

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİMDALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI FOSFAT BİLEŞİKLERİNİN KABARAN BOYA
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

FATİH ŞEKER

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI FOSFAT BİLEŞİKLERİNİN KABARAN BOYA
ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

FATİH ŞEKER

Doç. Dr. Ayşe AYTAÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Bağdagül KARAAĞAÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Atilla TAŞDELEN
Jüri Üyesi, Yalova Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 13.02.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana yol gösteren beni teşvik eden, çalışma süresince bana danışmanlık yapan, tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Ayşe Aytaç'a, ayrıca tez çalışmamamda çalışmalarına vakit ayıran, bilgi paylaşımları ve destekleri için Bedriye Üçpınar'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı yapabilmem için Polisan Kansai Boya San. A.Ş laboratuvarlarında her türlü imkanı kullanmamı sağlayan, çalışmam boyunca benden desteğinin esirgemeyen bilgi ve tecrübesini benimle paylaşarak bana destek veren Polisan Kansai Boya Arge Ekip Lideri Mukaddes Aydın'a, ayrıca çalışmalarımnda bana destek sağlayan Saniye Yaylı ve Hakan Bayrak'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen babam, annem ve kardeşlerime aynı zamanda çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen sevgili eşim Emine Birsen Şeker ve biricik oğlum Ahmet Baybars Şeker'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak - 2019

Fatih ŞEKER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1.GENEL BİLGİLER	3
1.1. Boyanın Kısa Tarihçesi	3
1.2. Kullanım Alanlarına Göre Boya Çeşitleri	4
1.3. Boyaların Ana Bileşenleri	5
1.3.1. Bağlayıcılar	5
1.3.2. Pigmentler	7
1.3.3. Dolgu maddeleri	8
1.3.4. Çözücüler	10
1.3.5. Katkı maddeleri	11
1.4. Boya Üretimi.....	14
1.4.1. Su bazlı boyaların üretimi	14
1.4.2. Dispersiyon süreci	15
1.5. Boya Film Kusurları ve Boya Film Kusurlarının Önlenmesi.....	16
1.5.1. Benard hücreleri	16
1.5.2. Pusluluk	17
1.5.3. Kırışma	17
1.5.4. Kabarma	18
1.5.5. Krater oluşumu	18
1.5.6. Pinhol ve gaz hapsi.....	19
1.5.7. Portakal kabuğu.....	20
1.5.8. Akma ve sarkma	20
1.5.9. Su Lekelenmesi	21
1.5.10. Sürtme ovalama ile renk değişmesi.....	22
1.5.11. Sütlenme	22
1.5.12. Taşma	22
1.6. Yanmaz Boya	23
1.6.1. Alev geciktiricili boyalar.....	23
1.6.2. İnorganik hidroksit alev geciktiriciler	25
1.6.3. Halojenli alev geciktiriciler	25
1.6.4. Fosfor bazlı alev geciktiriciler.....	26
1.6.5. Bor içeren alev geciktiriciler	27
1.7. Kabaran Alev Geciktiricili Boyalar.....	27
1.7.1. Kabaran boyaların kimyasal mekanizması.....	28
1.7.2. Kabaran alev geciktirici boyaların çalışma mekanizması	28
1.8. Literatürde Yanmaz Boya İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	30

2. MALZEME VE YÖNTEM.....	36
2.1. Malzemeler.....	36
2.1.1. Kullanılan malzemelerin tanıtımı.....	36
2.2. Kabaran Boya Örneklerinin Hazırlanması.....	37
2.2.1. Üretilen kabaran alev geciktirici boya bileşimleri.....	38
3. KARAKTERİZASYON.....	39
3.1. Limit Oksijen İndeks(LOI).....	39
3.2. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	40
3.3. Kül Fırını Testi.....	40
3.4. Alev Dayanım Testi.....	41
3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu.....	41
3.6. Boyaya Uygulanan Mekanik Testler.....	42
3.6.1. Mandrel eğilme testi.....	42
3.6.2. Darbe testi.....	43
3.6.3. Adezyon testi.....	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
4.1. Alev Geciktiricili Boyaların Karakterizasyonu.....	44
4.1.1. Limit oksijen indeksi.....	44
4.1.2. Kullanılan hammaddelerin TGA sonuçları.....	45
4.1.3. Alev geciktirici boya numunelerinin TGA analizleri.....	47
4.1.4. Kül fırını testi.....	50
4.1.5. Alev dayanım test sonuçları.....	52
4.1.6. Taramalı elektron mikroskop sonuçları.....	56
4.2. Mekanik Test Sonuçları.....	60
4.2.1. Mandrel eğilme testi.....	60
4.2.2. Darbe testi.....	60
4.2.3. Adezyon testi.....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	70
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Su bazlı boya üretim akım şeması	15
Şekil 1.2. Dispersiyon sistemi	15
Şekil 1.3. Boya üretiminde kazan ve karıştırıcı uç geometrisi	16
Şekil 1.4. Boyada oluşan benard hücreleri	16
Şekil 1.5. Boyada pusluluk	17
Şekil 1.6. Boyada kırışma kusuru	17
Şekil 1.7. Boyada kabarma kusuru	18
Şekil 1.8. Boyada krater oluşumu	19
Şekil 1.9. Pinhol ve gaz hapsi görünümü	19
Şekil 1.10. Boyalarda portakal kabuğu oluşumu	20
Şekil 1.11. Boyada akma ve sarkma	21
Şekil 1.12. Boyalarda su lekelenmesi	21
Şekil 1.13. Boyalarda sürtme ve ovalama ile renk değişimi	22
Şekil 1.14. Polimerlerde kömürleşme mekanizması	23
Şekil 1.15. Fosforik asidin kondenzasyonu sonucu oluşan pirofosfat yapısı	26
Şekil 1.16. Kabaran alev geciktirici boyaların kimyasal mekanizması	28
Şekil 1.17. Kabaran alev geciktirici boyaların çalışma mekanizması	29
Şekil 2.1. Yüksek devirli boya karıştırıcı cihazı ve dispersiyon aşaması	37
Şekil 3.1. Limit oksijen test cihazı	39
Şekil 3.2. Termogravimetrik analiz cihazı	40
Şekil 3.3. Alev dayanım test düzeneğinin detayları ve uygulanan çelik paneller	41
Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskobu	42
Şekil 3.5. Mandrel eğilme testi düzeneği	42
Şekil 3.6. Darbe testi test cihaz	43
Şekil 3.7. Adezyon test cihazı ve yapışma sınıfı	43
Şekil 4.1. Kabaran boyaların LOI testi sonrası görünümü	45
Şekil 4.2. APP, PER, MEL, Organofosfat, Bor Fosfat, Genleşebilir Grafit için TGA eğrileri	46
Şekil 4.3. Standart boyanın TGA grafiği	49
Şekil 4.4. APP içeren kabaran alev geciktirici boyaların TGA grafikleri	49
Şekil 4.5. Bor Fosfat içeren alev geciktirici boyaların TGA grafikleri	50
Şekil 4.6. Organofosfat içeren kabaran alev geciktirici boyaların TGA grafikleri	50
Şekil 4.7. %50 APP ve %50 Bor Fosfat içeren kabaran alev geciktirici boyaların TGA grafiği	51
Şekil 4.8. Kabaran alev geciktiricili boyaların kabarma miktarı	51
Şekil 4.9. Kül Fırınından çıkarılan kabaran alev geciktiricili boya uygulanmış metal paneller	52
Şekil 4.10. Boş panel, Standart Boya, APP içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı	52
Şekil 4.11. Boş panel, standart, Y1, Y2, Y3 alev karşısında kabaran boyalar	53

Şekil 4.12. APP içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı	54
Şekil 4.13. Y4, Y5, Y6 Alev karşısında kabaran boyalar	54
Şekil 4.14. Organofosfat içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı	55
Şekil 4.15. Y7, Y8, Y9 Alev karşısında kabaran boyalar	55
Şekil 4.16. % 50APP ve %50 Bor Fosfat içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı	56
Şekil 4.17. Y10, Y11, Y12 Alev karşısında kabaran boyalar	56
Şekil 4.18. Standart boyanın SEM görüntüsü	57
Şekil 4.19. Y1 Formülasyonu(a), Y2 Formülasyonu(b) ve Y3 Formülasyonu(c) SEM Görüntüleri	58
Şekil 4.20. Y4 Formülasyonu (a) ve Y5 Formülasyonu (b) ve Y6 Formülasyonu(c) SEM görüntüleri	58
Şekil 4.21. Y7 Formülasyonu(a), Y8 Formülasyonu(b) ve Y9 Formülasyonu(c) SEM görüntüleri	59
Şekil 4.22. Y10 Formülasyonu(a), Y11 Formülasyonu(b) ve Y12 Formülasyonu SEM görüntüleri	59
Şekil 4.23. Kabaran alev geciktiricili boyaların mandrel eğilme testi sonrası görüntüleri	60
Şekil 4.24. Kabaran alev geciktiricili boyaların darbe dayanımları testi sonrası görüntüleri	61
Şekil 4.25. Kabaran alev geciktiricili boyaların yapışma testi sonrası görüntüleri	62
Şekil A.1. Standart boya için TGA grafiği	71
Şekil A.2. Kullanılan bağlayıcı için TGA grafiği	71
Şekil A.3. APP için TGA grafiği	72
Şekil A.4. Bor Fosfat için TGA grafiği	72
Şekil A.5. Organofosfat için TGA grafiği	73
Şekil A.7. MEL için TGA grafiği	74
Şekil A.8. EG için TGA grafiği	74

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Kabaran alev geciktirici boyaların hazırlanmasında kullanılan malzemeler	36
Tablo 2.2. Kabaran alev geciktirici boya örneklerinin karışım oranları	38
Tablo 4.1. Kabaran boyaların LOI sonuçları	45
Tablo 4.2. Kabaran alev geciktirici boya ve standart boyanın TGA sonuçları	48
Tablo 4.3. Darbe dayanım test sonuçları.....	61
Tablo 4.4. Adhezyon test sonuçları.....	62



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

- APP : Ammonium Polyphosphate (Amonyum Polifosfat)
EG : Expandable Graphite (Genişleyebilir Grafit)
MEL : Melamin
PER : Pentaeritritol
SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TGA : Termogravimetrik Analiz



FARKLI FOSFAT BİLEŞİKLERİNİN KABARAN BOYA ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Yapı elemanı olarak çeliğin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Çelik, yüksek oranda dönüştürülebilirliği, hızlı kurulumu, homojen bir malzeme olması, üretiminin belirli bir denetim altında yapılması, yüksek mukavemetli olması ve depreme karşı dayanıklı olmasından dolayı tercih edilirler. Çeliğin uzun süre sağlıklı bir şekilde kullanılması için bazı zafiyetlerden sakınılması gerekir. Yangın durumunda çelik yapılar hızlı bir şekilde yük taşıma özelliklerini kaybederler. Bu nedenle çelik elemanların üzerine, yüksek sıcaklığın etkisiyle genişerek koruma sağlayan boyalar sürülmesiyle yangın dayanımları artırılabilir. Bu çalışmada çelik yüzeylere uygulanabilen, Amonyum polifosfat (APP), Penta Eritritol (PER), Melamin (MEL), karışımını içeren kabaran alev geciktirici sistemi içinde fosfat bileşiği değiştirilerek çalışılmıştır. Öncelikle, üç farklı oranda APP içeren kabaran alev geciktiricili boya üretilmiştir. Daha sonra, yine aynı oranlarda, APP yerine Bor Fosfat, Organofosfat ve APP-Bor Fosfat eklenerek dört farklı özellikte kabaran alev geciktiricili boya üretilmiştir. Çalışmada, APP, Bor Fosfat, Organofosfat ve APP-Bor Fosfat karışımını içeren boyaların özellikleri karşılaştırılmıştır. Üretilen kabaran alev geciktiricili boyaların termal özellikleri, Alev dayanım testi, Termal Gravimetrik Analiz (TGA), Limit Oksijen İndeksi (LOI), Kül Fırınında Kabarma Miktarı ile belirlenmiştir. Endüstride boyalar için uygulanan mekanik testler, kürlendirilmiş boya panellerine uygulanıp sonuçlar incelenmiştir. Üretilen kabaran alev geciktiricili boyaların yüzey özelliklerini incelemek üzere uygulanan boyaların Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Tüm karakterizasyon test sonuçları, içerisinde alev geciktirici içermeyen standart boya ile karşılaştırılmıştır. APP- Bor Fosfatın karışım olarak kullanıldığı kabaran alev geciktiriciler boyada bu oranın artması ile LOI değeri %30,3'den %46'ya çıkmış alev yalıtım özellikleri ve yapışma, kabarma özelliklerinin de geliştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alev Geciktirici, Amonyum Polifosfat, Kabaran Boyalar.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT PHOSPHATE COMPOUNDS ON INTUMESCENT PAINT

ABSTRACT

Therefore steel is preferred which are its high convertibility, easy installation, the fact that it's a homogeneous material, its production being regulated to a certain degree, its high durability, its resistance to earthquakes. However, along with these outstanding qualities, steel also has some drawbacks. Thus, steel buildings can be coated with paints that expand when exposed to high temperatures to increase. In this study, intumescent flame-retardant formulations that include ammonium polyphosphate (APP), Pentaerythritol (PER), Melamine (MEL), Boron Phosphate, Organophosphate and APP-Boron Phosphate mixture which change amount of quantitative phosphate in them and can be applied to steel surfaces are examined. First, intumescent flame-retardant paints that include three different APP ratios were produced. Then, APP was replaced with Boron Phosphate, Organophosphate and APP-Boron Phosphate in same ratios to produce intumescent flame-retardant paints with four different properties were produced. Thermal properties of the intumescent flame-retardant paints produced were determined by Fire resistance test, Thermal Gravimetric Analysis (TGA), Limiting Oxygen Index (LOI), and Intumescency Proportion in Ash Furnace in additionally they were examined mixture of phosphonate. For all result of the characterization processes, paints were compared with standard paint which doesn't include flame retardant chemical PER, MEL, APP, Boron Phosphate and Organophosphate, and accepted as standard paints. Intumescent flame-retardant paints produced were compared to the standard paints prepared. As the APP-Boron Phosphate ratio which are prepared mixture of flame retardant paint were increased, LOI value also increased from 30.3% to 46%; flame retardant properties, adhesion and intumescence properties improved.

Keywords: Flame Retardant, Ammonium Polyphosphate, Intumescent Paints.

GİRİŞ

Nüfusun artmasıyla birlikte yerleşim alanlarında insan yoğunluğunun artması yangın olaylarının ve yangının vereceği zararların artmasına sebep olmuştur. Günümüzde kullanılan elbiseler, ev dekorasyonu için kullanılan kaplama, mobilya gibi doğal veya sentetik malzemeler yanmaya eğilimlidir. Yanma eğilimli malzemeler yanmaz boya filmleri ile kaplanarak yanma geciktirici özellikler sağlanabilir (Günsal,2007).

Bunun yanında çelik malzemeler her ne kadar yanmaz yapıda olsalar da kaplanmadıklarında yangın esnasında dayanımları çok düşüktür. Çelik yapılar normal koşullarda üstün mukavemet özelliklerine sahipken, yüksek sıcaklıklarda önemli dayanım kaybı olan yapı malzemeleridir. Ancak çeliklerin kullanımı bu yapısal dezavantaja rağmen gün geçtikçe artmaktadır (URL-1).

Günümüzde yapının şeklini oluşturmak ve yüksek yük çekme özelliğine sahip yapıları tasarlamak için çelik kullanılmaktadır. Çelik taşıyıcılar, deprem güvenliği ve hızlı montaj edilebilme özellikleri nedeniyle yüksek binalarda tercih edilmektedir. Son yıllarda sadece yüksek yapılarda değil, aynı zaman da düşük katlı binalarda da çelik konstrüksiyonun tercih edilmeye başlandığı da görülmektedir. Yapıdaki taşıyıcı sistemin eğilmelere bükülmelere ve çökmeye neden olacak bir sıcaklığa kadar ısıtılmasına izin verilmez. Örneğin, çelik kirişler için genel başarısızlık sıcaklığı 540°C olarak kabul edilir. Bu sıcaklık mutlak olmayıp, kullanılan çeliğin özelliklerine ve uygulanan yük faktörüne bağlı olarak değişebilir.

Çeliğin çekme mukavemeti, 150-300°C değerlerinde biraz arttıktan sonra, daha yüksek sıcaklıklarda hızla azalır ve yangınlarda kolayca erişilen 600°C sıcaklığında emniyet gerilmesinin altına düşer. Yüksek sıcaklıklarda çeliğin bağ kuvvetlerinin azalması, çeliğin elastisite modülünün azalmasına neden olur. Elastisite modülünün değeri 20°C'dekine kıyasla, 400°C'de % 15 ve 600°C'de ise % 40 kadar azalır. Çevre sıcaklığına göre mukavemeti ise, sıcaklığı 700°C olduğunda % 23'e, 800°C'de % 11'e, 900°C'de % 6'ya düşer ve yaklaşık 1500°C sıcaklıkta erir. Yüksek sıcaklıkta

istenmeyen uzamalar ısı gerilmelerin oluşmasına, normal olarak yüksek sıcaklıklarda burkulma yapmayan kolonun burkulmasına ve daha düşük taşıma gücü göstermesine neden olabilir (URL-2). Son yıllarda çelik yapıların yangına karşı korunmasında kabaran boyaların uygulamaları önemli olmuştur. Bu çalışmada farklı fosfat bileşiklerinin kabaran boyanın özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. APP, PER ve MEL sistemi seçilerek bu kabaran alev geciktirici sisteminde farklı fosfat bileşiklerinin etkileri incelenmiştir.



1.GENEL BİLGİLER

Boyalar, genel anlamda dekoratif veya koruyucu kaplamalar olarak kullanım için sıvı bir ortam içinde süspansiyon halinde pigmentlerden oluşan emülsiyonlar grubudur.

1.1.Boyanın Kısa Tarihçesi

Boyanın tarihi yaklaşık olarak 30 bin yıl öncesine dayanmaktadır. Mağaralarda yaşayan insanlar, yaşamlarını temsil eden resimleri, grafikleri ham boyalar kullanarak yapmış ve bu çizimler günümüze kadar gelmeyi başarmışlardır.

Boya ve kaplamaların gerçek bir endüstri bileşeni olması Sanayi Devrimi ile gerçekleşmiştir. Tarihte kayıtlı ilk boya fabrikası Amerika'da Thomas Child tarafından 1700 yılında Boston'da kurulmuştur. Uzun bir zaman sonra, 1867 yılında Ohio şehrinden D.R. Averill isimli girişimci, Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk olarak "hazır karışım" boyaların patentini almıştır.

1880'lerin ortasından itibaren ABD genelinde, nüfusun yoğun olduğu bölgelerde ve sanayi merkezlerinde boya fabrikalarının sayısında artışlar olmuştur.

Sanayi Devrimiyle birlikte boya ve kaplama sanayisi profesyonelleşmiş aynı zamanda büyük ve yeni pazarlar yaratmıştır. Montaj hattı üzerinde imal edilen Model T Ford otomobilinden, son model televizyona kadar her ürünün korunması, kullanım ömrünün arttırılması, güzelleştirilmesi için boya ve kaplamalar yoğun bir şekilde kullanılmıştır.

Günümüzde boya ve kaplamalar, birbirinden farklı alanlarda çok çeşitli gereksinimlerini yerine getirebilmek için sayısız bileşik içeren formülle oluşturulmaktadır. Boyalar günümüzde tüketicinin evini güzelleştirmek, korumak için kullandığı lateks boyalardan, gıda ambalajlarının içindeki saydam kaplamalara, otomobil üreticileri tarafından kullanılan kompleks son kat boyalar kadar son derece geniş bir ürün grubunu temsil etmektedir (URL-3).

Toz boyalar 1940'ların sonu ve 1950'lerin başında üretilmeye başlamıştır. Alman bilim adamı Dr. Erwin Gemmer, toz kaplamaların ısıyla sabitlendiği akışkan yatak

(fluidized-bed) işlemini geliştirmiş ve Mayıs 1953 yılında patentini almıştır. 1958 ve 1965 yılları arasında, genel olarak 150-500 mikron arasında bir film kalınlığı olan tüm fonksiyonel toz boya uygulamaları akışkan yatak uygulaması ile işlenmiştir, Uygulamalarda elektrik yalıtımı, korozyon ve aşınma direnci ön planda tutulmuştur.

Kaplanacak olan malzeme türleri çok çeşitlilik göstermedir. Naylon 11, polietilen, polyester, klorlu polieter gibi, ayrıca ısı ile sertleşen epoksitler, örneğin tekne aksesuarları için naylon, bulaşık makinesi sepetleri için PVC, ısı yalıtımı için epoksit, metal mobilyalar için polivinil klorür (PVC), selüloz asetat butirat (CAB) de yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bosch firması Uygun elektrik yalıtım malzemesi olarak temel tip epoksi reçine tozunu geliştirmiştir.

Yüksek film kalınlığında uygulanan boyalar ve elektrostatik toz boya teknolojisinin 1962 ve 1964 yıllarında arasında ABD’de geliştirilmesi ve kısa bir zaman sonra ABD’de hem de Avrupa’da yaygınlaşması, akışkan yatak uygulamasına olan ilgiyi azaltmıştır. Elektrostatik toz boyalar genel olarak püskürtme tekniği ile uygulanmaktadır.

Bu uygulamanın yapılabilmesi için, toz boya ile kaplanacak malzeme topraklanmış ve toz boya taneciklerinin de elektrik akımı ile yüklenmiş olması gerekir. Sonuç olarak, toz boya ile malzeme arasında elektrostatik bir çekim oluşur ve çekim malzeme yüzeyinde yeterli kalınlıkta film oluşmasını ve toz boyanın eriyip malzeme yüzeyine yapışmadan önce tutunmasını sağlamaktadır. 1966 ve 1973 bugün halen kullanılmakta olan dört temel tür termoset reçine geliştirilmiş ve ticari olarak kullanıma girmiştir. Bunlar epoksi, epoksi polyester hibrid, poliüretan ve polyester’dir. Bundan sonra, toz boyanın kullanımı artmaya başlamıştır. Elektrostatik toz boyalar kullanılmaya başladığı ilk yıllardan itibaren sürekli olarak yükselişe geçmiş 1980’lerden sonra sektör tarafından tercih edilen yöntem olmuştur (URL-4).

1.2.Kullanım alanlarına göre boya çeşitleri

Boyalar kullanım alanlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Paksoy, 1999).

-Dekoratif Boyalar

-İnşaat Boyaları

-İnşaat Boyaları

- Sanayi ve Korozyon Boyaları
- Mobilya Boyaları
- Oto Boyaları
- Deniz Boyaları
- Ambalaj Boyaları
- Sprey Boyaları

1.3. Boyaların Ana Bileşenleri

Boya ve benzeri kaplama malzemeleri dekoratif ve/veya koruyucu amaçlarla çeşitli yüzeylere, farklı şekillerde uygulanan ve uygulandığı yüzeyde film tabakası oluşturan kimyasal maddelerdir. Boyalar nitelikleri birbirinden farklı olan birçok kimyasal maddelerin bir karışımıdır.

Boya sanayiinde kullanılan ana hammaddeler, genel olarak dört başlık altında toplanır.

Bağlayıcılar

Pigmentler ve Dolgu Maddeleri

Çözücüler

Katkı Maddeleri

1.3.1. Bağlayıcılar

Boyaların ve verniklerin film oluşturmalarını sağlayan ana hammaddeler reçine ya da reçine karışımlarıdır. Uygulanan boyanın kuruma, sertlik, esneklik, fiziksel ve kimyasal direnç gibi önemli özellikleri büyük ölçüde bağlayıcı tarafından belirlenir. Reçineler boyaya, uygulanacak yüzeye iyi yapışma, sertlik, parlaklık, çevre şartlarına direnç ve kimyasallara direnç gibi özellikleri verirler (Camcıoğlu, 2010).

Boya sanayiinde yaygın olarak kullanılan bağlayıcı tipleri, aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Alkid reçineleri
- Polyester reçineler
- Poliüretan reçineler
- Akriolik reçineler

- Vinilik reçineler
- Fenolik reçineler
- Amino reçineler
- Epoksi reçineler
- Poliamin, poliamit reçineler
- Hidrokarbon reçineler
- Selüloz türevleri

Bu reçineler, bağlayıcı sistemi içerisinde tek başına ya da bir arada karışım halinde kullanılabilirler. Bir arada kullanılabilmesi yapısal olarak uyumlu olmalarına ve birbiri içerisinde çözünmelerine bağlıdır (Zeno, 2007).

Bağlayıcılar kuruma ya da sertleşme süreçlerine göre de sınıflandırılabilir. Bunlar;

Oksidasyonla (havada bulunan oksijenle tepkiyerek) sertleşen tip bağlayıcılar

Bu tip bağlayıcılar oksijen ile tepkimeye girerek kuruyan bağlayıcılardır.

Çözücü buharlaşması ile kuruyan bağlayıcılar

Çözücü buharlaşması ile kuruyan bağlayıcılara örnek ise selülozik reçineler, klor kauçuk reçineler, Polivinil Akrilat (PVA) ve akrilik reçinelerdir. Çözücü buharlaşması ile kuruyan bağlayıcılar ile üretilmiş boyalar uygulama sonrasında filmin yapısında bulunan çözücüler buharlaşırlar, bu sırada bağlayıcı molekülleri birbirlerine yaklaşıp kendi aralarında bağ oluştururlar.

