KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOSFAT İÇERİKLİ ALEV GECİKTİRİCİ KİMYASALLARIN ÜRE-FORMALDEHİT REÇİNELERİNE UYGULANMASI VE YANMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

NAZAN UYGUR

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOSFAT İÇERİKLİ ALEV GECİKTİRİCİ KİMYASALLARIN ÜRE-FORMALDEHİT REÇİNELERİNE UYGULANMASI VE YANMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

NAZAN UYGUR

Doç.Dr. Erdinç DOĞANCI
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Ayşe AYTAÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Dr.Öğr.Üyesi İkrime ORKAN UÇAR
Jüri Üyesi, Düzce Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☐ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☒ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler KO¦ - BAP Birimi tarafından 2021-2465 no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Nazan UYGUR

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.
Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.
Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Nazan UYGUR

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

‘Fosfat içerikli alev geciktirici kimyasallar ile karıştırılmış üre formaldehit reçinelerinin alev geciktiricilik ve kürleşme (jel) özellikleri üzerine etkisi’ başlıklı bu çalışma, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans sürecim boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen, her koşulda beni yüreklendiren ve destek olan değerli danışmanım, Sayın Doç. Dr. Erdinç DOĞANCI ’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca destek ve yardımlarından dolayı değerli hocam Prof. Dr. Ayşe AYTAÇ’a ve doktora öğrencisi Bedriye ÜÇPINAR DURMAZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince laboratuvar çalışmalarıma destek olan YILDIZ ENTEGRE Başiskele Tesisi Kalite Kontrol Laboratuvarı şefi Nazmiye TOPÇU’ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmasına sağladığı finansal katkılarından dolayı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi’ne teşekkürlerimi sunarım. (Proje No:2021-2465)

Tez çalışmam boyunca her zaman tecrübesini ve dostluğunu esirgemeyen, her düştüğümde elimi tutan canım dostum Saliha Esra BOLSU’ya çok teşekkür ederim. Her anımda yanımda olan ve her zaman her şeyin en iyisini yapabileceğim konusunda bana destek veren canım ailemin tüm fertlerine binlerce kez teşekkür ediyorum.

Bu zorlu sürecimin her anında hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve beni hep yüreklendiren, stresimi çeken hayat arkadaşım Ahmet Turan UYGUR’a, yüzümün her zaman gülmesini sağlayan, yaşama sebebim canım kızım Mina UYGUR’a tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Ocak-2022 Nazan UYGUR

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ……i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI…….. ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ……iii
İÇİNDEKİLER……iv
ŞEKİLLER DİZİNİ……..vi
TABLOLAR DİZİNİ ……..vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ……..viii
ÖZET ……x
ABSTRACT ……xi
1. GİRİŞ……1
2. GENEL BİLGİLER ……3
2.1. Yonga Levhalar ……4
2.1.1. Yonga Levha Nedir? ……4
2.1.2. Yonga Levhaların Genel Sınıflandırılması……5
2.1.3. Yonga Levhaların TS 309'a Göre Sınıflandırılması……7
2.1.4. Yonga Levhaların Özellikleri ……9
2.1.5. Yonga Levhaların Özelliklerini Etkileyen Faktörler ……10
2.1.5.1. Ağaç Türü……10
2.1.5.2. Ekstraktif (Özütleme) Maddeler……10
2.1.5.3. Permeabilite (Geçirgenlik) ……10
2.1.5.4. Kabuk ……11
2.1.5.5. Odunun Rutubet Miktarı ……11
2.1.5.6. Yonga Tipi ve Geometrisi ……11
2.1.5.7. Tutkal Türü, Miktarı ve Uygulanışı ……12
2.1.5.8. Katkı Maddeleri……12
2.1.5.9. Yonga Levhanın Yoğunluğu ……12
2.1.5.10. Yoğunluk Tipi……10
2.1.5.11. Presleme Şartları……13
2.2. Yonga Levha Üretiminde Kullanılan Reçineler……13
2.2.1. Üre-Formaldehit (UF) Reçineleri ……13
2.2.2. Fenol-Formaldehit(FF)Reçineleri……16
2.2.3. Melamin-Formaldehit (MF)Reçineleri ……17
2.2.4. İzosiyanat Reçineleri ……18
2.3. Alev Geciktiriciler/Önleyiciler……18
2.3.1. Alev Geciktiricilerin Tarihsel Gelişimi ……18
2.3.2. Alev Geciktirici Kimyasallar……19
2.3.3. Çalışmada Kullanılan Alev Geciktirici Kimyasallar ……22
2.3.3.1. Amonyum polifosfat(APP)……22
2.3.3.2. Di-amonyum fosfat (DAP) ……23
2.3.3.3. Mono-amonyum fosfat(MAP) ……24
2.4. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri……25
2.4.1. pH Değişimi ……25
2.4.2. Kürleşme (jelleşme) Süresi……25
2.4.3. Termogravimetrik Analiz (TGA) ……26
2.4.4. Limit (sınırlayıcı)Oksijen İndeksi (LOI) ……26
2.4.5. UL-94 Dikey Yanma Testi ……27

2.4.6. Konik Kalorimetre 29
2.4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) 31
3. LİTERATÜR ÖZETİ 32
4. MALZEME VE METOT 41
4.1. Malzemeler 41
4.2. Yöntem 41
4.2.1. Deneysel tasarım 41
4.2.2. Numunelerin hazırlanması 42
4.3. Karakterizasyon 42
4.3.1. Fiziksel Özellikler 42
4.3.1.1.pH 42
4.3.1.2.Kürleşme (jel) süresi 43
4.3.2. Levhaların Termal, Yanma ve Morfolojik Özellikleri 44
4.3.2.1. Termogravimetrik Analiz (TGA) 44
4.3.2.2. Limit (sınırlayıcı)Oksijen İndeksi (LOI) 45
4.3.2.3. UL-94 Dikey Yanma Testi 45
4.3.2.4. Konik Kalorimetre 46
4.3.2.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) 47
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 48
5.1. Levhaların Fiziksel Özelliklerine İlişkin Bulgular 48
5.1.1. pH Değişimi 48
5.1.2. Jel (Kürleşme) Süresi 49
5.2. Levhaların Termal, Yanma ve Morfolojik Özellikleri 49
5.2.1. Termogravimetrik Analiz (TGA) 49
5.2.2. Limit (sınırlayıcı)Oksijen İndeksi (LOI) 51
5.2.3. UL-94 Dikey Yanma Testi 52
5.2.4. Konik Kalorimetre Testi 53
5.2.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) 59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 62
KAYNAKLAR 64
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 71
ÖZGEÇMİŞ 72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yonga levha genel görünüşü 5
Şekil 2.2. Monometilol üre oluşumu 14
Şekil 2.3. Fenol-formaldehit kondenzasyon reaksiyonu 16
Şekil 2.4. Melamin-formaldehit reçinesi 17
Şekil 2.5. Amonyum polifosfatın kimyasal yapısı 22
Şekil 2.6. Diamonyum fosfatın açık formülü 23
Şekil 2.7. Mono amonyum fosfatın açık formülü.....25
Şekil 2.8. LOI (Limit Oksijen İndeksi) deney düzeneği 27
Şekil 2.9. UL-94 dikey yanma düzeneği 29
Şekil 2.10. Koni kalorimetresinin şematik resmi 29
Şekil 4.1. pH metre.....43
Şekil 4.2. Kürleşme(jel) süresi düzeneği.....43
Şekil 4.3. Etüvde sertleştirilen alev geciktiricili reçineler.....44
Şekil 4.4. TGA cihazı 44
Şekil 4.5. a.LOI cihaz görseli , b.Yanan numune görüntüsü.....45
Şekil 4.6. UL-94 yanma test düzeneği.....46
Şekil 4.7. Konik kalorimetre testine hazır olan yonga levha numuneleri.....47
Şekil 4.8. Konik kalorimetre cihazı.....47
Şekil 5.1. Kontrol, APP, DAP ve MAP eklenmiş numunelerin TGA termogramları 51
Şekil 5.2. Yonga levha numunelerinin ısı salınım oranları karşılaştırmalı grafiği 55
Şekil 5.3. Yonga levha numunelerinin maksimum ortalama ısı salınım oranlarının karşılaştırılmalı grafiği 56
Şekil 5.4. Yonga levha numunelerinin duman üretim hızlarının karşılaştırmalı grafiği 56
Şekil 5.5. Yonga levha numunelerinin belirli sürelerdeki toplam ısı yayılımı değerleri.....57
Şekil 5.6. Numune kütlesinin zamana bağlı değişim grafiği.....58
Şekil 5.7. Konik kalorimetre analiz sonucunda kalıntı numunelerin görüntüsü 58
Şekil 5.8. Kontrol ve alev geciktiricili reçine ile kaplanmış yonga levhaların SEM görüntüleri.. 59
Şekil 5.9. Kontrol SEM-EDX elementel analiz sonuçları 60
Şekil 5.10. %20 APP SEM-EDX elementel analiz sonuçları.....60
Şekil 5.11. %20 MAP SEM-EDX elementel analiz sonuçları 61
Şekil 5.12. %20 DAP SEM-EDX elementel analiz sonuçları 61

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Alev geciktiricilerin gruplandırılması 19
Tablo 4.1. Deney çalışmaları esnasında kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri 41
Tablo 4.2. Hazırlanan reçine karışımlarına eklenen alev geciktirici bileşim ve oranları 42
Tablo 5.1. pH ölçümleri 48
Tablo 5.2. Kürleşme (jel) süreleri 49
Tablo 5.3. TGA sonuçları 50
Tablo 5.4. LOI ve yanma miktarı değerleri 52
Tablo 5.5. Farklı oranlarda eklenen kimyasalların UL-94 dikey yanma testi 53
Tablo 5.6. Konik kalorimetre testi yanma parametrelerinin ortalama sonuçları 54
Tablo 5.7. Konik kalorimetre testi yanma parametrelerinin ortalama sonuçları 57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

N_2	: Azot konsantrasyonu, (%)
O_2,cr	: Minimum oksijen derişimi, (%)
ΔP	: Plaka boyunca basınç düşüşü (Pa)
Te	: Plakadaki gaz sıcaklığı (K)
Q	: Isı yayma oranı (kW)
XO_2	: Egzoz havasında ölçülen O2 mol fraksiyonu
P	: Özgül kütle (kg/m3)

Kısaltmalar

$Al_2C_{16}.12H_2O$	: Alüminyum Klorür
$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	: Alüminyum Sülfat
APP	: Amonyum Polifosfat
BA	: Borik Asit
BX	: Boraks
CO_2	: Karbondioksit
CO	: Karbonmonoksit
$CH_3COONa.3H_2O$	: Sodyum Asetat
DAP	: Diamonyum Fosfat
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
FA	: Fosforik Asit
FF	: Fenol-Formaldehit
FR	: Fire Retardant (Alev Geciktirici)
FTIR	: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektrumları
HCI	: Hidroklorik Asit
H_3BO_3	: Borik Asit
HRR	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü
IB	: İç Bağ
IFR	: Şişen Alev Geciktirici
$KAI(SO_4)2$	: Şap
$KAl(SO_4)2.12H_2O$	: Potasyum Alüminyum Sülfat
K_2SiO_3	: Potasyum
LOI	: Sınırlayıcı Oksijen İndeksi
MAP	: Monoamonyum Fosfat
MARHE	: Maksimum Ortalama Isı Salınım Oranı
MDF	: Orta Yoğunluklu Lif Levha
MF	: Melamin-Formaldehit
MUF	: Melamin-Üre Formaldehit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
Na_2SiO_3	: Sodyum Alkali Silikatlar
$Na_2B_4O_7.10H_2O$	: Sodyum Tetraborat
NH_3	: Amonyak
NO	: Azot Oksit
$[NH_4PO_3]_n(OH)_2$	: Amonyum Polifosfat

$(NH_4)_2HPO_4$	: Diamonyum Hidrofosfat
$(NH_4)_2SO_4$	: Amonyum Sülfat
NH_4Br	: Amonyum Bromür
$(NH_4)_2\ B_4O_7.4H_2O$	: Amonyum Tetraborat
OSB	: Oriented Structural Board (Yönlendirilmiş Yongalı Levha)
PE	: Polietilen
rGO	: Grafen Oksit
SiO_2	: Silisyum Dioksit (silika)
ÜF	: Üre-Formaldehit
WF	: Odun Unu
ZnO	: Çinko Oksit
$3ZnO.2B_2O_3$	: Çinko Borat

FOSFAT İÇERİKLİ ALEV GECİKTİRİCİ KİMYASALLARIN ÜRE-FORMALDEHİT REÇİNELERİNE UYGULANMASI VE YANMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Ahşap esaslı levha üretimlerinde (MDF, yonga levha, kaplamalı levha) üre formaldehit, melamin-formaldehit ve melamin-üre-formaldehit reçineleri kullanılmaktadır. Hammaddesi odun olan bu levhaların çeşitli alev geciktirici kimyasallar kullanılarak yanması geciktirilebilir. Bugüne kadar farklı alev geciktirici maddeler denenmiş olmasına rağmen, hala sulu çözelti olarak kullanılabilen fosfor, azot ve bor içeren bileşikler ve karışımlar üzerine odaklanılmaktadır. Ahşap esaslı levha üreten firmalarda levha üretimi için, sertleşme süresi ve dolayısıyla levhaların üretilme hızı da endüstri için kritik bir noktadır.

Bu çalışmada fosfat içeren farklı alev geciktirici kimyasallar ile üre-formaldehit reçinelerinin jel sürelerine bakılmıştır. Özellikle hem sertleştirici hem de alev geciktirici özelliklerini aynı anda bulunduran kimyasallar üzerine çalışılmıştır. Farklı miktarlarda kullanılan fosfat içerikli alev geciktiricilerin reçineye karıştırıldığında kürleşme (jel) sürelerindeki değişim incelenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada hazırlanan reçine ve alev geciktirici karışımlarının pH ve termal analizleri sırasıyla pH metre ve Termogravimetrik Analiz (TGA) ile yapılmıştır. Yonga levhalar standartlara uygun olarak ebatlanarak, üzerlerine hazırlanan alev geciktiricili reçineler sürülmek suretiyle UL-94 dikey yanma testi, Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI) ve en iyi yanma özelliği gösteren numunelere Konik Kalorimetre kullanılarak ısı salınımı, duman oluşumu ve oksijen tüketimi analizleri yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile hazırlanan numunelerde alev geciktiricili reçinenin yonga levha yüzeyinde dağılımı incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, iyi yanmazlık özelliği gösteren %20 APP içeren numuneler olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alev Geciktirici, Formaldehit, Kürleşme, Reçine, Üre-Formaldehit.

APPLICATION OF PHOSPHATE CONTAINING FLAME RETARDER CHEMICALS TO UREA-FORMALDEHYDE RESINS AND INVESTIGATION OF THE FLAMMABLE PROPERTIES

ABSTRACT

Urea formaldehyde, melamine-formaldehyde and melamine-urea-formaldehyde resins are used in the production of wood-based boards (MDF, particleboard, veneered board). The burning of these boards, whose raw material is wood, can be delayed by using various flame retardant chemicals. Although different flame retardants have been tried to date, the focus is still on compounds and mixtures containing phosphorus, nitrogen and boron, which can be used as aqueous solutions. For the board production in companies producing wood-based boards, the hardening time and therefore the production speed of the boards is also a critical point for the industry.

In this study, the gel times of different flame retardant chemicals containing phosphate and urea formaldehyde resins were examined. In particular, chemicals that have both hardener and flame retardant properties at the same time have been studied. The changes in the gel times were investigated when the phosphate-containing flame retardants used in different amounts were mixed with the resin.

In addition, the pH and thermal analyzes of the resin and flame retardant mixtures prepared in this study were performed by pH meter and Thermogravimetric Analysis (TGA), respectively. Heat release, smoke formation and oxygen consumption analyzes were carried out on the UL-94 vertical combustion test, the Limiting Oxygen Index (LOI) and the Conical Calorimeter, on the samples with the best combustion characteristics by sizing the particle boards in accordance with the standards and applying the prepared flame retardant resins on them. The distribution of flame retardant resin on the particle board surface was investigated in the samples prepared by Scanning Electron Microscope (SEM). As a result of the analyses, there were samples containing 20% APP with good non-flammability properties.

Keywords : Flame Retardant, Formaldehyde, Curing, Resin, Urea-Formaldehyde.

1.GİRİŞ

Hem masif halde, hem de masif odundan elde edilen çeşitli ürünler şeklinde değerlendirilebilen ağaç malzeme, insan hayatında da oldukça önemli bir yere sahiptir. Yenilenebilir bir kaynak olması ve aynı zamanda estetik açıdan da fark yaratması ile kendini gösteren ağaç malzemenin; hayvanlar, bitkiler, mantarlar, bakteriler, sıcaklık, hava akımları, su ve mineraller gibi etkilere karşı dayanımının düşük olması ve yanmaya karşı olan eğilimi dezavantajları arasında olup, kullanım alanını sınırlandırmaktadır. 300 º C civarında gerçekleşen yanma işlemi ahşap yüzeyden yanıcı gazları açığa çıkarır. Ahşap ürünlerin termal olarak bozunması ve yanması, yapısındaki bileşenlerin çeşitli kimyasal reaksiyonlarının bir sonucudur. Bu nedenle, ahşap malzemenin yangına karşı direncini arttırmak için odun, yangın geciktirici kimyasallarla muamele edilir. Alev geciktiriciler (Flame retardant, FR) yüzey alevi yayılımını azaltarak ahşabın yanıcılık özelliklerini değiştirmede etkilidir. Yani hayatımızda oldukça önemli yer tutan ahşabın, alev geciktirici gereksinimini karşılayabilen ve üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde mümkün olduğunca az etkiye sahip olan alev geciktiricilerin daha da araştırılıp, geliştirilmesi gerekmektedir.

Orman ürünleri sektöründe alev geciktirici kimyasallar belli oranlarda levhaya farklı yöntemlerle karıştırılmaktadır. Alev geciktirici kimyasal katı olarak ya da sulu çözelti olarak kullanılmaktadır. Levha üzerine püskürtülerek ya da yüzeyine emdirilerek uygulanmaktadır.

Yonga levha üretiminde orman ürünleri sektöründe alev geciktirici kimyasallar özellikle melamin-üre-formaldehit (MUF) reçinesi ile beraber kullanılmaktadır. MUF reçineleri oldukça maliyetli reçineler olmakla beraber, buna bir de alev geciktirici kimyasalın maliyeti eklendiğinde alev geciktiricili yonga levhalar firmalar için oldukça maliyetli levhalar olarak üretilmektedir. Literatürde de üre-formaldehit (UF) reçineleri ile beraber alev geciktirici kimyasalları kullanarak yapılan aleve dayanıklı yonga levha çalışmaları hala sınırlı sayıdadır. İşte bu nedenle bu çalışmada, yonga levha üretiminde kullanılan UF reçinesine katı olarak alev dayanımını arttırıcı fosfat bazlı amonyum polifosfat (APP),di-amonyum fosfat (DAP) ve mono-amonyum fosfat (MAP) eklenmiş ve karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. UF reçinelerine alev geciktirici özellik kazandırılarak daha düşük maliyetli yonga levha üretilmesi hedeflenmiştir.

Aynı zamanda da reçineye üretime uygun kürleşme özelliği kazandıran alev geciktirici kimyasallar seçilmiştir. Çalışmanın 1. bölümünde yonga levhalar hakkında genel bilgiler verilmiş, reçineler, alev geciktirici kimyasallar ve çalışmada kullanılan karakterizasyon yöntemleri anlatılmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde literatür özetleri derlenerek anlatılmıştır. Çalışmanın 3. bölümünde kullanılan malzemeler, numune hazırlama ve deneyler ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilerek üretim ve karakterizasyon aşaması sırasındaki deneysel yöntemlerden bahsedilmiştir. Çalışmanın 4. bölümünde deneysel bulgular verilmiş ve sebep sonuç olarak değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın 5. bölümünde ise numune analiz sonuçlarının değerlendirilerek konu üzerinde farklı önerilerin olabileceği üzerinde durulmuştur.

Bu tez çalışmasının amacı, yanma eğilimi yüksek olan yonga levhaların alev dayanımının iyileştirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla yonga levha üretiminde kullanılan UF reçinesine, katı olarak alev geciktirici kimyasallar eklenerek hazırlanan karışımlar yonga levha numunelerinin üzerine sürülmüştür. Hazırlanan karışımların pH ve kürleşme (jel) sürelerine bakılmıştır. Aynı zamanda hazırlanan karışımlar sertleştirilerek TGA cihazında eklenen fosfat içerikli alev geciktiricilerin etkileri incelenmiştir. Çalışma süresince hazırlanan numunelerin alev dayanımlarının belirlenmesinde LOI, UL-94 ve konik kalorimetre testlerinden yararlanılmıştır. SEM-EDX ile de hazırlanan numunelerin yüzey morfolojileri incelenmiştir.

Bu çalışma da hem kürleşme hem de alev geciktirici özelliği bulunan kimyasallar kullanılarak denemeler yapılmıştır. Alev geciktirici kimyasallar katı olarak kullanılmıştır. Daha az maliyetle en iyi alev geciktirici özellik kazandırılmış yonga levha üretimi hedeflenmiştir.

