden daha geçirilmektedir.



Şekil 10 Yanmayı geciktirici özellikli bor minerali karışımı

Şekil 10'da görüldüğü gibi elde ettiğimiz bor mineralini ihtiyacımıza göre öğütme işlemlerinden geçirildi. Ürünün çok ince partikül haline gelene kadar öğütülmesi, boya karışımı için en ideal etkinliği sağlayacağı için olabildiğince inceltiştir.

Gölcük Tersanesi Komutanlığı Boya Fabrikası imkanları kullanılarak halihazırda üretilen güverte boyalarına farklı oranlarda bor katkısı ilavesi yapılarak yeni boyalar elde edilmiştir.



Şekil 11 Numune boyalarımızla en etkili boya karışım çalışması

Laboratuvarda yapılan denemelerde astar boyası ve güverte boyası için en ideal karışım oranları astar boya için %20 ile %25 oranında Güverte boyası için %10 ile %15 belirlenmiştir. Burada istenilen özellikler boyanın kimyasal formülünün bozulmaması, kapatıcılığının yeterli olması ve yüzeyde pürüz oluşturmaması olarak değerlendirilmiştir.

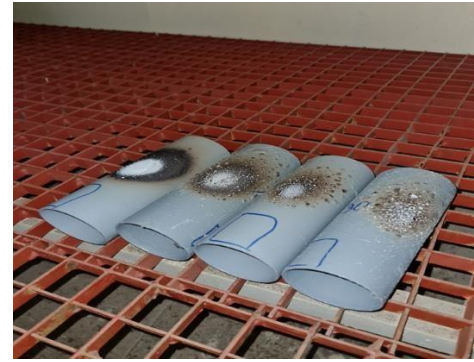
Proje üç farklı bakımdan uygulama yapılarak incelenmiştir.

### 3.2. Bor katkıli boyaların yanma alanlarının karşılaştırılması

Fabrikada üretim yapılan boyalar, gemi sac profillere eşit miktarlarda sürüp, tam kuruma sağlanana kadar uygun bir ortamda bekletildi. Elimizdeki 4 adet numune %0 katkıli %10 katkıli %20 katkıli ve %30 katkıli olarak denemelere hazır hale getirilmiştir. Tüm numuneler, doğru şekilde kıyaslayabilmek için kapalı bir ortamda sabitlenen pürmüz ile 5 dakika boyunca yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır.

Şekil 12.'de görüldüğü üzere sol baştaki katkısiz boya sağ baştaki %30 katkıli boya olarak sıralanmıştır.

Yanma sonucuna göre katkısiz olan numunenin yanan yüzeyindeki beyazlık kısmı yanmanın tam olduğunu göstermektedir. Ayrıca yanma alanının diğerlerine göre daha fazla olduğu açıktır. Bor katkı miktarı arttıkça yanma alanının küçüldüğü görülmektedir. Burada bor katkısının yangın alanı ile ters orantılı olarak değiştiği değerlendirilmiştir.



Şekil 12 Soldan sağa en az katkıli olan en çok katkıli olan numuneler

Tablo 1'de görüldüğü üzere farklı bor katkıli numunelerin aynı şartlarda uygulama yapılarak kayıt altına aldığımız sonuçlar listelenmiştir. Buna göre katkısiz (%0) boya numunesi sıcaklığı 300 saniye sonunda ulaştığı maksimum sıcaklık değeri

142.2 °C iken, %10 katkıli olan numune maksimum 126.4 °C, %20 katkıli numune 97.7°C