İkinci bir bağlayıcı ile tepkimeye girerek sertleşebilen bağlayıcılar

İkinci bir bağlayıcıyla sertleşen bağlayıcıya örnek; epoksi-poliamin, epoksi-poliamid, akrilik-izosiyanat, alkid-izosiyanat vs. dir. Çift bileşenli boya ve verniklerin üretiminde kullanılır.

Sıcaklıkta sertleşen bağlayıcılar

Sıcaklıkla sertleşen bağlayıcılar, fırın boya ve verniklerin üretiminde kullanılır. Genelde sanayi boyaları bu tip bağlayıcılar ile yapılmaktadır (URL-5).

Radyasyonla (UV, IR) sertleşen bağlayıcılar

UV ile sertleşen reçineler, mobilya üretim fabrikalarında tercih edilmektedirler (URL-6).

1.3.2. Pigmentler

Boyaya renk, örtücülük, koruyuculuk (antikorozif) kazandıran organik ve inorganik maddelerdir. Pigmentler herhangi bir çözültide çözünmeyen maddelerdir ve genel olarak aşağıdaki özelliklere sahip olmaları istenmektedir.

Renk: İstenilen tonda olmalıdır.

Örtücülük: Uygulandığı yüzeyi iyi kapatmalıdır.

Renk verme kuvveti: Pigment, beyaz boya içerisinde renk verme şiddetini korumalıdır.

Işığa dayanıklılık: UV ışınları karşısında renk stabilitesini korumalıdır.

Yağ emmesi: Yağ absorpsiyonu düşük olmalıdır.

Dispersiyon: Mümkün olan en kısa sürede dağıtılabilmelidir.

Pigmentler, boyalara renk veren veya astarlarda dolgu amacıyla kullanılan katı maddelerdir. Renk vermek amacıyla kullanılanlara renk pigmenti, dolgu gücü ve maliyet düşürme amacıyla kullanılanlara dolgu maddeleri adı verilir. Pigment kullanımı anti-korozyon için özel bir rol oynar (Deligny, 2001).

1.3.2.1. Renk pigmentleri

Renk pigmentleri, inorganik renk pigmentleri, organik renk pigmentleri ve korozyon önleyici pigmentler olarak üç gruba ayrılırlar.

-İnorganik renk pigmentleri

Doğal kaynaklar kullanılarak, partikül yüzeyleri özel işlemlerle işlenir ve çok hassas değirmenlerde öğütülerek elde edilirler. Genellikle; opak ve geçirgen (transparant) olmayan tiplerdir. Bazı pigmentler çok özel yüzey işlemleri ile geçirgen hale getirilebilirler. İnorganik pigmentler, çözünmeyen metal bileşikleridir ve renkleri temel olarak metal elektronların enerji düzeyine bağlıdır. Organik pigmentler ise moleküllerinde kromofor (renk yapan) grupları bulunan bileşiklerdir. Metal pigmentlerde birer inorganik renk pigmentleridir.

Beyaz pigment olarak en çok kullanılan pigmentler çinko oksit, çinko sülfür ve titanyum dioksittir. Siyah pigmentlerin çoğu, element halindeki karbonlardan oluşur. Kırmızı pigmentlerin başlıcaları; mineral demir oksitler, kadmiyum, bakır oksitler ve bileşim yoluyla elde edilmiş çeşitli organik pigmentlerdir. Sarı ve turuncu pigmentler özellikle kromatlar, molibdatlar ve kadmiyum bileşikleridir. Mavi ve yeşil pigmentler, sentetik lacivert boyalar ve demir mavisi gibi inorganik ya da organik bileşikler olabilir (Ceylan, 2011).

-Organik renk pigmentleri

Sentetik olarak, organik tepkimelerle üretilen, üretim süreçleri oldukça pahalı ve özel yatırımlar gerektiren pigmentler ve bunların alt tonları, organik pigmentlerdir. Genellikle, geçirgen özelliklidirler, ışığa ve dış etkenlere karşı dayanıklı tipler, otomobil ve ağır hizmet bovalarında kullanılırlar (Yürekli, 1997).

-Korozyon önleyici pigmentler

Korozyona karşı dirençli pigmentlerdir. Koruyucu boya ve astarlar üretiminde kullanılır. Çinko kromat, çinko fosfat, metal tozları (çinko, kurşun, sülyen), korozyon önleyici pigmentlere birer örnektir.

Pigment kullanımı korozyon önlemek için özel bir rol oynar. Kromatlar ve fosfatlar anodik koruma için kullanılırken, katodik koruma için metalik pigmentler (çinko veya kurşun) kullanılmaktadır (Deligny, 2001).

1.3.3. Dolgu maddeleri

Tek başlarına renk verme özelliği olmayan ya da bazıları çok zayıf renk özelliklerine sahip maddelerdir. Uygulandığı ortamda çözünmeyen ancak boyanın hacmini artırmak, bazı teknik özellikler sağlamak için kullanılan toz halindeki maddelerdir. Uygulama zemininin hazırlanmasında son derece önemli olan astar ve macunların, dolgu gücünü arttırmak, mat bovalarda maliyet düşürmek amacıyla kullanılır.

Boyanın kullanım alanına göre istenilen özellikler göz önünde bulundurularak dolgu seçimleri yapılır. Astar gruplarında ise bir dış görevi yaparak, üzerine gelecek olan

boyanın iyi yapışmasını sağlarlar. Aynı zamanda boya maliyetini düşüren önemli bir faktördür. Kullanılan bazı dolgu maddelerinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Dolomit; Kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat karışımıdır. Dolomit kalsite göre biraz daha yüksek asit direnci nedeniyle, teknik açıdan, koyu renk dış cephe boyalarında kullanılması uygun bir dolgudur.

Kalsit; Boya sektöründe en yaygın kullanılan dolgu türüdür. Dolgunun, açık beyaz tonlarda üretilmesi, inşaat boyalarında sorunsuzca kullanımını sağlamaktadır. Kalsiyum karbonatın asitlerle tepkime yatkınlığı, bu malzemenin su ve korozyon direnci yüksek olması beklenen sanayi boyalarındaki kullanımını ciddi biçimde kısıtlamaktadır.

Daha saf ve daha renksiz kalsiyum karbonat elde etmek amacıyla söndürülmüş kirecin, safsızlıklardan arındırılıp saf karbon dioksitle tepkimeye girmesi sanır. Oluşturulan sentetik kalsiyum karbonat daha sonra preslenip kurutularak istenen büyüklükte öğütülür. Böylelikle %99 saflıkta kalsiyum karbonat dolgular üretilmektedir.

Baryum Sülfat; Doğal olanına Barit, sentetik olanına blanfiks denir. Barit içindeki demir, kurşun gibi safsızlıklardan dolayı griden pembeye doğru çeşitli renklerde olabilir. Beyaz istenirse kimyasal yıkama ile rengi beyazlatılabilir. Baritin yoğunluğu yüksek ve yağ absorpsiyonu düşük olduğu için viskoziteyi fazla artırmaksızın dolgu oranını arttırmaya olanak verir. Parlak ve dolgu oranı yüksek boyaların elde edilmesini sağlar. Ancak yüksek yoğunluğu nedeniyle çökmeye meyillidirler.

Silika; Dünyada en çok bulunan ikinci inorganik bileşiktir. SiO₂ Kristal yapıda olanı Kuvarsdan, amorf olanı ise Kizelgur veya Diatome toprağından üretilir. Kuvars çok zor öğütülen bir hammadde olup bunun yanında boyaya sertlik ve sürtünmeye karşı dayanım sağlar. Ancak makinalarda yaptığı aşındırma nedeniyle beyaz boyalarda rengin kirlenmesine yol açar (Gysau, 2011).

Talk; Levhalar şeklindeki yapısı yumuşak çökme ve kolayca tekrar disperse olabilme özelliği verir. Eğer yapı çubuklar şeklinde olursa buna Asbestirtin denir ve bu yapısı içine girdiği boyaya esneklik ve çatlamaya dayanımı sağlar. Asidlere dayanıklı oluşu paslanmaya karşı kullanılacak boyalarda kullanım olanağı verir. Talkın yüksek yağ

absorbsiyonuna sahip olması iyi bir matlaştırıcı olarak görev yapmasını sağlar. Ayrıca yumuşak bir yapıya sahip olması, macun ve astarların zımparalanabilme özelliklerini geliştirerek olumlu yönde etkiler. Ancak talkın yumuşak yapısından dolayı boya filminin çizilmelere karşı dayanımı düşürür. Talkın yapısında bulunan hidroksil grupları, talkın kullanıldığı boyaların yüzeye yapışabilirliğini de olumlu etkilemektedir.

Mika; Mika, yapraksı bir yapıya sahip, kimyasal bileşimi ağırlıklı olarak alüminyum potasyum silikat'tan, oluşan bir mineraldir. Muskovit olarak anılan kayalarda bulunan mika açık kahverengi ve yarı saydam yapraklardan oluşur. Zayıf asitlere dayanıklı olmasına karşın, kuvvetli asitlerden etkilenir. Yapraksı yapısı nedeniyle film geçirgenliğini azalttığı için sanayi boyalarında; tebeşirlenmeyi azalttığı için inşaat boyalarında kullanımına rastlanır. Son yıllarda sedef pigmentlerin üretiminde taşıyıcı ham madde olarak kullanılmaktadır.

Kaolin; Kristal suyu içeren alüminyum silikat, kaolin olarak anılır. Hidrate alüminyum silikat esaslı bir dolgu maddesi olup daha çok su bazlı emülsiyon boyalarda kullanılır. Asit ve baz direnci yüksek olduğu için genelde dış cephe boyalarında tercih edilmektedirler. Kaolin sulu ortamda çökmeye karşı gösterdiği yüksek direnç yanında yayılma ve uygulama kolaylığı nedeniyle de tercih edilir. Kaolin kalsine edilirse daha sert daha beyaz bir malzeme elde edilir (Tunçgenç, 2004).

1.3.4.Çözücüler

Boyanın uçucu kısmını oluşturan kimyasal maddelerdir. Çözücüler genelde boyaya iki aşamada ilave edilir. Birinci aşamada amaç, boya üretimi sırasında akışkanlığı az olan veya katı halde bulunan karışımı akışkan hale getirmek, ikinci aşamada ise ambalajındaki boyayı uygulama sırasında fırça veya rulo ile uygulanabilir hale getirmektir. Bu amaçla sentetik boyalara tiner, plastik boyalara su ilave edilmektedir.

Çözücüler, boyada kullanılan katı veya oldukça viskoz bağlayıcıları çözüp homojen bir faz, bir çözelti oluşturan uçucu sıvılardır. Su hariç boya sanayiinde kullanılan çözücüler organik sıvılardır. Çözücülerin genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çözücü gücü: Bir çözücünün gücü çözünen maddeyi dağıtabilme (dispersiyon) yeteneğinin ölçüsüdür. Bir çözücü çözünen maddeyi değişik konsantrasyonlar da mümkün olduğunca tamamen dağıtıldığı zaman maksimum çözücü gücüne sahiptirler.

Kaynama noktası: Uçucu olan sıvılar, belirli basınçta kesin bir sıcaklıkta kaynarlar. Bir çözücünün kaynama noktası kendi buhar basıncının atmosferik basınca eşit olduğu andaki sıcaklıktır.

Buharlaştırma hızı: Bir çözücünün yüzeyden kopabilme kolaylığının göstergesidir. Bu nedenle buharlaştırma hızı çözücüde ve çözültüde farklı olmaktadır.

Gerçek uygulamada buharlaştırma hızı sadece katının tipi ve derişiminden etkilenmez, ayrıca film kalınlığı ve film yüzeyindeki hava akımının da etkili olduğu bilinmektedir.

Alevlenme noktası: Alevlenme noktası bir sıvının yeterince buharlaşarak yüzeyi üzerinde bir alevi çoğaltacak yoğunluğa geldiği sıcaklıktır (Gündüz, 2005).

1.3.5. Katkı maddeleri

Katkı maddeleri, çok değişik özelliklere sahip olan ve boyaya az miktarda ilave edilen kimyasallardır. Katkı maddeleri boyanın özelliklerini iyileştirmek ve istenmeyen olumsuz değişimleri önlemek için kullanılırlar. Boyalarda kullanılan katkılar genel olarak aşağıda sıralanmıştır.

- Kurutucular
- Islaticılar
- Köpük kesiciler
- Yüzey düzelticiler
- Kaymaklanmayı önleyiciler
- Katalizörler
- Stabilizatörler
- Çökme Önleyiciler
- Ultraviyole Emiciler (UV Absorber'ler)
- Matlaştırıcılar
- Optik Beyazlatıcılar
- Kalınlaştırıcılar

- Fungusitler
- Biocidler

1.3.5.1. Kurutucular

Kurutucular, oktoik ve naftanik asit gibi organik asitlerin metallerle (kobalt, kurşun, mangan, kalsiyum, çinko v.s) tepkimelerinden oluşmuş tuzlardır. Kurutucular okside olabilen bağlayıcılardaki karbon çift bağlarını hareketlendirerek oksijen alıp açılmalarını (yani oksidasyonu), dolayısı ile polimerizasyonu hızlandırır. Kurutucu miktarını çok iyi dengelenmesi gerekir. Aksi takdirde kabuklaşma, kırışma ve sararma gibi pek çok boya kusuru ortaya çıkabilir.

1.3.5.2. Islatıcılar

Boyadan en iyi performansı elde edebilmek için boya üretimi sırasında pigment dispersiyonunun mükemmel yapılması gerekir. Dispersiyon işlemi birbirlerine kümelenmiş pigment tanecikleri arasında kalmış havayı bağlayıcı ile değiştirerek pigmentleri orijinal tane büyüklüğüne dönüştürme işlemidir. Pigment kümesi içindeki pigmentler arasındaki elektriksel çekim çok büyüktür ve bunu yenmek için boya üretimi sırasında uygulanan mekanik kuvvetin yanı sıra maksimum dispersiyonu sağlamak için ıslatıcılar kullanılır.

Islatıcılar hidrofilik (suyu seven), hidrofobik (suyu sevmeyen) yapıda olabilir ve polar gruplarını kullanarak pigment yüzeyine yapışır, böylelikle pigmentle bağlayıcı arasındaki yüzey gerilimini azaltarak pigment yüzeyinin bağlayıcı tarafından kolaylıkla sarılmasını sağlarlar.

1.3.5.3. Köpük kesiciler

Solvent veya su bazlı boyaların tümü yüksek devirde dağıtıldıklarında ve sürekli karıştırıldıklarından kalıcı köpük oluşturmaya eğilimlidirler. Boya uygulanmasından sonra kurumaya kadar geçen zamanda köpük sistemden atılmaz. Bu durumun oluşmaması için köpük kesiciler kullanılır. Kraterler ve bilisterler boyanın estetik görünüşünü bozduğu gibi koruyucu özeliğini de azaltmış olur. Köpük kesiciler, filmde herhangi bir balıkgözü açılmasına neden olmadan köpüğü kesen bazı silikon yağları veya yağlarla reaksiyona sokulmuş yüzey aktif madde esaslı kimyasallardır.

1.3.5.4. Kabuklaşmayı engelleyiciler

Hava kurumalı boyalar hava ile temas etmeleri durumundan yüzeyden kurumaya başlarlar. Üretim hattından çıkan ve dolun hattında ambalajlanan boyanın üst kapak ile arasında hava boşluğu kalmaktadır. Zamana bağlı olarak boya ambalaj içerisinde var olan hava ile tepkimeye girerek yüzeyden kabuklaşmaya başlar. Kabuklaşma boya kaybına neden olduğu gibi kabuğun boya içinden alınması da oldukça güç bir iştir. Boyada oluşan kabuk tek parça halinde alınamazsa boya yüzeyini bozucu partiküllerin oluşumuna da neden olabilir.

Boyanın ambalaj içerisinde kabuklaşmasını engellemek için kullanılan kabul engelleyici hammaddelerin, ana fonksiyonu boya içindeki metal kurutucularla kompleks yaparak onları geçici olarak bloke etmek ve bu şekilde yaş boyanın oksidasyonunu dolayısı ile polimerizasyonunu oldukça yavaşlatmaktadır. Bu katkı maddeleri uçucu olduklarından boya tatbik edildikten sonra yüzeyden uçarak boyanın normal kurumasını sağlar. Kabuklaşmayı engelleyiciler okzim'ler ve bazı fenol türevi kimyasallardır.

1.3.5.5. Çökme, sarkma engelleyiciler

Pigment çökmesini engellemek için en çok kullanılan katkı maddeleri Benton'lar, hidrojene hint yağı, aerosiller ve bazı özel organik yüzey aktif kimyasallardır.

Bu katkı maddeleri, özellikle benton'lar, boyaya tiksotropik yapı kazandırdıklarından akma ve sarkmaya da engel olurlar, boya içinde çok iyi dağılım sağlayarak düzgün bir yüzey elde edilmesine olanak verirler.

1.3.5.6. Matlaştırıcılar

Yüzeyleri özel işlem görmüş, son derece küçük taneli silika pigmentlerdir. Boya yüzeyini mikroskobik ölçülerde değiştirerek filme matlık verirler.

1.3.5.7. Fungisit'ler

Mantar ve bakterilerin özellikle emülsiyon esaslı boyalardaki yaptığı bozulmayı engelleyen maddelerdir. Genellikle fenolik ve civa esaslıdır.

1.3.5.8. Kayganlaştırıcılar

Boya filmi yüzeyine dokunulduğunda kayganlık hissi yaratan genellikle polietilen wax esaslı kimyasallardır.

1.3.5.9. Elektrik direncini azaltan katkılar

Elektrostatik boya uygulamalarında çok yüksek olan elektrik direncini çok az ilave ile uygun dirence düşüren poliamid tuzu esaslı kimyasallardır.

1.3.5.10. Optik beyazlaştırıcılar

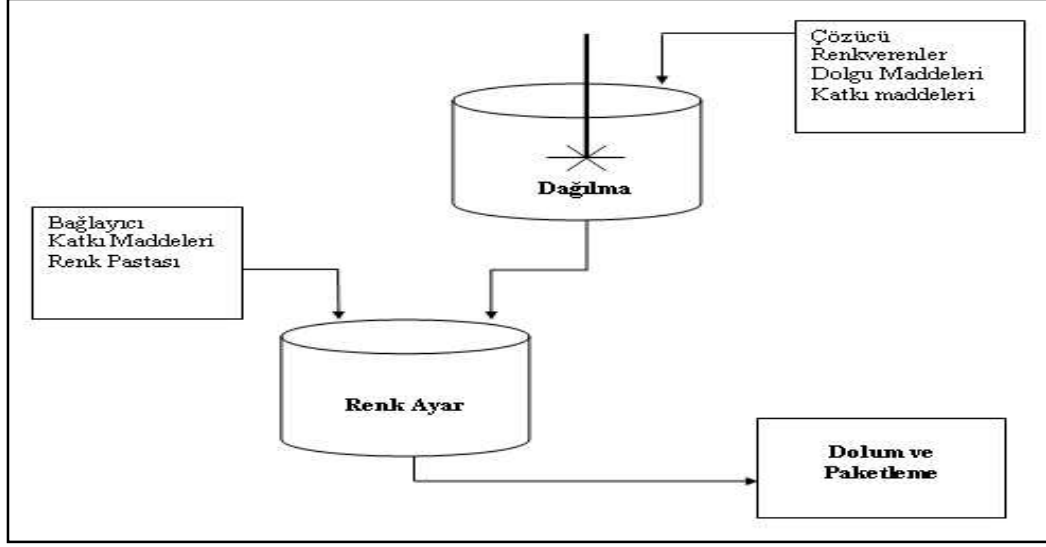
Beyaz boyaların daha da beyaz ve göze örtücü görünmesini sağlayan floresan organik katkılarıdır (Erdem, 2017).

1.4. Boya Üretimi

1.4.1. Su bazlı boyaların üretimi

Su bazlı boyaların üretimi dispersiyon evresi, renklendirme, dolum ve ambalajlama kısımlarından oluşur.

Dispersiyon bölümünde, su, dispersiyon hızından etkilenmeyen bazı sıvı katkıları ve dolgu maddeleri ile yüksek devirli karıştırıcılar da belli sürelerde karıştırılarak dağılırlar. İstenilen öğütme değerleri elde edildikten sonra kazan renklendirilmek üzere renk kazanına aktarılır. Renklendirme tankında renk kazanına bağlayıcı ve renk pastaları ilave edilerek homojen bir şekilde karıştırılır. Üretilen boyanın viskozite ayarı yapılarak dolum safhasına geçilir. Ürün uygun ambalajlara doldurularak sevkiyata hazır hale getirilir. Örnek bir su bazlı boya üretim akım şeması Şekil 1.1’de verilmiştir (Bekircan, 2007).



Şekil 1.1. Su bazlı boya üretim akım şeması

1.4.2. Dispersiyon süreci

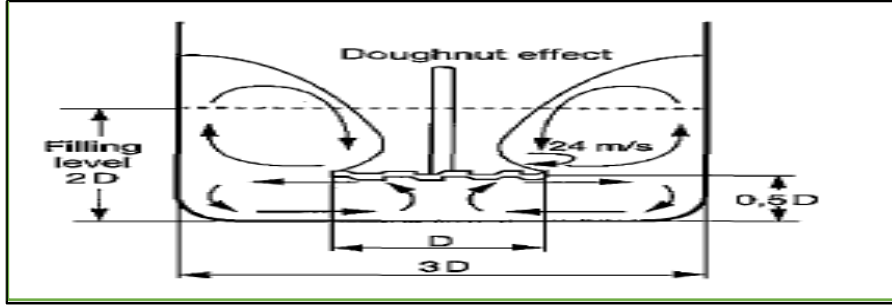
Dispersiyon sistem içerisinde bulunan katı haldeki maddelerin çözücüsü içerisinde homojen şekilde dağılmasıdır. Boya üretiminde dispersiyon işlemi testere uçlu bir karıştırıcı uç kullanılarak çevresel hızı 15-30 m/s hıza ulaşabilen yüksek devirli karıştırıcılar ile yapılır. Boya üretiminde kullanılan dispersiyon sistemi Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Dispersiyon sistemi

Boya karıştırıcı ucu ve kazanı arasında dispersiyonun en etkili olduğu düşünülen bir geometrik tasarım vardır. Karıştırıcı bıçağın tasarımı daire şeklinde olup testere

şeklinde olan dişleri 90°'lik açığa sahiptir. Boya üretiminde kazan ve karıştırıcı uç geometrisi şekil 1.3'de verilmiştir (Goldschmidt, 2007).



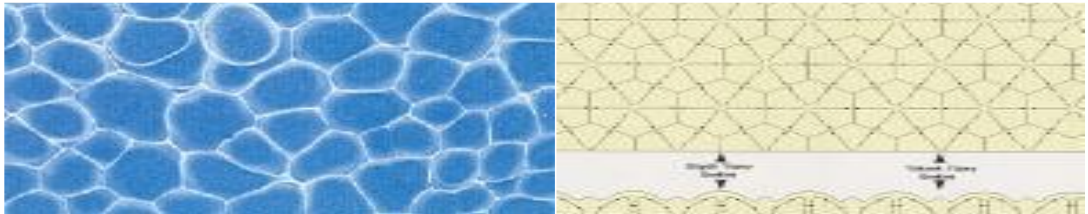
Şekil 1.3. Boya üretiminde kazan ve karıştırıcı uç geometrisi

1.5. Boya Film Kusurları ve Boya Film Kusurlarının Önlenmesi

Uygulanan yağ boyanın, yüzey gerilimi ve yer çekimi kuvvetleri etkisiyle, yüzeyi kaplayan ince bir filme dönüşmesi olayına yayılma denir. Oluşan filmin kesintisiz ve homojen kalınlıkta olması, iyi bir yayılmanın gerçekleştiğini gösterir. Boyalarda yüzey problemlerinin oluşması, boyanın yayılmamasında kaynaklanmaktadır.