Bu çalışma ile beraber MDF üretiminde de aynı şekilde denemeler yapılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Ağaç ve odun malzemeler insan hayatında oldukça önemli bir yere sahip doğal hammadde kaynaklarıdır. Ağaç malzeme binlerce kullanım alanına sahiptir. Çünkü sertliği, dayanıklılığı, elastikiyeti, gösterdiği dirence göre hafif olması, şekillendirilebilmesi ve birtakım özelliklerinin iyileştirilebilmesi ile beraber vida ve çivi tutma özellikleri oldukça iyidir (Bozkurt ve Göker, 1996).

Ağaç malzemeler sunta, mobilya, kâğıt, parke, müzik aleti, tel direği, kaplanmış levha, kontrplak ve MDF üretiminde kullanılmaktadır. Sahip oldukları fiziksel ve mekanik özellikleri, yapıları ve ile beraber içeriğinde bulunan kimyasal bileşenler ağaç malzemelerin kullanım alanlarını arttırmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Ağaç malzemeler kolay alevlenirler ve yanarlar. Yanmayı geciktiren emprenye kimyasalları ağaç malzemenin bozunma sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta bozunarak yapılarındaki selülozu, odun kömürü ve suya dönüştürürler. Bu sayede yüksek sıcaklıklarda oluşması beklenen uçucu ve yanıcı maddeler oluşmaz ve ağaç malzemenin alevlenme özelliği azalarak alevin ortama yayılması önlenmiş olur (Le Van ve Winandy, 1990).

Ahşap malzemelerin dayanımları çok yüksek olsa da yanmazlıkları imkânsız olduğundan dolayı üretimlerinde yanmayı geciktirici MAP, DAP ve fosforik asit gibi fosfor bileşikleri, amonyum sülfat, amonyum klorür, boraks ve borik asit alev geciktirici olarak kullanılmaktadır (Atar ve diğ., 2004 ; Uysal, 1997).

Ahşaba kolay uygulanabilir özellikte olmalarından ve etkinliklerinin yüksek olmasından dolayı yapılarında fosfor bulunan amonyum tuzlarından MAP ve DAP; en çok tercih edilen ürünlerdir [6]. Ahşap ürünlerin yangın geciktirici işlemleri, yanıcılıklarını azaltmak için tasarlanmıştır. Yangın geciktiricileri ahşap veya kontrplakta karıştırmanın en yaygın yöntemi, ıslatma veya basınçla emprenye (emdirme) etmedir (Hirata ve diğ., 1988 ; Kikuchi ve Maeda, 2007).

Yanıcı özellikteki ahşap yonga imalatında ana hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, ahşap parçacıklarının ve/veya elde edilen yonga levhanın yangın geciktirici

kimyasallar kullanılarak işlenmesi gerekir. Herhangi bir yangına dayanıklılığın birincil amacı, yangın sırasında tüm bina sakinlerinin güvenli bir şekilde tahliye edilebilmesi, itfaiyecilerin yangını söndürebilmesi ve mal kaybının en aza indirilebilmesi için yeterli bir süre boyunca yapısal bütünlüğü korumaktır (Kamal ve diğ., 2009). Reçinelerin yangın geciktiricilerle yüzey kaplaması olarak kullanımının, yangın dayanıklılığını arttırmanın etkili ve ekonomik bir yöntemi olduğu bilinmektedir (Kawarasaki ve diğ., 2004 ; Su ve diğerleri., 1997).

Esas olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan ahşap, esas olarak konut ve konut dışı yapılarda (binalar, ev içleri ve ulaşım dâhil) kullanılır ve yangın durumunda insanlar ve çevre için potansiyel tehlike oluşturur. Çevresel kaygılarla birlikte koruma ihtiyacı, yangın geciktiriciye olan ilgiyi artırmaktadır. Ahşabın pirolizi ve yanması üzerindeki yangın geciktiricilerin mekanizmasını açıklayan altı temel teori vardır. Bu teoriler; bariyer teorisi, termal teori, yanıcı olmayan gazlarla seyreltme teorisi, serbest radikal tuzak teorisi, artan kömür/azaltılmış uçucular teorisi ve uçucuların azaltılmış ısı içeriği teorisidir (LeVan, 1984).

Sektörde MUF reçinesi kullanılarak, üretim aşamasında hazırlanan pastaya çeşitli alev geciktirici kimyasallar eklenerek yangına dayanıklı levha üretimi yapılmaktadır. Melaminin Türkiye'de üretilmemesinden dolayı MUF reçineleri maliyetlidir. UF reçinesi daha düşük maliyetli olduğundan, çeşitli alev geciktiriciler ile kombinasyonları denenerek yangına dayanıklı levhalar üretilebilir.

2.1. Yonga Levhalar

2.1.1. Yonga Levha Nedir?

Yongalama makinelerinde küçük parçalara ayrılan odun hammaddesi belli bir nem değerine indirilmesi amacıyla kurutma fırınına iletilmektedir. Nem indirgeme işlemi sonrasına elemeye geçen parçalar; tutkal, sertleştirici madde ve hidrofobik özelliğini sağlayan maddeler ile karıştırılarak, belirli bir sürede, sıcaklık ve basınç altında preslenmektedirler. Bu işlemler sonucunda büyük ve geniş yüzeyli levhalar halinde meydana gelen ahşap esaslı ürünler elde edilmektedir. Şekil 2.1'de sunta ve/veya suni tahta olarak ta adlandırılan yonga levhanın genel görünümü verilmiştir.



Şekil 2.1. Yonga levha genel görünüşü (URL-1, 2021)

2.1.2. Yonga Levhaların Genel Sınıflandırılması

Yonga levhalar; özgül ağırlıkları, üretim şekilleri, tabaka sayıları, yüzey işlemleri, kalınlıkları, kullanım amaçları, tutkal ve bağlayıcı cinsleri, yüzey kaplama malzemeleri, üretimde kullanılan hammadde cinsleri, presleme yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır.

1.Özgül ağırlıklarına göre yonga levhalar üç sınıfa ayrılmaktadır:

a) Özgül ağırlığı düşük olan yonga levhalar : < 0.59 gr/cm^3 ,
b) Özgül ağırlığı orta olan yonga levhalar : 0.59 – 0.80 gr/cm^3,
c) Özgül ağırlığı yüksek olan yonga levhalar : >0.80 gr/cm^3 (Bozkurt ve Göker, 1996).

2.Üretim şekillerine göre yonga levhalar üç gruptan oluşmaktadır:

a) Dik Yongalı Yonga Levha; Yongaların, levha yüzeyine genellikle dik durumda olduğu yonga levhalardır ,
b) Yatık Yongalı Yonga Levha; Yongaları, levha yüzeyine genellikle paralel durumda olan yonga levhalardır (TS 2129, 1975) ,
c) TS 180 (1978 Eylül) ' e göre; Genel amaçlı yonga levha odun yongalarının, açık hava koşullarına dayanıklı olmayan sentetik reçine tutkalları ile karıştırılıp sıcaklık etkisi altında preslenmesiyle oluşan ve yongaları genellikle levha yüzeyine paralel olan levhalardır (TS 180, 1978) .

3.Tabaka sayılarına göre yonga levhalar dört gruba ayrılmaktadır:

a) Tek tabakalı yonga levhalar,
b) Üç tabakalı yonga levhalar,
c) Beş tabakalı yonga levhalar,
d) Tabakaları belirsiz yonga levhalar.

4.Yüzey işlemlerine göre yonga levhalar iki gruba ayrılmaktadır:

a) Zımparalanmış levhalar,
b) Zımparalanmamış levhalar.

5.Kalınlıklarına göre (mm) yonga levhalar: Çeşitli kalınlık ölçütlerine göre gruplandırılmaktadır: 3-6-8-10-13-16-19-22-25-28-32-36-40-45-50-60 mm.

6.Kullanım amacına göre yonga levhalar özel ve genel olmak üzere iki grup altında incelenmektedir:

a) Özel amaçlar için üretilmiş yonga levhalar
b) Genel amaçlar için üretilmiş yonga levhalar

7.Bağlayıcı cinsine göre yonga levhalar altı sınıfa ayrılmaktadır:

a) Melamin tutkalı ile üretilmiş yonga levhalar,
b) Fenol-formaldehit (FF) tutkalı ile üretilmiş yonga levhalar,
c) Üre-formaldehit tutkalı ile üretilmiş yonga levhalar,
d) Polyizosiyanat tutkalı ile üretilmiş yonga levhalar,
e) Bağlayıcı olarak doğal yapıştırıcılar kullanılmış yonga levhalar,
f) Bağlayıcı olarak sülfit asit suyu kullanılmış yonga levhalar.

8.Yüzey kaplama malzemesine göre yonga levhalar dört grupta incelenmektedir:

a) Ağaç kaplamalı yonga levhalar,
b) Laminant yüzeyli yonga levhalar,
✓ Yonga levha yüzeyine, tutkalla yapıştırılmış lamine levhalı ve folyolu yonga levhalar,

- ✓ Yonga levha yüzeyine, kendinden yapıştırıcısı ile yapışan laminant yüzeyli yonga levhalar,

c) Kaplamasız yonga levhalar,

d) Sıvı yüzey kaplama maddeleriyle (Boya ve vernik gibi) kaplanmış yonga levhalar.

9.Üretimde kullanılmış hammadde cinsine göre yonga levhalar, odun ve bitkisel olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır:

a) Odun hammaddesinden üretilmiş yonga levhalar,

b) Bitkisel materyal veya atıklardan üretilmiş yonga levhalar.

10.Presleme yöntemine göre yonga levhalar iki ayrı grup içinde incelenmektedir:

a) Dik preslenmiş yonga levhalar,

b) Yatık preslenmiş yonga levhalar (TS 2129, 1975 ; URL 2, 2021)

2.1.3. Yonga Levhaların TS EN 309'a Göre Sınıflandırılması

Yonga levhaların TS EN 309 ' a göre sınıflandırma şekilleri incelendiğinde; üretim yöntemlerine, yüzey yapılarına, şekil ve formlarına, parçaların şekil ve ölçülerine göre, yapılarına göre ve kullanım alanlarına göre yonga levhalar sınıflandırılmıştır.

1. Üretim işlemlerine göre;

a) Yatık preslenmiş,

b) Dik preslenmiş,

c) Kalıplanmış (şekillendirilmiş),

✓ Deliksiz,

✓ Delikli.

2. Yüzey durumlarına göre;

a) Preslenmiş (zımparalanmamış),

b) Zımparalanmış,

c) Kaplanmış (sıvı kaplama, örneğin boya ile),

d) Basınç altında, katı bir malzeme ile yüzeylendirilmiş. (örneğin, dekoratif lamine kaplama, emprenye edilmiş dekoratif kâğıt vb.)

3. Şekil ve formlarına göre;

a) Düz,
b) Yüzeyi profilli,
c) Kenarı profilli.

4. Parçaların şekil ve ölçülerine göre;

a) Talaş levha,
b) Yaprak levha,
c) Şekillendirilmiş levha,
d) Odunlaşmış diğer bitkilerden (örneğin, keten, kenevir ipliği vb.) üretilen panolar.

5. Yapılarına göre;

a) Tek tabakalı,
b) Çok tabakalı,
c) Sınıflandırılmış,
d) Kalıplanmış (şekillendirilmiş) delikli levhalar.

6. Kullanımlarına göre;

a) Genel amaçlı levhalar,
b) Kuru şartlarda, kapalı ortamlarda kullanılan (mobilya dâhil) levhalar,
c) Konstrüksiyonlarda taşıma amaçlı kullanılan levhalar,
✓ Aşırı yüklenebilen levhalar,
✓ Biyolojik tehlikelere karşı dayanıklılığı geliştirilmiş levhalar,
✓ Ateşe dayanıklı levhalar,
✓ Ses adsorbe eden levhalar,
✓ Diğerleri.

2.1.4. Yonga Levhaların Özellikleri

Yonga levhalar pahalı olmadıklarından ve şekil değiştirmediklerinden günümüzde hemen hemen masif ağaç ve kontraplağın yerini almıştır.

Bunlar her türlü mobilya, kaplamalı kapı, tavan, lambri gibi dekorasyon işleri; mağaza, gazino, tiyatro ve sinema salonları dekorasyonu; gemi, otobüs ve prefabrik ev yapımında ve benzeri yerlerde başarı ile kullanılmaktadır (Akyüz, 2004).

Yonga levhaların genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

1. Odunun tamamı yongaya dönüştürülüp hiç fire vermeden istenen ebatlarda levha üretilebilir.
2. Yongaların ölçülerinin istenilen şekilde ayarlanması ve biçimlerinin verilmesi ile elde edilecek levhanın istenilen düzeyde dayanımı artırılabilir.
3. Presleme öncesinde ve/veya sonrasında yongalara hidrofobik özellik kazandırılabilir.
4. Yangın, mantar ve böcek vb. durumlara karşı yongalar koruyucu maddeler kullanılarak emprenye edilebilir.
5. Spesifik kullanım amaçları doğrultusunda geniş yüzey alanına sahip çeşitli kalınlıklarda yongalar imal edilebilir.
6. Kalıp içerisinde taslak oluşturmayla form verilmiş levhalar üretilebilir.
7. Ağaç malzeme tutkalları ile kaplanma levhaları kullanıldığında yüksek performans özellikleri gösterir. Basınçla preslenmiş plastik malzemeler ve ağaç kaplama levhaları ile örtülmüş yonga levhaların yüzey işlemleri oldukça kolaydır.
8. Makinalarla işlenme özellikleri iyidir, frezelerle ve matkapla kolayca işlenebilmektedirler.
9. Yüksek devirli şerit ve daire testerelerle işlendiğinde düzgün kesit yüzeyleri verir.
10. Akustik özellikleri oldukça iyidir.
11. Levhalar işlendiğinde fire oranı düşük olup iş verimi yüksektir.
12. Yüzeyleri çeşitli ağaç kaplamalar ve laminatlarla katlanmak suretiyle görsel anlamda dikkat çekici bir görünüş elde edilebilir. Aynı zamanda fiziksel özelliklerde iyileştirilebilir (Göker, 2000).

2.1.5.Yonga Levhanın Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Yonga levhanın özelliklerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır: Bunlar; ağaç türü, ekstraktif (özütleme) maddeler, permeabilite (geçirgenlik), kabuk, odunun rutubet miktarı, yonga tipi ve geometrisi, tutkal türü, miktarı ve uygulanışı, katkı maddeleri, yonga levhanın yoğunluğu, yoğunluk profili ve presleme şartlarıdır.

2.1.5.1. Ağaç Türü

Odun, levha ağırlığının yaklaşık % 90'dan fazlasını oluşturmaktadır ve bu nedenle levha özelliklerini belirlemede ağaç türü oldukça önemli bir etkendir. Özellikle odun çeşidinin, düzgün, ince ve uzun yongalar oluşturulmasına yardımcı olması oldukça önemlidir. Farklı ağaç türlerinden aynı şartlarda elde edilen yongaların boyutları arasında farklılıklar olmaktadır. Yumuşak odunlu ağaçlar yonga levha endüstrisinde tercih edilmekte ve özellikle yoğunluğu 400-700 kg/m^3 olan odunların kullanılması önerilmektedir. Genel bir kural olarak; düşük yoğunluklu türler tercih edilmekte, orta yoğunluktaki türler kolaylıkla ve uygun fiyatla bulunabildiğinde kullanılmakta, fakat çok yüksek yoğunluklu türler istenmemektedir. Ayrıca, düşük yoğunluklu türleri levhanın dış tabakalarında, daha ağır yoğunluklu olanların ise orta tabakada kullanılması hammadde kullanımı bakımından en ekonomik çözüm olarak belirtilmiştir.

2.1.5.2.Ekstraktif (Özütleme) Maddeler

Tutkalın sertleşmesi ve tüketimi üzerine etki gösteren ekstraktif maddeler; özellikle bazı iğne yapraklı ağaç ekstraktifleri, imal edilecek levhaların suya karşı direnç özelliği kazanmasını sağlamaktadırlar. Uçuculuk özelliği fazla olan ekstraktifler presleme aşamasında, levhada yerel kabarıkların oluşmasına neden olabilmektedirler. Doğal reçine veya mum gibi ekstraktiflere sahip ağaç türleri bulunmaktadır. Bu ekstraktifler levhanın su itici özelliğini artırmaktadırlar.

2.1.5.3.Permeabilite (Geçirgenlik)

Yongalar tutkallama işleminden sonra tutkalın yonga yüzeylerinde tutulması sağlanmalıdır. Ürün maliyetini belirlemede önemli bir değere sahip tutkal miktarı sınırlı

bir oranda kullanılmalıdır. Bu nedenle tutkal kaybı istenmeyen bir durum olup özellikle yonga uçlarında emilen tutkal, önlenemez bir kayıptır.

Odunun permeabilite özelliği kullanılan tutkal miktarının yeterli düzeyde olması veya olmaması bakımından ayrım oluşturabilir. Tutkal miktarının yeterliliği ile ilgili tüm sonuçlar levhanın direnç özelliklerini ve stabilitesini etkiler.

2.1.5.4.Kabuk

Yongalara karıştırılan kabuk miktarı levhanın direnç özellikleri üzerine negatif etki etmektedir. Tek katlı levhalarda kabuk oranı %10-12 olduğunda direnç değerleri % 9-16 oranında azalmaktadır. Üç kat levhalarda orta tabakasına kabuk katıldığı takdirde ise direnç değeri %5-10 oranında azalma göstermektedir. Levhaların dış yüzeylerine karıştırılan kabuklar, levha yüzeyinde lekeler oluşturmakta ve görünüş özelliklerini değiştirmektedir.

2.1.5.5.Odunun Rutubet Miktarı

Rutubet değeri % 30'dan az olan ve rutubet değeri çok yüksek olan yongalar verimi düşürmektedirler. Pres işlemi sonrası levhaların rutubet oranı %10'dan az olduğunda mekanik özelliklerinin değişmemekte, ancak %10-22 rutubet değerlerinde mekanik özelliklerinde bir miktar azalma görülmekte, %22-50 rutubet değerleri arasında ise levhanın eğilme direncinde önemli miktarda azalma olmaktadır. Düzgün yüzeyli yongalar elde edebilmek için hammadde odun rutubetinin %30-60 arasında olması gerekir. Rutubet oranının yüksek olması tutkallama işlemi zorlaştırırken kurutma masraflarının artmasına sebep olur. Rutubet oranının düşük olması durumunda yongalar düzgün yüzeyli olarak imal edilememektedir.

2.1.5.6.Yonga Tipi ve Geometrisi

Yonga levhanın yüzey kalitesi ve işlenme özellikleri, fiziksel ve mekaniksel özellikleri yonga geometrisine bağlıdır. Yonga levhaların suda bekletme işlemi sonrasında gerçekleşen kalınlık artması oranı ve yüzeye dik çekme direnci oranı; yonga levhaların kalınlığının artması ile sağlanmaktadır. Ancak yongalarla birlikte, küçük yonga ve toz kullanılması, su alma ve kalınlık artımı oranlarının azalmasına sebep olmaktadır. Toz ve küçük yonga parçacıklarının yüzeye dik yöndeki çekme direnci üzerine etkisi yoktur.

2.1.5.7.Tutkal Türü, Miktarı ve Uygulanışı

Fenolik tutkallar ve izosiyanat tutkalı rutubete ve suya karşı dayanıklı olduklarından dolayı dış ortamlarda kullanılacak yonga levhalar için uygundurlar. UF tutkalı açık hava şartlarına dayanıklı olmadığından dolayı iç ortamlarda ve kapalı yerlerde kullanılacak yonga levhalarda tercih edilmektedir.

Levhanın özelliklerini etkileyen diğer faktörler sabit tutularak, kullanılacak tutkal miktarının artırıldığında levhanın bütün direnç özellikleri ve boyut stabilitesi iyileşmektedir. Levhanın direnç özelliklerini etkileyen bir diğer etken tutkalın yongalar üzerine uygulanma yöntemidir. Yongalar arasındaki yapışma; tutkal tanecik yapısının boyut büyüklüğü ve tutkalın yongalar üzerine homojen bir şekilde dağılmasından etkilenmektedir.

2.1.5.8.Katkı Maddeleri

Yonga levhaya hidrofobik özellik kazandırmak için kullanılan parafin, levhanın direnç özelliklerini olumsuz etkileyebilir. Parafin miktarının %1 veya daha az kullanılması durumunda parafin levhanın direnç özelliklerini etkilememekte, daha yüksek oranda kullanıldığında ise levhanın direnç özelliklerinde azalma olmaktadır. Mantar ve böceklere karşı koruyucu madde olarak yonga karışımına %2 oranında pentaklorofenol ilave edilirse yeterli koruma sağlanmakta ancak pentaklorofenol miktarı arttıkça, yüzeye dik çekme direncini azalmaktadır.

2.1.5.9.Yonga Levhanın Yoğunluğu

Levhanın fiziksel ve mekaniksel özelliklerini en fazla etkileyen faktör levhanın yoğunluğudur. Levhanın yoğunluğun artması, levhanın kalınlığının artması ve boyut stabilitesi dışında diğer özelliklerin iyileşmesini sağlamaktadır.