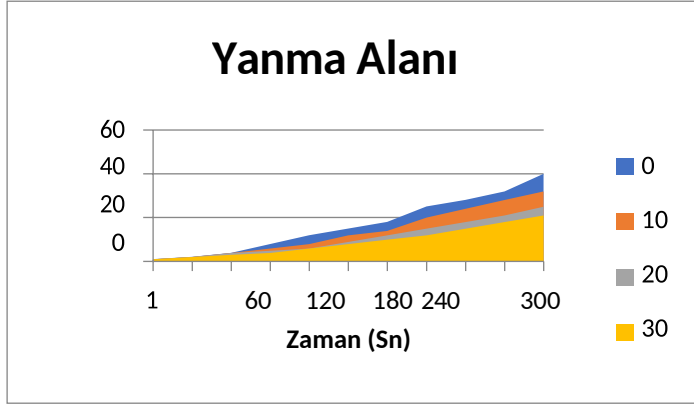
%30 katkıli numune maksimum 86.2 °C'i görmüştür. Bu sonuçlar bize bor katkıli boyaların yangının yanma alanını azalttığı ve yangını kontrol altına almada yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Tablo 1. Bor katkıli boyaların yüzey sıcaklıklarının kıyaslanması

Zaman (sn)	%0 Katkılı Boya	%10 Katkılı Boya	%20 Katkılı Boya	%30 Katkılı Boya
0	12.1	12.1	12.1	12.1
30	18.6	15.8	15.6	14.2
60	29.6	18.8	18.1	17.3
90	34.4	26.7	23.6	21.8
120	49.1	32.8	29.1	27.5
150	60.6	40.7	36.8	33.6
180	74.1	51.2	49.1	41.1

210	90.1	66.6	59.8	50.5
240	107.5	82.4	71.2	61.2
270	127.1	101.5	82.3	73.9
300	142.2	126.4	97.7	86.2

Tablo 1’de zamanla değişen sıcaklıklar listelenmiştir. Buna göre 300 sn sonunda numunelerin ulaştığı maksimum sıcaklık farkları açıkça görülmektedir.



Şekil 13. Yanma alanlarının (cm<sup>2</sup>) Kıyaslanması

Yanma alanları sonuçlarına göre Şekil 13’deki alansal grafikte bor katkısı olmayan (%0) numunenin yaklaşık olarak yanma alanı 40 cm<sup>2</sup> iken, %10 olan numunenin yanma alanı 30 cm<sup>2</sup>

%20 olan numunenin 25 cm<sup>2</sup>, %30 katkılı numunenin yanma alanı 20 cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.

Gemi güvertesinde başlayan yangın öncelikle sentetik boya ile kaplı yüzeylerin yanmasıyla ilerler ve daha fazla yüzeye yayılmasına neden olacaktır. Bu gözlemlerde boyanın kendiliğinden yanma alanlarının farklı olması, olası bir yüzey yangınında bor katkılı boyanın yanma alanının daha az olacağını ve böylece yayılımın azalacağını göstermektedir. Bu da bize yangına müdahalede hem zaman kazandıracak hem de daha az söndürücü ile daha kontrollü söndürme imkanı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

### 3.3. Isı geçirgenlik deneyi

Araştırmada, ortalama büyüklükte bir geminin içindeki bölme temsil eden, gemi sacından özel olarak imal edilen silindirik simülörler kullanılmıştır. Her iki simülör aynı şartlar altında normal sentetik boya ile bor katkılı olan boya yüksek sıcaklıklara ulaşana kadar ısıtılmıştır. Dış yüzeyleri 500 °C’lere kadar çıkan bu ortamda simülörlerin iç yüzeylerinin sıcaklıkları ölçülmüştür.

#### Kullanılan araç-gereçler

- Gemi metalini boyamakta kullanılan sentetik boya (Sarı renkli),
- Gemi metalini boyamakta kullanılan Bor katkılı boya (Turuncu),

- Asetilen gazı ile sağlanan yüksek ısı kaynağı,
- 2 adet kalibrasyonlu dijital termometre.

### Uygulama

Gemi simülörlerinden (sarı) normal boyalı olan Simülör 1, Bor katkılı boya (turuncu) ile boyalı olan Simülör 2 dir. Kalibrasyonu yapılmış olan termometreler başlangıçta 15 °C’i göstermektedir. 300 sn boyunca en yüksek ısıyı metalin en dip kısmına vererek metalin iç kısmına ulaşan sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir. Bütün bu işlemleri görüntülü ve yazılı olarak kayıt altına alınmıştır.