1.5.1. Benard hücreleri

Yağ boyanın kuruması sırasında, çözücü buharlaşmasının yol açtığı sıcaklık farklarına bağlı olarak oluşan konveksiyon akımları, film yüzeyinde altıgen şekilli petek görüntüleri oluşturur. Bu altıgen kesitli hücreler, Benard hücreleri olarak adlandırılır. Boyanmış yüzeye matlık ve donukluk verirler. Pigmentli sistemlerde pigment ayrışmasının sonucu olan renk farklılaşmalarına neden olurlar. Özellikle metalik boyalar çok hassasiyet gerektirdiklerinden Bernard hücreleri yapıda kabul edilemez. Şekil 1.4'de yüzey geriliminden kaynaklı Bernard hücreleri gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Boyada oluşan benard hücreleri

1.5.2. Pysluluk

Boya filminin uygulandığı yzzydeki donuklaşmasına verilen isimdir. Özellikle parlak boyalarda çok daha fazla belirgindir. Pysluluk, pigmentin topaklaşma, yetersiz kaynaşma veya yzzyde birikmesinden kaynaklanabilir. Boyada pylsuluk kusuru Şekil 1.5’de gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Boyada pylsuluk

1.5.3. Kırışma

Yaş boya filminin, havayla temas halindeki yzzy tabakasının, filmin dip kısımlarından daha hızlı kuruyup sertleşmesi sürecinde, kabarmadakine benzer buruşuk/kırışık bir deri görüntüsü alması biçimindeki bir kuru film kusurudur. Daha çok kuruma yatkınlığı yüksek modifiye edilmiş alkid sistemler, yanlış olarak kullanılan kurutucular ile katalizlendiğinde yzzy daha çabuk kuruyacağından buruşuk deri şeklini alarak kırışık bir görüntü oluşturur. Boyada kırışma kusuru Şekil 1.6’da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Boyada kırışma kusuru

1.5.4. Kabarma

Kısmen çapraz bağlanmış bir kuru filmin, üzerine kuvvetli çözügenler içeren bir yağ boya uygulandığında, çözücü etkisiyle önce şişmesi yani kabarması sonra da, buruşuk çatlak bir deri görüntüsü verecek biçimde kurumasıyla oluşan bir kuru film kusurudur. Boyaların ikinci kat uygulamaları yapılırken ortaya çıkan kusur tipidir. Boyada kabarma kusuru Şekil 1.7’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Boyada kabarma kusuru

1.5.5. Krater oluşumu

Boya filminin yüzeyinde noktasal yüzey gerilim düşüklüklerine bağlı olarak oluşan, minik bir yanardağ ağzını andıran, küçük çöküntülere krater adı verilir. Krater oluşum nedenlerine bakıldığında boya ile uyum göstermeyen silikon bileşikleri, yüzeye bulaşan yağ damlacıkları gibi nedenler sayılabilir. Örneğin yağlı bir yüzeye uygulama yapıldığında, boya kenarlara doğru toplanarak hareketi kısıtlanır. Yayılma problemi ortaya çıkar. Boya, kirliliğin bulunduğu düşük yüzey gerilimli merkezden, yığının yer aldığı daha yüksek yüzey gerilimli bölgelere doğru hareketlenerek krater meydana gelir. Bu yayılmanın sürücü kuvvetine, yer çekimi ve boya viskozitesi direnç gösterir. Bu kuvvetlerin etkileşmesi kraterin etrafında tipik çembersel yükseltiye yol açar. Boyada krater oluşumu Şekil 1.8’de gösterilmiştir (Hare, 2001).



Şekil 1.8. Boyada krater oluşumu

1.5.6. Pinhol ve gaz hapsi

Yaş boya içerisinde oluşan gaz kabarcıklarının sistemi terk edememesi ve kurumayla artan viskozitenin kabarcık çıkışı sırasında oluşan yırtık izlerinin sebep olduğu kusurdur. Özellikle kalın uygulanan boya filmlerinde rastlanılan bir kusurdur.

Pinhol kusurunun nedenleri, üretim sırasında boyanın içerisinde hava kabarcıklarının hapsi, boyanın kurumaya kadar geçen zamanda hava kabarcıklarının ortamı terk etmemesi ve boya reçinelerinin çapraz bağlanma ve çevreyle etkileşimi esnasında verdikleri kimyasal tepkimelerin gaz fazındaki ürünleridir. Bu tür kusurlar görünümü bozmanın yanında doğrudan boya performansını da olumsuz etkilerler.

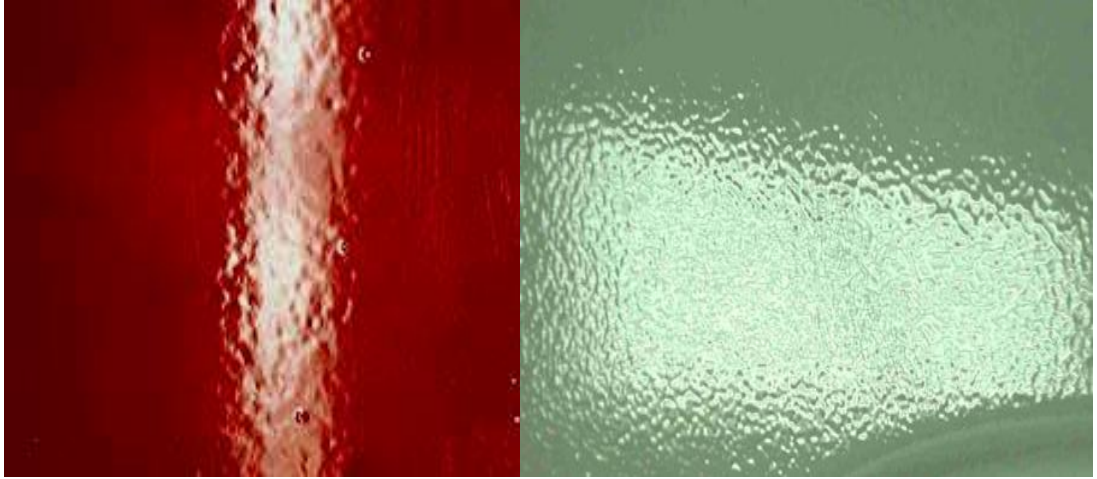
Hava hapsinden kaçınmanın en tekili yolu köpük oluşumunu önlemektir. Bunun için çözücülerin kuruma zamanı çok önemlidir. Sistem kuruyana kadar hava kabarcıklarının sistemi terk etmesi gerekir. Bu nedenle çözücü dengesi çok iyi kurulmalıdır. Pinhol ve gaz hapsi görseli Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. Pinhol ve gaz hapsi görünümü

1.5.7. Portakal kabuğu

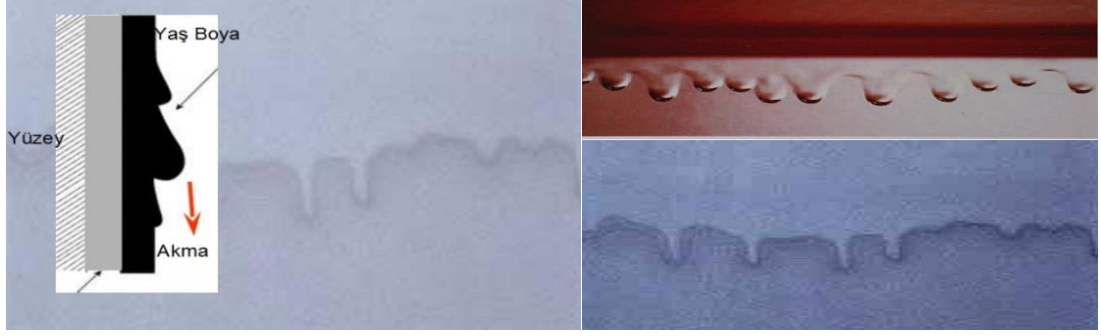
Portakal kabuğu, uygulanmış boya yüzeyinde, portakal kabuğunu andıran tümsek ve çukurların oluşmasıdır. Boyalarda portakal kabuğu görüntüsü boyanın yeteri kadar yayılmamasından kaynaklı bir kusurdur. Pistole ve rulo uygulamalarında daha sık gözlenen bir problemdir. Bu kusurun oluşmaması için yüksek viskoziteden kaçınılmalı, sistemi hızlı terk eden solventlerden kaçınılmalıdır. Uygulama yapılacak boyanın viskozitesi yüksek ise fazla çözücü girilerek yayılma problemi çözülebilir. Ayrıca düşük molekül ağırlıklı reçine kullanılarak veya pigment yüklenmesini azaltarak çözülebilir. Pigmentin boya içerisinde istiflenme sıklığını düşürerek, çözücülerin sistemi terk etmeleri için boşluklar açılmış olur. Boyalarda portakal kabuğu oluşumu Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Boyalarda portakal kabuğu oluşumu

1.5.8. Akma ve sarkma

Boyaların dik yüzeylere uygulandığında yer çekiminin etkisiyle oluşan akma durumudur. Özellikle endüstriyel ve mobilya boyalarında dik yüzeylere uygulama yapıldığında boyanın kurumasına kadar geçen zamanda boyanın akmaması gerekir. Boyanın akması istenmeye bir durumdur. Boyanın reoloji özellikleri ayarlanarak bu durum düzeltilebilir. Boyalarda akma ve sarkma oluşumu Şekil 1.11'de verilmiştir.

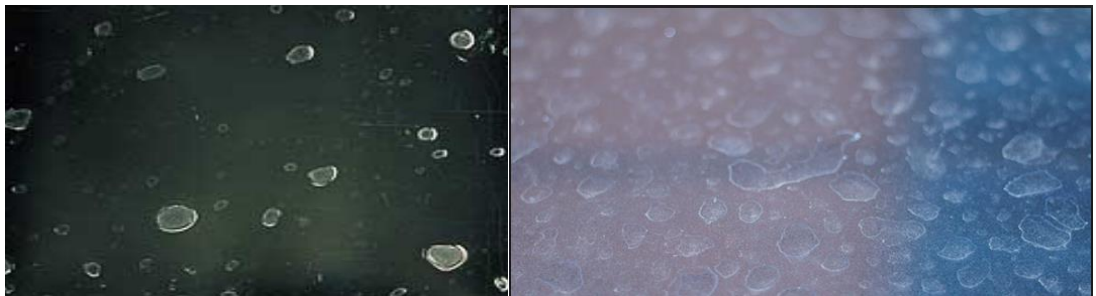


Şekil 1.11. Boyada akma ve sarkma

Boyada sarkma ve akma özellikleri belirleyici olan etkenler viskozite, yüzey gerilimleri, yaş film kalınlığı ve yoğunluktur. Buradaki viskozite, boyanın yüzeye temas ettiği andan sonraki viskozite değeridir. Reoloji katkıları ile uygulanan boya filminin üzerinden kesme kuvveti kalkar kalkmaz, viskozitenin akışını geciktirecek yapıya sahip olması boya filmine direnç kazandırır. Boya için kullanılan çözücüler boya filminin uygulanmasından sonra sistemi en kısa sürede terk etmesi kurumayı hızlandırdığı için akma ve sarkma iyileşir.

1.5.9. Su Lekelenmesi

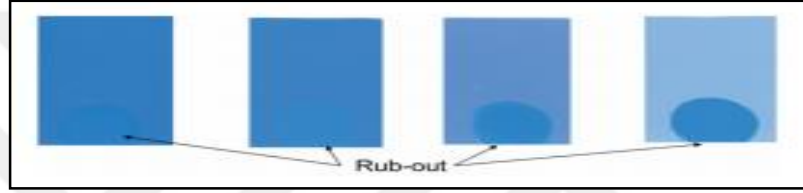
Boya filminde suyun neden olduğu görünüm kusurudur. Kusur mat lekeler ve buğumsu halkalar şeklinde gözlenebilir. Boyanın şu karşısındaki hassasiyetinden dolayı kaynaklanabilir. Ayrıca su bazı boyalar kururken sistemden su buharlaşması olur ve su içerisinde çözünen maddelerin çökmesiyle de oluşabilir. Su lekelenmesi parlak son kat boyalarda görülmesi daha kolaydır. Bu kusurun önüne geçmek için suyu seven çözücülerin yerine suyu sevmeyen çözücüler kullanılmalıdır. Boya yeterince kurutulmalıdır. Bazı durumlarda da suyu sevmeyen bağlayıcılarında kullanılması gerekebilir. Boyalarda su lekelenmesi Şekil 1.12’de verilmiştir.



Şekil 1.12. Boyalarda su lekelenmesi

1.5.10. Sürtme ovalama ile renk değişmesi

Uygulanmış olan boya filmini elle ya da spatül yardımıyla ovalandığında ortaya çıkan renk değişim kusurudur. Boya filmine uygulanan ovalama ile topaklanmanın olup olmadığı, pigment yüzmesinin olup olmadığı görülebilir. Ayrıca bu işlem renk konusunda yaşanabilecek problemleri önlenmesi için fikir verebilir. Şekil1.13’de görüldüğü gibi uygulanan pigmentlerin renk değişimi, topaklaşmanın olduğunu göstermektedir. Problemin topaklaşma olarak belirlenmesiyle, ileride ortaya çıkabilecek problemi ortadan kaldırmaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılması için farklı dispersiyon ajanları kullanılmaktadır.



Şekil 1.13. Boyalarda sürtme ve ovalama ile renk değişimi

1.5.11. Sütlenme

Boyanın yüksek nem ortamında uygulanmasıyla, boya yüzeyinin beyazlaşması kusurudur. Boyanın sprej uygulamalarında daha sık ratlanılan bir durumdur. Hızlı çözücü buharlaşması, rutubet ihtiva etmesi veya karışmayan reçinelerin varlığından doğan, film tabakasına parlaklık ve şeffaflık kaybı veren durumdur. Bu hata boya yüzeyinde etkilenen bölgeler beyaz veya rengi kaçmış parlaklığı düşük lekeler biçiminde görülebilir. Uygun yüzey görünümü elde etmek için genellikle orijinal boya katını yüzeyden kaldırıp yeniden aynı yüzeyi boyamak gereklidir.

1.5.12. Taşma

Yaş boya filminin uygulamadan sonra renk değiştirmesi kusurudur. Boya içerisinde yer alan pigment ya da pigmentler farklı yoğunluklara sahip olmalarından dolayı farklı çökme hızlarına sahiptirler. Bu sebeple boya filmleri renk değiştirebilirler. Bu kusurun önüne geçebilmek için boyanın tiksotropik özellikleri iyi ayarlanmalıdır. Kullanılan pigmentlerin yoğunlukları ve tanecik büyüklerinin birbirlerine yakın olmaları ve

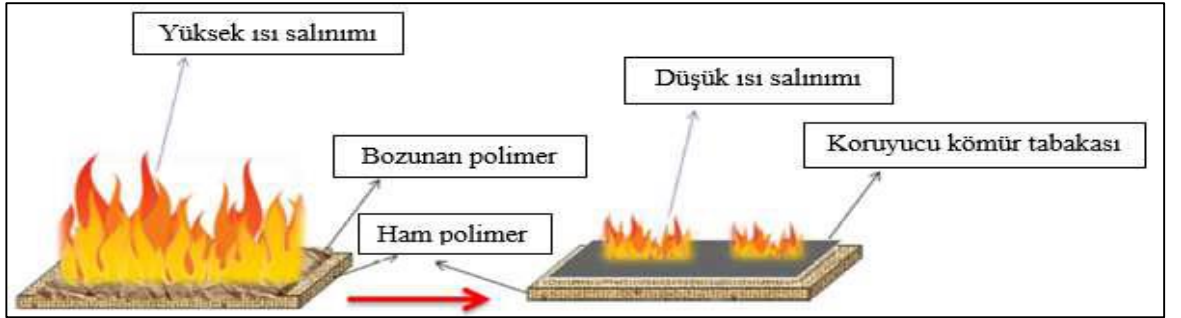
disperse olma düzeyleri taşıma problemlerinin giderilmesinde yardımcı olur (Stenneke, 1997).

1.6. Yanmaz Boya

Günümüzde ateşin yayılmasını geciktiren iki tür boya çeşidi geliştirilmiştir. Bunlar; Tutuşmayan malzemelerden üretilmiş yanma geciktiricili tür boya ve kaplamalar, yanıcı bir maddeyi, şişerek, yanacak yüzeyi ısıdan izole etmeye ya da ayırmaya yarayan ve ısıtıldıklarında köpük bir yapı oluşturan kabaran alev geciktiricili malzemelerdir. Plastik ya da öteki malzemeler yüksek yüzey sıcaklığına ya da aleve maruz bırakıldıklarında oluşan köpürme işlemi ya da kabarma işlemidir.

1.6.1. Alev geciktiricili boyalar

Yanma gecikmeli sistemlerde klor kauçuk bağlayıcılar yoğun şekilde kullanılmaktadırlar. Kabaran alev geciktiricili tür içeren ile yanma gecikmeli boyalar arasındaki fark, yanma geciktirici içeren boyalar yanıcı yüzeyde alevi geciktirirken, kabaran alev geciktiricili türde ise malzeme yüzeylerinin ısıya dayanımlarını sağlamak amaçlanmaktadır. Polimerlerinde ısı etkisiyle oluşan kömürleşme mekanizması Şekil 1.14'de verilmiştir.



Şekil 1.14. Polimerlerde kömürleşme mekanizması

Genel olarak yanma gecikmeli boyalarda pigment oranının yüksek olması yanma geciktirici özelliğinin gelişmesini sağlar. Klor ve pigment içeriğinin yüksek olması yanma geciktirici sistemlerin etkinliğini arttırdığı yapılan çalışmalarla belirlenmiştir (Wilkie C. A, 2010).

Alev Geciktirici Katkı maddelerinin görevi, malzemelerin yanabilirliğinin azaltılmasının geliştirilmesi, yanma mekanizmalarının geciktirilmesi veya yanma tepkimelerinin bir noktada kesilmesidir. Alev geciktiriciler sisteme doğrudan eklenebilmesi en çok tercih edilen yöntemdir. Ancak malzemenin direkt olarak girildiği formülasyonlar da katkıların yüksek oranda girilmeleri gerekir. Bu sebeple kaplamaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde bozulmalar meydana gelir. Bu nedenle reaktif malzemeler tercih edilmektedir.

Yanmaz boya için uygun alev geciktiricinin seçimi yapılırken, alev geciktirici malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak yapılır. İdeal bir yanmaz boya sistemi tutuşmaya ve alev ilerlemesine karşı yüksek direnç göstermelidir (Atalay, 2012).

Malzemelerin yanabilirliğinden dolayı açığa çıkan duman veya çıkan pis kokulu duman salınımını yapması farklı tip alev geciktirici katkıların araştırılmasına ve çalışılmasına yol açmıştır. Alev geciktiriciler savunma sanayinde, inşaat sektöründe, elektrik-elektronik sektöründe tercih edilmektedir. Çevre yönetim sistemlerinin değişimiyle alev geciktiriciler için çevresel etkileri, zehirlilik değerlerinin ölçümü ve tüketici ürünlerinde kullanılan alev geciktirici çeşitleri hakkında bilgi toplamak ve teşhis etmek için araştırmalar yapılmaktadır (Lu, 2002).

Alev geciktiriciler birbirlerinden farklı mekanizmalara sahiptir. Polimer yanarken yanma prosesini geliştiren buhar fazı serbest radikaller oluşturur. Katkı maddeleri, tek başına veya bileşikteki diğer malzemelerle birlikte, alt tabakalardan zincirleme tepkimelerle serbest bırakılan radikallerin oluşmasını engelleyerek alev geciktirmeyi sağlar. Bromlu ve klorlu alev geciktiriciler bu şekilde çalışır (Kaya, 1999).

Alev geciktiren geciktiricili sistemleri aşağıdaki gibi dört gruba ayrılabilir.

- İnorganik hidroksit içeren alev geciktiriciler
- Halojenli alev geciktiriciler
- Fosfor bazlı alev geciktiriciler
- Bor içeren alev geciktiriciler (Aydın, 2016).

1.6.2. İnorganik hidroksit alev geciktiriciler

İnorganik hidroksit alev geciktiriciler, düşük maliyetli olmaları, kolay kullanılabilirmeleri ve düşük toksisiteleri sebebiyle en çok tercih edilen alev geciktiricilerdendir (Kahraman, 2014). Alüminyum trihidradların, polimerler içerisinde etki gösterebilmesi için yüksek oranlarda kullanımları gerekmektedir. Malzeme ısının etkisiyle susuz alümina ve su açığa çıkararak endotermik reaksiyon oluşturur. Ortamda oluşacak yanıcı gazlarla su buharı karışarak gaz konsantrasyonunu düşürür. Tepkime sonucunda açığa çıkan oksit tortusunun yüksek ısı kapasitesine sahip olması yüzeye ısı transferini düşürdüğünden yüzeyin korunmasına yardımcı olur. İnorganik hidroksitlerin kullanımının bir diğer faydası da açığa çıkan duman miktarının azaltılmasıdır.

Alüminyum trihidrad, düşük ısıl kararlılığa sahip olmasında dolayı 200 °C nin altında kullanımı gerekmektedir. Bazı inorganik hidroksitler ve hidroksi karbonatların da alev geciktirici fonksiyonları vardır. Örneğin magnezyum hidroksitin ısıl dengesi daha iyidir ve 300 °C üzerinde kullanılabilir (Kılınç, 2009).

1.6.3. Halojenli alev geciktiriciler

Halojen içeren alev geciktiriciler plastik sektörü tarafından tercih edilen en büyük katkı gruplarını oluşturur.

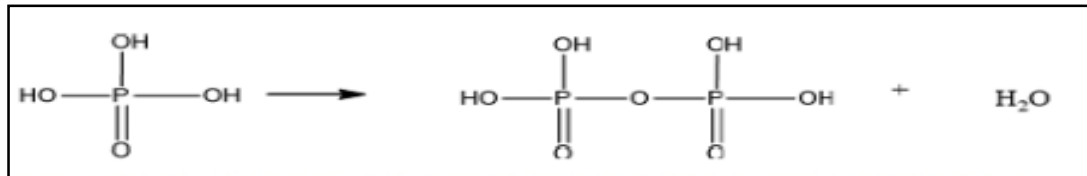
Brom ve klor bileşikleri en çok kullanılan halojen içeren alev geciktiricilerdir. Brom içeren alev geciktiriciler klor içeren alev geciktiricilerde daha etkilidirler ancak daha pahalıdırlar.

Genellikle halojenize alev geciktiricinin ısıl ayrışmasından dolayı oluşan radikaller polimerle tepkimeleme girerek hidrojen halid oluşturur. Hidrojen halidler radikal yayılma tepkimelerini engeller. Bu da alevde en çok aktif radikallerle tepkimeye girerek gerçekleşir. Aromatik brom içerikli bileşikler büyük miktarda kül üretebilirler. Halojenler tek başlarına alev geciktiricilerde kullanılmazlar etkileri öncü radikaller ve antimon hidroksit ile geliştirilir. Antimon hidroksit halojen sistemleri, polimerlerin yanmasını hem gaz halinde hem de sıkıştırılmış halde etkileyebilir.

Yasal olarak, brominize ve klorinize edilmiş alev geciktiricilerin kullanımı kısıtlanmıştır. Ancak pazarda halojenize alev geciktiricilerin etkisi halojenin çeşidine bağlıdır. Flor ve iyod bileşikleri polimerin yanması esnasında etkili olmadıkları için yanma geciktirici sistemlerde kullanılamazlar. Brom ve klorun karbon atomlarıyla düşük enerjili yapışma sağlandığında yanma sürecinde kullanılırlar. Özellikle gaz oluşturan serbest radikal mekanizmasıyla olduğu gibi ısıyı düşürülmüş polimer, gaz fazında kademeli bir dizi mekanizmasıyla yanmayı sürdürenken, H ve OH gibi çok aktif gruplar oluşturur. Halojenli alev geciktiriciler bu gruplar ile tepkimeye girerek, ayrışmayı engeller ve bu nedenle polimerin yanmasını da durdururlar (Kılınç, 2009).

1.6.4. Fosfor bazlı alev geciktiriciler

İnorganik ve organik fosfor bileşikleri bazı polimerlerde alev geciktiricilik özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır. Fosfor içerikli bileşikler uzun zamandır, polimerik malzemeler de alev geciktirici olarak kullanılmaktadır (Soloway,1998). Tercih edilen fosfor bileşiklerine örnek olarak kırmızı fosfor, fosfine, fosfine oksit, fosfit, fosfonat ve fosfatlar alev geciktirici olarak verilebilir (Green,1992). Fosfor içerikli alev geciktiriciler, polimerlere katkı maddesi olarak katılabilir. Polimer ana zincirine kimyasal olarak bağlanarak malzemeye alev geciktirici özellik de verebilir. Katı fazda fosfor içerikli alev geciktirici, ısıtma veya yanma sırasında polimer zincirinde ya da matrisinde bulunan oksijen ile reaksiyona girer. Polimerin alev ile etkileşmesi sonucu fosfor bileşikleri fosforik asit oluşturur ve bu moleküllerin dimerleşmesi sonucu su molekülleri açığa çıkar ve pirofosfat yapıları oluşur. Bu yapılar Şekil 1.15’de verilmiştir (Laoutid, 2009).



Şekil 1.15. Fosforik asidin kondenzasyonu sonucu oluşan pirofosfat yapısı

Açığa çıkan su sisteme, soğutucu bir etkide bulunur ve oluşan gaz fazını seyrelterek yanmaya sebep olan oksitleyicilerin derişimini azaltır. Fosforik asit ve pirofosfonik asit, ayrıca karbon-karbon çift bağı oluşum tepkimesini katalizleyerek aromatik yapıların oluşmasına yardımcı olur. Yüksek sıcaklıkta ortho- ve pirofosforik asit

metafosforik aside [(O)P(O)(OH)] ve bunların oligomerlerine [(PO₃H)_n] dönüşür. Fosforik asit ortamda bulunan karbon bileşiği ile tepkimeye girerek, polimer yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturur.