2.1.5.10. Yoğunluk Profili

Yoğunluk profili, levha kalınlığı boyunca yoğunluk değişimidir. Homojen yoğunluk profilinde levha üretmek çok zordur. Yoğunluk homojenliği, levhanın eğilme direnci ve elastikiyet modülünü artırmakla beraber yüzey işlemleri sırasında düzgün yüzey yapısının oluşmasını sağlamaktadır.

2.1.5.11. Presleme Şartları

Sıcaklık, sertleşme süresi, basınç ve tutkal miktarının yeterli olmayışı sonucu levhada ayrılmalar olabilir. Presleme işleminden zamanında çıkarılmayan levhalarda 170 ^{o}C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda direnç önemli bir ölçüde azalarak ısıl bozulmalar meydana gelebilir. Presleme süresinin artırılması ile yonga levhaların başta yüzeye dik çekme özelliği olmak üzere tüm özellikleri iyileşme gösterir (Nemli, 1995).

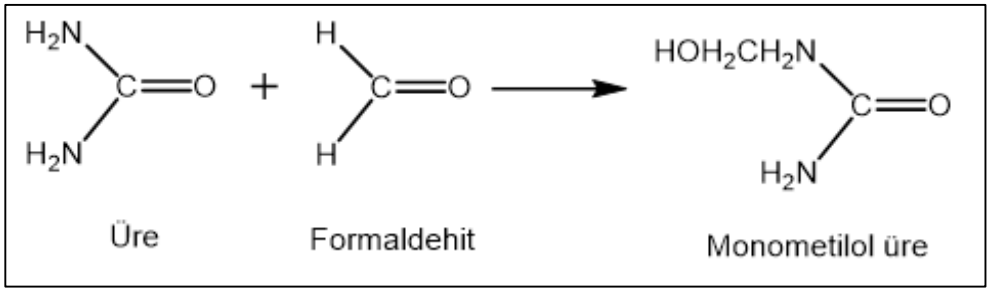
2.2. Yonga Levha Üretiminde Kullanılan Reçineler

Yonga levha üretiminde kullanılan tutkallar, sıcak pres altında ve belirli bir basınç ve zamanda yongaların ve talaşların istenilen kalınlıkta stabil hale getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yonga levha endüstrisinde genellikle termoset reçineler olarak adlandırılan UF, MUF, FF ve Resorsin-formaldehit reçineleri kullanılmaktadır. Termoset reçineler ısıtıldıklarında önce yumuşamakta ancak daha fazla ısıtıldıklarında yeniden yumuşamamak üzere sertleşmektedirler. UF reçineleri sıcak presleme işlemlerinde sertleşme süresinin kısa olması, kullanımının kolay ve düşük maliyetli olması nedeni ile günümüzde yonga levha üretiminde en çok tercih edilen tutkal reçineleridir. Beyaz renkli olması ve şeffaf yapısı nedeniyle genel amaçlar doğrultusunda üretilen yonga levhalarda kullanılmaktadırlar. Fenoplast olarak adlandırılan FF tutkalları açık hava şartlarında ve dış cephelerde kullanılacak levhalar için uygundur (İstek, 2006).

2.2.1. Üre-Formaldehit (UF) Reçineleri

UF reçineleri; üre ile formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu ile ortaya çıkan, yüksek molekül ağırlıklı termoset reçinelerdir. Sıvı ve kuru olmak üzere iki şekilde üretilebilmektedirler. Formaldehitin ham maddesi metanoldür. Metanol de maden kömürü, oksijen ve hidrojenden üretilmektedir.

Formaldehit, metanolün taze hava ile katalizör eşliğinde yakılması ile üretilmektedir. Ürenin rengi yoktur, kokusuzdur ve suda hızlı çözünür. Yapısı da kristal şeklindedir. Karbondioksit ve amonyak kullanılarak sentetik olarak elde edilen bir üründür (Huş, 1997). Monometilol üre oluşumu Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Monometilol üre oluşumu (Eroğlu ve Usta, 2000).

UF reçineleri, orman ürünleri sektöründe, yonga levha ve MDF üretimi yapılırken en çok tercih edilen reçinedir. Sektörde bu reçine; % 61 yonga levha, % 5 kontrplak, % 27 MDF ve % 7 dekoratif yüzey kaplama malzemesi üretiminde kullanılmaktadır.

UF reçinesinin avantaj ve dezavantajları aşağıda açıklanmıştır:

• Adhezyon özelliği güçlüdür,
• Düşük sıcaklıklarda hızla sertleşmektedir,
• Suda çözünebilir,
• Kokusuzdur,
• Alevlenmez,
• Renksizdir,
• Maliyeti düşüktür,
• Termal özellikleri oldukça iyidir,
• Sertleşen tutkal filmi renksizdir,
• Nem ve suya karşı dayanımı yoktur,
• Formaldehit emisyonu fazladır.

UF reçinesi lif veya yongalara katı maddeleri düşürülerek yani sulu çözelti halinde uygulanmaktadır. Isıyla beraber uygun sertleştirici eklenerek üç boyutlu ve çapraz bağlı hale gelmektedir. UF sentezinin ilk aşamasında amino gruplarına formaldehit eklenerek üre hidroksimetillenmiş bir hale geçmektedir. Yani bu basamakta; mono, di ve trimetilol üre oluşmasına sağlayan reaksiyonlar oluşmuş olur. Tetra-metilol üre pek oluşmaz. İkinci aşamada ise, metilol ürenin düşük molekül ağırlıklı polimerlere kondenzasyonunu kapsamaktadır. Kondenzasyon reaksiyonları pH değerine bağlı olmakla birlikte, asidik koşullarda UF tutkalının molekül ağırlığındaki artışın formasyona öncülük eden

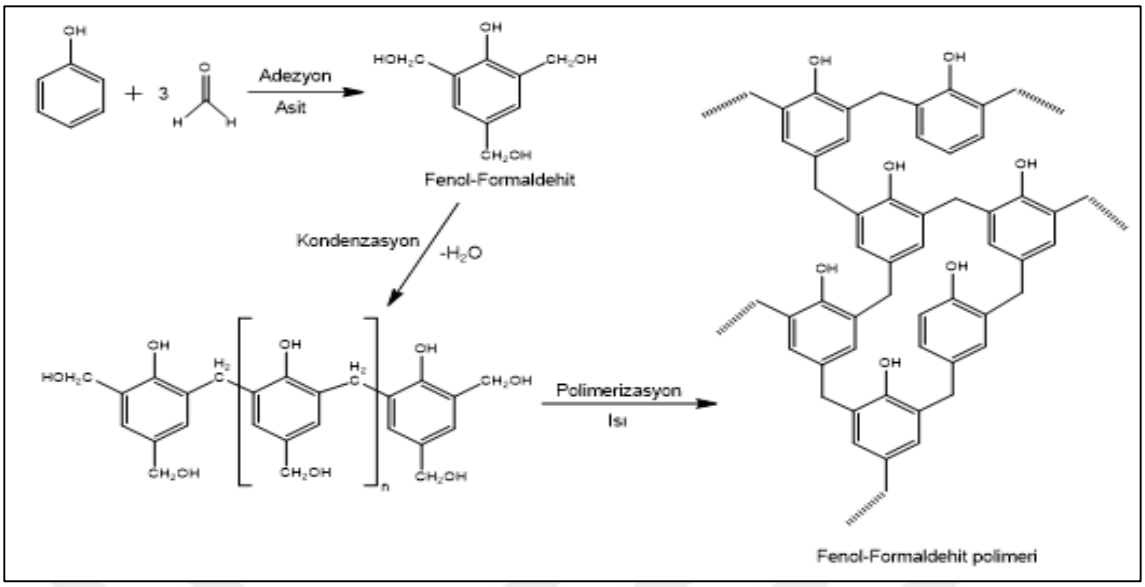
aşağıdaki reaksiyonların bir kombinasyonu olacağı düşünülebilir (Nemli ve Aytaç, 2002; Atar, 2012). İlk aşamada, üre ve formaldehitin reaksiyonu (pH: 8–9) ile metilol ürenin oluşumunu içermektedir. İkinci aşamada (pH: 5), asidik ortama kondenzasyon reaksiyonları istenen viskoziteye gelene dek devam etmekte, reaksiyon karışımı soğutularak nötralleştirilmektedir. Tutkalın katı maddesini (% 60–65) ayarlamak için vakum destilasyonu ile su uzaklaştırılmaktadır. Üre üretim prosedürüne bağlı olarak, istenilen molar oran hesaplamaları ile iki veya daha fazla kademede ilave edilmektedir. Yüksek ısı UF reçinesinin hidrolizine sebep olabilmektedir. Preslemede olması gerekenden daha fazla ısı uygulanmamalı, preslemeden sonra üretilen levhalar mutlaka soğutulmalıdır.

Üç tabakalı levha üretiminde, yüzey tabakaları orta tabakadan daha hızlı sertleşecektir. Bundan dolayı yüzey tabakasında katılan reçinenin sertleşmesinin geciktirilmesi için tüm şartların sağlanması önerilmektedir (Atar, 2012).

Laminant üretiminde MF reçineleri önemli bir yerdedir. Ayrıca birtakım durumlarda, üre veya üre ile melamin karışımı reçinelerde kullanılmaktadır. UF reçinelerinin laminant üretiminde kullanılması bir takım problemlere yol açmaktadır. UF reçineleri, devamlı olması gereken ıslanma ve kurutma periyotlarına karşı dayanıklı olmayıp 60 °C ve % 60 bağıl nem koşullarında bozunmaya başlamaktadır. %15-20'lik odun rutubeti 60 °C'nin altında UF reçinesinin bozulmasını hızlandırmaktadır.

Fenolik veya polifenolik reçinelerin aksine aminoplastik tutkallar genellikle sertleşmeden sonra açık renkli, görünmeyen bir tutkal hattı oluştururlar. Bununla birlikte asidik sertleştiriciler tutkal hattında açık sarıdan koyu kırmızıya kadar değişen renk bozukluklarına yol açabilirler. Bu istenmeyen durumu ortadan kaldırmak için sertleştirici ya tutkaldan önce püskürtülerek ya da malzemenin yüzeyine sonradan uygulanmalıdır.

Goncalves, Lelis ve Oliveria (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, UF reçinesine % 10, % 15 ve % 30 oranlarında tane olarak karıştırıldığında yonga levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkilenmediğini görülmüştür (Atar, 2012).



Şekil 2.3.Fenol-formaldehit kondenzasyon reaksiyonu (Frıhart, 2005)

2.2.2. Fenol Formaldehit (FF) Reçineleri

FF reçineleri alkali veya asidik bir katalizör ilavesiyle fenol ve formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu sonucu oluşur.

Levha üretilirken sıcak tutkallamada saf olarak ya da uygun sertleştirici eklenerek suda çözünmüş olan FF reçineleri kullanılmaktadır. Bu reçinede termoset olduğundan sıcaklıkla birlikte sertleşen, reçineler grubu içerisindedir. Kullanılan katalizör çeşidine bağlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Biri Resol, bir diğeri de Novolak reçinelerdir. Resol tipi olan reçineler NH_3=Amonyak (bazik) katalizörü ile üretilmektedir. Fenol ve formaldehitin reaksiyona girme oranları 1/1.8-1/2.2 arasında değişmektedir. Gerçekleşen reaksiyon çok kademeli bir reaksiyondur ve özel alet ve ekipman gerektirmektedir. Stok ömrü birkaç aydır ve serin yerlerde saklanmalıdır. FF kondenzasyon reaksiyonu Şekil 2.3 ‘ de verilmiştir (Tunç, 2012).

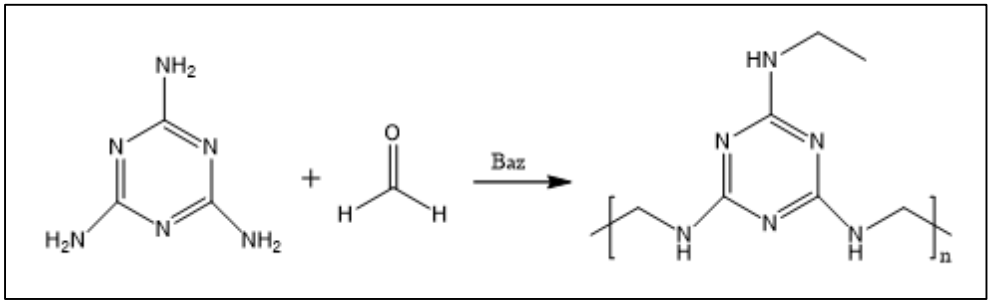
Novolak reçinesi, fenol ve bir miktar formaldehitin HCl = Hidroklorik asit katalizörü kullanılarak üretilmesi ile oluşmaktadır. Aynı zamanda istenirse üretim tesislerinde toz halinde kullanılırlar. Fenol ile formaldehitin reaksiyona girme oranları 1/0.8-1/1 arasındadır. Novolak reçineleri stabildir ve higroskobik özellikte kuru yerde depolamaya uygundur. Bu reçineler UF reçinelerine nazaran daha yavaş sertleşmektedirler ve üretimde yüksek pres sıcaklığı kullanılmaktadır. Orta tabaka pres sıcaklığı 120-150 °C arasındadır. Alt ve üst tabaka 200 °C’nin üzerine çıkmaktadır. Sertleşme sonucunda da

hem sıcağa hem de kimyasal maddelere karşı daha dayanıklı hale gelmektedirler. Sıcaklık ile sertleştiği zaman odunu daha dayanıklı ve dirençli hale getirmektedir ve muhteşem bir boyutsal kararlılık sağlamaktadır (Tunç, 2012).

Katalizörler presleme süresini aşağıya çekmektedir. Sıcaklığın etkisi ile sertleştiğinde oldukça iyi bir boyutsal stabilize sağlamaktadır (Tunç ve Pizzi, 1994). FF reçinesi sertleştikten sonra nem, su, yağ, organik çözücüler, birçok asit, mantar ve bakterilere karsı son derece dayanıklıdır. Bundan dolayı da bu zararlılara karşı dayanıklılığın arandığı mobilya, kaplama, kontrplak, yonga levha üretiminde ve ahşap yüzeylere metal kaplamada kullanılmaktadır (Tunç ve Pizzi, 1994 ; Nemli 2003).

2.2.3. Melamin-Formaldehit (MF) Reçineleri

MF reçineleri, melamin ve formaldehitin kondenzasyonu sonucu oluşmaktadır. Bu reçine 90-140 °C sıcaklıklarda sertleştirici ilave edilmeden sertleşebilmektedir. MF reçinesinin üretilmesinde öncelikli olarak kömür 2000 °C'de kireçle karıştırılarak kalsiyum karbür, daha sonra bu madde 1000 °C'de havanın azotu ile birleştirilerek kalsiyum siyanamide dönüştürülmektedir. Ardından alkali bir ortamda karbonik asit eklenerek ısıtıldığında hidrolize olur ve böylece disiyanamit oluşmaktadır. Bu madde fiziksel ve kimyasal koşullar altında %100'lük melamine dönüşmektedir. MF reçinesi Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Melamin-formaldehit reçinesi (Eroğlu ve Usta, 2000)

1 mol melamin ile 6 mol formaldehit reaksiyona girer ve kondenzasyonun esas malzemesi olan trimetilol melamini oluşturur. pH 5-6 civarında iken kondenzasyon tepkimesi oluşmaktadır. Kondenzasyon ile oluşan ürün yeterli oranda çözündükten sonra işlem bitirilmektedir. MF reçinesi, üre formaldehit reçinesi kadar depolamaya uygun değildir. Serin ve kuru stok alanında depolanması durumunda toz halindeki reçine 1 yıl dayanabilmektedir.

MF reçinesi, UF reçinesine benzemekle beraber bazı avantajları vardır;

• Suya karşı daha dirençlidir.

• Isı stabilitesi daha fazladır.

• Düşük sıcaklıklarda ve sertleştirici katılmaksızın sertleşebilir (Bardak, 2009).

2.2.4. İzosiyanat Reçineleri

Amino ve fenoplastik reçinelerde yapışma kendine özgü bir adezyonla sağlanmaktadır. Aslında izosiyanat reçinelerinde gerçek bir kimyasal bağ oluşmaktadır. İzosiyanat reçinesi pahalıdır, su içermez ve reçinenin tamamı yapıştırıcı olarak kullanılabilmektedir. Rutubete dayanıklılığı açısından bakacak olursak, FF ile eşdeğerdir, ama yapışma direnci çok fazladır. Alüminyum ve çelik malzemeye yapıştığından taşıcıyı ve preslerde sorun oluşturmaktadır.

Literatürde; etil metilen di-fenil diizosiyanat reçinesi kullanılarak üretilen yonga levhaların mekanik özellikleri, polimetilen di-izosiyanat reçinesi ile üretilenlere göre daha fazla bulunmuştur (Papadopoulos ve diğ., 2002).

2.3. Alev Önleyiciler/Geciktiriciler

2.3.1. Alev Geciktiricilerin Tarihsel Gelişimi

Ağaç malzemelerin alevlenmeye karşı olan dayanımının arttırılması için yapılan çalışmalar tarih öncesi zamanlarda başlamıştır. Eski Yunanlılar M.Ö. 700 yılında ağaç malzemeyi denize daldırarak sudaki minerallerden faydalanmışlardır ve odunu aleve karşı dayanıklı hale getirmeyi sağlamışlardır. Aynı zamanda, Eski Mısırlılar şap ($KAI(SO_4)_2$) ekleyerek ağaç malzemeyi az da olsa aleve karşı dayanıklı hale getirmeyi başarmışlardır. Romalılar şap ve sirkeden oluşturdukları karışımları tekne yüzeylerine sürerek teknelerini yanmaya karşı korumuşlardır. 1625 yılında İngiltere'de gemilerde bulunan ahşap ve halat bölümleri aleve karşı dayanıklı hale getirmek amacıyla geliştirilen yöntemin patenti alınmıştır (Ayrılmış, 2006).

Geçmişte ağaç malzemeleri yangına karşı korumak amacıyla çok farklı yöntemler denenmiştir, ancak bazıları iyi bir ticari ürün haline dönüşmüştür (Berkel, 1970). Gay Lussac 1821'de amonyum fosfat ve boraksı kullanarak selülozik malzemeleri yanmaya

karşı koruma çalışmaları yapmıştır (Gay-Lussac, 1821). Araştırmalar sonunda 1800-1870 yılları arasında alevlenmeyi geciktirici inorganik kimyasalların birçoğu bulunmuştur. Bu tarihten sonra bu konudaki çalışmalar hem önem hem de hız kazanmıştır.

Alevlenmeyi geciktirici kimyasallar ilk olarak, 1895 yılında Amerikan Deniz Kuvvetlerinde gemi inşaatında kullanılan ahşap malzemelerde ve 1899 yılında New York 'da inşa edilen 12 kat ve üzeri yapılarda ticari amaçlı kullanılmıştır (LeVan, 1984). 1900'lü yıllardan sonra yangınlardan dolayı insan ölümlerini azaltabilmek için binalarda kullanılan ahşabın korunmasına önem verilmiştir.

Şimdiki zamanda birçok ülkede yüksek katlı binalardaki kapı ve mobilya gibi ahşap malzemeden yapılan tüm malzemelerin alev geciktirici kimyasallar kullanılarak üretilmesi zorunluluk haline getirilmiştir (Ayrılmış, 2006). Alev geciktiricilerin gruplandırılması Tablo 2.1 'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Alev geciktiricilerin gruplandırılması (Mngomezulu ve diğ.,2014)

Alev Geciktirici Grubu	**Alev Geciktiriciler**
Fosfor tabanlı alev geciktiriciler	Organik fosforlu İnorganik fosforlu Kırmızı fosforlu
Halojen tabanlı alev geciktiriciler	Amonyum bromür Tribromofenol
Mineral madde tabanlı alev geciktiriciler	Hidrokarbonatlar Metal hidroksitler Borat bileşikler
Silikon tabanlı alev geciktiriciler	Organo silikatlar Silseskioksanlar Silikatlar
Nano-partikül tabanlı alev geciktiriciler	Nanokiller Karbon nanotüpler Grafen Nano ölçekli partiküller Hibrit partiküller

2.3.2. Alev Geciktirici Kimyasallar

Çok eski tarihlerde Yunanlılar deniz suyunu, Mısırlılar alüminyumlu çözeltileri, Romalılar ise kil, kireç, balçık (Bozkurt ve Erdin, 1997), şap ve sirkeyi (Eickner, 1966) ağaç malzemeye uygulayarak, yanmaya karşı dayanımını arttırmayı amaçlamışlardır.

Ağaç malzemelerin, birçok kullanım yerinde yanmaya karşı dayanımının arttırılması için kimyasal maddelerle emprenyesi büyük önem arz etmektedir (Ellis ve Rowell, 1989). Yapılarda yangına dayanım için farklı uygulamalar yapılsa da bazı dezavantajları nedeniyle günümüzde yanmaya dayanıklı emprenye ürünleri ve boyalar tercih edilmektedir. Günümüzde, üretici firmalar tarafından yanma geciktirici kimyasallar ile emprenyeli kereste, kontraplak, kompozit ve yonga levhaların yanı sıra, yüzeyleri yanma geciktirici boyalar ile kaplanmış olanlara her geçen gün yenileri eklenerek piyasaya sunulmaktadır (Östman, 2017). Tutuşma, alevlenme ve yanmaya karşı ağaç malzemelerin direncini artırmak için, inorganik ve organik kimyasallar kullanılmaktadır (Goldstein, 1973).