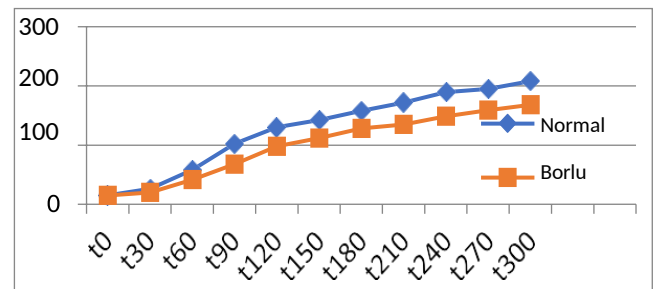
Şekil 14. Her iki simülör yanma öncesi

Şekil 14’de görüldüğü gibi düzenekler hazırlanmıştır. Aynı ortamda aynı şartlar altında yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır.



Şekil 15. t:300 zamanı Sağ taraf normal boyalı Simülör Sol taraf Bor katkı boyalı Simülör Ölçümleri

Şekil 15 de 300 sn sonuna gelindiğinde ısı kaynakları kesilerek termometredeki değerler alınmıştır. Buna göre sol taraftaki bor katkılı boyalı simülörün ulaştığı ısı değeri 168 °C iken normal boyalı olan simülörün ulaştığı ısı 208 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 16. t 300 zamanı

Şekil 16’da 300 sn boyunca yoğun ısı verdiğimiz simülörlerimizin iç sıcaklık karşılaştırması verilmiştir.



Deneyin sonunda iki simülâtör arasında yaklaşık 40 °C fark olduğu görülmüştür. Bu sonuç bize Borlu boyalı bir yüzeyde oluşacak büyük çaplı bir yangında, yangının bitişik bölmeyi etkilemesinde ve sıcaklık transferi oluşmasında normal boyalı yüzeye göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Yangın sıcaklık artışının zamana yayılması bize sadece yangına müdahalede personele zaman kazandırmakla kalmayacak aynı zamanda diğer bölmede oluşabilecek bir yangını önlememize fayda sağlayacaktır.

**Tablo 2.** Bor katkılı boya numunesi için ortam sıcaklıklarının kıyaslanması

Zaman (sn)	%0 Katkılı Boya	%10 Katkılı Boya	%20 Katkılı Boya	%30 Katkılı Boya
0	15.1	15.1	15.1	15.1
30	18.9	18.5	18.2	18.1
60	29.6	28.2	27.1	26.8
90	46.4	44.7	42.6	40.7
120	61.1	56.8	54.1	52.8
150	88.6	82.7	78.8	75.7
180	118.2	109.2	101.1	92.2
210	139.1	126.6	119.8	116.6
240	157.5	142.4	131.2	124.4
270	187.1	171.5	162.3	152.5
300	208.1	192.4	181.7	168.2

Tablo 2’de zamanla değişen iç sıcaklıklar listelenmiştir. Buna göre 300 sn sonunda numunelerin ulaştığı maksimum sıcaklık farkları açıkça görülmektedir. Uygulamanın sonunda iki simülâtörün iç sıcaklıkları arasında yaklaşık 40 °C fark olduğu görüldü. Bu sonuç bize Borlu boyalı bir yüzeyde oluşacak büyük çaplı bir yangında, yangının bitişik bölmeyi etkilemesinde ve sıcaklık transferi oluşmasında normal boyalı yüzeye göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

### 3.4. Yangın soğuma deneyi

Gemilerde çıkan yangınlarda, demir materyalin aşırı ısınması sonucu yangına müdahalenin gemi dışından soğutma yapılarak devam etmesi gerekmektedir. Isınan gemi metali bir süre sonra, yangına sıkılan suyu çok çabuk buharlaştıracaktır. Suyun yangın söndürücü etkisini oldukça azaltacaktır. Eğer bahsedilen yangın bir tanker gemisinde çıkmışsa metalin bir an önce soğutulması daha büyük yangın oluşumunu engellemesi muhtemeldir.