Kabaran alev geciktirici sistemleri genel anlamda amonyum polifosfat, penta eritrol ve melamin üçlemesinden oluşur. Genellikle kabarma için polioliol gibi bir karbonifik (kül formu), bir çözücü ya da fosfat gibi asit kaynağı ve nitrojen kaynağı gibi bir köpükleştiriciye (gaz oluşturucu) ihtiyaç duyulmaktadır. Mekanizma fosforik asidin fosfata ayrışmasını, polioliolun esterleşmesi ve bunun sonunda fosforik asidin çözülüp tekrar meydana gelmesini içerir. Yüksek amonyak içeriği ile amonyum polifosfat, kül yapısına üfleyerek külleşen yüzeyin gözenekli bir yapıya dönüşmesine yardım eder. Bu kül yüzeyi alev, ısı ve oksijene karşı korur. Aynı zamanda üç görevi de yapabilen kendi kabaran tek bir molekül içeren bileşikler de vardır. Bu tür kabaran kaplamalar çevrecidir. Çünkü kaplamalar halojen içermez ve tepkime sonucunda ayrılmış gazlar, su ve amonyaktan oluşur (Montaudo, 1983).

1.6.5. Bor içeren alev geciktiriciler

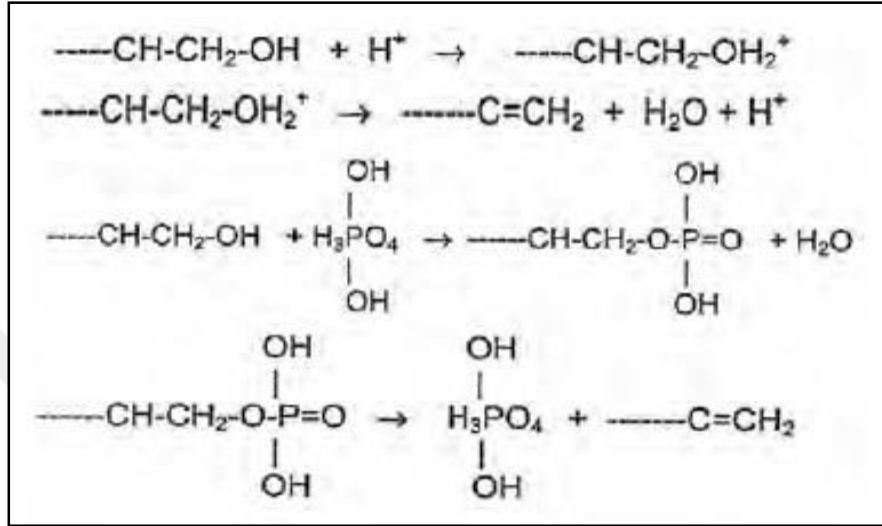
Borlu bileşikler alev geciktirici olarak kullanıldıklarında çevreye zarar vermezler ve toksik gaz oluşturmazlar. Borlu alev geciktiriciler polimer zincir oksidasyonu için bariyer görevi gören camsı koruma tabakasının oluşumuna neden olur. Yanan malzemenin üzerini oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmayı bastırırlar. Borlu bileşiklerin alev geciktirici olarak kullanımı konusunda çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (Aydın, 2016).

1.7. Kabaran Alev Geciktiricili Boyalar

Bütün alev geciktiriciler ısı ile karşılaştıkları andan şişme anına kadar fiziksel ve kimyasal süreçlerden geçerler. Şişme mekanizması ile yangına dayanıklı yalıtım köpük oluşturulur. Oluşan bu köpük katmanı, kabaran alev geciktiricili yakıt kaynağından ısıyı ve oksijeni izole etmek için kullanılır. Kabaran alev geciktiricili boyanın çalışma prensibini anlayabilmek için kimyasal ve fiziksel süreçlerin analizini yapmak gerekir.

1.7.1. Kabaran boyaların kimyasal mekanizması

Kabaran alev geciktiricili boyada yalıtım köpüğünün oluşumuyla ilgili öngörülen kimyasal mekanizma aşağı da verilmiştir. Bunun kimyası genellikle basit asit-katalizli, dehidrasyon tepkimeleri temel alınarak açıklanmıştır. Kabaran boyanın kimyasal mekanizması Şekil 1.16’da verilmiştir (Dasari, 2013).



Şekil 1.16. Kabaran alev geciktirici boyaların kimyasal mekanizması

Kabaran alev geciktiricili boya için Şekil 1.16’da verilen tepkimelerin ilk ikisi, asit ile katalizlenmiş depolimerizasyonu göstermektedir. Sonraki iki tepkime ise fosforik asit bulunduğu polimerin dehidrasyonunu göstermektedir. Her iki tepkime temelde aynı sonuca ulaşır. Yani, polimer zincirinin sonunda yer alan -OCH₂ grupları üretilir. Üretilen bu -OCH₂ grupları karbon açısından zengin kömür kalıntıları oluşturur. Fosfor bileşikleri etkinliği, pentaeritritol gibi polioliol fosfatlar oluşturmak üzere fosforile karbonifikler olmasıdır. Bu polioliol fosfatlar daha sonra kömür oluşturmak için parçalanırlar (Labuschagne, 2001).

1.7.2. Kabaran alev geciktirici boyaların çalışma mekanizması

Kabaran alev geciktirici maddeler, boyalar ve kaplamalarda kullanılmaktadır. Tipik formülasyonlarda, melamin gibi şişirici bir madde ile birlikte, amonyum polifosfat gibi bir fosfor bileşiği, kömür oluşturucu olarak da pentaeritritol gibi bir polioliol bulunur. Ayrıca bu girdileri bir arada tutacak bir bağlayıcı da vardır (Visakh, 2015).

Kabaran alev geciktiricili boyalar ısı ya da aleve maruz kaldıklarında şişerek kabarak kalınlaşıp kömürümsü bir köpük tabakası oluşturarak yüzeyin hava ısı ve ateş ile temasını engelleyip yanmayı yavaşlatan boyalardır. Ahşap, plastik veya çelik yüzeylerde uygulanabilirler. Boyada bağlayıcı erimeye başlar, böylece malzemeler de aktifleşmiş olur. Sistemde asit verecek hammadde bozularak polifosforik asit oluşturur.

Oluşan polifosforik asit poliölün hidroksil grupları ile tepkimeye girerek polifosforik asit ester oluşturur. Bu esterler bozularak bir karbon matrisi ve su oluştururlar ve daha sonra yeniden fosforik asit ortaya çıkarırlar. Sisteme gaz sağlayıcı malzeme de ısının etkisi ile bozularak yanıcı olmayan gazlar oluşturarak bu karbon matrisinin köpük haline gelmesini sağlar. Yüzeye yapışan ve sistemi koruyacak olan sert yalıtkan kömürümsü boya bariyeri oluşmuş olur.

Oluşan bu kömür tabakası çelikte ısıtma hızını azaltır ve dolayısıyla yük taşıma kapasitesini uzatır (Wilkie C. A, 2010).

Şişen boya mekanizma olarak ana girdileri;

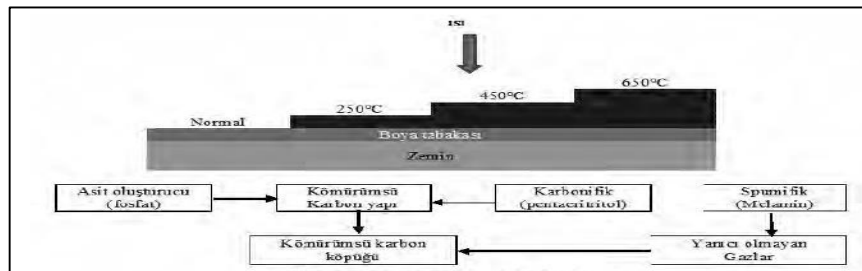
Organik bağlayıcı,

Karbonlaştırıcı madde; Genellikle penta, sorbitol, dipentaeritritol olabilir.

Kabarma katkısı; melamin ya da bir formaldehid türevi olabilir.

Bir asit katalist kaynağı; amonyum polifosfat ya da borik asit gibi.

Kömür tabakaya takviye katkıları; örneğin ince cam plakalar, kaolin, talk vb. olabilir. (Ash M, 1978).



Sıcaklık yükseldikçe, bağlayıcı erimeye başlayarak kabarma katkısı kontrollü genişlemeyi sağlayacak olan gazları çıkarır. Aynı zamanda, karbon zincirinin bozunması ve inorganik takviye edici malzemelerin eriyerek kaynaşması ortaya çıkar. Sonuç olarak katılaştırmış kömür oluşur (Wilkie C. A, 2010).

1.8. Literatürde Yanmaz Boya İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Kabaran alev geciktiricili kaplamalar pasif yangın önleyici malzemelerdir, yüksek binaların alt katmana ısı transferini azaltarak, yangının neden olduğu yapısal çöküşü önlemek için kullanılır. Puri ve arkadaşları uçucu kül, yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren malzeme (cenosferler) yangın testi sırasında şişen pasif yangın söndürme kaplamaların ısı koruma performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Kabaran alev geciktiricili kaplama formülasyonları (IFR) yaklaşık $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat boyunca test edildi. Sonuçlar, kaplamaların, substratlara iyi yapışan kararlı bir kömür tabakası oluşturduğunu göstermiştir. Kaplamaların TGA incelemesinde 10 phr cenosphere içeren kaplamanın % 39.30 oranında kalıntı ağırlığına sahip olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada cenosferlerin, kabaran kömür tabakasının oksidasyonu arttırdığı sonucuna varılmıştır (Puri, 2016).

Ullah ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yangın testi sırasında kaplamanın genişlemesi ve ısı izolasyonun da kaolin etkilerini incelemek üzere geliştirilen farklı formülasyonların sonuçlarını içermektedir. Kabaran kaplama formülasyonları (ICF'ler) $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat boyunca test edilmiştir. Sonuçlar, kaplamaların sağlam ve yüzey ile iyi bağlandığını göstermiştir. Kaplamalar, Alan emisyon taramalı elektron mikroskopisi (FESEM), X-ışını kırınımı (XRD), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), Termogravimetrik analiz (TGA) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılarak karakterize edilmiştir. Kömür tabakası morfolojisi, ateş testinden sonra kaplama üzerine FESEM, XRD ve FTIR, analizleri artık içinde karbon (grafit), bor fosfat, bor oksit, sasolit ve kaolinitin varlığını göstermiştir. TGA'da kontrol formülasyonununkinden % 49 daha fazla kalıntı gözlenmiştir. XPS analizi, 5 nolu formülasyondaki kalıntı tortusunun elemental bileşiminin % 41.80 karbon içeriğini göstermiştir. Hızlandırılmış testler (ASTM D 6695-03), hızlandırılmış kötü hava şartlarında, şartlandırma odasında elde edilen kaplamanın 90 gün boyunca kararlı olduğunu göstermiştir (Ullah, 2014).

Li ve arkadaşları Amonyum Polifosfat / Pentaeritritol / Melamin (APP-PER-MEL) içeren geleneksel olarak şişen alev geciktirici sisteme rutil tipi TiO_2 (r- TiO_2) veya anataz tipi TiO_2 (a- TiO_2) ekleyerek, silikon akrilat kaplamaların yangın direncini arttırmak için çalışmışlardır. APP-PER-MEL kaplamanın ateşe dayanıklılık ve ısı özelliklerine TiO_2 'in etkisi, büyük panel yöntemi ve termogravimetri (TG) kullanılarak araştırılmıştır. 30 phr rutil tipi TiO_2 'yi (73 dakika) içeren numunenin yangın direncinin sınırı, 30 phr anataz tipi TiO_2 (34 dakika) içeren numunenin yangın direnci limitinden çok daha uzun olduğunu tespit etmişlerdir (Li, 2015).

Gillani ve arkadaşları kömür tabakası morfolojisi ve yangın performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için amonyum polifosfat / genişletilebilir grafit / melamin (APP-EG-MEL) içeren geleneksel bir kabaran alev geciktiricili sisteme dolomit kil eklenişlerdir. Dolomit kilinin genişleyen grafit esaslı şişen alev geciktirici kaplamaların yangın direnci ve ısı özellikleri üzerindeki etkisi, Bunsen brülör yangın testi (ASTM 119) ve termal gravimetrik (TG) analiz ile incelemişlerdir. Bu çalışma, dolomitin, yangın testi sırasında şişen pasif ateşe dayanıklı kaplamaların ısı koruma performansı üzerindeki etkilerini tanımlamaktadır. Kabaran alev geciktiricili formülasyonundaki dolomit takviyesinin 1 saatlik yangın maruziyetinden sonra çelik yüzey sıcaklığını $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Dolomit kilinin yangın performansını artırabileceği ve konvansiyonel şişen yangın dirençli sistemlerde bir dolgu maddesi olarak kullanıldığı takdirde, yoğun ve sürekli karbon oluşumunu önemli ölçüde etkileyebileceği önerilmiştir (Gillani, 2016).

Aziz ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada fosfat, azot, baryum ve bor alev geciktiricileri içeren bir epoksi esaslı kabaran alev geciktiricili boya geliştirdi. Ürün, nano-titanyum oksit ile güçlendirildi ve daha sonra bir laboratuvar ölçekli hidrokarbon ateş testiyle performans için test edilmiştir. Kaplamanın termal analizi, azot ve oksijen ortamlarında TGA ve DTGA kullanılarak değerlendirilmiştir. Nano titanyum oksitin, kömür tabakası performansı üzerindeki etkilerini belirlemek için FESEM, EDS, FTIR, XRD ve XRF karakterizasyon teknikleri kullanılmıştır. Sonuçlar, ağırlıkça %4.5 oranında nano- TiO_2 takviyeli bir kaplamanın, geleneksel yangın geciktirici kaplamalara göre kaplamanın katısını(tortu) arttırdığını ve daha uzun ısı koruma süresi sağlandığını göstermiştir (Aziz, 2016).

Mustafa ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada mineral dolgu maddeleri (kil ve wollastonite) esaslı kabaran alev geciktiricilerin ısı korumasına, kömür genleşmesine, morfolojiye, bileşime, gaz halindeki ürüne ve kalan katıya karşı sinerjik etkilerini araştırmışlardır. Yangın testi, UL-1709 standartlarını kullanarak kaplamaların alt tabaka üzerindeki ısı yalıtım etkisini incelemek üzere oluşturulmuştur. Sonuçlar, kil ve wollastonitin sinerjik etkisini %5 oranında kullanarak, 1 saatlik ateş testinden sonra 113 ° C'de kaydedilen alt tabaka sıcaklığı ile yangın koruma, performansını arttırdığını göstermiştir. Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskopisi (FESEM) ve Yüksek Çözünürlüklü İletim Elektron Mikroskopisi (HRTEM), inorganik dolguların varlığı nedeniyle kar bütünlüğünü artıran kompakt kömür tabakası yapısının mikro grafiğini göstermiştir. X-ışını Kırınımı (XRD) ve Fourier Dönüşümü Kızıl Ötesi Spektroskopi (FTIR) sonuçları, IFRC'nin 800 °C'ye kadar ısıl performansını geliştiren, bor fosfat, silikon fosfat oksit, karbondaki alüminyum borat varlığını göstermiştir. X-Ray Fotoelektron Spektroskopisi (XPS), kil ve wollastonit'in ağırlıkça% 5'inin (IFRC-5) karbon içeriğini %50.67'ye yükselttiğini ve kaplamanın yangın direnci performansını zenginleştiren karbondaki oksijen içeriğini %27.73'e düşürdüğünü doğrulamıştır. Piroiliz-Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (Piroiliz GC-MS), IFRC-5 formülasyonlarının, IFRC-C'ye kıyasla daha az gaz halindeki ürün konsantrasyonunu salınım yaptığını göstermiştir. Termogravimetrik analiz (TGA), kaplamalar içinde ısıl stabilitesi en yüksek IFRC-5 formülasyonu olduğunu göstermiştir (Mustafa, 2017).

Fan ve arkadaşları inorganik dolguların su bazlı şişen kaplamaların alev geciktiricilik özelliklerini termogravimetri (TG), kılcal reometre, X-ışını kırınım spektroskopisi (XRD) ve yanma geciktirici gibi testler ile incelemiştir. Alev geciktirici test sonuçlarından, birden fazla dolgu maddesi (TiO₂/Si-Al toz/HNT'leri (8/1/1)) kullanan kaplamaların, şişme oranı 28.14 olarak bulunmuştur. Kaplama mükemmel yanma dayanım performans göstermiştir (3327 s). İnorganik dolgu maddesinin etkisinden kaynaklanan yüksek erime viskozitesinin, polimer zincirinin gevşemesini ve rotasyonunu hareketsizleştirdiği, kaplamaların şişme davranışlarını kısıtladığı bunun da daha düşük bir şişme oranı olan bir kömür tabakasının oluşumuna neden olduğu görülmüştür (Fan, 2013).

Wang ve arkadaşları çalışmalarında alev geciktirici nano-kaplamalar; nanometre katmanlı çift hidroksitler (nano-LDHs) ve nano titanyum dioksit (nano-TiO₂) içeren amonyum polifosfat-pentaeritritol-melamin (APP-PER-MEL) kaplamasına nano-katkılar ekleyerek hazırlanmışlardır. Nanoparçacıkların dispersiyon ve stabilitesi transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR) kullanılarak analiz edilmiştir. XRD ve SEM verileri, nano-LDH'lerin termal parçalanmasının, kömür tabakası ve karışık metal oksitlerin (Al₂O₃ ve MgAl₂O₄) ara katkılı bir nano yapının oluşumuna neden olduğunu göstermiştir. Alev geciktiricilerde nano kaplamaların kullanımı, hızlandırılmış yaşlandırma testi (500 saatlik) sonrasında dahi iyi bir etkileşime sahiptirler. Nano-TiO₂, mükemmel ultraviyole engelleme gücü sayesinde alev geciktirici kaplamanın yaşlanma özelliklerini büyük ölçüde artırabilir ve düzgün şekilde dağılmış nano partiküllerin oluşturduğu nano katmanlı iç içe geçmiş ağ yapısı, kaplamanın neme direncini artırabileceği görülmüştür (Wang, 2006).

Olcese ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, şişen kaplamaların farklı miktarlarda vitrözler'in kullanılmasının termal izolasyonun iyileştirdiği, oluşan tabakanın ve kömür tabakasının oluşumu sırasında açığa çıkan emisyon özellikleri açısından yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışmada, solvent bazlı, 2K epoksi ve su bazlı şişen boyaların sonuçlarını gösteren kapsamlı bir deneysel çalışma sunulmuştur. 350 °C ile 850 °C arasında farklı ergime sıcaklıklarına sahip vitröz karışımları, refrakter ürünlerle (1100 °C ve 1350 °C arasında ergime sıcaklıkları ile) birlikte test edilmiştir. Çok düşük ergime sıcaklıklarına sahip (350°C ila 550°C arası) ve düşük suda çözünürlüğe sahip kurşunsuz vitrözler geliştirilmiştir. Bu boyalar çelik levhalara uygulandıktan sonra test edildi. Cam reçinelerin kömür tabakanın performansı ve kararlılığı üzerindeki etkisi (kendi kendini söndüren katkılarla veya sönmüleyici katkı maddeleri olmadan kapsülleme yoluyla) incelenmiştir. Vitrözlerin, 500 mS/cm'den daha yüksek iletkenlik kazandırmak için alkalın iyonlarını serbest bırakarak şişen boya kompozisyonunu dengesiz hale getirdiği bulunmuştur (Olcese, 1999).

Mohammadi ve arkadaşları fonksiyonelleştirilmiş grafit nano plakalı partikül (FGNP) termal oksidasyon inhibitörü olarak tripolifosfat (TPP) ile modifiye edilmiştir. Klasik şişen yangın geciktirici (IFR) formülasyonlarının yangın geciktirici özelliklerinin geliştirilmesine yönelik melez nanopartiküller- tripolifosfat (AGNP-TPP) kullanılarak

etkileri araştırılmıştır. Hava ortamında termogravimetrik analiz (TGA), TPP varlığında FGNP'nin oksidasyon başlangıç sıcaklığının yaklaşık 125 °C arttığını göstermiştir. Klasik şişen yangın geciktirici kaplamalara ağırlıkça % 2 FGNP-TPP ilavesi, LOI değerini 27.1'den 32'ye yükselttiği görülmüştür. Ayrıca, bunsen brülör testinde, metal alt tabakaya yüksek yapışma özellik göstermiş ve çatlamayan bir kömür tabakası oluşturması yanma zamanını 43 dakikadan 94 dakikaya yükseltmiştir. Melez nanopartiküller, daha yüksek sıcaklıklarda (900-1000°C) IFR kaplamının ısı oksidasyon kararlılığını ve artan kömür tabakasının yapışabilirliğini, morfolojisini, kalıntı miktarını ve ateşten koruma özelliklerini arttırabileceği belirlenmiştir (Mohammadi, 2015).

Pan ve arkadaşları, Disiklopentadien (DCPD) modifiye doymamış poliester reçinesinde (UPR) şişen alev geciktirici (IFR) olarak amonyum polifosfat (APP) ve trifenil fosfat (TPP) ilave ederek yanma direncine etkilerini araştırmışlardır. Üretilen malzemelerin yanma ve ısı kararlılığı, oksijen indeksi (LOI) testi ve UL-94 dikey yanma testi, termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) kullanılarak araştırmışlardır. Alev geciktiricinin ağırlıkça %57.6'sı eklendiğinde, LOI değeri 20.9'dan 27.2'ye yükselmiş ve UL-94 yanma testinde bir V0 derecesi elde edilmiştir. Yangına karşı direnci 26-34 dakikaya ulaşmıştır. TGA ve DSC analizleri, APP ve TPP'nin eklenmesiyle verimin arttığını ve fosfor katkılarının ayrışmasıyla, fosforik asitlerin oluştuğunu ve bunun da yanma işlemi sırasında çapraz bağlanma tepkimesinin verimliliğini arttırdığını göstermiştir. Bu nedenle, doymamış polyester reçinesine APP ve TPP eklendiğinde, mükemmel bir alev geciktirici etki elde edilmiştir (Pan, 2012).

Atalay yapmış olduğu çalışmada, magnezyum borat uygun bir bağlayıcı ile birlikte boya formülasyonuna eklenmiştir. $Mg_2(B_2O_5)$ ve MgB_4O_7 formülasyonları ile boya yapısına katılan Magnezyum boratlar, çinko paneller üzerine uygulanıp test edildiğinde yüksek sıcaklığa dayanımını arttırmıştır. Limit oksijen indeks değerleri incelendiğinde kullanılan katkıların alev geciktiricilik sağladığı görülmüştür (Atalay, 2012).

Giudice ve arkadaşları klor içeren kaplamalar da çinko boratın alev geciktirici etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada, kaplamalarda antimon trioksit yerine çinkoborat kullanılmıştır. Limit oksijen indeksi ile bağlantılı olarak malzemelerin alev geciktirici özellik gösterdiği görülmüştür. Sonuç olarak, yüksek sıcaklıklarda serbest bırakılan hidrat su molekülü sayısı, büyük bir miktar da ısıyı absorbe edebildiğinden, bu durum alev direncini yükseltmiş ve ısı artmasını geciktirmiştir (Giudice, 2011).



2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1.Malzemeler

2.1.1. Kullanılan malzemelerin tanıtımı

Bu çalışmada kullanılan hammaddelerin ticari isimleri ve özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kabaran alev geciktirici boyaların hazırlanmasında kullanılan malzemeler

MALZEME	TİCARİ ADI VE FİRMA	ÖZELLİKLERİ
Winnapas ez3112, Bağlayıcı	Winnapas Ez3112,Wacker	Bozunma sıcaklığı, 275°C'nin üstündedir. Yoğunluk=1,92 g/cm ³ 25°C'de. 50 µm'den küçük partikül büyüklüğü oranı %95'tir.
Amonyumpolifosfat, (APP)	Phoscheck P42, ICL Chemical	Asit kaynağı olarak kullanılmıştır.
Melamin, (MEL)	İnto chemicals, IC Melamine	Kabartma katkısı olarak kullanılan melamin, 2,4,6-Triamino-s-triazin yapısına sahiptir.
Kaolin	Safir Madencilik, Kaolin	Su ve solvent bazlı boyalarda kullanılan yüksek beyazlıkta alüminyum silikat özellikli fonksiyonel dolgudur.
Titanyum Dioksit, (TiO ₂)	Dupont, R706	Parçacık boyutu: 0,36 µm,Yağ absorpsiyonu 13,9,Ph:8,2
Pentaeritritol, (PER)	İnto chemicals, ICMP 40	Pentaeritritol, kokusuz ve akıcı kristal bir tozdur.Erime noktası :260 °C
Genleşebilir Grafit, (GG)	Expandable Graphite ES100 C10, Amggraphite	Genişletilebilir grafit 200-230°C'de şişmeye kabarmaya başlar.
Dispersiyon Katkısı	Orotan N4045, Dow chemical	Polikarboksilik asit pigment dispersandır.Ph: 6,5-10 aralığında etkindir. Katı: %45. Viskozite(mPa.s at25°C): 850.
Köpük Kesici	Byk 023, Byk	Silikon içeren köpük kesicidir. Yoğunluk: 1g/ml. Katı: %18,5.
Köpük Kesici	Foamaster NDW, Basf	Brookfield Viskozitesi(mPa.s 25°C): 100-1000. Yoğunluk: 1g/ml.
Reoloji Katkısı	Cellose Qp30000, Dow Chemical	Hidroksi etil selüloz(HEC) genel kalınlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Viskozite: 1500 - 2400 Cp. Katı: % 95. Ph: 6-7
Teksanol	Texonal, Ata Kimya	Görünüş: Berrak sıvı. Yoğunluk (20°C'de) : 940 kg/m ³ . Parlama noktası >100°C
RM5000	Acrysol RM-5000 Rheology Modifier, Dow Chemical	Görünüş: Beyaz sıvı. Katı: %18,5 . Yoğunluk(g/ml): 1,045. Suda çözünür

2.2. Kabaran Boya Örneklerinin Hazırlanması

Kabaran alev geciktiricili boyalar hazırlanırken soğutma kazanı kullanılmıştır. Dispersiyon esnasında sürtünmeden dolayı açığa çıkan ısıyı azaltmak amacıyla kazanın etrafında soğutma suyu dolaştırılır. Boyanın oluşturulması aşamasında tasarlanan süreç sıralaması; öncelikle suyun alınması ve kalınlaştırıcı ajanlarla jel oluşturulması ve katkı maddelerinin içerisine sırayla ilave edilmesi şeklindedir. Seçilen karbonlaştırıcı katkı, dispersiyon katkısı dehidratasyon katkısı, kabartma katkısı, titanyum dioksit, kaolin sıralı şekilde düşük devirlerde(8-10 m/s) sisteme eklenmiş ve yüksek devirde (18-25 m/s) inorganik hammaddelerin dispersiyonu sağlanmaya çalışılmıştır.