Günümüzde çinko borat; inorganik esaslı katkı maddelerine alev geciktirici özellik kazandırmak amacıyla polimerlerde ve boyalarda ilave katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. İnorganik katkı maddelerinin polimer matriksi içerisinde kalıntılar oluşturması, faz ayrışması yaparak homojen bir dağılım göstermemesi, ekstrüder makinasında aşınma gibi etkilerinden dolayı birtakım dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca zaman geçtikçe yüzeyden salınım yapması çevreye atık olarak etki etmesine neden olmaktadır (Eren ve Aşçı, 2015). Yanmaya karşı ağaç malzemelerin direncini artırmak için kullanılan suda çözünen tuzlar, karbondioksit, amonyak, sülfürik asit gazları, fosfat, borat, asetat gibi odunu örten eriyici maddeler oluşturarak etkilerini gösterirler.

Yanmayı önleyici bazı kimyasallara ait teknik bilgiler aşağıda verilmiştir (Bozkurt ve diğ., 1993) :

- Diamonyum hidrofosfat $(NH_4)_2HPO_4$, en etkili amonyum tuzudur, demire etki yapmamakta ve yıllarca yangına karşı ağaç malzemeyi korumaktadır.
- Amonyum sülfat $(NH_4)_2SO_4$, metallere etki yapan ve suda kolay çözünen bir tuzdur.
- Amonyum tetraborat $(NH_4)_2\ B_4O_7.4H_2O$, suda az eridiğinden koruyucu etkisi iyidir.
- Sodyum tetraborat veya Boraks $(Na_2B_4O_7.10H_2O)$, suda az eriyen etkili bir koruyucudur. Diğer emprenye maddelerine katılarak kullanılmaktadır.
- Sodyum asetat $(CH_3COONa.3H_2O)$, daldırma metodu veya ağaç malzeme üzerine birkaç tabaka sürüldüğünde iyi bir ateşe dayanıklılık sağlamaktadır. Korozyona neden olmaz, ancak mantarlar tarafından çürütülmeyi önleyemez.

- Alüminyum klorür ($Al_2C_{16}.12H_2O$) ve alüminyum sülfat $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, yeterli derecede absorpsiyon sağlandığında yanmaya karşı koruyucu madde olarak kullanılabilmektedir. Çözeltilerin pH 'ları düşük, metallere tesir eder ve mantarlara karşı zehirlidirler.
- Potasyum alüminyum sülfat (Kal $(SO_4)2.12H_2O$), yangına karşı koruyucu etkisi çok düşüktür.
- Çinko borat ($3ZnO.2B_2O_3$), üstübeç, beziryağı, reçine ve kurutucu bir madde ile birlikte karıştırılarak, yangına karşı iyi bir koruyucu madde olarak kullanılmaktadır.
- Potasyum ve sodyum alkali silikatlar (K_2SiO_3 ve Na_2SiO_3) , ağaç malzeme yüzeyine sürüldüklerinde erime halinde izolasyon köpük tabakaları oluşturarak yanmayı önlemektedirler. Dış hava etkileri altında kullanılamamalarıdır. Ağaç malzemenin üzerine sürülerek kullanılan bu inorganik yanmayı önleyici maddeler ancak kireç ve alçının yeterli kalınlıklarda uygulandıkları zaman etkilidir.
- Elementel borun bir oksiasidi formunda bir kimyasal olan borik asit (H_3BO_3) , Türkiye'de kolemanitten üretilmektedir. Kolemanitin sülfürik asit ile reaksiyonu sokulması ile üretim gerçekleşmektedir. Suda orta derecede çözünebilen borik asit, beyaz kristaller şeklinde, kokusuz, tatsız, havada kararlı bir maddedir. Gliserin ve alkolde çözünürken sıcak suda soğuk sudakinden daha fazla çözünür. İnsanlara ve diğer canlılara karşı daha az zehirli olma, çevreyi kirletmeme buna karşılık, mantar, böcek ve termit zararlılarına karşı yeterince etkili olma gibi avantajlara sahiptir. En büyük sakıncası ise suyla yıkanabilmesidir (Yıldız, 2005).
- Borlu bileşikler ve alkil amonyum maddeleri, biyolojik zararlılarla mücadele de oldukça etkin olmaları, oduna nüfuz yetenekleri, temini kolay ve ucuz olmaları, düşük zehirlilik etkileri sayesinde memelilere karşı istimal edilebilecek derecede olmaları ve ahşabın direncini yanmaya karşı yüksek oranda arttırmaları nedeniyle önemlidir (Williams, 1990 ; Arthur ve Quill, 1992)
- Firetex (taş suyu), içinde kimyasal veya endüstriyel herhangi bir katkı maddesi olmayan doğadaki kireç taşı özelliğindeki kayaçların suya dönüşmesinden meydana gelen, doğal, çevre, hayvan ve insan sağlığı açısından zararsız kaba su standartlarındadır. Havadaki nemi bünyesine çekme ve oksijeni kesme gibi yangın geciktirici özelliklerde farklı malzemelere uygulanabilen 5 çeşidi mevcuttur (Anonim 1, 2005; Anonim 2, 2003; Anonim 3, 2004).

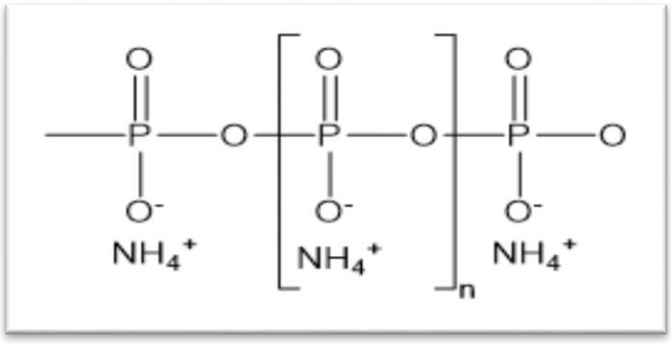
Ev tipi diye isimlendirilen yangınlarda yanmaz boya kullanarak etkili koruma sağlanabilir. Ancak, hızlı ısı artışı nedeniyle yaşanan akaryakıt yangını gibi hidrokarbon yangınlarda tepki süresi yetersiz kaldığından istenilen koruma sağlanamamaktadır. Bu boyalar yapı elemanlarına 30, 60, 90 ve 120 dakikalık sürelerde koruma sağlamaktadır.

Kimyasal yapılarındaki farklılıktan yangın anında şişerek hacimleri artmaktadır. Bu artışın gerçekleşmesi için belli bir süre gereklidir. Boyadaki hacim artışı gerçekleşince yalıtım katmanı sağlanmış olur. Emprenye ürünleri ve yanmaz boyalar, yangının yapı elemanı üzerindeki etkisini geciktirmek amacıyla kullanılabilen ürünlerdir. Yanma geciktirici boyaların yapılarda farklı renk seçeneği, yüzey kalitesi, uygulanabilme kolaylığı, sonradan oluşabilecek hasarların kolayca tamir edilebilmesi, yer kaplamaması ve statik açıdan ekstra yükler getirmemesi gibi avantajları vardır (Oliveira, 2017).

2.3.3. Çalışmada Kullanılan Alev Geciktirici Kimyasallar

2.3.3.1.Amonyum polifosfat (APP)

APP, çevre dostu ve halojensiz bir alev geciktiricidir. Kimyasal formül $[NH_4PO_3]_n(OH)_2$'dir. APP'nin kimyasal yapısı Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Amonyum polifosfatın kimyasal yapısı

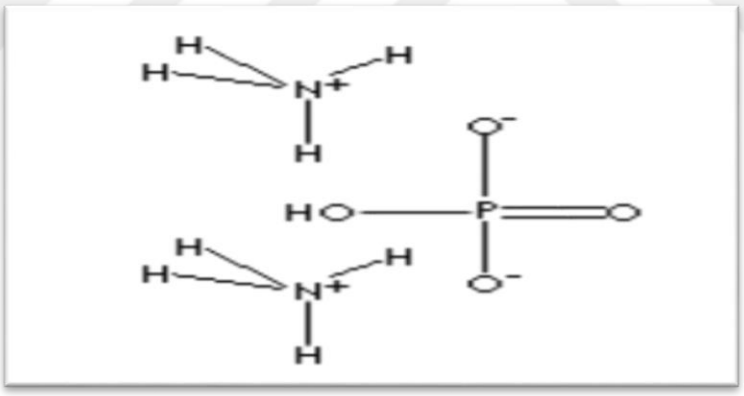
APP, kaplamalar, boyalar ve mühendislik plastikleri gibi birçok kabaran alev geciktirici sistemin ana bileşenidir. Kimyasal yapısı ile APP, polifosforik asit ve amonyağın inorganik bir tuzudur. Polimerizasyon derecesine göre, APP Faz I ve APP Faz II gibi iki ana amonyum polifosfat türü vardır (URL-3, 2021).

Dallanma olduğunda, birtakım monomerler amonyum anyonunu eksiltir ve bunun yerine diğer üç monomere bağlanır. Amonyum polifosfatın özellikleri, her moleküldeki monomerlerin sayısına ve bir dereceye kadar dallanma sıklığına bağlıdır. Daha kısa

zincirler (n <100) suya daha duyarlıdır ve daha uzun zincirlere (n> 1000) göre termal olarak daha az kararlıdır, ancak kısa polimer zincirleri (*ör.* Pyro-, tripoly- ve tetrapoly-) daha çözünürdür ve artan çözünürlük artan zincir uzunluğu ile gösterir. APP, konsantre fosforik asidin amonyak ile reaksiyona sokulmasıyla hazırlanabilir. Ayrıca, konsantre fosforik asitte çözünebilen demir ve alüminyum safsızlıklar, 5 ile 7 arasındaki pH'ta amonyum polifosfatta jelatinimsi çökeltiler veya "çamurlar" oluşturur. Bakır, krom, magnezyum ve çinko gibi diğer metal safsızlıklar granül halinde çökeltiler oluşturur. Bununla beraber, polimerizasyon derecesine bağlı olmak şartı ile APP, belirli metal iyonlarını çözelti içinde çözünmüş halde tutmak için bir kenetleme maddesi görevi görebilir (URL-4, 2021).

2.3.3.2.Di-amonyum Fosfat (DAP)

Yıkanmaya karşı dayanıksız olmasına rağmen DAP oldukça yaygın kullanılan bir alevlenmeyi geciktirici emprenye kimyasalıdır. DAP'ın açık formülü Şekil 2.6 'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Diamonyum fosfatın açık formülü

DAP 170 °C'de endotermik reaksiyon ile birlikte MAP'a dönüşmektedir. 190 °C'de MAP'ın erimesi ile beraber de ikinci endotermik reaksiyon gerçekleşmektedir. 185 °C'de DAP'ın amonyak gazı (NH_3) oluşması nedeniyle %13'lük bir kısmı azalma göstermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda fosforik asit çıkışı olmaktadır.

DAP'ın sıcaklık karşısındaki detaylı reaksiyon aşamaları(George, 1971);

1. $(NH_4)_2HPO_4 \xrightarrow{166\text{-}185^{o}C} NH_4H_2PO_4$ (mono amonyum fosfat)$+NH_3$(amonyak)
2. $2NH_4H_2PO_4$ (amonyum dihidrodifosfat) $\xrightarrow{170^{o}C}$ ($NH_4)_2H_2P_2O_7+H_2O$

3. $2H_3PO_4$ (fosforik asit) $\xrightarrow{>190^oC}$ $H_4P_2O_7$ (difosforik asit) $+H_2O$

4. $H_4P_2O_7$ (difosforik asit)) $\xrightarrow{>190^oC}$ P_2O_5 (fosfor pentoksit) $+2H_2O$

şeklindedir.

Yanmayı geciktirici DAP'ın ısı ile olan reaksiyonu ile fosforik asit odundaki polisakkaritleri esterleştirmekte ve su buharı oluşmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı, fosfatın fonksiyonu odundaki dehidrasyon reaksiyonunu desteklemektedir ve kömür oluşumunu artırmaktadır(Grexa ve diğ., 1999).Amonyum fosfat ve başka alevlenmeyi geciktirici kimyasallar ile emprenye edilmiş odun numuneleri üzerinde yapılan yanma deneyleri sonucuna göre amonyum fosfatın buharlaşan yanıcı gazların oluşumunu ve bu ürünlerin oluşturduğu ısı yayılımını da aşağı çektiği tespit edilmiştir (LeVan, 1984 ; Rowell ve LeVan, 2005) Alevlenmeyi geciktirici kimyasallar arasında DAP etkinlik açısından oldukça iyidir, MAP, amonyum klorür, amonyum sülfat, boraks ve çinko klorür kimyasalları da onu takip etmiştir (LeVan, 1984). MAP'ın oduna 75 kg/m^3 eklenmesi ile odunun yanması esnasında alev yayılma hızının azaldığı gözlemlenmiştir (Abdul Rashid ve Murphy, 1992).

DAP'ın birçok yerde alevlenmeyi geciktirici kimyasal olarak kullanılmasının sebebi;

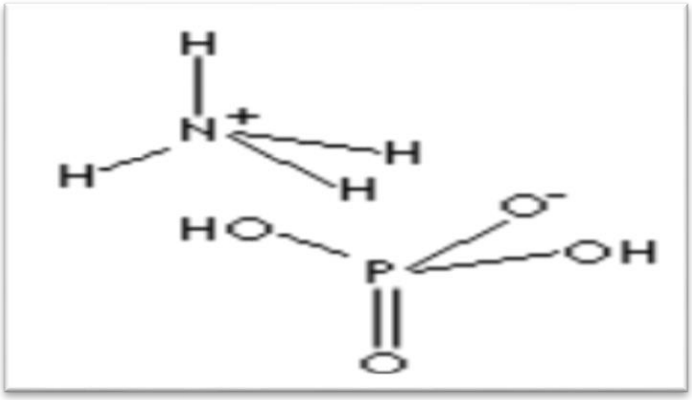
a) Isı ile etkileşiminde yanıcı olmayan amonyak gazı ve su buharı oluşturması,

b) Isı ile reaksiyon sonucunda ortaya çıkan fosforik asidin odunda kömür oluşumunu hızlandırması,

Tüm bu reaksiyonlar odunda alevin yayılma hızını düşürmekte ve yanma süresini yükseltmektedir.

2.3.3.3.Mono-amonyum Fosfat (MAP) :

MAP ahşap malzemeyi alevlenmeye karşı korumada DAP kadar etkilidir, ancak suda çözünürlüğü % 36.8 daha azdır ve daha pahalıdır. Asit reaksiyonlu olduğundan demirde korozyon oluşturur ve bunu ortadan kaldırmak için ağırlık bakımından yarısı kadar MAP ve yarısı kadar da % 2'lik jel halinde sodyum aljinat katılmaktadır (Berkel, 1970). MAP'ın açık formülü Şekil 2.7 'de verilmiştir.



Şekil 2.7.Mono amonyum fosfatın açık formülü

MAP ahşap malzeme yüzeyinde alev yayılmasını azaltmada etkilidir. MAP termal olarak diamonyum fosfata göre daha stabildir ve 190 °C'de erimektedir (Leao, 1993)

2.4. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri,

2.4.1. pH Değişimi

Kürleşme süresi analizinde kullanılan tutkal-sertleştirici karışımlarının pH'larını ölçmek için Mettler Toledo markasındaki masaüstü pH metre kullanılmıştır. Tüm ölçümler yapılmadan önce pH metrenin, Ph=4, pH=7ve Ph=9 standart kalibrasyon çözeltileri ile kalibrasyonu yapılmıştır.

2.4.2. Kürleşme (jelleşme) süresi

Tutkalın jelleşme süresi TS 12009 standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilerek; üre formaldehit tutkalına alev geciktirici kimyasalların homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Karışımdan 3 gr'lık örnek deney tüpüne alınmıştır ve 100 °C'de kaynayan suya deney tüpü daldırıldığı anda kronometre çalıştırılmıştır. Tutkalda değişme gözleninceye kadar deney tüpünün içerisindeki örnek sürekli karıştırılmış ve karıştırmanın güçleştiği anda kronometre kapatılmıştır (TS 12009, 1996).

2.4.3. Termogravimetrik Analiz (TGA)

TGA, numunede artan sıcaklık değişimine bağlı olarak oluşan ağırlık değişikliklerini tanımlamaya yarayan analiz yöntemi olup; ağırlık, ve sıcaklık değişiminin net ve doğru ölçümlerine bağlıdır.

Ağırlık kayıp eğrilerinin birçoğu birbirlerine benzediğinden ağırlık kayıp eğrisinin sonuçları yorumlanmadan önce bir dönüşüme gerek duyulmaktadır. Bu da ağırlık kayıp eğrisinin türevidir. Bu değerler hangi noktalarda ağırlık kaybının daha belirgin olduğunu anlatmak için kullanılabilmektedir.

TGA, polimerik malzemelerin karakteristiklerinin belirlendiği çalışmalarda bozulma sıcaklığı, malzeme tarafından emilmiş nem, malzeme içindeki inorganik ve organik komponent seviyesi, patlayıcıların ayrışma noktaları ve çözücü kalıntılarının tanımlanması için kullanılmakta olup, yüksek sıcaklıklı oksidasyondaki aşınma kinetiğini tahmin için de tercih edilen yöntemdir (URL-5, 2021).

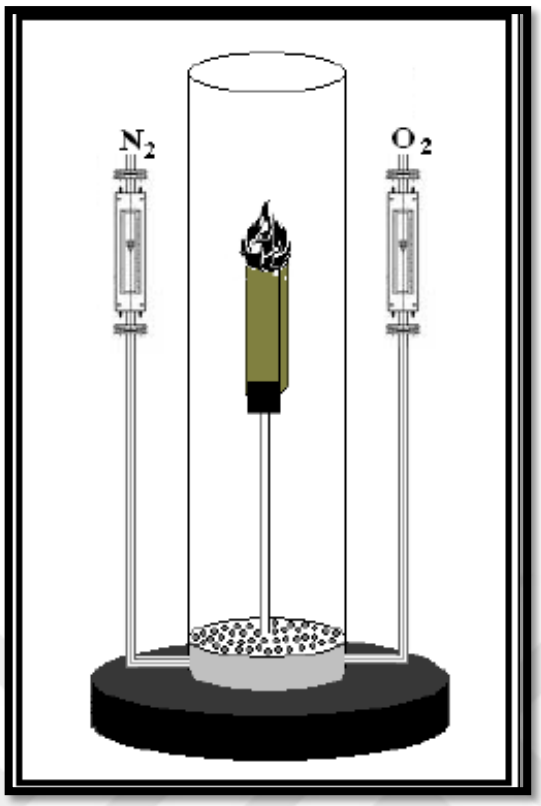
2.4.4. Limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI)

LOI, belirli çalışma şartlarında, dik olarak cihaza yerleştirilmiş örneklerin yanmaları için, farklı azot ve oksijen gaz kombinasyonları içerisinden belirlenmesi gereken en az miktarda oksijen konsantrasyonunun değeridir. Analiz sonuçları hacimce % cinsinden cihazdan okunmaktadır. LOI analizi, ASTM D2863 veya ISO 4589-2 ve 4589-3 (Aslan ve Özkaya, 2004 ; Jaskolowski ve diğ., 2013) standartlarına uygun olarak yapılan analiz işlemlerini içermektedir.

Farklı malzemeler için belirlenmiş ve istenen boyutlara getirilen örnekler, düşey pozisyonda ve içerisinden yukarı yönde oksijen ve azot karışımı geçen uzun bir cam içerisine yerleştirilmektedir (Durgun, 2010).

İstenen ölçülere getirilen örneklerin üst kısmı bir alev yardımı ile tutuşturularak örneklerin yanma etkileri gözlenmektedir. Burada gözlenen yanma değerler ile literatürden bulunan değerler kıyaslanmaktadır.

Farklı miktarda oksijen konsantrasyonları ile hazırlanan tüm örnekler kullanılarak yapılan analizler, yanmanın devam edebilmesi için gerekli olan LOI değeri istatistiki bir yöntem ile hesaplanmaktadır. Bu yöntem Dixon'ın alt-üst yöntemidir (Durgun, 2010). LOI deney düzeneği Şekil 2.8 'de verilmiştir.