Kapalı bir ortamda aynı şartlar altında yapılan üçüncü deneyde yangın yüzeyinin soğuma hızı gözlemlenmiştir.



Şekil 17. %0 katkılı boya numunesi soğuma ölçüm işlemi başlangıç

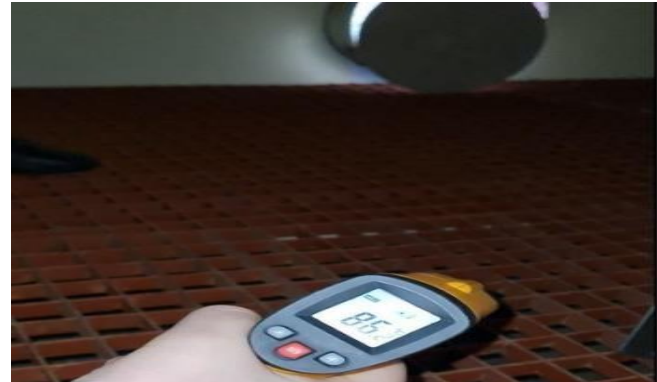
Şekil 17’de görünen işlem katkısız borlu boyalı simülâtörün dış yüzeyi maksimum 273 °C

sıcaklığa çıkarılıp 1 dakika beklendikten sonra son ölçümünün yapılması işlemidir.



Şekil 18. %0 katkılı boya numunesi soğuma ölçüm işlemi bitiş

Şekil 18 de normal boyalı simülâtörde 1 dakika sonunda ölçülen en düşük sıcaklığın 140 °C’lere kadar düştüğü görülmüştür.



Şekil 19. %20-30 katkılı boya numunesi soğuma ölçümü bitiş

Şekil 19 da borlu boyalı simülâtörde 1 dakika sonunda ölçülen sıcaklığın 86 °C’lere kadar düştüğü görülmüştür. Normal boyalı simülâtörde 1 dakika sonunda elle temas etmek mümkün değilken, borlu boyalı simülâtöre 1 dk. sonra çıplak elle dokunmak mümkün olmuştur.

**Tablo 3.** Dış yüzey soğuma kıyaslaması

Zaman (sn)	%0 Katkılı Boya	%10 Katkılı Boya	%20 Katkılı Boya	%30 Katkılı Boya
0	273.3	273.3	273.3	273.3
5	263.6	260.5	259.1	257.1
10	252.6	248.2	243.1	242.8
15	242.4	239.7	232.6	228.7
20	235.1	229.8	224.1	218.8
25	223.6	219.7	212.8	207.7
30	211.2	209.2	201.1	197.2
35	200.1	197.6	191.8	189.6
40	180.5	175.4	169.2	162.4
45	171.1	161.5	152.3	148.5
50	160.7	152.4	141.7	131.2
55	150.9	133.1	123.1	113.1
60	142.7	113.1	103.1	86.2

Tablo 3’de zamanla değişen dış yüzeylerin soğuma sıcaklıkları verilmiştir. Buna göre 60 sn sonunda numunelerin



ulaştığı değerler kıyaslandığında yaklaşık 60 °C'lere varan sıcaklık farkı görülmektedir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de gemiler gerek özel sektörde gerekse askeri alanda büyük stratejik öneme sahiptir. Yapılan çalışmalarda denizcilik sektörünün ana unsurları gemilerde oluşabilecek yangınlarda, yangından doğacak kayıpların minimum seviyeye indirilmesi hedeflendi. Bor katkılı boyaların gemiyi adeta bir zırh gibi kaplayarak yanma reaksiyonunu geciktirdiğini gözlemlenmiştir.

Türkiye’de bol miktarda bulunan Bor mineraline katma değer sağlamak amacıyla yapılan bu çalışmada, geliştirilen bor katkılı boyaların, denizcilik sektöründe kullanılabilir olduğu savunuldu. Gemi boyalarına belirli miktarda katılan bor minerali karışımı gemi yangın riskini azaltacağı gibi aynı zamanda çıkabilecek yangında, yangına müdahaleyi kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Maliyet fayda analizi bakımından bakıldığında ise maksimum fayda minimum maliyet sağlayacağı öngörülmüştür.