Film homojenliği ve kararlılığını sağlamak için yüzey gerilim ajanları, yayılma ajanları ve köpük kesiciler kullanılmıştır. Daha sonra bıçak için çevresel hız 20 m/s olacak şekilde) boya karışımı 30 dakika dispersiyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra formüle sıvı katkı maddeleri eklenerek boyalar üretilmiştir. Boyaların üretimi için kullanılan yüksek devirli karıştırıcı ve dispersiyonun Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Yüksek devirli boya karıştırıcı cihazı ve dispersiyon aşaması

2.2.1. Üretilen kabaran alev geciktirici boya bileşimleri

Öncelikle hiçbir alev geciktirici içermeyen standart bir boya üretimi gerçekleştirilmiş ve kabaran alev geciktiricinin özellikleri, standart boya ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Klasik APP-PER-MEL kabaran alev geciktirici sistemi boyada %15-20-25 oranında (Y1-Y2-Y3) kullanılmıştır. Daha sonra formülasyonlarda APP yerine Bor Fosfat (Y4-Y5-Y6) ve Organofosfat (Y7-Y8-Y9) yine aynı oranlarda kullanılmıştır. Daha sonra yine aynı oranlarda APP-Bor Fosfat karışımı yine aynı oranlarda kullanılarak (Y10-Y11-Y12) reçeteler hazırlanmıştır.

Üretilen kabaran alev geciktirici boya örneklerinin karışım oranları Tablo 2.2’de verilmiştir (Fan, 2013).

Tablo 2.2. Kabaran alev geciktirici boya örneklerinin karışım oranları

Hammaddeler	Standart	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
Su	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
CELLOSİZE QP 30000	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
BYK 023	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Orotan N4045	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
APP	–	15	20	25	–	–	–	–	–	–	–	–	–
%50 APP + %50 BOR FOSFAT	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15	20	25
BOR FOSFAT	–	–	–	–	15	20	25	–	–	–	–	–	–
ORGANOFOSFAT	–	–	–	–	–	–	–	15	20	25	–	–	–
PER	–	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
MEL	–	7,5	7,5	7,5	7,5	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
EG	–	4,3	4,3	4,3	4,3	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
R706	20,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
KAOLİN	20,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
VA-VeoVa	30	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
PALAMİN-PLUS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
ANTIFOAM NOPCO	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
ACTICIDE FI (N)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,2
TEXANOL	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
RM5000	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

3. KARAKTERİZASYON

3.1 Limit Oksijen İndeks(LOI)

ASTM D 2863 sınırlayıcı oksijen derişiminin ölçülmesi, yanıcılık testlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. LOI testi ile numunenin yanması için gereken minimum oksijen oranının tespiti yapılır.

Malzemelerin yüksek LOI değerine sahip olması yanmazlık özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. LOI değeri 25'ten büyük olan malzemeler havada kendiliğinden sönmekte; 25'ten küçük olanlar ise kolayca yanmaktadırlar (Aydın, 2016).

Hazırlanan boya formülasyonlarına LOI testi yapılmıştır. Boya formülasyonları, 2 cm genişliğinde alüminyum panellere 2'şer kat uygulanarak üç gün süre ile kurumaya bırakılmıştır. Uygulanan panellere alev 5s aralıklarla toplamda 6'şar kez toplamda 30s süreyle tutulmuş uygulanan numunelerin alev alıp almadıkları gözlemlenmiştir. Şekil 3.1'de testlerde kullanılan LOI cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Limit oksijen test cihazı

3.2. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, bir maddenin yapısında artan sıcaklığa karşı meydana gelen dönüşümlerdeki ağırlık değişimlerini verir. Bir maddenin kütleinde oluşacak azalma, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak belirlenir. Isıl kararlılığın belirlenmesi TGA analizi ile üretilen boyaların ısıl kararlılığının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Numunelerin ısıl kararlılığı, mettler toledo TGA 2 star system marka cihaz ile 30 °C ila 600 °C sıcaklık aralığının da, 20 °C/dakikalık bir ısıtma hızında azot atmosferi altında 600 °C - 950°C arasında 20 °C/dakikalık artış hızıyla TGA ile ölçülmüştür. Termogravimetrik analiz cihazı Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2. Termogravimetrik analiz cihazı

3.3. Kül Fırını Testi

Kül fırını ile hazırlanan kaplamaların ısı karşısında kabarma oranlarını belirlemek için kullanılmıştır. Uygulanan paneller 650°C'lik sıcaklıkta bulunan kül fırınına atılarak 45 dakika bekletilerek paneller dışarı alınmıştır. Panellerde kabaran boyanın kabarma oranları ölçülmüştür.

3.4. Alev Dayanım Testi

Çelik paneller aseton ile temizlenip kurutulduktan sonra boyalar panellerin üzerine aplikatör yardımı ile istenilen kalınlıklarda uygulanmıştır. Alevin sıcaklığı, gaz akışının 30 psi basınç değerinde olduğu durumda 1050-1100°C olarak ölçülmüştür. Alevle plaka arasındaki mesafe tüm paneller için 2,54 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Alevin temas ettiği bölgenin arka tarafından termal ısı ölçer ile 50 cm uzaklıktan sıcaklık değerleri zamana karşı ölçülmüştür. Boya filmleri analizi için ASTM E84, E119 standartlarında belirtilen film kalınlıklarının çok yüksek olmasından dolayı Amerikan savunma sanayisinin çokça tercih ettiği MLT-STD 2031 test metodu kullanılmıştır. Kaplamaların 200-300 mikron arasında olması sağlanmıştır.

Uygulanan boyaların alev karşısında ısıya dayanımlarını belirlemek amacıyla oluşturulan deney düzeneği, uygulanan çelik paneller ve boş çelik panel Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3. Alev dayanım test düzeneğinin detayları ve uygulanan çelik paneller

3.5. Taramalı elektron mikroskobu

Hazırlanan kabaran alev geciktiricili boyaların morfolojik özelliklerini belirlemek amacıyla taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizi ile yapılmıştır. Bunun için (ZEISS EVO 40) marka cihaz kullanılmıştır. Kullanılan taramalı elektron mikroskobu Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskobu

3.6. Boyaya Uygulanan Mekanik Testler

Boya ve kaplama üretiminde yapılan en kritik testler arasında mekanik testler yer almaktadır. Boyaların inceliğine ve uygulanma şekline bu testler daha uygundur. Bu testlerde, sağlıklı sonuçlar için aynı testi sadece bir araştırmacının yapması gerekmektedir. Kırılma, çatlama ve herhangi bir deformasyonun oluşumu bu testlerle belirlenebilmektedir.

3.6.1. Mandrel eğilme testi

Bu test, panellere uygulanmış olan kaplamaların eğilme ve bükülmeye karşı davranışlarını incelemek amacıyla yapılmaktadır. Her bir kaplama formülasyonu ayrı bir panele uygulanarak test edilmiştir. Mandrel eğilme testi düzeneği Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Mandrel eğilme testi düzeneği

3.6.2. Darbe testi

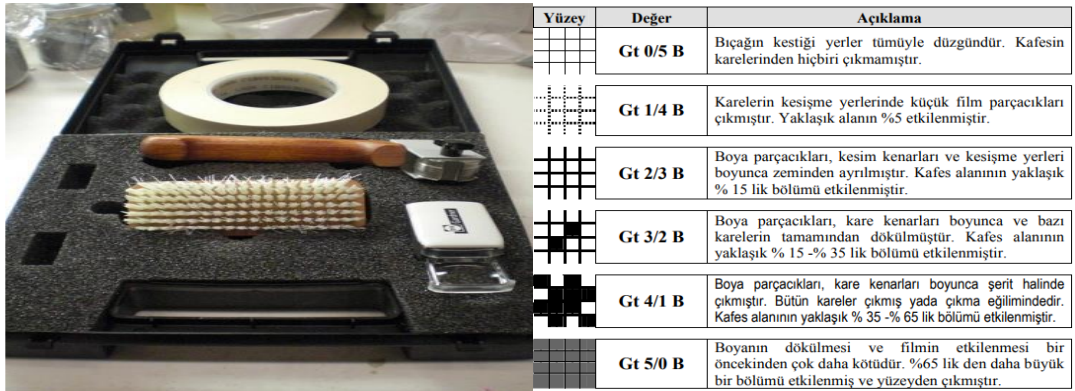
ASTM D2794 testi kaplamaların belirli bir ağırlıktaki (1 kg) darbeye kuru boya filminin gösterdiği dayanımını belirlemek için yapılır. Darbe testi test cihazı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Darbe testi test cihaz

3.6.3. Adezyon testi

Adezyon testi, kaplamanın bulunduğu yüzey üzerine çapraz kesme (cross-cut) aparatı aracılığıyla birbirini dik açıyla kesen eşit aralıklı paralel çizgilerin çizilip, ardından çizilen yerlere yapışkan bir bant yapıştırılarak bandın çekilmesi ile yapılır ve test sonucu yüzeyden kopan film miktarı ile belirlenir ve yapışma sınıfı belirlenir. Şekil 3.7'de Adezyon test cihazı ve yapışma sınıfının belirlendiği görsel verilmiştir.



Şekil 3.7. Adezyon test cihazı ve yapışma sınıfı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Alev Geciktiricili Boyaların Karakterizasyonu

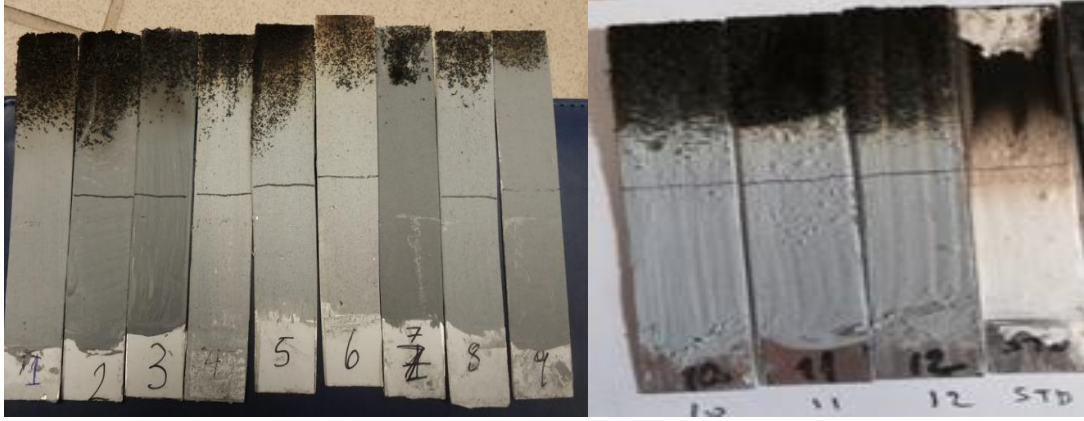
4.1.1. Limit oksijen indeksi

Hazırlanan boya formülasyonları alev dayanımlarını belirlemek amacıyla LOI testi yapılmıştır. Boya formülasyonları 2 cm genişliğinde alüminyum panellere boyalar 2'şer kat uygulanarak üç gün süre ile kurumaya bırakılmıştır. Uygulanan panellere alev 5s aralıklarla toplamda 5'er kez 25 s süreyle tutulmuş uygulanan numunelerin alev alıp almadıkları gözlemlenmiştir. Y5, numaralı formülasyonda 2 saniyelik yanma gözlemlenmiştir. Örneklerin LOI değerleri 30 ile 46 arasında bulunmuştur. En yüksek alev dayanımı Y12 formülasyonda gözlenmiş ve standart boyaya göre alev geciktiricilik değerinde %51,8 artış elde edilmiştir. Hazırlanan standart boyada ise LOI değeri %30,3 olarak belirlenmiş ve 20 saniyelik bir alev gözlenmiştir. Hazırlanan numunelerin LOI testi sonrası görüntüleri Şekil 4.1'de, LOI sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Aydın ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada bor bileşiklerinin alev dayanıklı olduklarını belirtmişlerdir. Farklı bir bor bileşiği magnezyum borat, silikon esaslı bağlayıcı kullanılan boyaya ilave edilmiş ve boyanın yanmazlık özellikleri geliştirilmiştir. LOI değeri %22 olan tahta parçasının, bu boya ile boyandığında LOI değerini %39'a çıktığı görülmüştür (Aydın, 2016).

Zhou ve arkadaşları epoksi bir bağlayıcı ile hazırlamış oldukları alev geciktirici kaplamalara bor fosfat ilave ederek yanmazlık özelliklerini incelemişlerdir. Bor fosfatın kaplamaya ilave bor fosfat katkılı kaplamanın bor fosfat içermeyen kaplamaya göre alev geciktiriciliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir (Zhou, 2014).

Yapılan tez çalışmasında da Bor Fosfat-APP karışımının sinerjik bir etkiyle sadece Bor Fosfat ve sadece APP kullanılan karışımdan daha iyi LOI değeri verdiği görülmüştür.



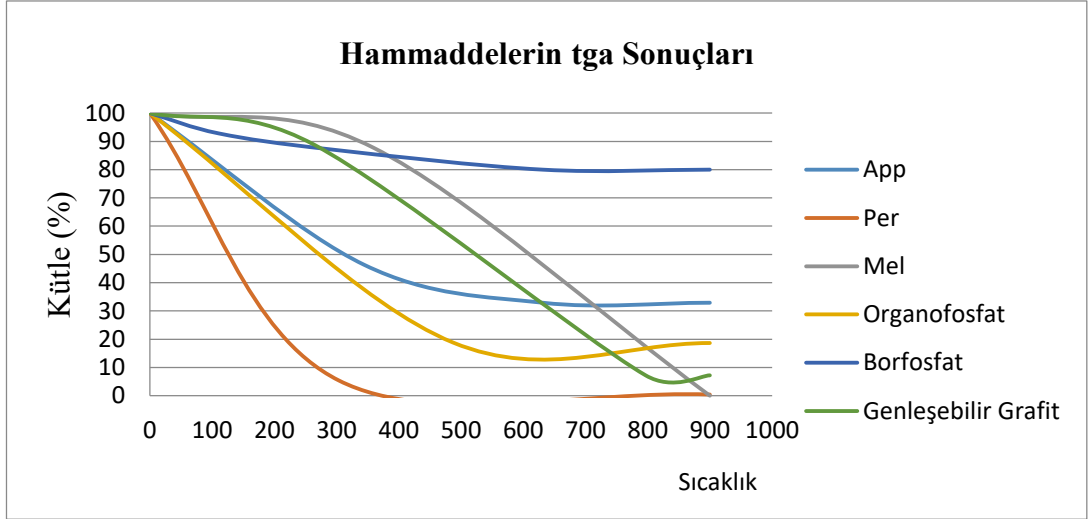
Şekil 4.1. Kabaran boya ların LOI testi sonrası görünümü

Tablo 4.1. Kabaran boya ların LOI sonuçları

Formül No	LOI (%O ₂)	YANMA SÜRESİ (sn)	YANMA MİKTARI (SINIR 50 cm)	LOI(%Artış)
Standart	30,3	20	Geçiyor	–
Y1	42	–	Geçiyor	38,6
Y2	42	–	Geçiyor	38,6
Y3	42	–	Geçiyor	38,6
Y4	42	–	Geçiyor	38,6
Y5	38	2	Geçiyor	25,4
Y6	42	–	Geçiyor	38,6
Y7	42	–	Geçiyor	38,6
Y8	42	–	Geçiyor	38,6
Y9	42	–	Geçiyor	38,6
Y10	42	–	Geçiyor	38,6
Y11	42	–	Geçiyor	38,6
Y12	46	–	Geçiyor	51,8

4.1.2. Kullanılan hammaddelerin TGA sonuçları

Yanma geciktirici mekanizma için kullanılan APP, PER, MEL, Organofosfat, Bor Fosfat ve Genleşebilir Grafit için TGA analizleri yapılmıştır. TGA'da elde edilen grafik Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. APP, PER, MEL, Organofosfat, Bor Fosfat, Genleşebilir Grafit için TGA eğrileri

Bu çalışmada APP, başlıca iki basamakta ısıl bozunmaya uğradığı görülmüştür. APP'nin birinci basamakta bozunma sıcaklığı 305°C'de ve maksimum bozunma sıcaklığı 369°C'de gözlemlenmiştir. Birincil bozunma basamağında amonyak ve su ayrılmakta, yoğunlaşmış polifosforik asit oluşmaktadır. İkinci basamakta bozunma 560°C'de başlayan maksimum bozunma sıcaklığı 678,8°C'de tamamlanmış olup, polifosforik asit bozunarak dehidrasyona uğraması sonucu fosfor pentaoksit oluşmaktadır. APP'nin kalıntı yüzdesi yaklaşık % 32,9' dur.

Aydoğan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, APP, başlıca iki basamakta ısıl bozunmaya uğradığını belirlemişlerdir. Yaklaşık olarak 285,0°C'de sıcaklıkta başlayan bozunmanın, maksimum bozunma sıcaklığı 363,7 °C'de olduğunu belirlemişlerdir. İkincil basamakta ise 550 °C civarı başlayan maksimum bozunma sıcaklığının 681,3 °C'de olduğu belirlenmiştir. APP'nin kalan kütlesi yaklaşık % 30,2 dir (Aydoğan, 2015).

PER, 196°C'de bozunmaya başlarken yaklaşık 405°C'de tamamen bozunmaktadır. Samyn ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da PER'in 218°C'de bozunmaya başladığı ve 398°C'de tamamen bozunduğu belirtilmiştir (Samyn, 1998).

Melamin 280,6 °C'de bozunmaya başlamış ve 402 °C'de bozunmasını tamamlamıştır. Wang ve arkadaşları Melaminin bozunma sıcaklığını 300°C-395°C olarak

Pentaeritritolün ise 266–382 °C'de ayrışmaya başladığını belirlemişlerdir (Wang, 2006).

Organofosfat için bozunma sıcaklığı 398°C ile 556°C arasındadır. Maksimum kütle kaybı 487 °C'de % 81.2 olarak gözlenmiştir. Realinho ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada organofosfat iki aşamada bozunmaktadır. İlk ve büyük bozunma, 340°C ile 550°C arasında, maksimum kütle kaybı 481°C'de % 86 olarak görülmüştür. İkinci bozunma da ise, bozunma 850 °C ile 1000 °C arasında kalıntı % 1.8 olarak görülmüştür (Realinho, 2018).

Bor fosfat için kütle kaybı farklı adımlarda olmaktadır. Bor fosfat 53,8°C'de su ayrışmaya başlar ve 800 °C'de kalan katı miktarı % 80.1'dir. Yargıcının yaptığı çalışmada, TGA analizlerine göre, bor fosfatın kütle kayıpları dört adımda sırasıyla % 6, % 3, % 2 ve % 2'dir. Bor Fosfat 100 °C sıcaklıkta ayrışmaya başlar, kristal su kaybı olur ve sonuçta 800°C'de kalan katı oranı % 87'dir (Yargıcı, 2015).

Genleşebilir grafit bozunmaya başladığı sıcaklık 199,6°C'dir. 600°C'nin üzerinde tekrar bozunmaya başlayarak 866,57°C' de tamamlanır ve kalıntı kütlesi yaklaşık %7,2'dir. Li ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada genleşebilir grafitin bozunma sıcaklığının 180°C civarında olduğunu tespit etmişlerdir. Bozunma hızının, 400°C'den sonra yavaşladığını ve 600°C'ye kadar değişim olmadığını gözlemlemişlerdir. Grafit hegzagonal karbon yapıya sahip olması nedeniyle gazların dağılıma imkan tanıdığını da belirtmişlerdir. Daha yüksek sıcaklıklarda, bu tabakalaşmış yapıdan gaz molekülleri çıkarak bir genişleme sağlayarak kabarmaya yardımcı olurlar (Li, 2007).

4.1.3. Alev geciktirici boya numunelerinin TGA analizleri

Alev Geciktirici boya numunelerinin geliştirilmiş olan ısı kararlılıkları TGA ile incelenmiştir. Termogravimetrik analiz test sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Standart olarak hazırlanan boyanın 350°C'de bozunduğu görülmüştür. Standart boya için TGA eğrisi Şekil 4.3'de verilmiştir. APP ile hazırlanan (Y1, Y2, Y3) formülasyonlarında APP oranı arttıkça bozunma sıcaklığı standart formülasyona göre artış göstermiştir. Bu sıcaklıkta katı miktarı düşüşü net olarak görülmüştür. Katı miktarındaki bu hızlı azalma bozunmanın bu sıcaklıkta olduğunu netleştirilmiştir.

466°C’de bağlayıcıdaki bağların kopması tamamlanmıştır. APP oranının artmasıyla boyaların bozunma sıcaklığı da doğru orantılı olarak artmaktadır. APP ile hazırlanan boyaların TGA sonuçları Tablo 4.2’de ve TGA eğrileri Şekil 4.4’de verilmiştir.

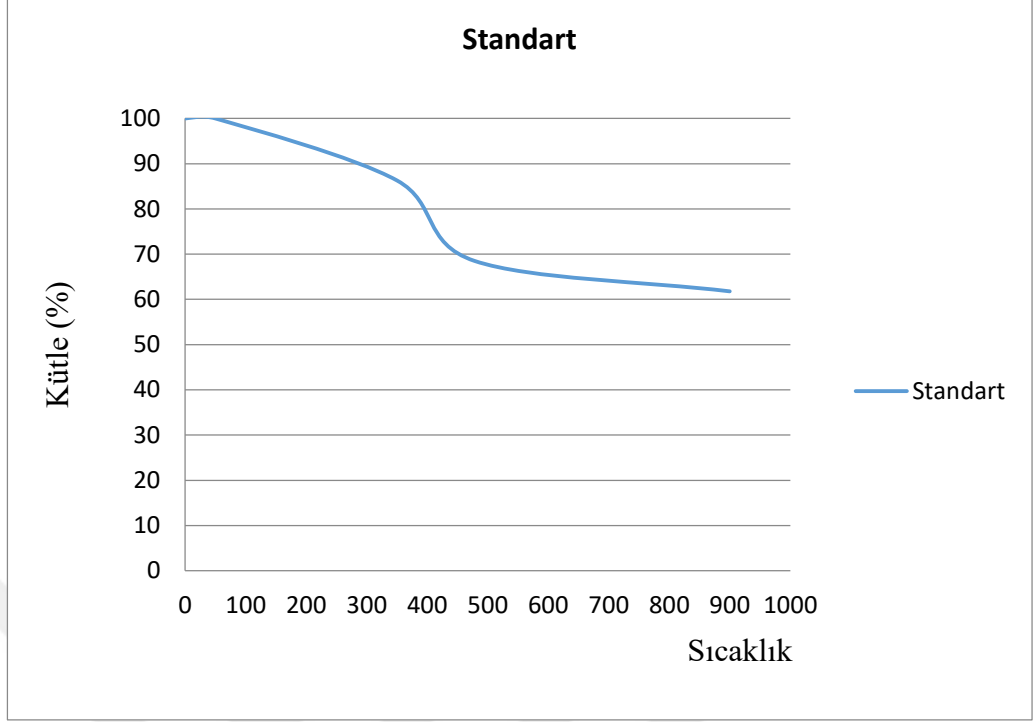
Bor fosfat ile hazırlanan (Y4, Y5, Y6) formülasyonlarında bor fosfatın artışına bağlı olarak orantılı olarak artış göstermiştir. Bor Fosfatlı karışımlarda ilk bozunma sıcaklığı 147-157 °C arasında gerçekleşmiştir. Nihai katıda kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bor fosfat için TGA eğrileri Şekil 4.5’de verilmiştir.

Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6 formülasyonlarında katı miktarları birbirlerine yakın değerdedir. Organofosfat ile hazırlanan (Y7, Y8, Y9) formülasyonlarında ise nihai katı oranlarının en düşük olmasına rağmen bozunma sıcaklığı en yüksek değerde olan formülasyonlardır. Bu değişim reaksiyonunun sıcaklık değişimi ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Organofosfat için TGA eğrileri ise Şekil 4.6’da verilmiştir.