Şekil 2.8.LOI deney düzeneği [64]

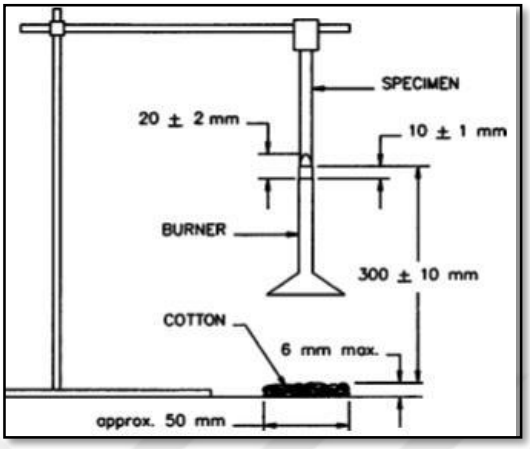
Oksijenin havadaki volumetrik konsantrasyonu yaklaşık olarak % 21'dir. Bu yüzden, oksijen indeks değeri % 21'den fazla olan malzemeler kendiliğinden sönen (self-extinguishing) ve oksijen indeks değeri % 21'den küçük olan malzemeler ise havada yanabilen malzemeler olarak ifade edilmektedirler. Yüksek oksijen indeks değerine sahip malzemenin yanmaya karşı dayanıklı olduğunu anlayabiliriz (Aslankılıç, 2008).

2.4.5. UL-94 dikey yanma testi

UL-94 dikey yanma testinde, dikey olarak tutturulmuş örnek alev beki ile belirli sabit bir süre alev uygulamasına maruz bırakılır. Sonra alevin söndüğü an ölçülür. Ölçülen süre ve pamuğa damlama olup olmaması durumları göz önünde bulundurularak yanmazlığın ölçüsü UL-94 standartlarında (Vo, V_1 ya da V_2) tespit edilir (URL-6, 2021).

Boyunun 6 mm üstünden bir numune boyuna ekseni dikey olacak şekilde sabitlenir, böylece numunenin alt ucu yatay bir pamuk tabakasının yaklaşık 50 x 50 mm üzerinde, maksimum sıkıştırılmamış olacak şekilde inceltilmiş olup 6 mm kalınlık, maksimum 0,08 g ağırlığında olur.

Bek alevi numuneden uzağa yerleştirilir, mavi alev 20 ± 2 mm yüksekliğinde olacak şekilde ayarlanarak ateşleme işlemi yapılır (ASTM D 3801-00, 2010). UL-94 dikey yanma düzeneği Şekil 2.9 'da verilmiştir.



Şekil 2.9. UL-94 Dikey yanma düzeneği (Koo, 2016)

Alev, numuneye 10 saniye boyunca uygulanır ve alev geri çekilir. Bu işlemden sonra alev sönme süresi t_1 (alevin sönmesi için geçen zaman) kayıt altına alınır. Alev söndükten sonra numuneye yeniden 10 saniye boyunca alev uygulanır ve alev sönme süresi için geçen zaman t_2 kayıt edilir. Deney süresince numunenin altındaki pamuğun yakılması veya tutuşması için düşen alevlerin miktarı kayıt edilir. Bu kayıt edilen süreler ve gözlemler eşliğinde malzemenin alevlenebilirliği, tüm numunelerin yanma zamanı, numunelerin hepsinin toplam yanma zamanı ve düşen alev miktarı ile ilgili olarak üç şekilde (V_0, V_1, V_2) numuneler sınıflandırılır (ASTM D 3801-00, 2010).

V_o; Dikey test plakasının ateşi çekildikten sonra 10 saniye içinde sönmesi ve damlama olmamasıdır.

V_1; Dikey test plakasının ateşi çekildikten sonra 30 saniye içinde sönmesi ve damlama olmamasıdır.

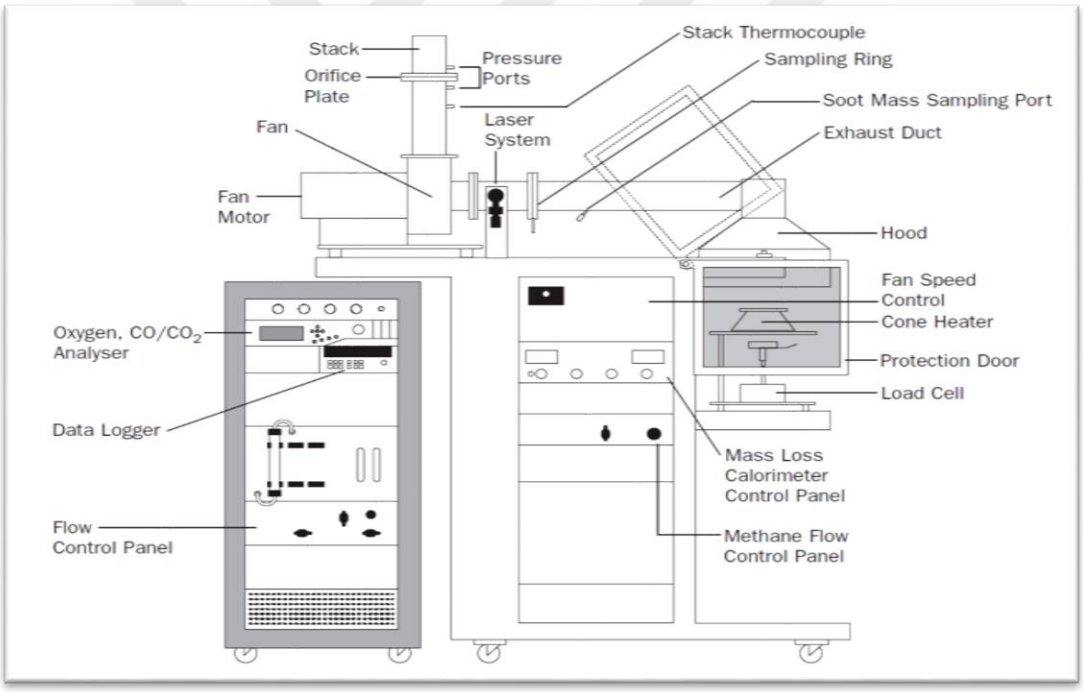
V_2; Dikey test plakasının ateşi çekildikten sonra 30 saniye içinde sönmesi ve damlama olmasıdır (URL-6, 2021).

2.4.6. Konik kalorimetre

Konik kalorimetre yanma testi, orta boyutlu malzemelerin yanmaya verdiği tepkilerini ölçebilen en iyi testlerden biridir.

Bu test ISO 5660-1 standardına uygun olarak yapılmaktadır. Bu cihaz sayesinde bir numunenin ısı yayılım oranı (HRR) Uluslararası Standardizasyon Örgütü tarafından belirlenen kurallara göre ölçülmektedir. Birçok yakıtın tüketilen Oksijen kg'ı başına yaklaşık 13,1 MJ enerji ürettiği bilinmektedir.

Bundan dolayı ısı yayılım oranı, yanma esnasında tüketilen oksijenin, salınan ısı ile orantılı olması ile ilgilidir. Konik kalorimetre cihazı ile aynı zamanda yanma gazları da analiz edilmektedir. Belli bir ısı akışına maruz kalan bir numunede üretilen duman ölçülebilmektedir. Ortaya çıkan ısıyı hesaplamak için oksijen konsantrasyonunu ölçmek gerekmektedir, ama doğruluğu daha da artırmak için karbon monoksit ve karbondioksit konsantrasyonları da analiz edilebilmektedir. Şekil 2.10 'da konik kalorimetre cihazını ve parçalarını tanıtan şematik gösterim bulunmaktadır (Lindolhm ve diğerleri, 2009).



Şekil 2.10. Koni kalorimetresinin şematik resmi

Konik kalorimetre cihazı ile bir yakıt numunesi test edildiğinde yüzeyi farklı ısı akışlarıyla yayılma gösterebilmektedir. Yakıt numunesi yüksek havada tutuşmaktadır ve yanma göstermektedir. Konik kalorimetre cihazı ile tutuşma süresi, kütle kaybı, duman miktarları, gaz analizleri, ısı yayma oranı ve bir yakıtın yanma özellikleriyle ilgili testler yapılabilmektedir. Isı yayılım hızı, malzemenin kütle kaybı ile yanma ısısının çarpımı olarak tanımlanmaktadır (Babrauskas ve Peacock, 1992).

Heat Teste tabi tutulacak numune, yük hücresine yerleştirilen metal bir numune tutucu yardımı ile cihaza yerleştirilir. Bu sırada yük hücresi, deney sırasında numunenin ağırlığını kayıt eder. İki çeşit numune tutucu vardır. Numunelerin kullanım şekilleri numuneye bağlı olarak, tutucunun kenarları açık veya kapalı olacak şekilde farklılık gösterebilmektedir. Eğer numune şişer ve koruyucu bir kömür tabakası oluştururs a, şişme meydana geldiğinde numuneyi yerinde tutmak için kablolu bir ızgara takılmaktadır.

Konik ısıtıcının altında numune yüzeyinin hemen üzerinde bir kıvılcım ateşleyicisi vardır. Kıvılcım ateşleyicisi numune ısıtıldığı zaman numuneden çıkan yanıcı gazları tutuşturmaktadır. Numune alanının tamamı yandığında, ateşleyici kapatılmaktadır ve yana doğru hareket ettirilmektedir.

Cihaz kalibrasyonu yapılacağında deneyden önce, numune yüzey seviyesine su soğutmalı bir ısı akısı ölçüm cihazı yerleştirilmektedir. Ardından koni ısıtıcı numunenin yüzeyinde istenen ısı akışını veren sıcaklığa ayarlanmaktadır. Koni genellikle yatay olarak monte edilmektedir; ancak istenirse dikey yönlendirme de yapılabilmektedir. Isıtıcının şeklinden dolayı koni kalorimetre cihazı olarak adlandırılmıştır. Isıtıcı, magnezyum oksit refrakter içinde sarılmış 3 m'den uzun dirençli bir ısıtma telinden konik bir şekle sarılır.

Temel konik kalorimetre deneylerini yapmak için gerekli olan tek analizör oksijen analizörüdür. Karbon monoksit ve karbondioksit analizörleri gibi kullanılan ek analizörler de yanma sürecini daha iyi anlamaya ve sonuçlardaki belirsizlikleri azaltmaya yaramaktadır.

Konik kalorimetre yazılımı, denklem 2.1’de ki gibi ;

$$q = (13x10^3)\ x\ 1.10\ C\ x\ \left(\frac{0.2095-X_{O_2}}{1.105-1.5X_{O_2}}\right) \qquad (2.1)$$

qn=Isı yayma oranı (kW)

C=Plaka Katsayısı ($kg^{½}m^{½}K^{½}$)

X_{O_2}=Egzoz havasında ölçülen O_2 mol fraksiyonu

Standart numunenin ebatları 100 x 100 mm² olmalıdır. İstenen maksimum numune kalınlığı ise 50 mm'dir. Numunenin alüminyum folyo ile sarılması gerekmektedir. Çünkü sadece üst yüzey konik ısıtıcıdan gelen ısı tarafından yayılması sağlanmaktadır. Numunenin kenarları ısıya kesinlikle maruz bırakılmamalıdır. Kıvılcım ateşleyicisi numune yüzeyinin yukarısına yerleştirilmeden ve gerçek yanma testi başlatılmadan önce, temel verilerin 60 saniye boyunca toplanması gerekmektedir. Çünkü deneysel veriler en son bu temel verilerden ölçülmektedir. Deney sırasında kaydedilen temel parametreler tutuşma süresi, en yüksek ısı yayma oranı, kullanıcı tarafından tanımlanan belirli sürelerden sonra ısı yayılma oranı, toplam ısı yayılımı, kütle kaybı ve ortalama etkin yanma ısısıdır. Kaydedilen duman parametrelerinin örnekleri, salınan toplam duman, CO ve CO_2 verimleridir. CO ve duman tipik olarak eksik yanmadan kaynaklanır ve yanma işlemi alev geciktiriciler tarafından engellenirse istenen ürünler de bu şekilde elde edilmiş olmaktadır (Huggett, 1980).

2.4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX)

SEM-EDX, oldukça küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle ölçüm yapar. Manfred von Ardende öncülüğünde 1930'lı yıllarda geliştirilmiştir. Yüzeyden yayılan ikincil elektronlarla yapılan ölçüm ile beraber özellikle yüzeyin inişli çıkışlı (topografik) yapısıyla ilişkili görüntü oluşturulması en çok kullanılan şeklidir (URL-7, 2021).

EDX ise vakum altında bir ortamda bulunan bir numunenin yüzeyine gönderilen elektron demetlerinden yansıyan verileri dedektörler vasıtasıyla toplayan, bu sayede topografik ve elementel kompozisyon hakkında numune hakkında bilgi edinilmesi için kullanılan, yani numune yüzeyinden tarama ile sinyal alan bir mikroskoptur.

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Xing-Xia Ma ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, APP içeren MUF reçinesinin MDF de yüzey işlemi ile alev geciktiriciliğe olan etkisi koni kalorimetre testi ile belirlenmiştir. Kurutulmuş birim lif başına % 14 katı UF reçinesi içeren kalınlığı 15 mm olan MDF örnekleri 100 mm x 100 mm'lik boyutta kesilmiştir. MUF / APP yüzey işlemi ve yangın geciktirme testi için üç numune hazırlanmıştır. Farklı MUF'ların yangın geciktirici performans üzerindeki etkilerinin test edilmesi için, sırasıyla 100:50 kütle oranına sahip APP içeren altı tip MUF reçinesi kullanılmıştır. MDF numuneleri, 400 g / m^2 tutkal yayılma miktarında MUF / APP ile bir yüzeye fırçayla kaplanmıştır. Bu çalışma da, APP miktarları ne kadar yüksekse, reçinenin alev geciktirici performansı o kadar iyi olmuştur. Malzeme yüzeyine yayılan tutkal miktarının artmasıyla MUF / APP'nin alev geciktiriciliği artmıştır (Xing-Xia ve diğerleri, 2013).

B.S. Mamatha ve arkadaşları bor ve fosfor kimyasalları ile muamele edilmiş yonga levhaların alev geciktirici özelliklerini araştırmışlardır. MUF reçinesi kullanılarak alev geciktiricili yonga levha üretimi için parçacıkların işlenmesi ve yapıştırıcıya kimyasalların eklenmesi şeklinde iki yöntem kullanılmıştır. Kompozitlerin alev geciktiriciliği, LOI kullanılarak incelenmiştir. Yapılan levhaların yanıcılık ve yanma hızı testleri ISO:5509'a göre yapılmış, fiziksel ve mekanik özellikleri ise ISO:3087 standardına göre değerlendirilmiştir. Alev geciktirici kimyasalların eklenmesinin LOI değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapıştırıcı bileşiminde veya parçacık muamelesinde parçacıkların ağırlığının maksimum % 2'si kadar alev geciktirici kimyasalların eklenmesinin, kimyasallara bağlı olarak levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini bozmadan çok iyi alev geciktirici özellikler vereceği sonucuna varılmıştır. Parçacık işleme yöntemi, yapıştırıcıya dâhil edilen alev geciktirici kimyasaldan daha iyi alev geciktiricilik ve mekanik özellikler göstermiştir. Araştırma bulguları laboratuvar ölçekli çalışmalara dayanmaktadır (Mamatha, 2017)

S.Liodakis ve arkadaşları, kısa süreli (jel) ve uzun süreli (karbonat mineral) yangın geciktiriciden oluşan yeni bir yangın geciktirici karışımın etkinliğini değerlendirmişlerdir. Termal bozunma davranışı levha üzerinde incelenmiştir ve tek başına bilinen üç yangın geciktirici ürünle (DAP, sodyum poliakrilat ve ticari formda Huntit/hidromanyezit) karıştırılmıştır. Numunelerin yanıcılık özelliklerinin doğru bir

şekilde taranması için termal analiz (TG ve DTG) kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen bir jel (sodyum poliakrilat) ve bir karbonat minerali (huntit/hidromanyezit) karışımının, su yalıtımı ve kimyasal geciktirmeyi birleştirerek ahşap malzemeler için geliştirilmiş yangın geciktirme verimliliğine yol açtığını, böylece kütle kayıp oranını azalttığını ve kömür üretimini artırdığını göstermiştir. Çalışmada; önerilen her iki kimyasalın (jel ve karbonat mineral) toksik ve biyolojik olarak parçalanabilen maddeler olmadıklarından dolayı, çevre için herhangi bir tehdit oluşturmadıkları ve bunların karışımları gerçek yangın koşullarında yangın geciktirici olarak güvenli ve etkili bir şekilde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Bu araştırma, jel-mineral karışımlarındaki kimyasal geciktiriciliğin sinerjik mekanizmasının anlaşılmasına katkıda bulunarak, mevcut halojenli yangın geciktiricilere alternatif olarak ahşap veya polimer malzemeler için yeni alev geciktirici ürünlerin geliştirilmesine destek sağlamıştır (Liodakis ve diğ., 2013).

Oleg Shishlov ve arkadaşları Kızılötesi (IR), TGA, Diferensiyel-Taramalı Kalorimetri (DSC), Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC), ^{1}H ve ^{13}C Nükleer Manyetik Rezonans yöntemlerini kullanarak brom türevleri kardanol novalak reçinelerin (BCNR) sentezini incelenmişlerdir. Yapıştırıcı olarak PU-(BCNR) kullanılarak üretilen yonga levhaların, alev geciktirici özelliklere sahip, EN 312'ye göre P7 sınıfı (özellikle neme dayanıklı yonga levhalar) ve E_0 emisyon sınıfı gerekliliklerini karşılayan malzemeler olduğu ispatlanmıştır. Kardanol içeren poliüretan bağlayıcının yapısındaki brom, yonga levhaların hem yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerinin elde edilmesini hem de aleve karşı direncini sağlamıştır. Bu brom içeren yapıştırıcılar, gıda dışı yenilenebilir kaynaklara dayanır ve sunta, kontrplak veya ahşap laminatlar gibi alev geciktirici özelliklere sahip diğer ahşap bazlı kompozit malzemelerin üretilmesine imkan sağlamaktadır (Shishlov ve diğ., 2017).

Nine ve arkadaşları kolay yanmayı, alev yayılımını ve toksik gazların salınımını tetikleyen yanıcı selülozik malzemelerin yüksek yangın risklerini ele almak için, indirgenmiş grafen oksit (rGO) ve hidratlı sodyum metaboratların (SMB) benzersiz özelliklerini birleştiren sinerjik eylemleri kullanarak yeni bir alev geciktirici ortaya koymuşlardır. Selülozik malzemelerin rGO / SMB'nin kompozit bir süspansiyonu ile tek adımda işlenmesi, talaş yüzeyinde bir bariyer tabakası oluşturmak için geliştirilmiştir ve çoklu hareket modlarıyla oldukça etkili yangın geciktirici etki yapmıştır.

Bu performanslar, selülozik partiküllerin termal bozunmasını yavaşlatmak için kimyasal ısı emici olarak çalışan hidratlı-SMB kristallerinin özellikleri ile oksijen erişimini ve toksik uçucu maddelerin salınımını önleyen gaz geçirimsiz rGO katmanları arasındaki sinerji dikkate alınarak tasarlanmıştır. rGO dış tabakası ayrıca alev ve yanmamış odun parçacıkları arasında karbon bağı ile termal ve fiziksel bir bariyer oluşturmuştur. Geliştirilen grafen-borat kompozitinin yangın geciktirici performansı ve yangından korunma mekanizması, çam talaşı, yonga levha ve fiber bazlı yapılar gibi farklı selülozik malzeme formlarının test edilmesiyle gösterilmiştir. Sonuçlar, rGO/SMB'nin geleneksel toksik halojenli alev geciktirici malzemelere uygun bir alternatif olduğunu düşündüren toksik ve yanıcı uçucu maddelerin salınımına karşı önemli dirençle olağanüstü kendi kendini söndürme davranışlarını ortaya çıkarmıştır (Nine ve diğ., 2017).

George ve arkadaşları iki yeni polifosfat bazlı yangın geciktiricinin (FRs) ve Siriono® (ticari bir ürün), İskoçya'da laboratuvarda üretilen MDF, yangın performansı ve fiziksel-mekanik özellikleri üzerindeki etkinliğini değerlendirmiştir. Lifler, alev geciktiricilerin %12'lik sulu çözeltileri ile işlenmiştir ve bir MUF yapıştırıcısı ile birleştirilmiştir. Panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri Avrupa standartları kullanılarak, yangın performansları ise kurum içi bir yöntem ve Koni kalorimetresi kullanılarak değerlendirilmiştir. Pik ısı salım oranı (tepe HRR), toplam ısı salım (THR) ve toplam duman üretimi (TSP) gibi kritik FR parametreleri, koni kalorimetre testlerinde gösterildiği gibi FR ile işlenmiş panellerde önemli ölçüde iyileştirilmiştir.
Bununla birlikte, işlem görmüş panellerin iç bağ mukavemeti, yangın geciktiricilerin eklenmesiyle büyük ölçüde azalırken, şişme ve su emilimi önemli ölçüde olumsuz etkilenmiştir. Buna karşılık, panellerin formaldehit salınımı, polifosfat bazlı katkı maddelerinin eklenmesiyle E1 sınıfı seviyesinde önemli ölçüde azalmıştır. Bu çalışmada kullanılan alev geciktiriciler, ısıl bozunmayı ve ısı yayma özelliklerini azaltarak MDF'nin yangın performansını iyileştirmede etkili olmuştur. Ayrıca APP, borik asit ve boraksın sinerjik etkisi, test edilen MDF panellerine etkin alev geciktiriciliği kazandırmıştır (Mantanis ve diğ., 2019).