**Tablo 4. SWOT Analizi**

	GÜÇLER	ZAAFIYETLER
<b>OLANAKLAR / İMKANLAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ülke çapında ihtiyaç duyulacak hammadde rezervlerinin yeterli seviyede olması.</li> <li>• Bor katkısının kullanılması hali hazırda kullanılan bazı ithal katkı maddelerine bağımlılığı azaltacaktır.</li> <li>• Gemilerde kullanılan boyaların birçoğunun yurtiçi üretim fabrikalarının bulunması üretimde kolaylık sağlayacaktır.</li> <li>• Birçok boya firmasının Ar-Ge imkanlarının olması daha kaliteli ürünler ortaya çıkaracaktır.</li> <li>• Üretilen bor katkılı boyaların yurtiçi ve yurtdışı pazarlarda yerini bulacaktır.</li> <li>• Bor katkılı boyalar korozyona karşı normal boyalardan daha dayanıklı olduğundan dolayı bakım maliyetleri azalacaktır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hammadde çıkarma maliyetlerinin yüksek olması.</li> <li>• Doğada bileşik halinde bulunan Bor mineralinin bir takım işlemlerden geçirilmesi sonucunda istenilen katkı maddesinin elde edilebilmesi.</li> <li>• Yangın geciktirici özelliği bor katkısının miktarına ve uygulanan alana göre değişebilmektedir.</li> <li>• Gemi boyalarının rengi bor katkılı boya rengi ile birebir uyumlu olmayabilir.</li> <li>• Yurtdışında bazı özel yerlerde bor katkılı boyaların kullanımına başlanılmıştır. Özellikle askeri alanda çok sık kullanıldığı bilinmektedir.</li> <li>• Gemilerde kullanılan boyalara göre ek maliyet getirecektir.</li> </ul>
<b>TEHLİKELER / TEHDİTLER</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borlu boyalar ile yapılan Ar-Ge çalışmaları artırılmalıdır.</li> <li>• Konu ile ilgili gerek akademik personelin makaleleri gerek özel firmaların çalışmaları amaca uygun olarak değerlendirilmelidir.</li> <li>• Yurtiçi kaynakları ve üretim modelleri incelenerek en verimli şekilde üretim planlanmalıdır.</li> <li>• Yurtdışındaki Pazar alanları incelenmeli ve ihracat odaklı üretime geçilmelidir.</li> <li>• Savunma sanayi için önem arz eden boyalar diğer sektörler için de kullanılmalıdır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yangın geciktirici olarak bor katkılı boyalar için özel üretim şartları gerekebilir.</li> <li>• Boya üreticilerine devlet destekli teşvikler yapılmalı ve imkan sağlanmalıdır.</li> <li>• Savunma sanayinde pilot olarak gemiler ve cephanelik gibi özel yerlerde kullanıma başlanıp zaman içinde verimlilik gözlemlenmelidir.</li> <li>• Konu ile ilgili makaleler ve araştırmalar artırılmalı yurtdışı örnekleri takip edilmelidir.</li> </ul>