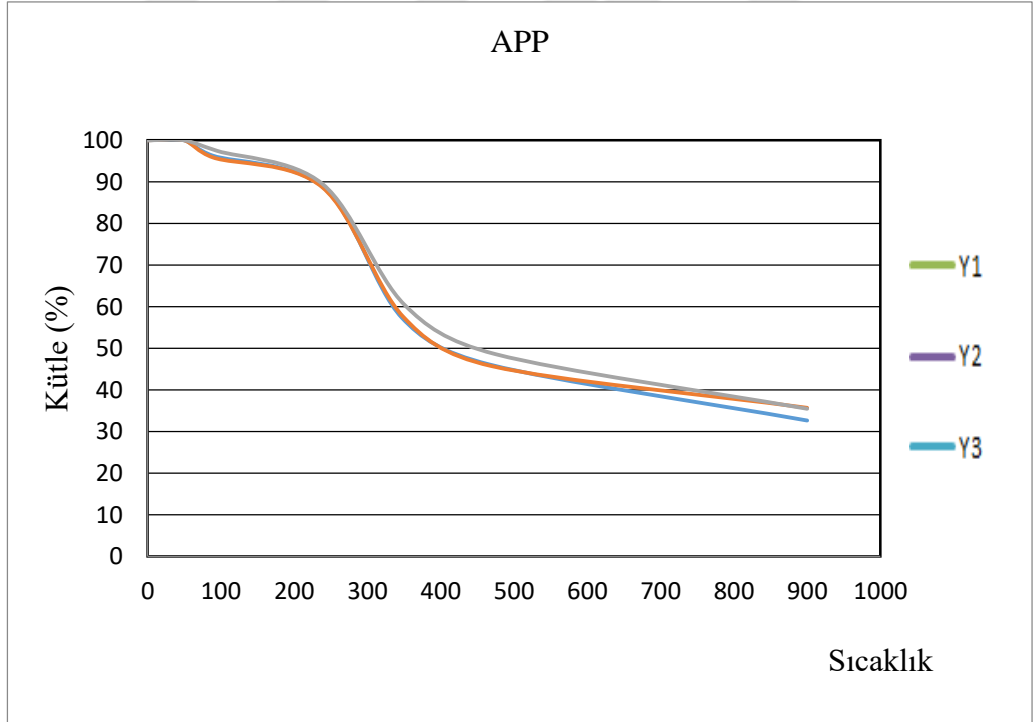
%50 APP ve %50 Bor Fosfat ile hazırlanan (Y10, Y11, Y12) formülasyonlarında ise standart boya dışındaki oluşturulan formülasyonlara göre, katı miktarının ve bozunma sıcaklığının en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Buda yanma sonrasında kabaran boya formüllerinin yüzeyde daha fazla miktarda katı madde kalacağını gösterir ve yüzeye ulaşacak ısıyı daha fazla geciktirebilecektir. APP-Bor Fosfat içeren boyaların TGA eğrileri ise Şekil 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kabaran alev geciktirici boya ve standart boyanın TGA sonuçları

Boya Formül No	Pik Sıcaklığı °C	% Katı	Pik Sıcaklığı °C	% Katı	Pik Sıcaklığı °C	% Katı	Nihai Katı
Standart	–	–	350	86,3	478,3	68,5	61,8
Y1	240	88,6	346,7	57,4	466,3	46,1	32,7
Y2	238,3	88,7	348,7	57,6	469,7	45,7	35,7
Y3	238,7	89,5	350,7	60,4	474,7	48,6	35,5
Y4	150	93	346	65,2	470	50,4	33,2
Y5	147	81,6	346	60,7	424	41,6	33,3
Y6	157	85,3	347,6	61,5	449	41,9	34,6
Y7	174,7	93,8	324,6	58,2	476	23,2	16,8
Y8	181	93,8	319,5	55,7	446,3	21,2	13,5
Y9	176,3	92,7	350,4	57,3	481	19,9	11,2
Y10	177,7	96,4	349,7	75,6	480,3	51,1	36,2
Y11	180	94,4	351	75,1	478	52,9	37
Y12	188,7	93,7	351	74,6	472,3	54,5	36,4



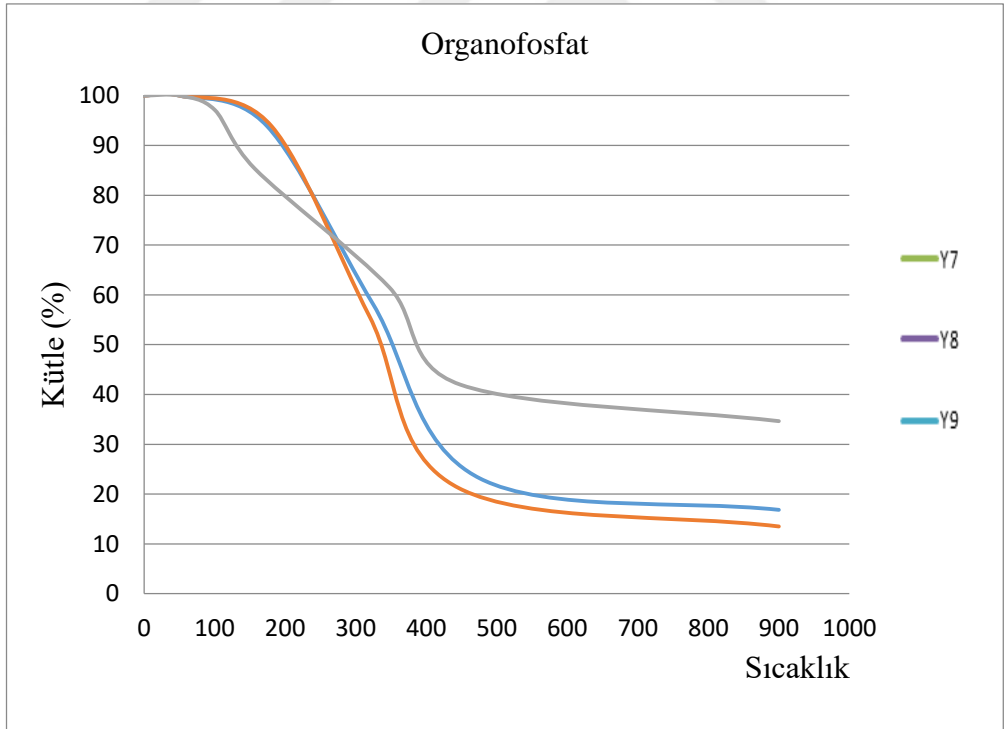
Şekil 4.3. Standart boyanın TGA grafiği



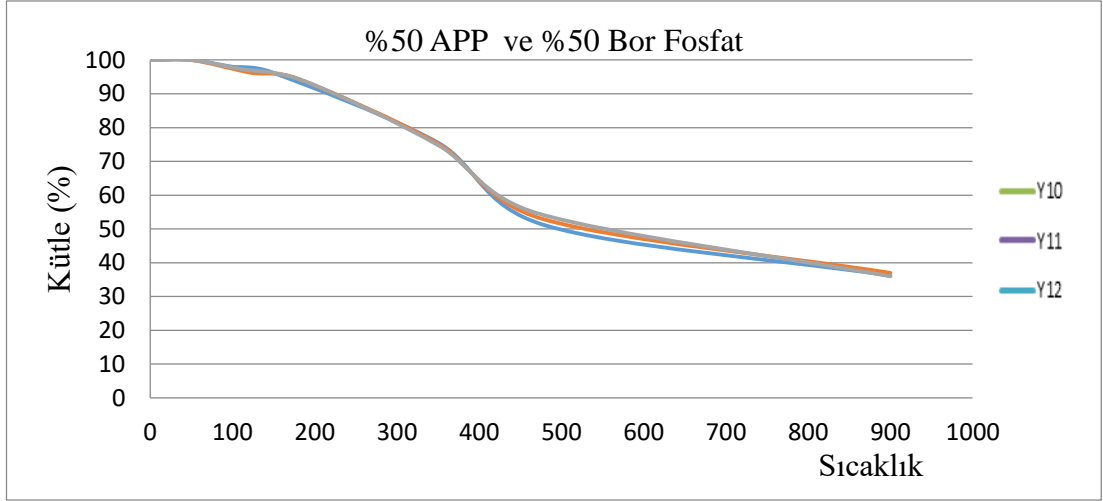
Şekil 4.4. APP içeren kabaran alev geciktirici boyaların TGA grafikleri



Şekil 4.5. Bor Fosfat içeren alev geciktirici boyaların TGA grafikleri



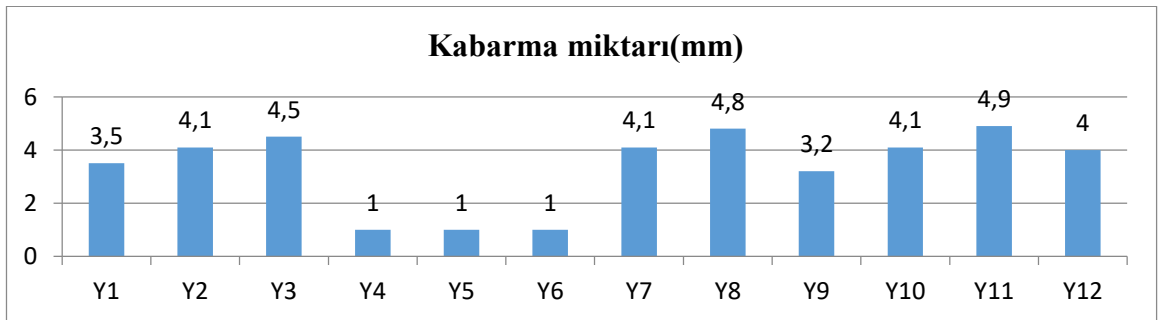
Şekil 4.6. Organofosfat içeren kabaran alev geciktirici boyaların TGA grafikleri



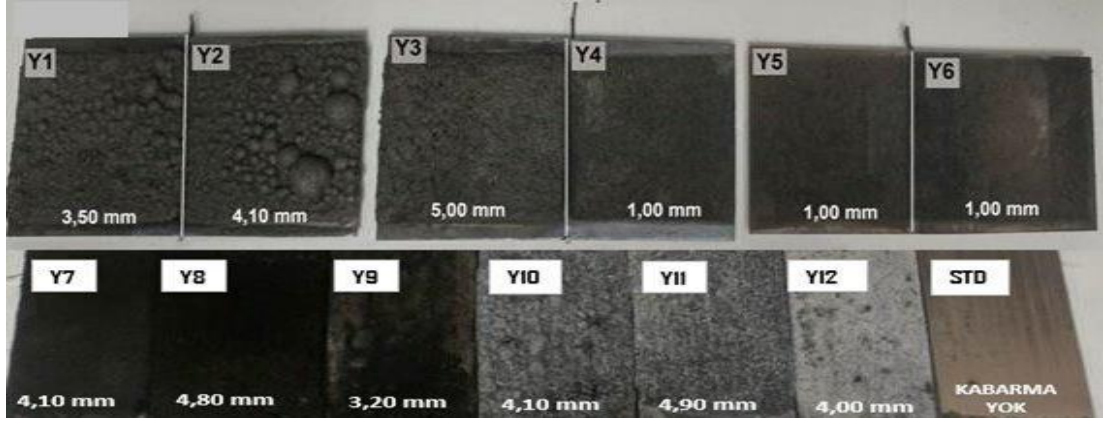
Şekil 4.7. %50 APP ve %50 Bor Fosfat içeren kabaran alev geciktirici boyaların TGA grafiği

4.1.4 Kül fırını testi

Uygulanan panellerin yangın esnasında açığa çıkacak ısı karşısında ne gibi davranış sağlayacağını öngörmek için kül fırını testi yapılmıştır. APP oranı arttıkça Y1, Y2, Y3 formülasyonlarında olduğu gibi kabarma oranı artmaktadır. Bor fosfat ile hazırlanan kaplamalar Y4, Y5, Y6 formülasyonlarında bor fosfat oranının artmasına rağmen şişme oranında anlamlı bir değişim görülmemiştir. Organofosfat miktarı arttıkça %20 oranına kadar kabarma oranı artmış ancak bir noktadan sonra kabarma oranı azalmıştır. Bor fosfat ve APP karışımından oluşan karışımın formüldeki oranının artmasıyla Y10, Y11 formülasyonlarında kabarma oranı artmış ancak karışım oranı belli bir noktadan sonra artmasına karşın kabarma miktarı azalmıştır. En uygun kabarma % 20'de elde edilmiştir. Kül fırınından çıkarılan metal panellere uygulanan kabaran alev geciktirici boyaların kabarma miktarı Şekil 4.8'de ve görselleri de Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.8. Kabaran alev geciktiricili boyaların kabarma miktarı

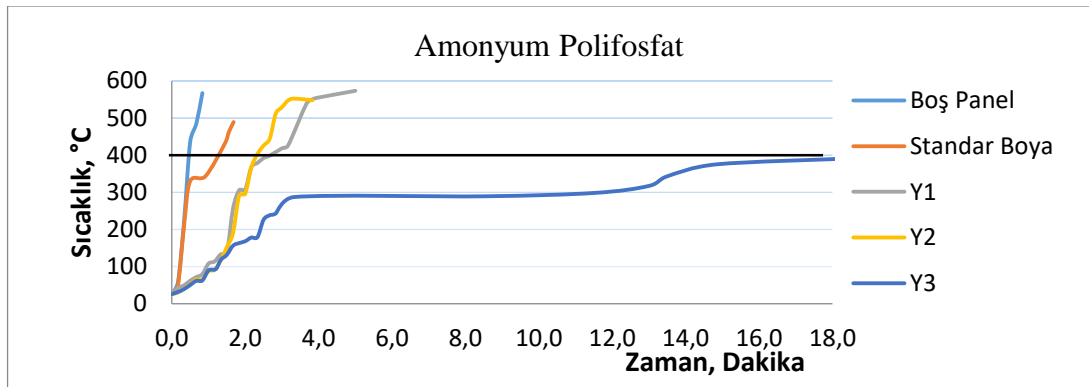


Şekil 4.9. Kül Fırınından çıkarılan kabaran alev geciktiricili boya uygulanmış metal paneller

4.1.5. Alev dayanım test sonuçları

Çelik panellere uygulanan boyaların alev dayanım sürelerini belirlemek amacıyla çelik için kritik sıcaklık olan 400°C sıcaklık değeri belirlenmiştir (Jimenez, 2006). Bu nedenle yapılan değerlendirmelerde kritik sıcaklık olarak 400°C temel olarak alınmıştır.

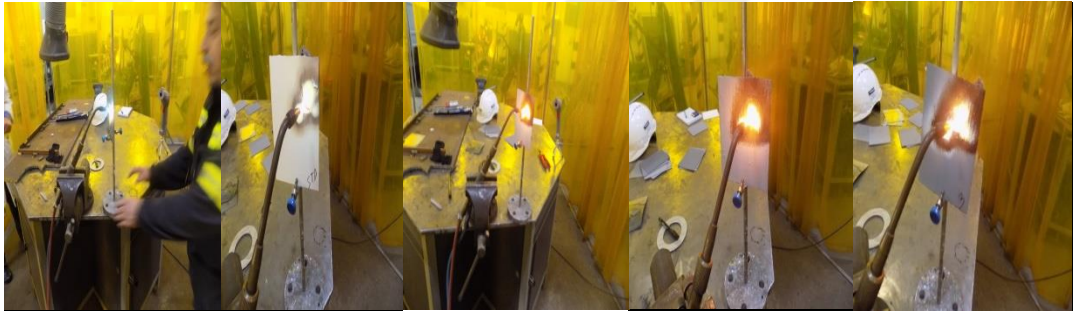
Y1, Y2, Y3 formülasyonları birbiriyle kıyaslandığında APP oranının artışına bağlı olarak alev dayanım süresinin arttığı belirlenmiştir. APP içeren formülasyonların alev karşısında dayanımları, zamana karşı grafikleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde %25 APP içeren karışımın 18 dakikadan sonra 400°C'ye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.10. Boş panel, Standart Boya, APP içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı

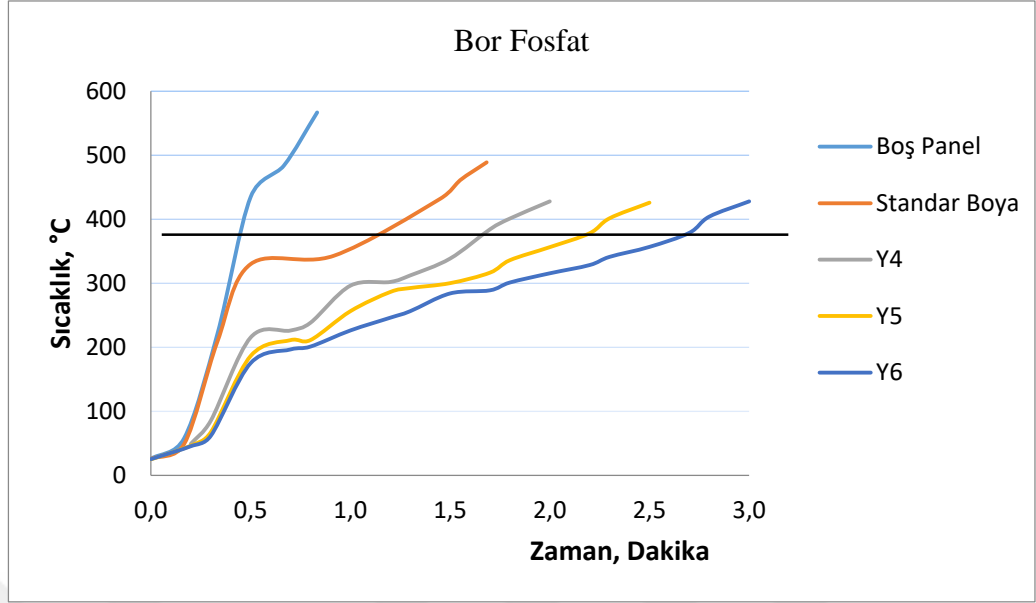
Kahraman tarafından yapılan çalışmada APP oranının artmasıyla alev yalıtım özelliklerinin geliştiğini belirlemiştir. Sırasıyla birleşim oranları AG4 için APP:DPER:MEL (1:1:1), AG5 için (2:1:1) ve AG6 için (3:1:1) oranları denenmiştir. Alev yalıtım özelliği en yüksek olan formülasyon olarak AG6 formülasyonu olduğu bulunmuştur. AG4 ve AG5 formülasyonları ilk 50 saniyede 350°C'ye ulaşırken AG6 formülasyonları ile yapılan boyalar 152.saniyede 350°C'ye ulaşmaktadır. Yani en verimli formülasyon, APP:DPER:MEL (3:1:1) oranına sahip AG6 formülasyonu ile elde edilmiştir (Kahraman, 2014).

Sonuç olarak APP oranının artmasıyla kabaran boyanın ısı yalıtım özelliği gelişmiştir. Buda yapılan çalışmayı desteklemektedir. APP içeren kabaran boya formülasyonlarının alev karşısındaki görselleri Şekil 4.11'de verilmiştir.

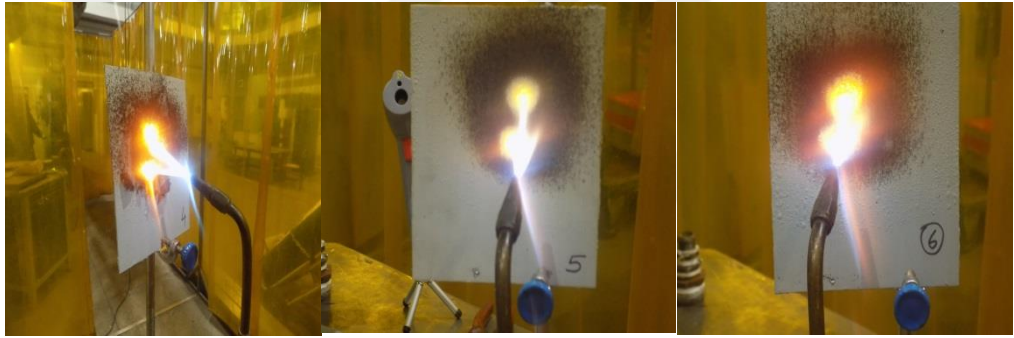


Şekil 4.11. Boş panel, standart, Y1, Y2, Y3 alev karşısında kabaran boyalar

Y4, Y5, Y6 formülasyonlarında ise bor fosfat oranı ile doğru orantılı olarak alev dayanım süresi artmıştır. Zhou ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada bor fosfat ilave edilen kaplamaların bor fosfat içermeyen formülasyonlara göre bor fosfat oranı arttıkça ısı salınım hızlarının azaldığını gözlemlemiştir (Zhou,2014). Yapılan çalışmalarda da bu durum gözlenmiştir. Ancak Bor fosfat içeren formülasyonlar alev karşısında 1,5-2,5 dakikada arasında 400 °C'ye ulaşmaktadır. Bor Fosfat içeren formülasyonların alev karşısında dayanımları zamana karşı grafiği Şekil 4.12'de ve görselleri Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.12. APP içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı

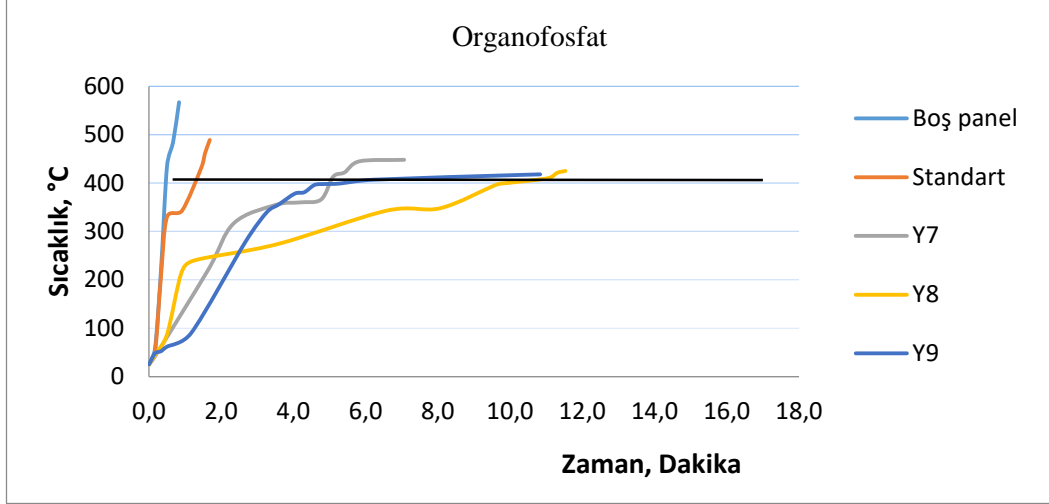


Şekil 4.13. Y4, Y5, Y6 Alev karşısında kabaran boyalar

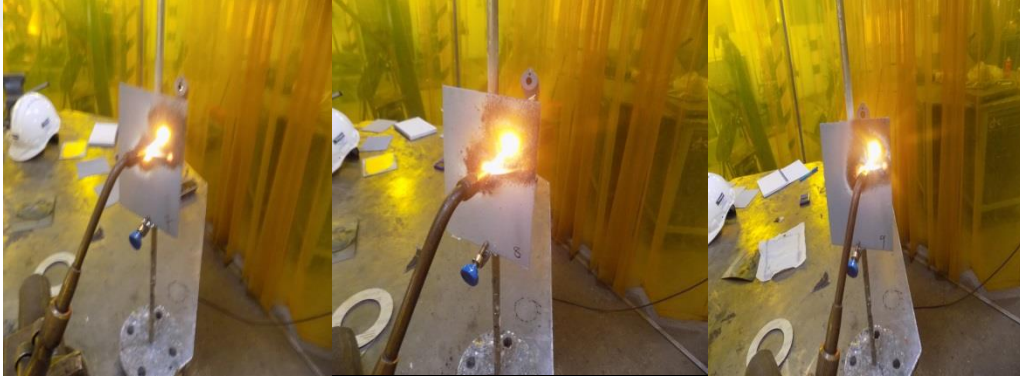
Y7, Y8, Y9 formülasyonlarına bakıldığında ise organofosfat oranı arttıkça alev dayanım süresi artmaktadır.

Batistella ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada poliamid6'ya %10 oranında Organofosfatın eklenmesiyle ısı salınım hızı 1352 (kW/m²)'den 551(kW/m²)'ye gerilediğini gözlemlemişlerdir. Organofosfatın %20 eklendiğinde ise bu değer 320 (kW/m²)'ye düşmüştür (Batitella, 2018).

Yani organofosfat oranının artmasıyla ısı salınım hızı düşmektedir. Organofosfat içeren kabaran boya formülasyonlarının 400 °C sıcaklığa 6-10 dakikada arasında ulaşmaktadır. Zamana karşı sıcaklık değişim grafiği Şekil 4.14'de ve görselleri Şekil 4.15'de verilmiştir.