Mantanis ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Avrupa endüstrisinde, yonga levha, MDF ve yönlendirilmiş yonga levha (OSB) gibi günümüzde kullanılan yapıştırıcı sistemleri değerlendirmişlerdir. Ocak 1994-Ağustos 2017 tarihleri arasında yapılan

konferans ve seminer sunumları ile yayımlanmış araştırma ve derleme makaleleri incelenmiştir. Toplanan ilgili literatür, ahşap esaslı panellerin yapıştırıcıları ve katkı maddeleri ile yakından ilgilidir. Yapıştırıcı türleri ve ürün özellikleri ile ilgili olarak Avrupa'daki yonga levha, MDF ve OSB pazarlarının yapısı da araştırılmıştır. Yonga levha ve MDF gibi ahşap esaslı paneller için yeni pazarların Avrupa'da hızla büyüdüğüne dikkat çekilen çalışmada; uygulanan yapıştırıcı sistemleri ve katkı maddeleri ile ilgili teknolojik değişikliklerin çoğunun, panel ürünlere olan ihtiyacın artmasından, daha düşük formaldehit emisyonlarına ulaşma zorunluluğundan ve dünyadaki rekabet şartları nedeniyle üretim maliyetlerini düşürme zorunluluğundan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada; MAP ve DAP'ın yanı sıra borik asit ve boraks, MDF endüstrisinde en sık görülen yangın geciktirici katkı maddelerini içerdiği, bununla birlikte, Avrupa düzenlemelerinde yapılacak değişikliklerin, ilerleyen dönemlerde bu tür ahşap uygulamalarından borik asidin yasaklanmasına yol açabileceği belirtilmiştir. Genel olarak, kullanılan alev geciktiriciler aşındırıcı olmayan maddelerdir ve halojen içermez, çünkü brom ve klor içeren bileşikler Avrupa'da, Avrupa Birliği'nin yeni kimyasallar politikasına (REACH) (EC 2006) göre bu tür endüstriyel uygulamalarda yasaklanmıştır. Aleve dayanıklı MDF, Avrupa'da yalnızca 1.20-1.25 molar oranlara sahip MUF yapıştırıcıları (% 15-18 melamin içeriği) kullanılarak üretilmektedir. Sonuç olarak, ortak FR test ekipmanının olmaması, ahşap ürünlerin alev testi sonuçlarını karşılaştırmanın zorluğu, standartlarda uyum eksikliği gibi eski engellerin çoğu ortadan kaldırılmıştır. Avrupa ülkeleri levhalardaki kronik formaldehit emisyonları sorununu çok iyi bir şekilde çözmüştür. Katı düzenlemeler (yani E1, CARB II sınıfı) ile birlikte, formaldehitin kanserojen olarak yeniden sınıflandırılmasıyla tetiklenen yeni ve hatta daha düşük limitler şu anda tartışılmaktadır (Mantanis ve diğ., 2018).

Aslan ve Özkaya odundan üretilen levhaların yanmaya karşı dayanıklılığını araştırmıştır. Çalışmada potasyum karbonat ($2K_2CO_3.3H_2O$), boraks ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) ve wolmanit - CB (emprenye kimyasalı) kimyasalları kullanılmıştır. Kimyasallar iki farklı yöntem ile kontrplak, yönlendirilmiş yongalı levha (OSB) ve MDF'ye uygulanmıştır. Yöntemlerden biri fırça ile sürme, bir diğeri de daldırmadır. Yanma deneyleri, DIN 4102 Part : 16 standardına göre dizayn edilmiş deney düzeneğinde yapılmıştır. Deneyde numunelerin hem alevli hem de kor halinde yanma süreleri belirlenmiştir. Deneyler sonucunda MDF en geç yanmasına rağmen, alevli yanma süresinin oldukça kısa olduğu belirlenmiştir.

Kontrplak yanmaya başlama süresi olarak bakıldığında ikinci sırada yer almıştır. İlk yanmaya başlayan OSB'nin alevli yanma süresinin en fazla olduğu belirlenmiştir. Yonga ebatlarının, ağaç cinsinin ve kullanılan tutkalların alevli yanma süresinde etkin olabileceği düşünülmüştür. Levhaların yanmaya başlama süresine test edilen kimyasal maddelerin istatistiksel açıdan çok da önemli bir etkisi olmadığı, yanma gibi bir tehlikenin olduğu yerlerde MDF' nin, alevlenmeyi geciktirici kimyasal olarak da potasyum karbonat kullanılması gerektiği söylenebilir. Bir de kimyasal maddenin levhaya verilme yöntemi olarak daldırma yönteminin kullanılmasın da çok iyi sonuç verdiği saptanmıştır (Aslan ve Özkaya, 2004).

Jaskolowski ve arkadaşları seçilen odunlar üzerinde, alev geciktirici olarak silika (SiO_2) kullanarak, işlemden önce ve sonra yangın özelliklerini belirlemektir. SiO_2, ahşabın alev geciktiriciliği koni kalorimetre yöntemi ile test edilmiştir. Seçilen ağaç örnekleri: çam (Pinus sylvestris) ve huş ağacı (Fagus sylvatica), %0,1 sulu nano silika çözeltisi ile işlenmiştir. Silika alev geciktirici aktivitesi söz konusu olduğunda, önemli bir etki bulunmamıştır. Ancak daha yüksek konsantrasyonlu SiO_2 çözeltilerinin kullanılmasının yangın güvenliğinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Yangın tehlikesini tanımlamak için genellikle ısı yayma hızı, belirli sönme alanı ve diğer yangın özellikleri kullanılır. Bu özellikler sıcaklık ve alev yayılma oranını etkiledikleri için büyük önem arz etmektedir. Birçok yangın özelliğinden, ısı yayma hızının en fazla kontrol edilen yangın tehlikesi olduğu genel olarak kabul edilmektedir (Jaskolowski ve diğ., 2013).

Wu ve arkadaşları şişen türden bir alev geciktirici yapıştırıcıya dayalı olarak yeni bir tür alev geciktiricili ve dekoratif katmanlı kontrplak (FDP) tasarlamış ve hazırlamıştır. Alev geciktirici yapıştırıcı fosfor-azot alev geciktirici ve MUF reçinesinden oluşmaktadır. Dekoratif katman ile kontrplak arasına alev geciktirici katman oluşturulmuştur. Kömürün yapısı ile alev geciktirici performans arasındaki ilişki sistematik olarak incelenmiştir. Alev geciktirici reçinenin termal stabilitesi, TGA kullanılarak; yapıştırıcıların şişen davranışları ise SEM ve Fourier kızılötesi spektroskopisi (FTIR) kullanılarak araştırılmıştır. FDP'nin alev geciktirici özellikleri koni kalorimetre ve tek yanan madde (SBI) testi kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, FDP'yi üretmek için kullanılan yeni yöntemin uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır. Geleneksel yöntemlere göre bu yöntemin kullanım sürecinin daha kolay olduğu gözlemlenmiştir. Emprenye, fiziksel karıştırma ve

alev geciktirici kaplamaların dezavantajlarını daha başarılı bir şekilde ortadan kaldırmıştır (Wu ve diğ., 2020).

Nadir Ayrılmış çalışmasında fenolik bağlı MDF'lerin (orta yoğunluklu lif levha) , iç bağ (IB) mukavemeti ve bağ dayanıklılığı üzerinde boraks (BX), borik asit (BA), MAP, DAP ve fosforik asit (PA) kimyasallarının etkisini değerlendirmiştir. Bu kimyasallar %50 çam ve %50 çamdan üretilen liflerin üzerine püskürtülmüştür. Paneller, Avrupa Normu (DIN EN) 321 (1999) tarafından tanımlanan prosedürlere göre döngüsel hızlandırılmış yaşlanmadan sonra eskitilmemiş IB mukavemeti (kuru) ve IB mukavemeti (eskimiş) için test edilmiştir. Üç alıkoyma seviyesindeki tüm işlem görmüş numunelerin yaşlandırılmamış IB ve yaşlandırılmış IB değerleri, işlem görmemiş kontrol değerlerine kıyasla önemli ölçüde azalmıştır. Kimyasal içeriğin artmasıyla işlem görmüş tüm panellerin IB mukavemeti ve bağ dayanıklılığı azalmıştır. BX ile muamele edilmiş numuneler, en iyi IB mukavemeti ve bağ dayanıklılığına sahiptir, bunu sırasıyla DAP-, MAP-, BA- ve PA ile muamele edilmiş numuneler izlemiştir. Sonuçlar, alkalin muamelelerinin asit muamelelerine göre yaşlandırılmamış IB ve yaşlandırılmış IB mukavemetinde daha küçük bir azalma ürettiğini göstermiştir (Ayrılmış, 2007).

Habibzade ve arkadaşları, polimerize kavak ağacının yangın geciktirici, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine (ZnO) çinko oksit nano parçacıklarının etkilerini araştırmışlardır. Nanopartiküller, katı ahşap türlerinin bazı dezavantajlarını iyileştirmek için son yıllarda ahşap polimer kompozitlerinde (WPC) büyük ölçüde uygulanmıştır. Alınan kavak ağacı numuneleri, dört farklı nano çinko oksit (ZnO) içeriği (monomerin kuru ağırlığına göre %0, 0.5, 1 ve %1.5) içeren stiren monomeri ile emprenye edilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobunun (SEM) sonuçları, WPC matrisinde ZnO nano parçacıklarının homojen dağılımını göstermiştir. Nano-çinko oksit, boyutsal kararlılık ve su emme gibi fiziksel özellikleri geliştirmiştir. Ayrıca mekanik özellikler kontrol numunelerine göre artmıştır. Emprenye işlemi ayrıca tutuşma süresi de dahil olmak üzere bazı yangın geciktirici özellikleri önemli ölçüde iyileştirmiştir; bununla birlikte, stirenin yanıcılık doğası, karbonlaşmış alan gibi bazı özellikleri şiddetlendirmiştir. Özelliklerin çoğu iyileştirilmiş olmasına rağmen, populus ahşabın stiren ile emprenye edilip edilmeyeceğine karar vermeden önce WPC'nin son uygulamasının dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır (Habibzade, 2016).

Hong ve arkadaşları alev geciktirici polietilen/odun unu (WF) kompozitleri kullanılarak yüksek mekanik özelliklere sahip amonyum polifosfat ve fosfor bazlı şişen alev geciktiriciler (IFR) sistemi yapmaya çalıştıkları çalışmalarında koni kalorimetre testi, UL94 alev testleri, LOI ve termogravimetrik yanıcılığı değerlendirmek için TGA kullanmışlardır. Genel olarak, halojen bazlı alev geciktiriciler yangın söndürmedeki güçleri nedeniyle polimer bazlı kompozitlerde yüksek etki göstermektedirler. Ancak yanma sırasında zehirli gaz üretimine neden olmaktadırlar. Bu nedenle çevre koruma bilinci ve yaptırımları nedeniyle halojenli alev geciktiricilerin kullanımı kısıtlı olup halojen içermeyen alev geciktirici kullanımı tercih edilmektedir. Ahşaba işlenen alev geciktirici miktarının optimum seviyede tutulmasının önemli olduğu, alev geciktirici miktarının fazla olması maliyetlerin artmasına ve mekanik özelliklerin azalmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle minimum ancak etkili seviyede alev geciktiricileri kullanılmasının önemli olduğu üzerinde durulmuştur (Hong ve diğ., 2018).

Altın ve Tokdemir ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amaçlı MF ve MUF reçineleri ile modifikasyon çalışmaları yapmıştır. Sarıçam ve beyaz kavak çamı üzerinde yapılan çalışmada her iki reçinenin de sarıçam ve beyaz kavak ağaçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmede başarılı olduğu belirlenmiştir. MF ve MUF ile yapılan modifikasyonun, sarıçam ve beyaz kavak ağaçlarının yoğunluğunu artırdığı, denge nem içeriğini azalttığı, ayrıca MUF modifikasyonu ile beyaz kavaktaki iyileştirmenin, Sarıçam'dan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada MF reçinesi ahşaba MUF reçinesinden daha iyi nüfuz ettiğinden dolayı MF ile modifiye edilmiş ağaçların ağırlık kazanç değerleri yüksek bulunmuştur. MUF ile yapılan modifikasyonun Sarıçam'ın mekanik özelliklerini etkilemediği, MF ile yapılan modifikasyonun mekanik özellikleri azalttığı belirlenmiştir (Altun ve Tokdemir, 2017). Ahşap uygun kütle/kuvvet oranı, doğal dayanıklılık ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi özelliklere sahip olmasından dolayı inşaat, mobilya ve alet imalatı gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak ahşabın nem değişiminden kaynaklı boyutsal kararlılığının olmaması özellikle dış mekan için kullanımında belirli sınırlamalar getirmesinden dolayı dezavantajlı özellik olarak nitelendirilmektedir (Gindl ve diğ.,2004). Yüksek kaliteli sert ağaçların bulunmasında yaşanan problemler araştırmacıları ve üreticileri katma değeri yüksek uygulamalar için yumuşak ağaçlar ve bazı düşük yoğunluklu sert ağaçlar gibi alternatif kaynaklar aramaya yöneltmiştir. Ancak

nihai ürünün istenilen gereksinimleri karşılayabilmesi için ahşabın özelliklerini yani boyutsal stabiliteyi, dayanıklılığı, mekanik mukavemeti ve sertliği iyileştirecek uygun teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ahşabın farklı türde kimyasallar kullanılarak işlenmesi yönünde birçok araştırma yapılmıştır. MF ve MUF reçineleri ahşapla ilgili uygulamalarda en çok kullanılan reçinelerdir. Ahşabın FF reçinesi ile işlenmesi, ahşabın özelliklerini iyileştirmenin önemli bir yolu olarak kabul edilmektedir. UF reçinesi fenolik reçinelerle karşılaştırıldığında daha ucuzdur ve düşük viskoziteye sahiptir, ayrıca görünümünün şeffaf olması nedeniyle emprenye için uygundur. Miroy ve arkadaşları masif ahşabın suda çözünür MF reçinesi ile emprenye edilmesinin yüzey sertliğinde ve elastisite modülünde önemli bir gelişmeye yol açtığını belirtmişlerdir (Miroy ve diğ., 1995). Gindl ve diğerleri, Norveç ladininin sertliğini iyileştirmek için suda çözünür MF reçinesi kullanmış ve sertlikte optimal bir artış elde etmek için minimum 2 mm'lik bir emprenye derinliğinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir (Gindl ve diğ.,2004). Epmeier ve diğerleri, sekiz farklı kimyasalla modifiye edildiğinde sarıçam, kayın ve huş ağacının şişme önleyici etkinliğinin % 30 ila % 75 arasında arttığını bildirmiştir. Ayrıca, metillenmiş melamin formaldehit ile muamele edilmiş ahşapta denge nem içeriğinde %20'lik bir azalma tespit etmişlerdir (Epmeier ve diğ.,2003). Deka ve diğerleri, Norveç ladininin MF ile modifikasyonunun şişme önleyici etkinliğinin %17.5'lik bir artışla sonuçlandığını belirtmiştir (Deka, ve Saikia, 2000). Birçok çalışma ahşabın MF ile işlenmesiyle özelliklerinin incelenmesi üzerine gerçekleştirilmiş olup, diğer polimerize olan monomerlerin kullanımı yüksek maliyet gerektirdiği için endüstriyel uygulamalar açısından değerlendirilmemiştir (Altun ve Tokdemir, 2017).

Özdemir ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, MDF yüzeyleri kalsit, alev geciktirici ve MF tutkal karışımı ile kaplanmıştır. Ardından yanma dayanımı özelliklerine bakılmıştır. Kalsitin tam kuru ağırlığına oranla, karışıma %1, %3 ve %5 oranlarında alev geciktirici olarak bilinen boraks ve muskovit ilave edilmiştir. Numunelerin yanma testleri ASTM E 69 standardına göre yapılmıştır. Test örneklerinin, ağırlık kaybı, sıcaklık, O_2, CO ve NO gaz miktarları ölçülmüştür. Ölçümler 30 saniyede bir not edilmiştir. %5 boraks ilaveli, ağırlık kaybı (% 74.5) ve O_2 miktarı (% 20.5) üzerine en iyi sonucu verirken, %5 ilaveli muskovit ise sıcaklık (289 °C) ve NO miktarı (342 ppm) üzerine daha fazla etki etmiştir. Yüzey kaplamasında kullanılan boraks ve muskovit, eklenme miktarlarına göre alev geciktiricilik üzerine olumlu etki yapmıştır (Özdemir ve Ayaz, 2017).

Markesinis ve Katsampas son yıllarda ahşap endüstrisinin ihtiyaçlarını karşılamak için alev geciktirici teknolojilerin ve ürünlerin güçlü bir gelişme gösterdiğini, yeni ürün ve pazar taleplerini karşılamak için yeni alev geciktirici sistemlere ihtiyaç olduğunu, bu alanda çalışan bilim adamları ve teknoloji uzmanlarının yanı sıra alev geciktiricilerle çalışan üniversite ve şirketlerin sayısının giderek arttığını belirtmişlerdir. Ahşaptan yapılan malzemelerin, yangın performanslarını iyileştirmek ve malzemeler üzerinde karbonize bir tabaka oluşumunu hızlandırmak için bu malzemelerin azot, fosfor, halojenler ve bor içeren bileşiklerle işlenebileceği bilinmektedir. Yangın geciktirici kimyasalların seçimi, son ürünün nihai özellikleri için önemli bir faktör olup ahşabın işlenmesi için yangın geciktirici formülasyonlarda en çok kullanılan kimyasallar: APP, DAP, MAP, amonyum sülfat, amonyum sülfat, fosforik asit, boraks, borik asit, borik oksit, boraks pentahidrat, susuz boraks, sodyum perborat tetrahidrat, disiyandiamid, melamin, üre, alüminyum trihidroksit, melamin fosfat, guanil fosfat, melamin, formaldehit reçineleridir. Halojen içeren alev geciktiriciler yüksek bir yangın performansına sahip olmalarına rağmen bozunma ile toksik maddelerin salınması ve işlenmiş ahşap malzemelerin geri dönüşümünde yaşanan problemler kullanım alanının sınırlı tutulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle halojen içermeyen alev geciktiriciler daha çok tercih nedeni olmaktadır. Alev geciktiriciler ahşap ürünlerin yangına ısı katkısını azaltarak yangın güvenliğini önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Yüksek düzeyde yangın güvenliği istendiği veya zorunlu olduğu uygulamalarda alev geciktirici işlem görmüş ahşap malzemeler tercih edilmektedir (Markesinis ve Katsampas. 2009).

4. MALZEME VE METOT

Bu bölümde, çalışmada kullanılmış olan malzemelerin özellikleri, numune hazırlama yöntemleri ve hazırlanan numunelerin karakterizasyonu ile ilgili yapılan deney çalışmaları yer almaktadır.

4.1. Malzemeler

Tablo 4.1. Deney çalışmaları esnasında kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Malzeme	Ticari Adı ve Firma	Özellikleri
Amonyum polifosfat (APP)	Tekkim	Ayrışma Sıcaklığı > 285 °C Bulk Densite: 700 kg/m^3 %10'luk pH: 5.5-7.5
Di-amonyum fosfat (DAP)	Merck	Bozunma sıcaklığı: 155 ºC 50 g/l (20 ºC'de) pH : 7.8-8.5
Mono-amonyum fosfat (MAP)	Merck	Erime Noktası: 190 ºC Yoğunluk (20 ºC'de) : 1.8 g/cm^3

4.2. Yöntem

4.2.1. Deneysel tasarım

Çalışmada alev geciktirici kimyasal eklenmemiş UF reçinesi ile alev geciktirici kimyasal eklenmiş UF reçine karışımları hazırlanmıştır. Alev geciktirici ilave edilmemiş reçine ile alev geciktirici ilave edilmiş karışımların pH ve jel zamanlarına bakılmış, ardından etüvde kürleştikten sonra termal analizleri yapılmıştır. Kullanılan reçine Yıldız Entegre'nin Kocaeli Başiskele tesisinde üretilen %65'lik UF reçinesidir.

LOI, UL-94, konik kalorimetre ve SEM analizleri için de Yıldız Entegre'nin Akhisar tesisinde üretilen 8 mm ve 18 mm yonga levhalar kullanılmıştır. İstenilen ölçülerde ebatlanmış yonga levhanın hem alt hem de üst yüzeyine UF reçinesi ve UF reçinesine alev geciktirici kimyasal eklenmiş karışımlar sürülüp, etüvde kurutulduktan sonra analiz edilmiştir. Tablo 4.2'de eklenen kimyasalların oranları gösterilmiştir.