#### KAYNAKLAR

- [1] Yiğitbaşıoğlu, H. (2014). Türkiye için önemli bir maden: Bor. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2(2), 13-25.
- [2] <https://www.boren.gov.tr/Sayfa/bor-elementi/23>., Erişim Tarihi: 14.06.2021.
- [3] <https://www.etimaden.gov.tr/bor-mineralleri>., Erişim Tarihi: 11.06.2021.
- [4] Özkan, Ş. G., Çebi, H., Delice, S., & Doğan, M. (1997). Bor minerallerinin özellikleri ve madenciligi, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu İzmir, 224-228.
- [5] TUBİTAK-MAM, “Borun Kullanım alanları”, ([www.mam.gov.tr](http://www.mam.gov.tr)), Erişim Tarihi: 18.06.2021.
- [6] Neceti YENMEZ, 2009 Stratejik Bir Maden Olarak Bor Minerallerinin Türkiye İçin Önemi, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi Sayı 19, Sayfa 59-94, İstanbul, 2009
- [7] Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., 1997, “Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciligi”, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 224-228, İzmir.
- [8] [http://www.boren.gov.tr/ulusal\\_bor\\_arastirma\\_enstitusu](http://www.boren.gov.tr/ulusal_bor_arastirma_enstitusu)., Erişim Tarihi: 17.06.2021.
- [9] F. Özmal, Y. Erdoğan, A. Olgun, N. Atar, İ. Kula, M.S. Erdoğan, O.M. Kalfa, 2005, Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül ve Alümit İçeren Çimentoların Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi, I. Ulusal Bor Çalıştayı, Ankara.
- [10] T. Yavuz, Cafer., 2008, “Bor’u ne kadar tanıyoruz”, Bilim Stratejileri Araştırma Kurulu (BİLSAK).
- [11] Formicola C., Fenzo A. Zarelli M., Giordano M., Antonucci V., Zinc based compounds as smoke suppressant agents for an aerospace epoxy matrix, *Polym. Int.*, 60(2), 304-311, 2011.

- [12] Ishii T., Kokaku H., Nagai A., Nishita T., Kakimoto M., Calcium borate flame retardation system for epoxy molding compounds, *Polym. Eng. Sci.*, 46(6), 799- 806, 2006.
- [13] E., Kaynak C., Usability of three boron compounds for enhancement of flame retardancy in polyethylene-based cable insulation materials, *Journal of Fire Sciences*, 32(2) 99–120, 2014.
- [14] Schartel B., Weiß A., Mohr F., Kleemeier M., Hartwig A., Braun U., *J. Appl. Polym. Sci.*, 118(2), 1134- 1143, 2010.
- [15] Zhang Q., Zhang W., Huang J., Lai Y., Xing T., Chen G., Jin G., Liu H., Sun B., Flame retardance and thermal stability of wool fabric treated by boron containing silica sols, *Materials and Design*, 85, 796–799, 2015.
- [16] Atalay Ö., Magnezyum borat sentezi ve alev geciktirici pigment olarak kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [17] Gürü M, Ayar B, Çakanyıldırım Ç, Özmen L, Alev ve yüksek sıcaklığa dayanıklı boya ve üretim yöntemi incelemeli Patent TR 2007 02470 B, 2010.
- [18] Gürü M., Yalçın H., Malzeme Bilgisi, 2. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 2006.
- [19] Kaya M., Oz D., Mineral esaslı alev geciktirici ve duman bastına katkı maddeleri, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 14-15 Ekim, 1999.
- [20] Prabhakar M. N., Shah A., Song J., A review on the flammability and flame retardant properties of natural fibers and polymer matrix based composites, *Composites Research*, 28(2), 29-39, 2015.
- [21] Sadowska J. P., Czupryn'ski B., Liszkowska J., Boron-containing fire retardant rigid polyurethane–poly- socyanurate foams, Part II – preparation and evaluation, *Journal of Fire Sciences*, 33(1), 48–68, 2015.
- [22] Akarslan F., Investigation on fire retardancy properties of boric acid doped textile materials, *Acta Physica Polonica A*, 128, 403-404, 2015.
- [23] Tektaş E., Mergen A., Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Çinko Borat Üretimi Ön Fizibilite Etüdü, 2003.
- [24] Giúdice C. A., Benítez J. C., Zinc borates as flame-retardant pigments in chlorine-containing coatings, *Progress in Organic Coatings*, 42 (1-2), 82-88, 2001.
- [25] Aydın, D. Y., Gürü, M., Ayar, B., & Çakanyıldırım, Ç. (2016). Bor bileşiklerinin alev geciktirici ve yüksek sıcaklığa dayanıklı pigment olarak uygulanabilirliği. *Bor Dergisi*, 1(1), 33-39.
- [26] Türk Loydu Askeri Gemi Kuralları Klaslama ve Sörveyler Cilt E Kısım 101 Sayfa 37-38