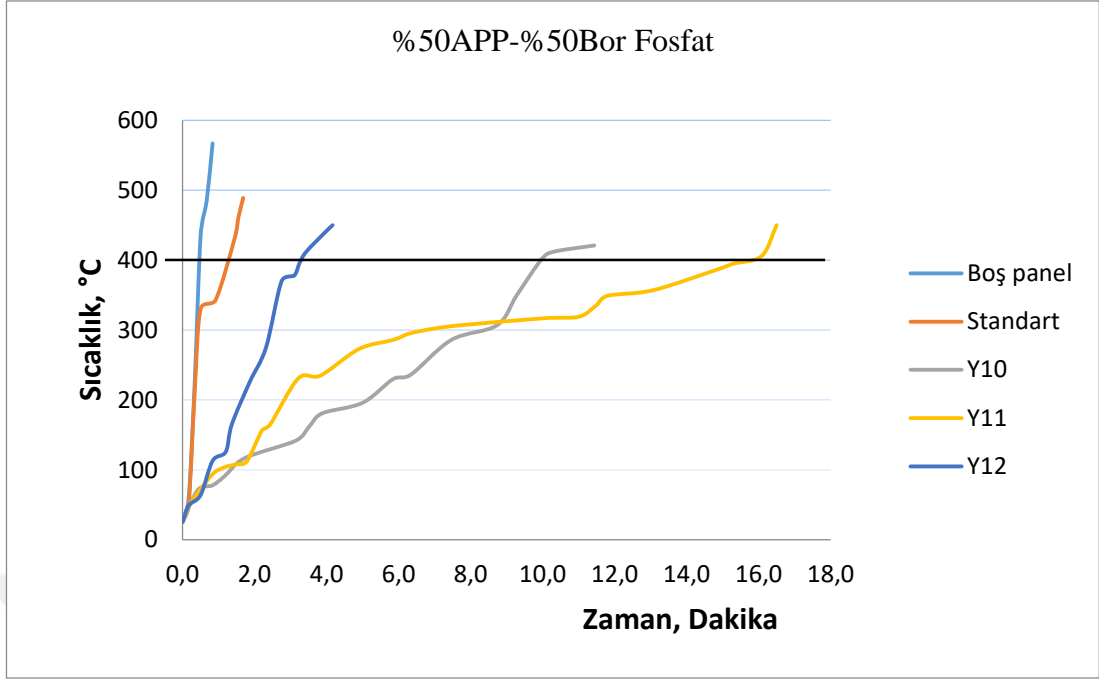


Şekil 4.14. Organofosfat içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı



Şekil 4.15. Y7, Y8, Y9 Alev karşısında kabaran boyalar

Y10, Y11 formülasyonlarıda alev dayanım süresi doğru orantılı artarken Y12 formülasyonunda alev dayanım süresi azalmaktadır. Y10 ve Y11 formülasyonlarının muadili olan Y1, Y2 formülasyonlarından alev dayanım süresi daha fazladır. Bunun sebebi Amonyum polifosfat ve bor fosfatın sinerjik bir etki göstermesidir (Jimenez, 2006). %50APP ve %50 Bor fosfat içeren kabaran boya formülasyonlarının zamana karşı sıcaklık değişim grafiği Şekil 4.16'da, alev karşısındaki görselleri de şekil 4.17'de verilmiştir.



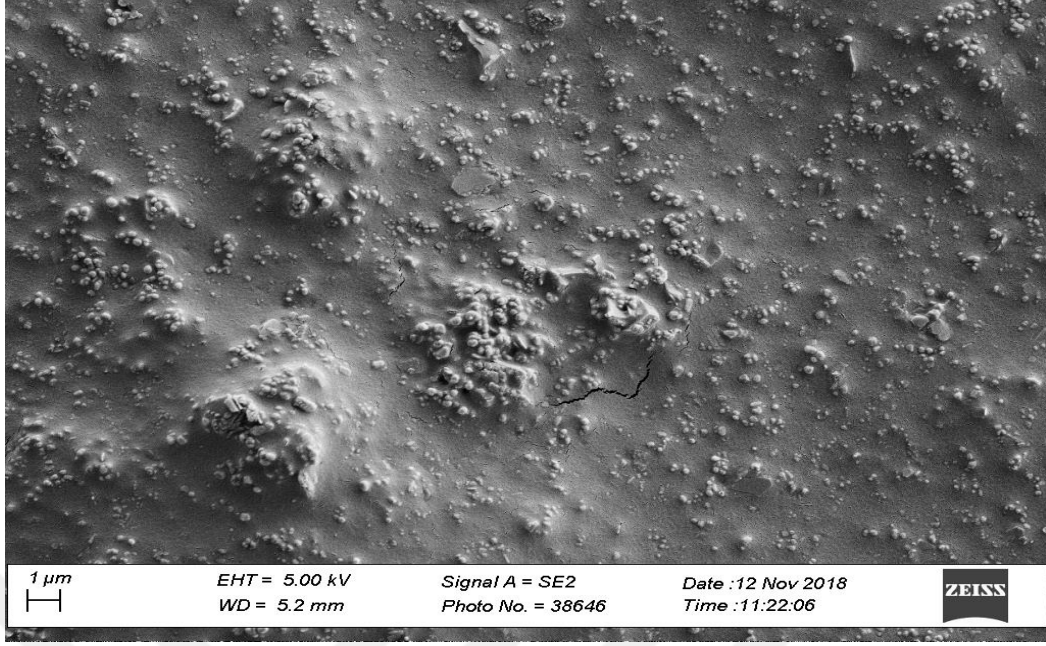
Şekil 4.16 % 50APP ve %50 Bor Fosfat içeren kabaran alev geciktiricili boyaların alev dayanımı



Şekil 4.17. Y10, Y11, Y12 Alev karşısında kabaran boyalar

4.1.6 Taramalı elektron mikroskop sonuçları

Standart boyanın morfolojik yapısı SEM analizi ile incelenmiş ve SEM görüntüleri Şekil 4.18’de verilmiştir. SEM görüntüsünde standart boyada katkıların boyada topaklanmaya neden olduğu görülmektedir.

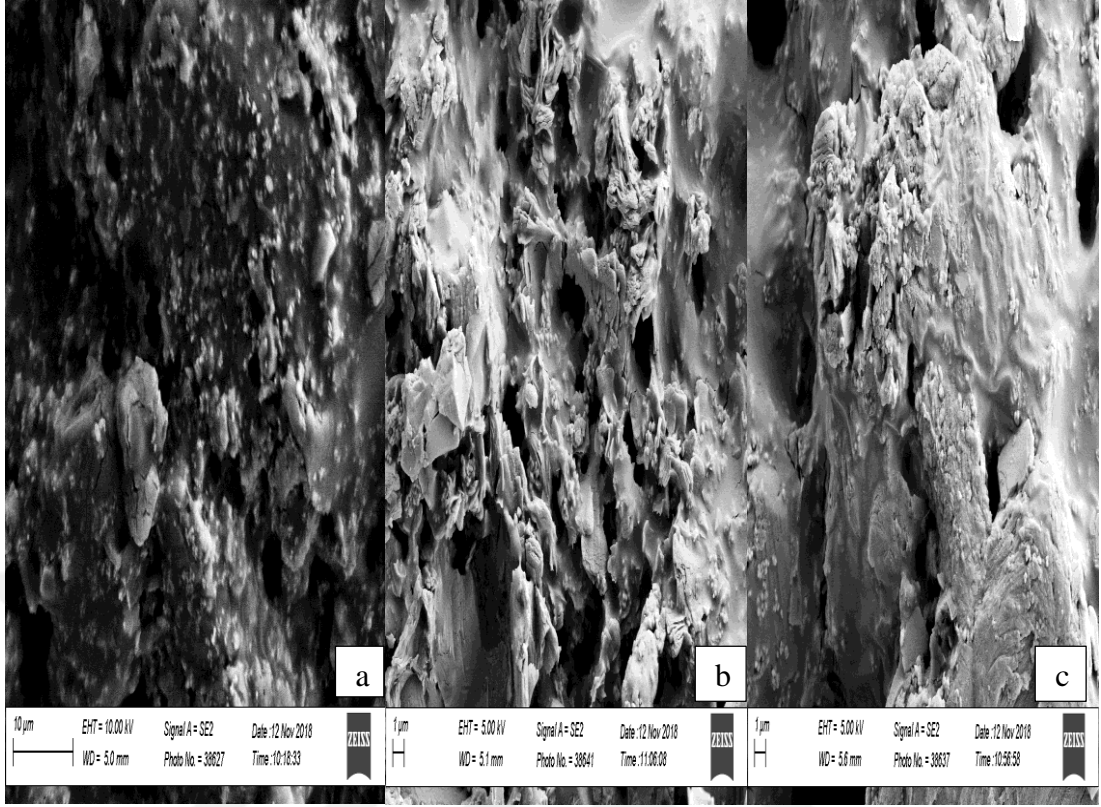


Şekil 4.18. Standart boyanın SEM görüntüsü

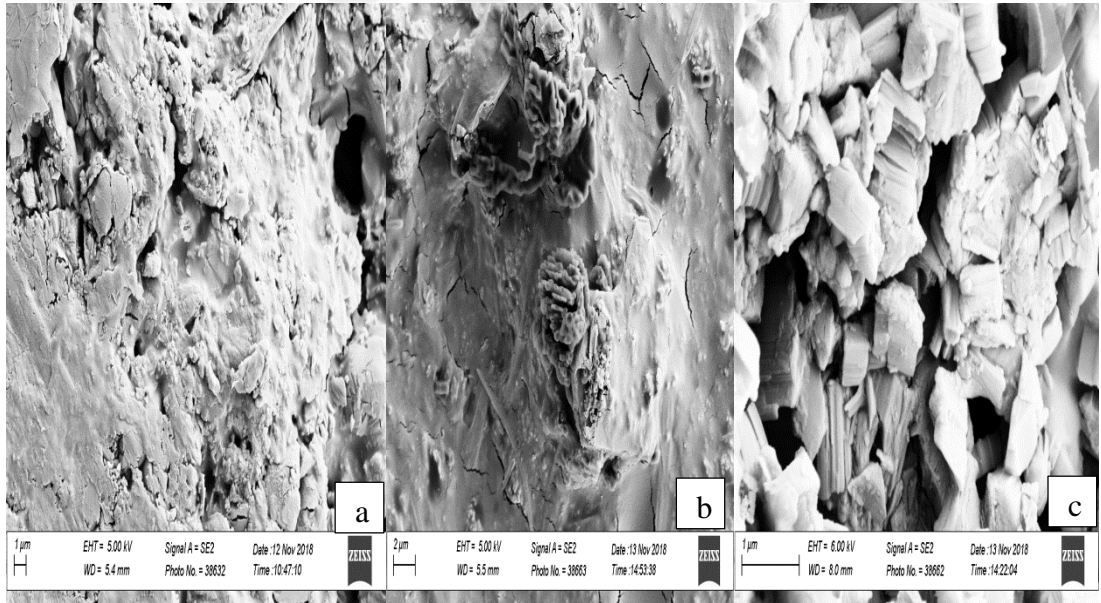
Y1-Y2-Y3 görüntüleri APP-PER-MEL-EG molekülleri arasındaki sinerjik etkiyi göstermektedir. Standart boya yüzeyi tamamen doldurulmuş ve yüzeyde gözenekli bir yapı oluşturulmuştur. Gözenek büyüklükleri artan kabaran alev geciktirici oranıyla artmaktadır.

Mustafa ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada aglomeratlar ile katı-katı, katı-sıvı, katı gaz arasındaki sınırlar bozunma sıcaklığını yükselttiği belirtilmiştir. Ayrıca çelik yüzey üzerinde bulunan baloncukların ve kabarmaların alevin çelik yüzeye ulaşmasını engellediği gözlenmiştir (Mustafa, 2017).

Bor Fosfat-PER-MEL-EG' i içeren Y4, Y5, Y6 formülasyonlarının SEM görüntülerinde çelik yüzey tamamen örtmüş ve karışımdaki maddeler arasında tam bir sinerjik etki sağlanmıştır. Başlangıçta amorf bir yapı gibi görünmesine rağmen madde miktarı arttıkça amorf dağılım, yüzeyi tamamen kaplamış ve kübik kristal yapılar oluşturmuştur. Yanma anında bu yapıların kolay bir şekilde bozulmaması yanma olayını geciktirmiştir.



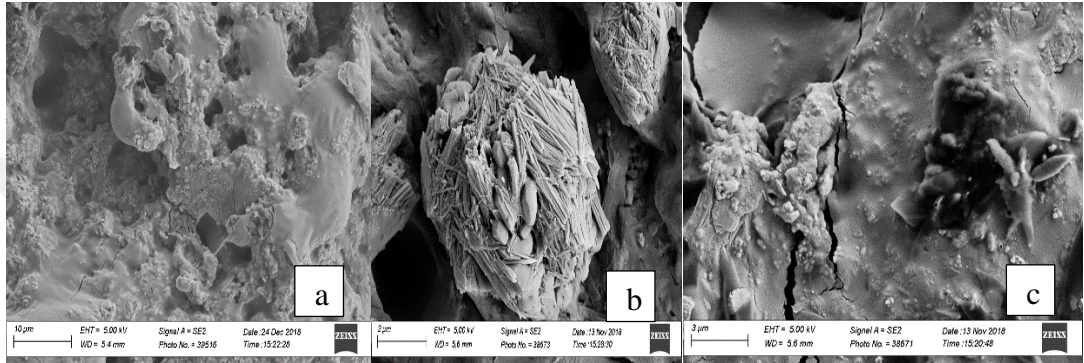
Şekil 4.19. Y1 Formülasyonu(a), Y2 Formülasyonu(b) ve Y3 Formülasyonu(c) SEM Görüntüleri



Şekil 4.20. Y4 Formülasyonu (a) ve Y5 Formülasyonu (b) ve Y6 Formülasyonu (c) SEM görüntüleri

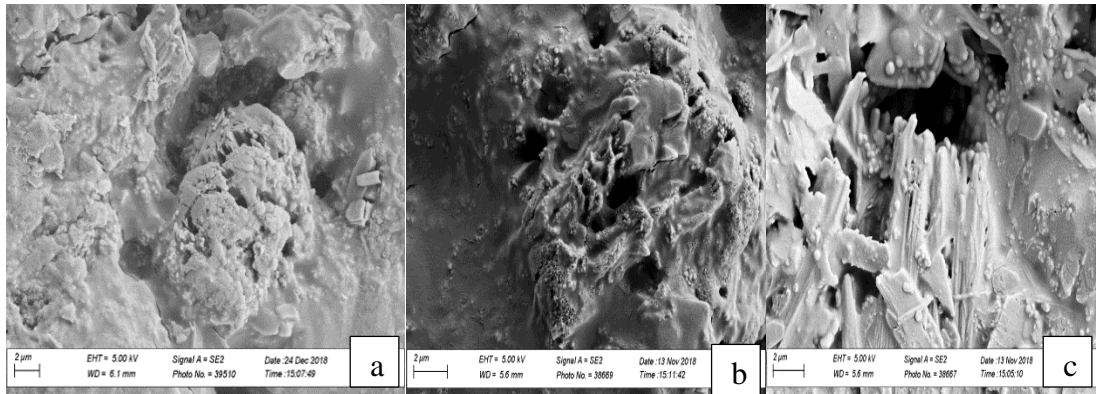
Şekil 4.21’de alev geciktirici olarak Organofosfat kullanılan kabaran alev geciktirici boyaların SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde de, çelik

yüzey üzerine tamamen kaplamış aglomeratlar ve köpüklü bir yüzey görünümü gözlenmiştir. Madde miktarının artışı ile bu görünüm kristal yapı küresel boncuklar şeklini almıştır. Bu özelliği Organofosfat-PER-MEL-EG moleküllerinin küresel bir oluşumu ile sinerjik etkiyi arttırmıştır (Realinho, 2018). Organofosfatın hem köpüklü hem de kristal yapı oluşturması yanma etkisini azaltmaktadır. Alev geciktirici boylarda kullanıldığında yanma testinde anlaşılacağı gibi alevin çelik yüzeye ulaşmasını engellerler.



Şekil 4.21. Y7 Formülasyonu(a), Y8 Formülasyonu(b) ve Y9 Formülasyonu(c) SEM görüntüleri

Kabaran alev geciktiricili boyada APP-PER-MEL-EG-Bor Fosfat artan oranlarda kullanıldığında elde edilen SEM görüntüleri Şekil 4.22’de verilmiştir. APP-Bor Fosfat çelik yüzeyi tamamen kapatmıştır. Amorf-kristal yapıda gözle görülen kübik ve kristal yapılar belirginleşmiştir. Eşit oranda karıştırılan APP-Bor Fosfat diğer ürünlerle sinerjik etkileşimini arttırdığı gözlenmiştir (Zhou, 2014). Yanma testindeki sonuçlar bu durumu en iyi şekilde kanıtlamıştır.



Şekil 4.22. Y10 Formülasyonu(a), Y11 Formülasyonu(b) ve Y12 Formülasyonu(c) SEM görüntüleri

4.2. Mekanik Test Sonuçları

4.2.1. Mandrel eğilme testi

Bu test ile hazırlanan kaplamaların eğilme ve bükülme karşısındaki davranışlarını incelemek amacıyla yapılmıştır. Şekil 4.23’de görüldüğü gibi tüm kaplamaların mandrel eğilme ve esneklik testinden geçerek herhangi bir çatlama ve deformasyona uğramadığı görülmüştür.



Şekil 4.23. Kabaran alev geciktiricili boyaların mandrel eğilme testi sonrası görüntüleri

4.2.2. Darbe testi

Standart boya formülasyonu Y1, Y2, Y3 formülasyonlarında, artan APP oranına bağlı olarak tüm formülasyonlar darbe testlerini geçmiştir. Meng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da EG ve APP’nin birlikte kullanıldığında mekanik özellikleri iyileştirdiği gösterilmiştir (Meng,2009).

Y4, Y5 formülasyonlarında bor fosfat oranı artmasına rağmen darbe testlerinde başarılı olmuş ancak bor fosfat miktarı Y6 formülasyonundaki olduğu gibi arttırılınca darbe testlerinden geçememiştir. Y7, Y8, Y9 formülasyonlarında ise organofosfat ile hazırlanmış formülasyonların üçü de darbe testlerini geçememiştir. Y10, Y11, Y12 ise darbe testlerini başarıyla geçmiştir. Uygulanan kaplamaların darbe testi görseli Şekil 4.24’de ve test sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.24. Kabaran alev geciktiricili boyaların darbe dayanımları testi sonrası görüntüleri

Tablo 4.3. Darbe dayanım test sonuçları

	20	30	40	50
Standart	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y1	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y2	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y3	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y4	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y5	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y6	Geçti	Kaldı	Kaldı	Kaldı
Y7	Kaldı	Kaldı	Kaldı	Kaldı
Y8	Kaldı	Kaldı	Kaldı	Kaldı
Y9	Kaldı	Kaldı	Kaldı	Kaldı
Y10	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y11	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti
Y12	Geçti	Geçti	Geçti	Geçti

4.1.3. Adezyon testi

Bu test ile kaplamaların yapışma dereceleri belirlenmiştir. Yapışma derecelerinin en iyi olduğu kaplamalar Y4, Y5, Y6 nolu bor fosfat içeren kaplamalardır. Bor fosfat oranının artmasına karşın yapışma zayıflamamaktadır. Yapışma dereceleri en düşük kaplamalar Y7, Y8, Y9 formülasyonlar ile yapılan formülasyonlardır. Organo fosfat oranı arttıkça yapışma dereceleri zayıflamaktadır. APP oranı arttıkça yapışma dereceleri zayıflamaktadır. Bor Fosfat ve APP karışımı ile hazırlanan Y10, Y11 ve

Y12 formülasyonlarında yapışmalar APP ile yapılan formülasyonlara göre gelişmiştir. Panellerin görseli Şekil 4.25’de ve yapışma dereceleri Tablo 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.25. Kabaran alev geciktiricili boyaların yapışma testi sonrası görüntüleri

Tablo 4.4. Adhezyon test sonuçları

Formül No	Standart	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
Yapışma Sınıfı	GT5	GT2	GT3	GT4	GTO	GTO	GTO	GT2	GT3	GT4	GT0	GT0	GT0

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı fosfat bileşiklerinin kabaran alev geciktirici boya üzerindeki etkileri incelenmiştir. APP ile hazırlanan formülasyonlarda APP oranının artmasıyla kabarma oranında ve alev karşısında yalıtım performansı artmış, ancak yüzeye yapışma performansında kayıp görülmüştür. Bor Fosfat ile hazırlanan formülasyonlarda ise LOI değeri % 42'dir. Bor fosfat oranı arttıkça alev karşısında ısı yalıtım performansı artmış ancak kabarma oranında değişim gözlenmemiştir. Bor Fosfatın kullanılmasıyla yapışma mükemmel derecede iyileşmiştir. Ancak Bor Fosfatın artmasıyla birlikte darbe testlerinde iyi performans gösterememiştir.

Organofosfat içeren Y7, Y8, Y9 formülasyonları ise organofosfat oranının artmasıyla kabarma oranında ve alev karşısında yalıtım performansında artış gözlenmiştir. Organofosfat oranının artmasıyla yapışma performansında düşüş gözlenmiştir. Darbe testini organofosfat içeren formülasyonlar geçememiştir. Bu nedenle APP içeren boyaların performansını arttırmak üzere %50 APP-%50 Bor Fosfat içeren formülasyonları hazırlanmıştır. Y10 ve Y11 formülasyonlarında ısı yalıtım performansı ve kabarma oranı artarken yapışmada az da olsa zayıflama görülmüştür. Ancak oranın daha da arttırılmasıyla Y12 formülasyonunda kabaran alev geciktirici boya bağlayıcısı ile hazırlanan standart boyanın LOI değeri %30,3'den %46'ya çıkarılarak %51,8 artış sağlanarak LOI değeri en yüksek değer elde edilmiştir. Y12 formülasyonunda ise alev karşısında ısı yalıtım performansında ve kabarma oranında Y10 ve Y11 formülasyonlarına göre düşüş gözlenmiştir.

Burada APP ile beraber kullanılan bor fosfatın sinerjik bir etki yaratarak Y1 ve Y2 formülasyonlarının muadili olan Y10 ve Y11 formülasyonlarının alev yalıtım ve kabarma performansları Y1 ve Y2 formülasyonlarına göre daha üstündür. Ancak %50 APP-%50 Bor fosfat içeren formülasyonlarda oranın artışına bağlı olarak Y12'de olduğu gibi alev yalıtım ve kabarma performansları azalabilmektedir. Bundan sonra

yapılacak çalışmalarda APP ve Bor Fosfat karışımının farklı oranlarda kullanılması ile kabaran alev geciktirici karışımların oluşturulması önerilebilir.



KAYNAKLAR

Ash M., Ash I., *Formulary of Paints and Other Coatings*, 1st ed, Chemical Publishing Co, ABD, 1978.

ASTM 2863, Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics, Amerika, 2009.

Atalay Ö., Magnezyum Borat Sentezi ve Alev Geciktirici Pigment Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012, 330678.

Aydın D Y., Gürü M., Ayar B., Çakanyıldırım Ç., Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Pigment Olarak Uygulanabilirliği, *Bor Dergisi*, 2016, **1**, 33-39.

Aydoğan B., Usta N., Nanokil ve Kabaran Alev Geciktirici İlavesinin Rijit Poliüretan Köpük Malzemelerin Isıl Bozunma ve Yanma Davranışlarına Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2015, **30**, 9-18.

Aziz H., Ahmad F., Effects From Nano-Titanium Oxide on The Thermal Resistance of Anintumescent Fire Retardant Coating for Structural Applications, *Progress in Organic Coatings*, 2016, **101**, 431–439.

Batistella M. A., Sonnier R., Otazaghine B., Petter C.O., Lopez J. M., Interactions Between Kaolinite and Phosphinate-Based Flame Retardant in Polyamide 6, *Applied Clay Science*, 2018, **157**, 248-256.

Bekircan A. E., Su Bazlı Boyalarda Süreç Koşullarının Dağılım Kalitesine ve Boya Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 232653.

Camcıoğlu G., Su Bazlı Boya Üretim Tesislerinin Atık Sularının Artılmasında Genelleştirilmiş Minimum Değişmeli Algoritma ile Ph Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 29562.

Ceylan L., Türkiye’de Boya ve Vernik Endüstrisinin İncelenmesi ve Sektör Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2011, 100456.

Dasari A., Yu Z. Z., Cai G. P., Mai Y. W., Recent Developments in the Fire Retardancy of Polymeric Materials, *Progress in Polymer Science*, 2013, **38**, 1357-1387.

Deligny P., Tuck N., *Resins for Surface Coatings*, 2nd ed, TJ International, İngiltere, 2001.

Erdem K. G., Su Bazlı Boyaların Hazırlanması, Kolloidal ve Film Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 488185.

Fan F.Q., Xia Z.B., Li Q.Y., Li Z., Effects of İnorganic Fillers on The Shear Viscosity and Fire Retardant Performance of Waterborne Intumescent Coatings, *Progress in Organic Coatings*, 2013, **76**, 844– 851.

Gillani Q. F., Ahmad F., Mutalib M. I. A., Melor P S., Ullah S., Arogundade A., Effect of Dolomite Clay on Thermal Performance and Char Morphology of Expandable Graphite Based Intumescent Fire Retardant Coatings, *Procedia Engineering*, 2016, **148**, 146 – 150.

Giudice C A., Benitez, J C., Zinc Borates as Flame-Retardant Pigments in Chlorine-Containing Coatings, *Progress in Organic Coatings*, 2011, **42**, 82-88.

Goldschmidt A., Streitberger H. J., *Basf Handbook on Basics of Coating Technology*, 2nd ed, Bonifatius GmbH, Almanya, 2007.