Tablo 4.2.Hazırlanan reçine karışımlarına eklenen alev geciktirici bileşim ve oranları

	Bileşen	Kütlece % Bileşim
1	Kontrol	0
2	APP	100
3	MAP	100
4	DAP	100

4.2.2. Numunelerin hazırlanması

%65'lik UF reçinelerinden 50'şer gr tartılmıştır. Kontrol numunesi için %65'lik UF reçinesine herhangi bir kimyasal eklenmemiştir. APP, MAP ve DAP alev geciktirici kimyasallarından, %65'lik katı madde üzerinden hesap yapılarak, katı olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında tartılan 50 gr reçine içine karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımların öncelikli olarak pH ve jel süreleri ölçülmüştür. Ardından standartlarda belirtilen ölçü ve kalınlıkta kesilmiş yonga levhaların alt ve üst yüzeylerine 250 gr / m² olacak şekilde bir fırça ile sürüldükten sonra 24 saat boyunca 23 ± 2 ° C'de ve %50 ± 5 bağıl nemde etüvde yavaş yavaş kurutulmuştur [73]. Hazırlanan yonga levha numuneleri daha sonra LOI, UL-94 ve konik kalorimetre testlerine tabi tutulmuştur. Aynı zamanda hazırlanan reçine karışımları etüvde sertleştirilmiştir. Sertleştirilen reçinelerin termal analizleri TGA yardımıyla yapılmıştır. Yüzey morfolojilerini incelemek için SEM görüntüleri alınmıştır.

4.3. Karakterizasyon

4.3.1. Fiziksel özellikler

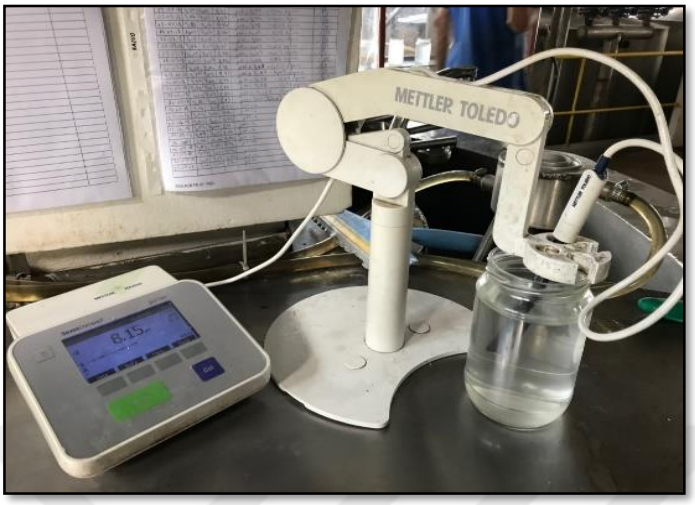
Levhaların pH ve jel zamanı analizleri Başiskele Yıldız Entegre Tutkal Tesisi kalite kontrol laboratuvarında yapılmıştır.

4.3.1.1. pH

50 gr % 65'lik UF reçinesinden tartılmıştır. Kontrol numunesi için hiçbir alev geciktirici kimyasal eklemeden 25 °C'de masa üstü tipi olan Mettler Toledo marka pH metrede reçinenin pH'ı ölçülmüştür.

Ardından tartılan dört farklı behere 50 gr UF reçinesi tartılarak, reçinenin %65'lik katı madde esasına dayalı olarak, katı miktarının kütlece %5, %10, %15, %20'si kadar katı

APP, MAP ve DAP kimyasalları eklenmiştir. Karışımların 25°C'de ph'ları ölçülmüştür. Şekil 4.1.'de kullanılan pH metre görülmektedir.



Şekil 4.1.Ph metre

4.3.1.2.Kürleşme (jel) süresi

pH için hazırlanan karışımlar jel zamanı içinde kullanılmıştır. Karışımlardan TS 12009 standardına uygun bir şekilde 3 gr'lık örnek deney tüpü içerisine ilave edilmiştir ve 100 °C'de kaynayan suya deney tüpü daldırılır daldırılmaz kronometre çalıştırılmıştır. Tutkalda jelleşme gözlenene dek deney tüpünün içindeki reçine numunesi sürekli karıştırılmıştır ve karıştırmanın güçleştiği anda, yani reçine sertleştiğinde kronometre durdurulmuştur. Jel zamanları tespit edilmiştir. Şekil 4.2.'de jel zamanı tespit etme düzeneği görülmektedir.



Şekil 4.2.Kürleşme(jel) süresi düzeneği

4.3.2. Levhaların Termal, Yanma ve Morfolojik Özellikleri

Alev geciktirici eklenmiş reçinelerin alev geciktiriciliğe etkisini gözlemlemek için termal (TGA analizi) , yüzey morfolojisi (SEM analizi) ve yanma (LOI, UL-94 Dikey ve konik kalorimetre analizi) analizleri yapılmıştır.

4.3.2.1.Termogravimetrik Analiz (TGA)

Alev geciktirici kimyasal eklenmemiş %65'lik UF reçinesi ve alev geciktirici kimyasal eklenerek karıştırılmış UF reçinesi 120°C etüvde sertleştirildikten sonra ve termal analizleri Mettler Toledo marka cihaz kullanılarak yapılmıştır.

Yaklaşık 2,0 - 2,5 mg civarı tartılan numuneler seramik kaplar içerisinde azot atmosferinde 20°C / dakika hız ile 25°C sıcaklıktan 600°C sıcaklığa ısıtılıp hızlıca soğutulmuştur. Böylece alev geciktirici eklenmiş reçinelerin termal bozunma eğrilerinden sıcaklık artışı ile ne kadar % kütle kaybolduğu gözlenmiştir. Etüvde sertleştirilen ve TGA cihazına yerleştirilen alev geciktiricili reçineler şekil 4.3.'de ve TGA şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.3.Etüvde sertleştirilen alev geciktiricili reçineler



Şekil 4.4. TGA cihazı

4.3.2.2. Limit (Sınırlayıcı) Oksijen İndeksi (LOI)

Hazırlanan alev geciktirici kimyasal eklenmiş reçineler, 80x1x8 mm ölçülerinde ebatlanmış yonga levhaların alt ve üst yüzeylerine 250 gr / m² olacak şekilde bir fırça ile sürüldükten sonra 24 saat boyunca 25 ° C'ye ayarlanmış etüvde kurutulmuştur. Yonga levhaların alev dayanımını ölçmek için LOI test cihazında ISO 4589-2 standardına uygun olarak analizler yapılmıştır.

Ahşap numunelerin içinden yukarı yönde oksijen ve azot kombinasyonu geçen cam bir baca içerisinde tutacak kalıp ile beraber dikey olarak yerleştirilmiştir. Ahşap yonga levha numunelerinin üst uç kısmı aleve maruz bırakılmıştır. Levhalar tutuşturulduktan sonra numunelerin yanma davranışı incelenerek yanmanın kaç saniye sürdüğü ve yanan ahşap yonga levha numunesinin uzunluğu, yanma için önceden tespit edilen değerlerle karşılaştırma işlemi yapılmıştır. Sonuçlar da hacimce % oksijen cinsinden bulunarak kayıt altına alınmıştır. Şekil.3.5 'de LOI cihazı ve yanan bir numune görülmektedir.



(a) **(b)**

Şekil 4.5. a) LOI cihaz görseli ve b)Yanan numune görüntüsü

4.3.2.3.UL-94 Dikey Yanma Testi

LOI testi için hazırlanan numuneler fazla hazırlanarak UL-94 testi içinde kullanılmıştır. Hazırlanan numunelere UL-94 dikey yanma testi ASTM D 3801-0 standardına uygun bir şekilde yapılmıştır.

Numuneler tutucuya dik bir şekilde sabitlenerek mavi alev 20± 2 mm yüksekliğinde olacak şekilde ayarlanmıştır. Numuneler dik olarak 10 s süre ile mavi aleve maruz bırakılmıştır. Alev sönme süresi t_1 olarak kaydedilmiş ve sönme olayı bittikten sonra aynı numune tekrar 10 s boyunca alev tutulmuştur. Bu alev sonrası sönme süresi de t_2 olarak kaydedilmiştir.

Aynı zamanda düzenekte test boyunca alt kısımda bulunan pamuğa aleve maruz sonrası alev düşmesi ve düşen damlacığın pamuğu alevlendirip alevlendirmediği de gözlenmiştir. Ardından teker teker tüm numuneler test edilip aleve karşı etkileri kayıt altında alınmıştır. Şekil 4.6.'da UL-94 dikey yanma test düzeneği yer almaktadır.



Şekil 4.6 UL-9 yanma test düzeneği

4.3.2.4.Konik Kalorimetre

Hazırlanan alev geciktirici kimyasal eklenmiş ve alev geciktirici kimyasal eklenmemiş reçineler, 100x100x18mm ölçülerinde ebatlanmış yonga levhaların alt ve üst yüzeylerine 250 gr / m² olacak şekilde bir fırça ile sürüldükten sonra 24 saat boyunca 23 ± 2 ° C'de ve % 50 ± 5 bağıl nemde etüvde yavaş yavaş kurutulmuştur. Hazırlanan yonga levhaların 4 tanesi konik kalorimetre cihazı ile TS ISO 5660-1'e uygun olarak analiz edilmiştir.

Konik kalorimetre analizi ile numunelerin ısı salınımı, duman oluşumu ve oksijen tüketimleri gözlemlenmiştir. Konik kalorimetre için hazırlanan numuneler Şekil 4.7.'de yer almaktadır.



Şekil 4.7. Konik kalorimetre testine hazır olan yonga levha numuneleri

Konik kalorimetre testi için kullanılan konik kalorimetre cihazı Şekil 4.8.'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Konik kalorimetre cihazı

4.3.2.5.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX)

LOI ve UL-94 için hazırlanan numuneler fazla hazırlanarak yüzey morfolojilerini incelemek için kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin yüzey morfolojisi için SEM, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi' nde NABİLTEM Laboratuvarında 500x, 1000x ve 2000x büyütme ile yapılmış ve elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1.Levhaların Fiziksel Özelliklerine İlişkin Bulgular

Levhaların fiziksel özelliklerinden olan pH ve jel zamanları deneyleri yapılmıştır.

5.1.1.Ph Değişimi

Farklı oranlarda hazırlanan karışımların, pH değeri ortalama 8.4 olan UF reçinesi ile karıştırıldıktan sonra ki pH değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Karışımların pH değeri ne kadar düşük ise sıcaklıkla beraber daha çabuk sertleşme olmaktadır. DAP ilave edilmiş karışımın pH değerleri yüksek çıkmıştır. pH kontrolü tutkalın sertleşme süresini üzerinde etkili olduğundan levha üretim sürecinde çok önemlidir. pH değerindeki değişmeler jelleşme süresini etkilemektedir. Ph ölçümleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1.pH ölçümleri

Alev Geciktirici	Numune	Alev Geciktirici Miktarı (%)	Alev Geciktirici Miktarı (g)	pH
Kontrol	Kontrol	Yok	Yok	8,50
APP	1	%5	1,62	5,71
	2	%10	3,25	5,73
	3	%15	4,87	5,85
	4	%20	6,5	5,85
MAP	5	%5	1.62	5,15
	6	%10	3,25	5,06
	7	%15	4,87	5,05
	8	%20	6,5	5,05
DAP	9	%5	1,62	7,60
	10	%10	3,25	7,85
	11	%15	4,87	7,90
	12	%20	6,5	8,02

5.1.2.Jel (Kürleşme) Süresi

Hazırlanan karışımlardan TS 12009 standardına uygun olarak belirlenen jel süreleri Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Levha üretiminde reçinenin jel sürelerine göre yeterli presleme süresi hesaplanması yapılmaktadır. UF reçinesinin sertleşmesi sıcaklığın arttırılması ile daha da hızlanmaktadır.

Tablo 5.2. Jel (Kürleşme)süreleri

Alev Geciktirici	Numune	Alev Geciktirici Miktarı (%)	Alev Geciktirici Miktarı (g)	Jel zamanı (s)
Kontrol	Kontrol	Yok	Yok	43
APP	1	%5	1,62	57
	2	%10	3,25	53
	3	%15	4,87	51
	4	%20	6,5	51
MAP	5	%5	1,62	31
	6	%10	3,25	29
	7	%15	4,87	28
	8	%20	6,5	28
DAP	9	%5	1,62	90
	10	%10	3,25	125
	11	%15	4,87	jelleşmedi
	12	%20	6,5	jelleşmedi

5.2.Levhaların Termal, Yanma ve Morfolojik Özelliklerine İlişkin Bulgular

5.2.1.Termogravimetrik analiz (TGA)

Hazırlanan numunelere 600 °C'ye kadar 20 °C/dk ısıtma hızı ile termal analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3.TGA Sonuçları

Malzeme	T_5 (˚C)[a]	T_{10} (˚C)[a]	T_{50} (˚C)[a]	T_{mak} (˚C)[b]	Kalan kütle miktarı (%)[c]
Kontrol	151	190	304	301	15,6
%10 APP	94	118	286	280	19,7
%20 APP	91	118	287	277	23,7
%10 MAP	87	108	284	283	17,8
%20 MAP	87	106	280	277	20,0
%10 DAP	91	117	287	282	19,4
%20 DAP	104	200	286	279	19,9

[a] T_5, T_{10} ve T_{50} sırasıyla %5, %10 ve %50'deki ağırlık kaybı sıcaklıklarıdır.

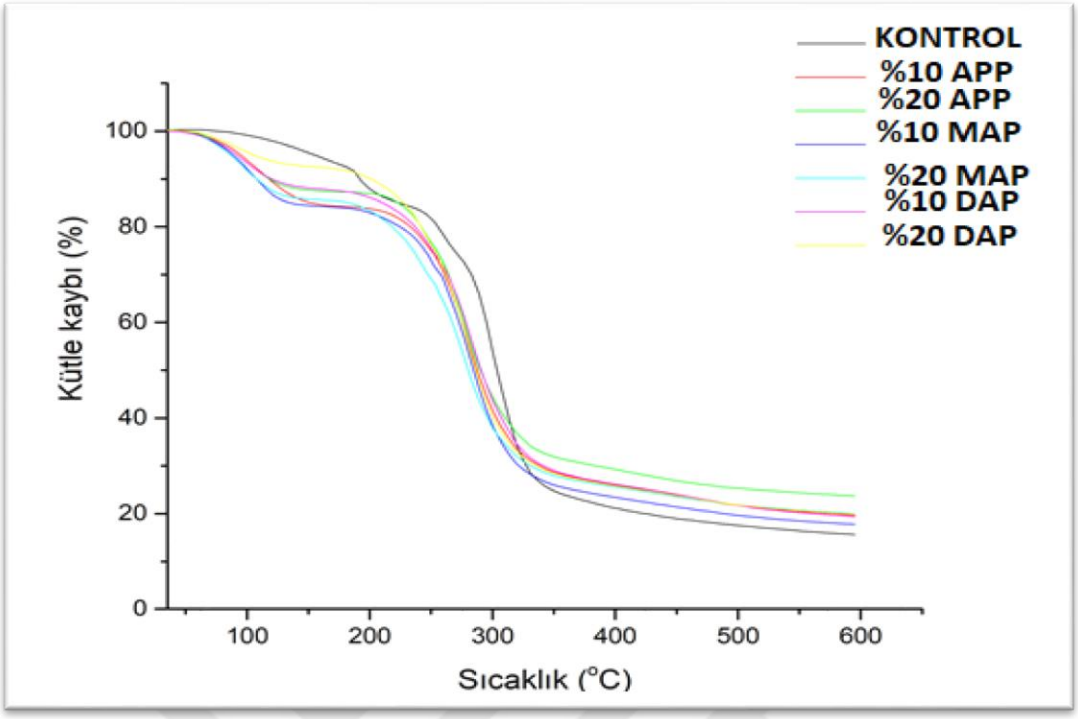
[b] T_{mak} maksimum ağırlık kaybı oranına karşılık gelen sıcaklıktır.

[c] 600 ºC'de kalan % kütle miktarı.

Tablo 5.3. verilen TGA sonuçlarına bakıldığında %5 bozunmanın olduğu en yüksek sıcaklık 151 °C ile kontrol numunesinindir.

Alev geciktirici eklenmiş reçineler içerisinden ise en yüksek %20 DAP numunesi 104 °C sıcaklıkta %5 bozunmuştur. %10 bozunmanın olduğunda ise %20 DAP ilavesi kontrol numunesinden de daha fazla sıcaklıkta 200 °C'dedir. Ancak %50 ve maksimum bozunmanın olduğu an da kontrol numunesi en yüksek sıcaklıktadır, diğerleri hemen hemen birbirine yakındır.

Şekil 5.1'de ki grafikte de sıcaklığın artışı ile beraber azalan % kütle kayıpları görülmektedir. Kontrol numunesine oranla ilk başta alev geciktirici eklenen reçinelerde kütle kaybı oranı daha fazla görülmektedir, ancak 350 °C'den sonra kontrol numunesindeki kütle kaybı oranı daha fazla olmuştur. 600 °C'ye ulaşıldığında da kütlesi en çok azalan numune kontrol numunesi olmuştur. Kütle kaybı en az olan numune de %20 APP içeren numunedir.



Şekil 5.1. Kontrol, APP, DAP ve MAP eklenmiş numunelerin TGA termogramları

5.2.2.Limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI)

Alev geciktirici kimyasal eklenmemiş reçine sürülmüş yonga levha yani kontrol numunesi ile farklı oranlarda alev geciktirici kimyasal eklenmiş reçine sürülmüş yonga levha numunelerinin TS EN ISO 4589-2 standardına göre LOI testleri yapılmıştır. Yonga levha numunelerinin LOI değerleri Tablo 5.4' de % O_2 cinsinden verilmiştir.

Tablo 5.4'de belirtildiği gibi LOI sonuçlarına göre; %20 alev geciktiricili kimyasal eklenmiş reçine ile kaplanan yonga levha numunelerinin % 29,1 ve %29,2 LOI değeri ile en yüksek alev direncine sahip oldukları gözlenmiştir. Dolayısıyla kontrol numunesine göre alev dayanımında % 16 oranında bir artış olmuştur.

Eklenen alev geciktirici kimyasalların kontrol numunesine oranla alev dayanıklılığını arttırdığını göstermekte olup çalışmanın istenilen amaca ulaştığı söylenebilir. Ayrıca yonga levha numunelerinin her biri standartta belirtilen 180 s yanma süresi sınırını aşmamıştır ve levhalardaki 50 mm yanma sınırını geçmeyerek de "X tepkisi" göstermiştir.

Tablo 5.4. LOI ve yanma miktarı değerleri

Alev Geciktirici	Numune	Alev Geciktirici Miktarı (%)	LOİ (%)	Yanma Süresi (s)	Yanma Durumu
Kontrol	Kontrol	Yok	25,1	23	Geçmedi
APP	1	%5	27,4	14	Geçmedi
	2	%10	27,9	12	Geçmedi
	3	%15	28,6	10	Geçmedi
	4	%20	29,1	11	Geçmedi
MAP	5	%5	27,7	12	Geçmedi
	6	%10	27,9	14	Geçmedi
	7	%15	28,8	15	Geçmedi
	8	%20	29,2	16	Geçmedi
DAP	9	%5	27,7	10	Geçmedi
	10	%10	28,1	11	Geçmedi
	11	%15	28,5	16	Geçmedi
	12	%20	29,1	15	Geçmedi

5.2.3.UL-94 Dikey Yanma Testi

Alev geciktirici kimyasal eklenmiş ve alev geciktirici kimyasal eklenmemiş reçinelerin sürülmesi ile hazırlanan yonga levha numunelerinin dikey pozisyonda alev alabilirliğini ve düşük oranlarda aleve maruz bırakıldığında alevin dağılabilirliğini belirlemek amacıyla UL-94 dikey yanma testi yapılmıştır. Elde edilen UL-94 sonuçları Tablo 5.5'te verilmiştir. Kontrol levha numunesi 4 dk.'dan fazla yanma göstererek yanıcı madde kategorisine girerken, alev geciktirici kimyasal eklenmiş reçine sürülen yonga levha numuneleri göstermiş oldukları hızlı sönme süreleri ile V-0 derecesindedirler. APP, MAP ve DAP alev geciktirici kimyasalların alevi yavaşlattığı ve numunelerin alev ile temas eden yüzeylerinde oksijen ile temasını engelleyerek, koruyucu gösterecek bir şekilde kömürleşmiş tabaka oluşturdukları düşünülmektedir (Durgun, 2010). V-0 olarak değerlendirme yapılabilmesi için kontrol numunesi de dâhil olmak üzere tüm diğer farklı oranlarda APP, DAP, MAP eklenmiş alev geciktirici kimyasallı yonga levhaların kıvılcım alarak damlaması ve altında bulunan pamuğun alev alması gibi oluşumların görülmemesi gerekmektedir. Kontrol numunesi de olmak üzere farklı alev geciktirici kimyasallar eklenerek hazırlanan yonga levha numuneleri kıvılcım alarak damlama ve deneyin başından düzeneğin altına yerleştirilmiş pamuğun kıvılcımların damlaması ile alev alması

gibi sonuçlar elde edilmemiştir. Hazırlanan tüm numuneler benzer özellik göstererek herhangi bir damlama ile pamuğun alev alması eylemi gerçekleşmemiştir.