Green, J., A Review of Phosphorus-Containing Flameretardants, *Fire Sciences*, 1992, **10**, 470-487.

Gündüz G., *Boya Bilgisi*, 1st ed, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul, 2005.

Günsal Ç., Tekstil Malzemelerine Yanmazlık Özelliğinin Kazandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 200988.

Gysau D., *Fillers for Paints*, 2nd ed, Quensen Druck-Verlag GmbH, Almanya, 2011

Hare C.H., *Paint Film Degradation-Mechanisms and Control*, 1st ed, Society for Protective Coatings, ABD, 2001.

Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S., Characterization of the Performance of an Intumescent Fire Protective Coating, *Surface Coatings & Technology*, 2006, **201**, 979-987.

Kahraman H. T., Alev Geciktirici Nanokompozit Kaplamaların Sentezi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2014, 380836.

Kaya M., Oz D., Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastına Katkı Maddeleri, *3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 14-15 Ekim 1999.

Kılınç M., Alev Geciktirici Katkı Maddelerinin PET Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 2009, 255305.

Labuschagné F. J. W. J., Focke W.W., Mentz J. C., A Process for Producing a Layered Double Hydroxide, No. 2002/4876, South Africa University of Pretoria, South Africa.

Laoutid F., Bonnaud L., Alexandre M., Lopez J. M., Dubois P., New Prospects in Flame Retardant Polymermaterials: from Fundamentals to Nanocomposites, *Materials Science and Engineering*, 2009, **63**, 100-125.

Li H., Hu Z., Zhang S., Gu X., Wang H., Jiang P., Zhao Q., Effects of Titanium Dioxide on the Flammability and Char Formation of Water-Based Coatings Containing Intumescent Flame Retardants, *Progress in Organic Coatings*, 2015, **78**, 318–324.

Li T., Zeng X., Synergistic Effect of Epoxy/Organophilic Montmorillonite Nanocomposites and Triphenyl Phosphate on Flame Retardance Enhancement of Polypropylene, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2007, **46**, 1011- 1020.

Lu S. Y., Hamerton Ian., Recent Developments in the Chemistry of Halogen-Free Flame Retardant Polymers, *Progress in Polymer Science*, 2002, **27**, 1661–1712.

Meng X. Y., Ye L., Zhang X.G., Tang P. M., Tang J. H., Ji X., Li Z. M., Effects of Expandable Graphite and Ammonium Polyphosphate on The Flame Retardant and Mechanical Properties of Rigid Polyurethane Foams, *Journal Of Applied Polymer Science*, 2009, **114**, 853-863.

Mohammadi S., Shariatpanahi H., Taromi F. A., Influence of Hybrid Functionalized Graphite Nano Plateletstripolyphosphate on Improvement in Fire Protection of Intumescent Fire Resistive Coating for Steel Structures, *Polmer Degradation and Stability*, 2015, **120**, 135-148.

Montaudo G., Scamporrino E., Vitalini D. J., Intumescent Flame Retardants for Polymers II The Polypropylene-Ammonium Polyphosphate-Polyurea System, *Polymer Chemistry*, 1983, **21**, 3361-3371.

Wilkie C. A., Morgan A. B., *Fire Retardancy of Polymeric Materials*, 2nd ed, Taylor Francis Group, İngiltere, 2010.

Mustafa M. Z., Ahmad F., Ullah S., Amir N., Gillani Q F., Thermal and Pyrolysis Analysis of Minerals Reinforced Intumescent Fire Retardant Coating, *Progress in Organic Coatings*, 2017, **102**, 201–216.

Olcese T., Pagella C., Vitreous Fillers in Intumescent Coatings, *Progress in Organic Coatings*, 1999, **36**, 231-241.

Paciorek J., Czuprynski B., Liszkowska J., Jaskolowski W., New Polyol for The Production of Rigid Polyurethane-Polyisocyanurate Foams Part II Preparation of Rigid Polyurethane-Polyisocyanurate Foams with Use of New Boroorganic Polyol, *Polimery*, 2010, **55**, 99-105.

Paksoy A. S., *Boya El Kitabı*, 1. Baskı, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul 1999.

Pan L. L., Li G. Y., Su Y. C., Lian J S., Fire Retardant Mechanism Analysis Between Ammonium Polyphosphate and Triphenyl Phosphate in Unsaturated Polyester Resin, *Polymer Degradation and Stability*, 2012, **97**, 1801-1806.

Puri R. G., Khanna A. S., Effect of Cenospheres on the Char Formation and Fire Protective Performance of Water-Based Intumescent Coatings on Structural Steel, *Progress in Organic Coatings*, 2016, **92**, 8–15.

Realinho V., Haurie L., Formosa J., Velasco J. I., Flame Retardancy Effect of Combined Ammonium Polyphosphate and Aluminium Diethyl Phosphinate in Acrylonitrile-Butadiene-Styrene, *Polymer Degradation and Stability*, 2018, **155**, 208-219.

Samyn F., Bourbigot S., Duquesne S., Delobel R., Effect of Zinc Borate on the Thermal Degradation of Ammonium Polyphosphate, *Thermochimica Acta*, 2007, **456**, 133-144.

Soloway A. H., Tjarks W., Barnum A., Rong F. G., Barth R. F., Codogni I.M., Wilson J. G., The Chemistry of Neutron Capture Therapy, *Chemical Reviews*, 1998, **98**, 1515-1562.

Stenneke B., *Boya Kusurları Kataloğu*, H, Akzo Nobel Kemipol İzmir, 1997.

Tunçgenç M., *Boya Teknolojisine Giriş*, 1st ed, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, İzmir, 2004.

Ullah S., Ahmad F., Shariff A. M., Bustam M. A., Synergistic Effects of Kaolin Clay on Intumescent Fire Retardant Coating Composition for Fire Protection of Structural Steel Substrate, *Polmer Degradation and Stability*, 2014, **110**, 91-103.

URL1:http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/75a80246f201d00_ek.pdf?dergi=168 (Ziyaret tarihi 16.06.2018).

URL2:<http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=408&RecID=4142> (Ziyaret tarihi 12.07.2018).

URL3:<http://www.paint.org/aboutour-industry/history-of-paint> (Ziyaret tarihi: 12.08.2018).

URL4:<http://jcmetalfab.com/history%20of%20powder.htm> (Ziyaret tarihi: 12.08.2018).

URL5:http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Boya%20Solventleri.pdf (Ziyaret tarihi 19.08.2018).

URL6:<https://www.egetek.com.tr/uv-kurumali-boyalar.html> (Ziyaret tarihi 08.05.2018).

Visakh P., Arao Y., *Flame Retardants: Polymer Blends, Composites and Nanocomposites*, Springer, İsviçre, 2015.

Wang Z., Han E., Ke W., Effect of Nanoparticles on the Improvement in Fire-Resistant and Anti-Ageing Properties of Flame-Retardant Coating, *Surface&Coating Technology*, 2006, **200**, 5706–5716.

Yargıcı C., Cam Elyaf Katkılı Polibütilen Tereftalat Kompozitin Alev Dayanımı ve Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 397820.

Yürekli Ş., *Reçine ve Boya Teknolojisi Cilt-2*, Marshall Boya Yayınları, İstanbul, 1997.

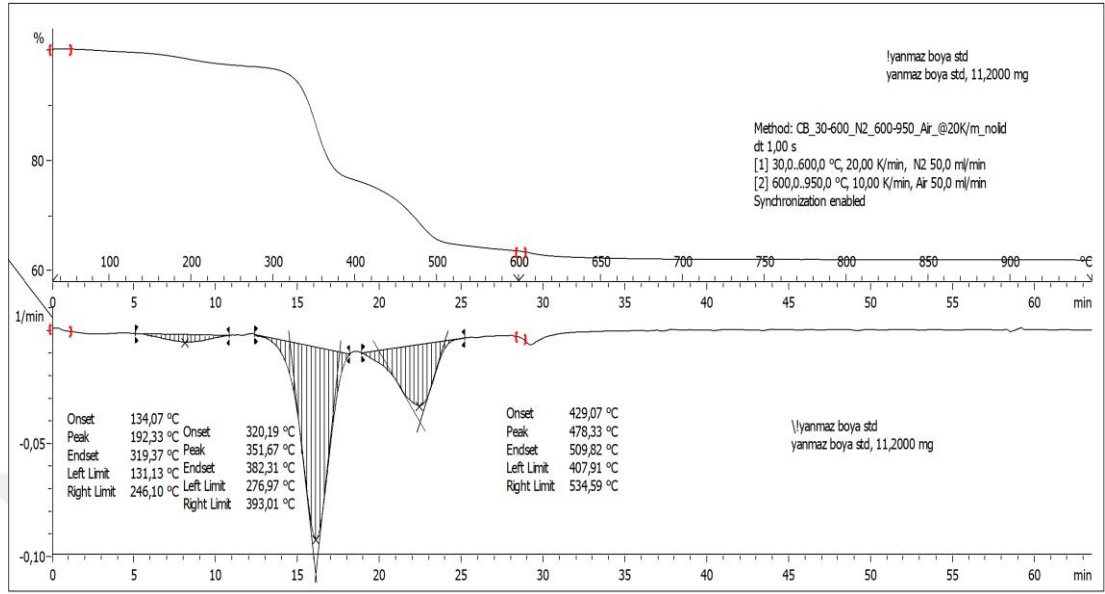
Zeno W. W., Frank N. J., Pappas S. P., Douglas Wicks A., *Organic Coatings: Science and Technology*, 3rd ed, United States of America, Kanada, 2007.

Zhou Y., Feng J., Peng H., Qu H., Hao J., Catalytic Pyrolysis and Flame Retardancy of Epoxy Resins With Solid Acid Boron Phosphate, *Polymer Degradation and Stability*, 2014, **110**, 395-404.

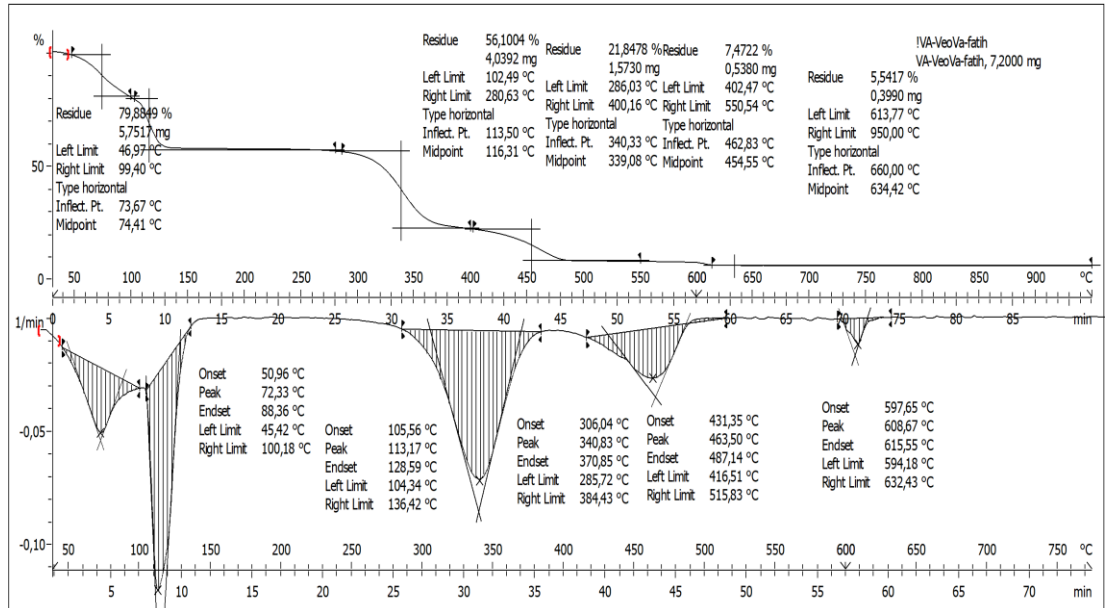


EKLER

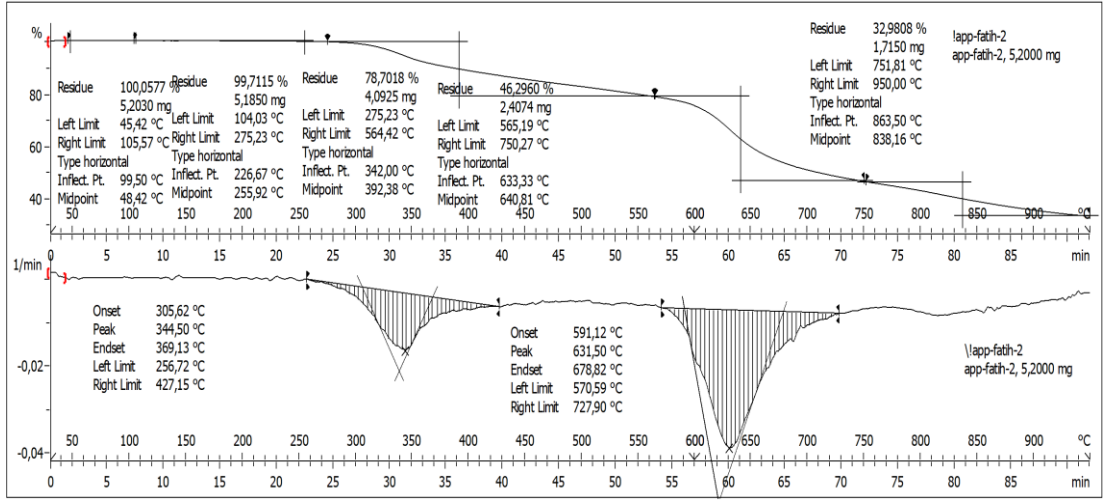
EK-A



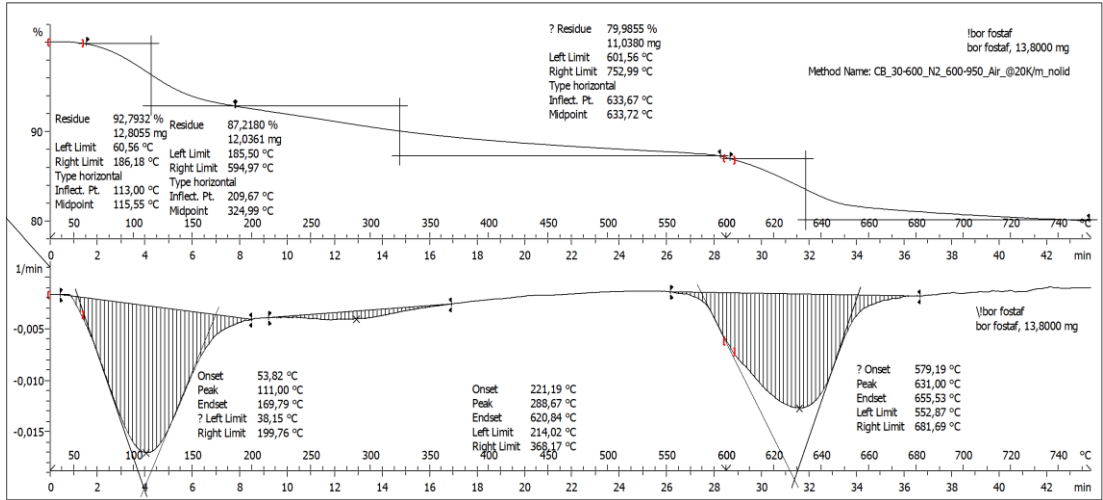
Şekil A.1. Standart boya için TGA grafiği



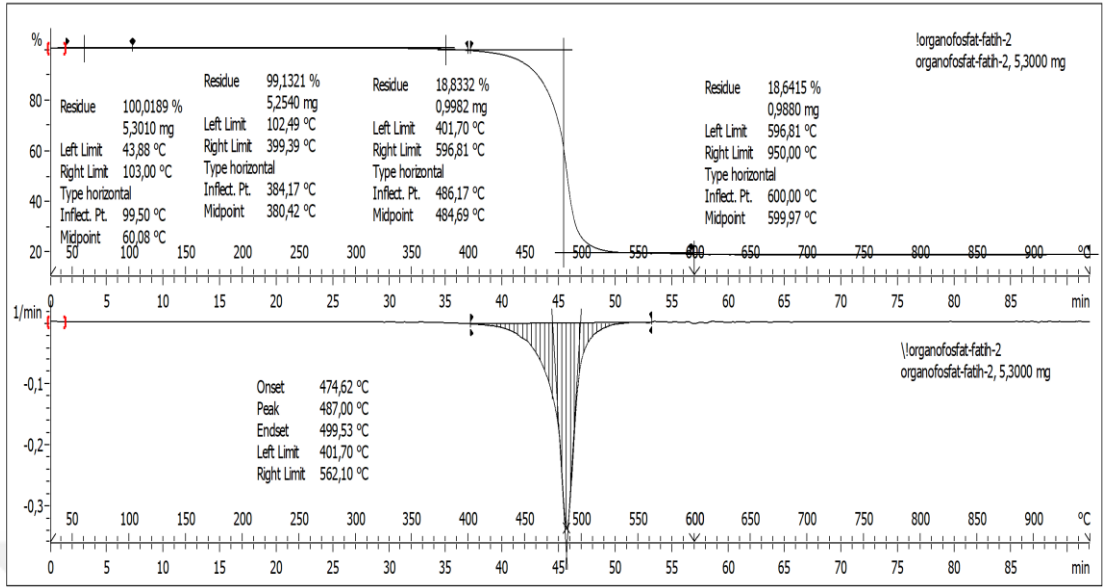
Şekil A.2. Kullanılan bağlayıcı için TGA grafiği



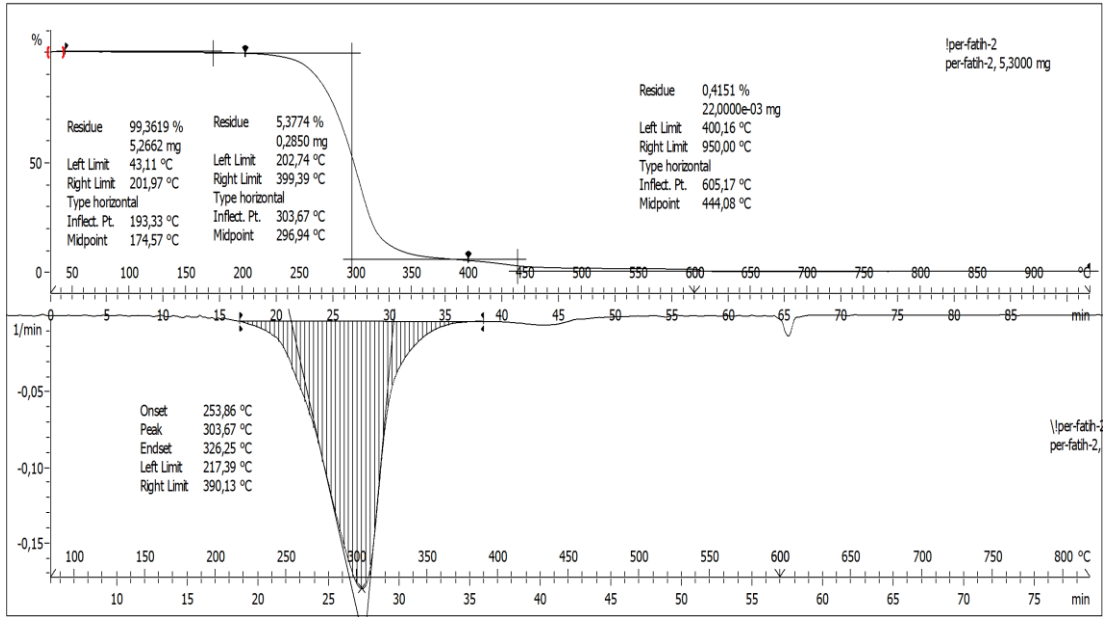
Şekil A.3. APP için TGA grafiği



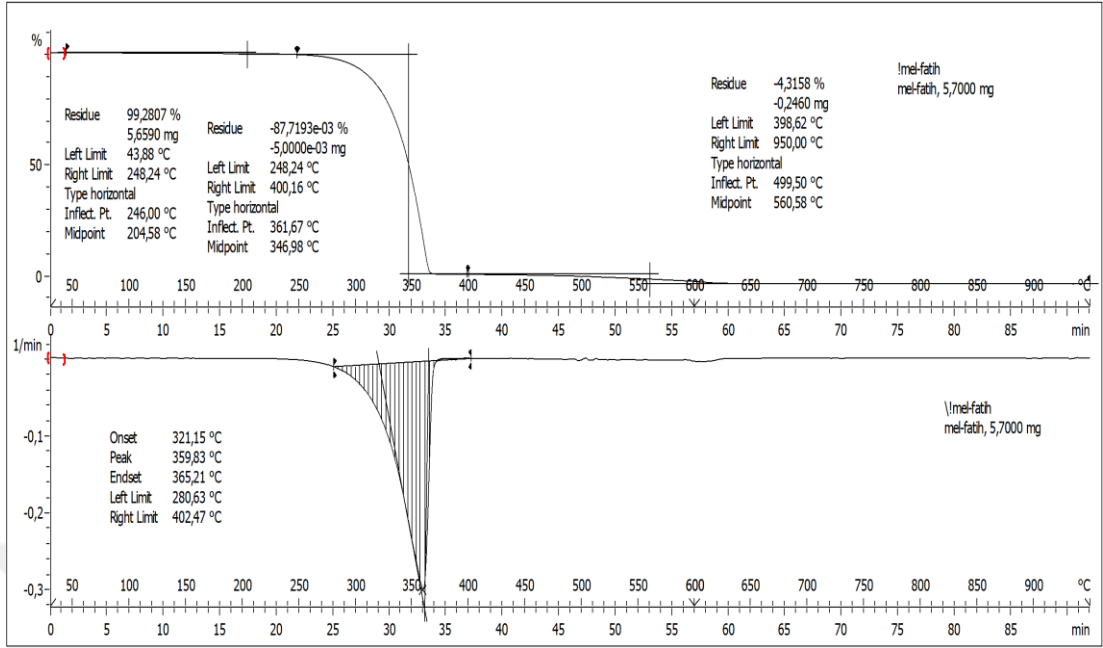
Şekil A.4. Bor Fosfat için TGA grafiği



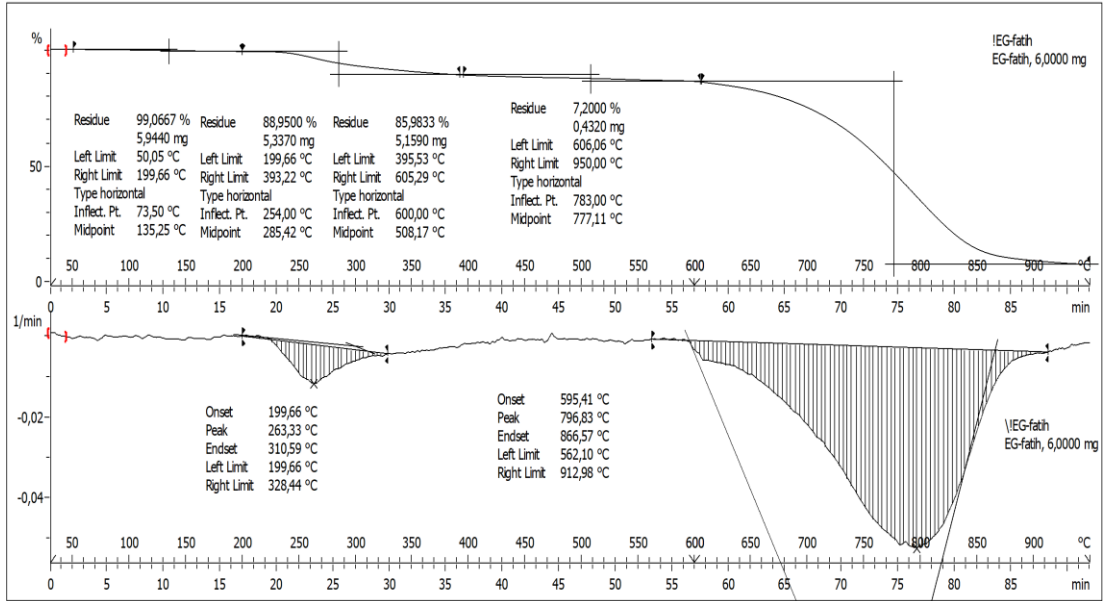
Şekil A.5. Organofosfat için TGA grafiği



Şekil A.6. PER için TGA grafiği



Şekil A.7. MEL için TGA grafiği



Şekil A.8. EG için TGA grafiği

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Şeker F., Aytaç A., Amonyum Polifosfat ve Amonyum Polifosfat-Bor Fosfat Karışımlarının Isı ile Kabaran Boyalarda Etkilerinin Karşılaştırılması, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.

Şeker F., Aytaç A., Isı ile Kabaran Boyalarda Alev Geciktiricili Boyalarda Amonyum Polifosfat ve Bor Fosfatın Etkilerinin Karşılaştırılması, *Uluslararası Katılımlı VII. Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 9-12 Eylül 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Fatih Şeker 1989 yılında 19 Mayıs'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. İnönü Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden 2014 yılında mezun oldu.2014 yılında işe başladığı Polisan Kansai Boyada halen Arge Mühendisi olarak çalışmaktadır. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