Tablo 5.5. Farklı oranlarda eklenen kimyasalların UL-94 dikey yanma testi

Alev Geciktirici	**Numune**	**Alev Geciktirici Miktarı (%)**	**t_1 (s)**	**t_2 (s)**	**UL-94**	**Damlama**	**Alev alma***
Kontrol	Kontrol	Yok	4 dk	Yanma devam etti	Yanıcı Madde	Yok	Hayır
APP	1	% 5	4	7	V_o	Yok	Hayır
	2	% 10	3	5	V_o	Yok	Hayır
	3	% 15	3	4	V_o	Yok	Hayır
	4	% 20	2	3	V_o	Yok	Hayır
MAP	5	% 5	5	8	V_o	Yok	Hayır
	6	% 10	3	6	V_o	Yok	Hayır
	7	% 15	2	5	V_o	Yok	Hayır
	8	% 20	2	3	V_o	Yok	Hayır
DAP	9	% 5	3	8	V_o	Yok	Hayır
	10	% 10	2	5	V_o	Yok	Hayır
	11	% 15	2	4	V_o	Yok	Hayır
	12	% 20	0	4	V_o	Yok	Hayır
*Pamuğun damla ile alev alması.							

5.2.4.Konik Kalorimetre Testi

Alev geciktirici eklenmiş reçine karışımı sürülmüş yonga levha numunelerinin aleve dayanıklılık analizlerinden en iyi sonuç veren, katı madde oranının %20 ‘ si kadar alev geciktirici eklenmiş olan numunelerin yangın performanslarını belirlemek için 1 tane kontrol ve 3 tane de alev geciktiricili numune konik kalorimetre cihazı ile TS ISO 5660-1’e uygun olarak analiz edilmiştir. Konik kalorimetre testinde elde edilen sonuçlar, birbirinden farklı malzemelerin yanmaya karşı eğilimleri ve davranışları hakkında çok önemli bilgiler ortaya koymaktadır. Alevlenme zamanı (TTI), ısı salınım piki oluşum zamanı (t pik HRR), ısı salınım oranı (peak HRR, kW/m²), toplam ısı salınımı (THR), ortalama CO, ortalama CO_2, CO/CO_2 oranı, toplam duman salınımı (TSR) ve ortalama

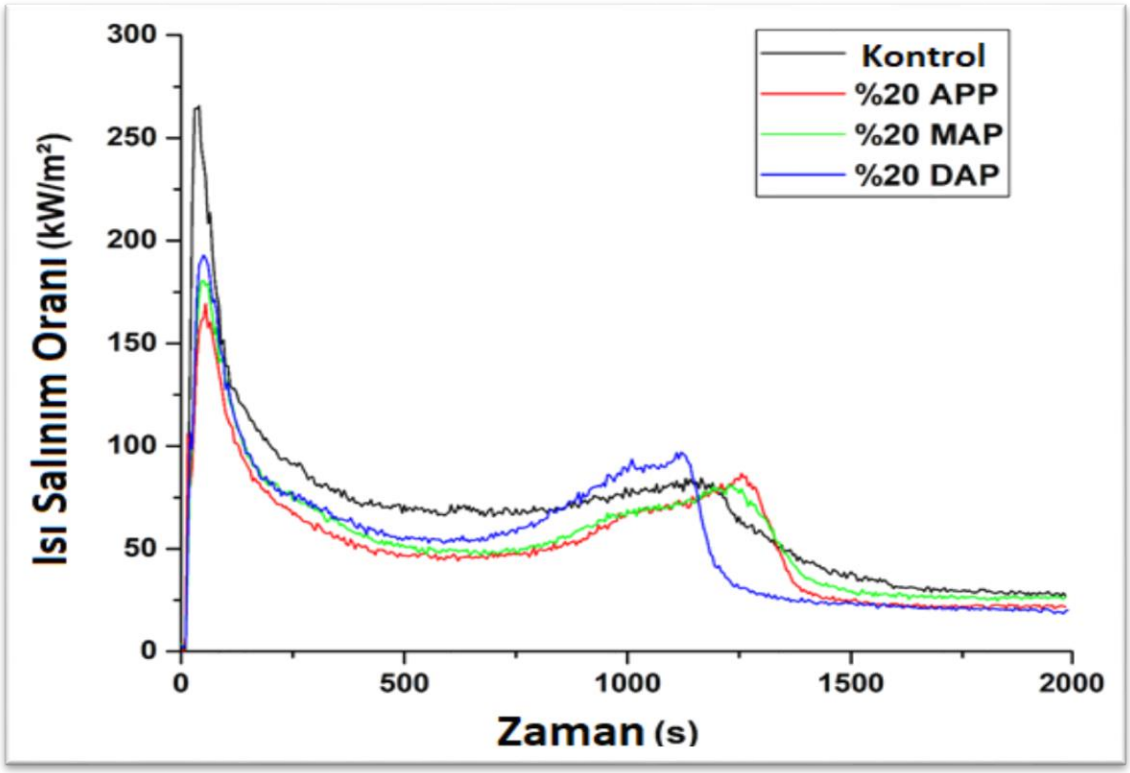
ısı salınım oranı (MARHE) yanma davranışı için önemli parametrelerdir. Alevlenme zamanı, test edilen numune yüzeylerinde tutuşmanın ilk başladığı zamandır. Daha uzun tutuşma süresi, malzemenin tutuşmasının daha zor olduğu anlamına gelir. Bu nedenle tutuşma süresinin uzatılması, işlenmiş numunelerin tutuşabilirliği, yanmazlığı ve yangın tehlikesini azaltma gibi avantajlara sahiptir (Xing-xia ve diğ., 2013).

Kontrol numunesine oranla ; %20 APP içeren yonga levha numunesi alevlenme süresinde %50 , %20 MAP içeren %30 , %20 DAP içeren %15 oranında artma göstermiştir. Yani %20 APP içeren numunenin alevlenme süresi en yüksektir ve böylece yanma dayanımı da daha yüksektir. Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de konik kalorimetre ortalama sonuçları yer almaktadır.

Tablo 5.6. Konik Kalorimetre testi yanma parametrelerinin ortalama sonuçları

Parametre	**Kontrol**	**%20 APP**	**%20 MAP**	**%20 DAP**
Alevlenme zamanı (s)	20	30	26	23
Isı salınım piki oluşum zamanı (t pik HRR, s)	40	55	50	50
Isı salınım oranı (pik HRR, Kw/m²)	265.61	169.28	180.53	192.94
Toplam ısı salınımı (THR, Mj/m²)	128.9	100	107.2	106.7
Ortalama CO (kg/kg)	0.0197	0.0137	0.0113	0.139
Ortalama CO_2 (kg/kg)	1.20	1.11	1.13	1.18
CO/CO_2 oranı	0.0164	0.0123	0.0100	0.1177
Toplam duman salınımı (TSR, m²/m²)	220.7	312.7	341.5	378.1
Maksimum ortalama ısı salınım oranı (MARHE, Kw/m²)	176.5	120.0	128.4	135.7

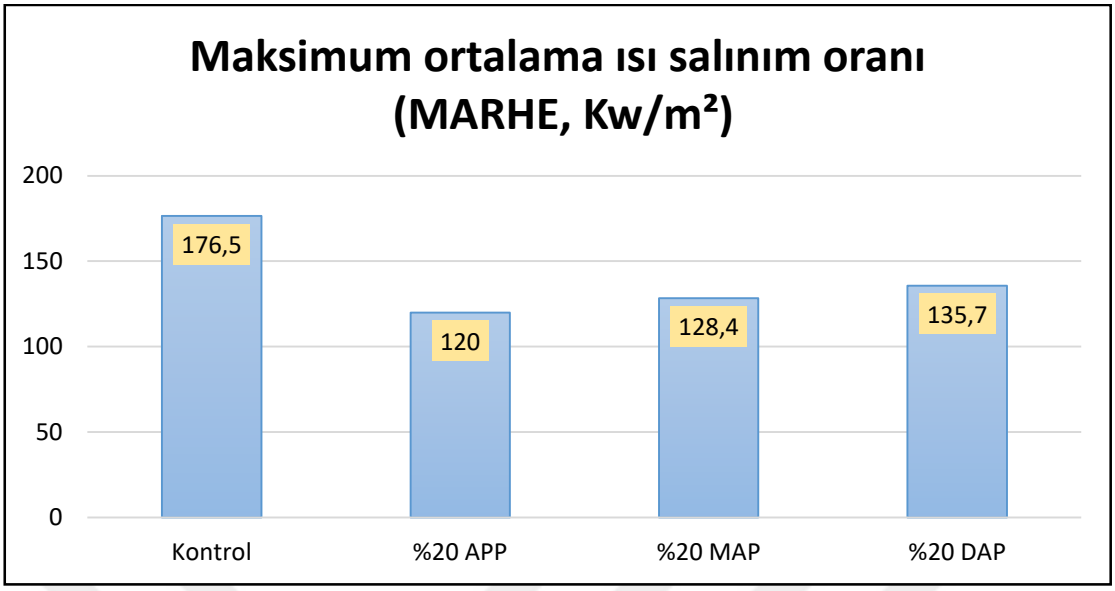
Isı salınım oranı (HRR), konik kalorimetre testinde numunelerin yanma davranışını incelemede kullanılan önemli bir parametredir. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi eklenen alev geciktiriciler yonga levhaların, HRR değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Kontrol numunesi için HRR pikinin oluştuğu zaman 40 s olarak bulunmuştur ve alev geciktirici eklenerek bu değer arttırılmıştır.



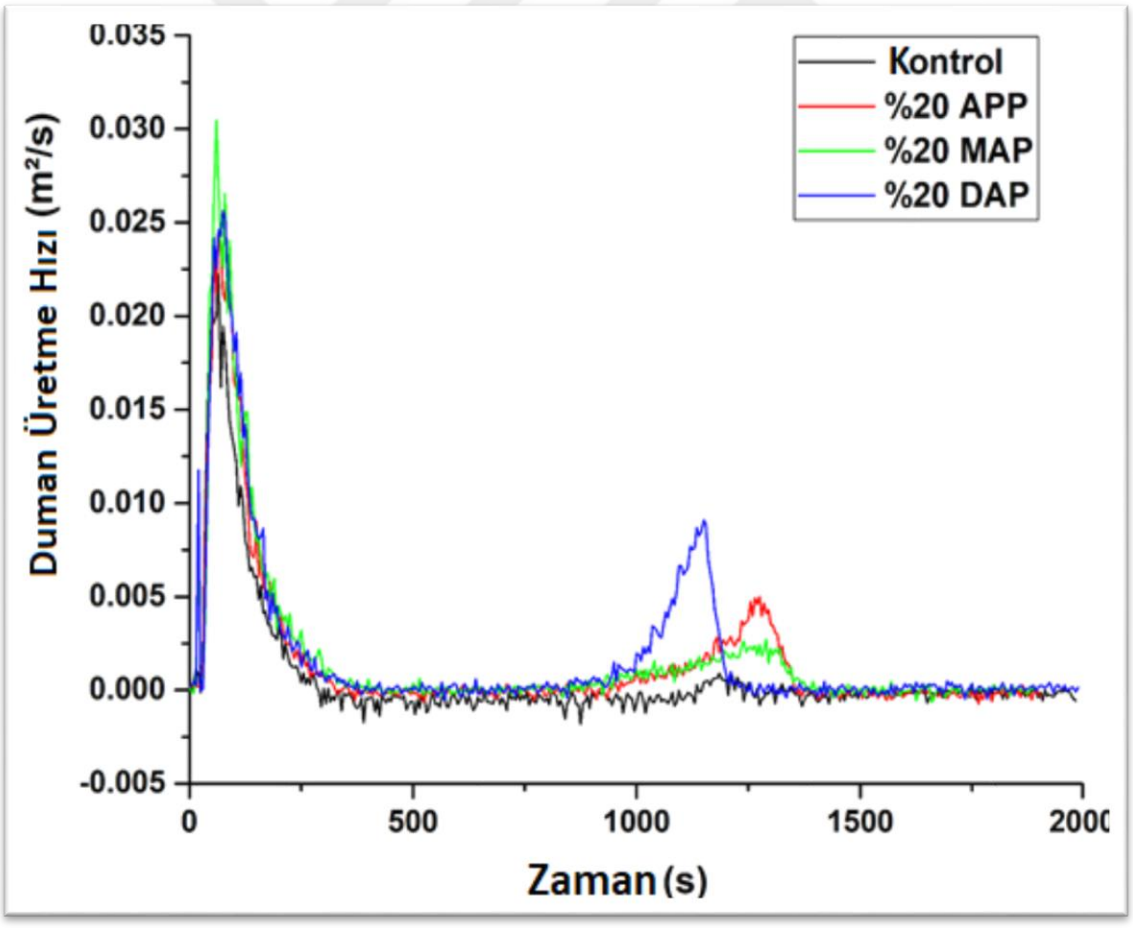
Şekil 5.2. Yonga levha numunelerinin ısı salınım oranları karşılaştırmalı grafiği

Büyük ölçekli bir yanmanın nasıl gelişebileceğini tahmin etmek için oldukça yararlı bir parametre olan MARHE değerleri de yanmanın alev geciktirici eklendiğinde yavaşladığını göstermektedir.

Şekil 5.3.'de görüldüğü gibi kontrol numunesi için 176,5 kW/m² olan MARHE değeri %20 oranında APP eklendiğinde 120 kW/m² 'ye, %20 MAP eklendiğinde 128.4 kW/m² 'ye, %20 DAP eklendiğinde ise 135.7 kW/m²'ye düşmüştür.



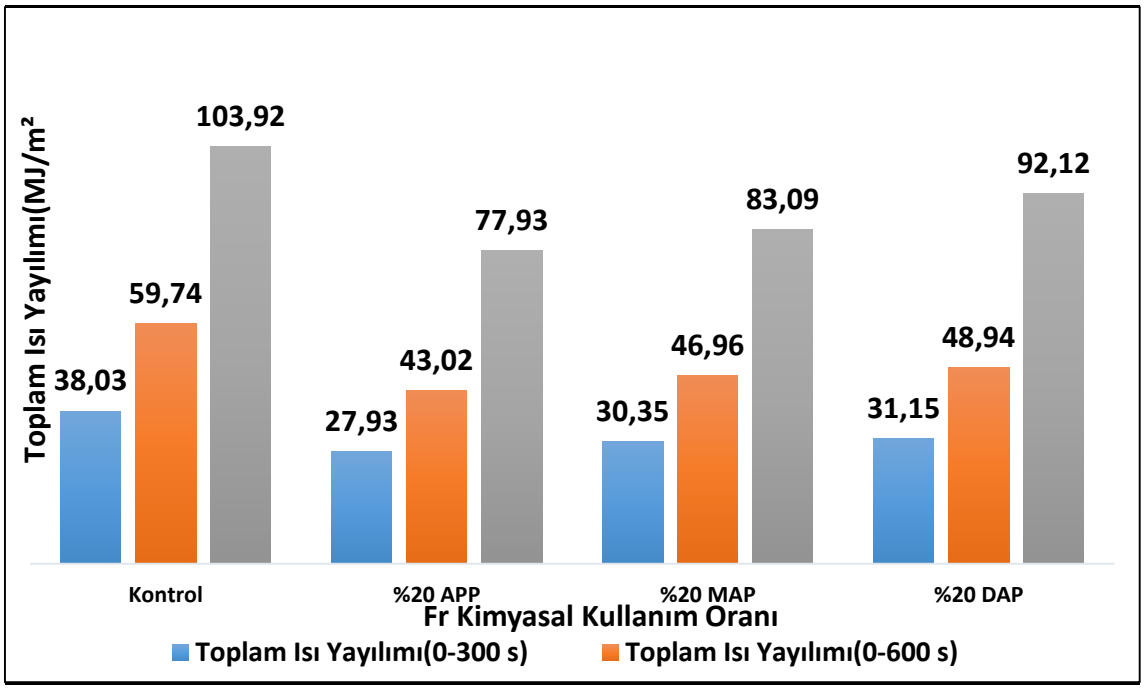
Şekil 5.3.Yonga levha numunelerinin maksimum ortalama ısı salınım oranlarının karşılaştırılmalı grafiği



Şekil 5.4. Yonga levha numunelerinin duman üretim hızlarının karşılaştırmalı grafiği

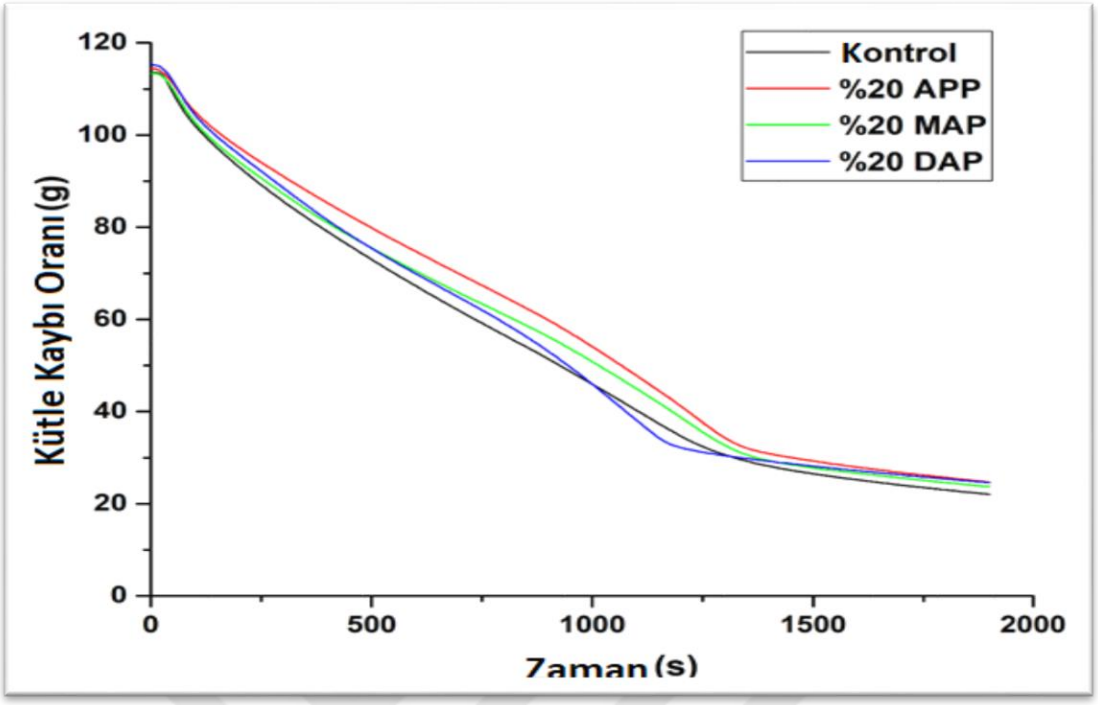
Alev geciktirici eklendiğinde TSR değeri azalmamıştır, hatta artmıştır. Numunelerin duman üretme hızları da şekil 5.4'de görüldüğü gibi alev geciktirici eklendiğinde artmıştır. En yüksek değer %20 MAP içerikli levhadadır. Ortalama CO ve CO_2 değerleri de değişkenlik göstermektedir.

Yanma esnasında oluşan dumanın toksitesinin değerlendirilmesinde CO/CO_2 oranı kullanılır. Bu değer yükseldikçe çıkan dumanın toksisitesi de artacaktır. Elde edilen sonuçlar; %20 DAP hariç alev geciktirici ilavesi ile birlikte bu değerde azalma olduğunu göstermektedir.



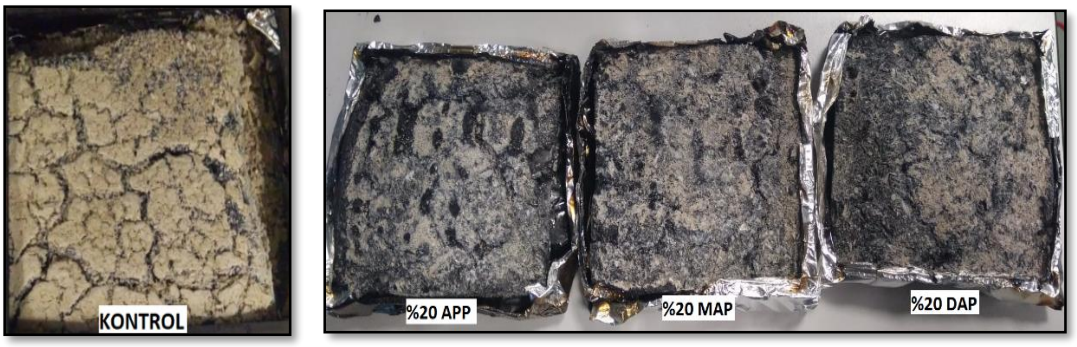
Şekil 5.5. Yonga levha numunelerinin belirli sürelerdeki toplam ısı yayılımı değerleri

Şekil 5.5'de de görüldüğü üzere yonga levha numunelerinin toplam ısı yayılımlarını (0-300) değerlendirecek olursak, %20 APP, %20 MAP ve %20 DAP içeren yonga levha numuneleri kontrol numunesine göre sırasıyla, %26,55 , %20,19 ve %18,09 oranında azalma göstermişlerdir. En yüksek oranda azalma gösteren % 20 APP içeren yonga levha numunesine aittir.



Şekil 5.6. Numune kütlesinin zamana bağlı değişim grafiği

Şekil 5.6'da kütle kaybı oranları görülmektedir. Kütle kaybı ne kadar düşükse, yanma sırasında kömür kalıntısı da o kadar yüksek olur ve böylece malzemenin kömürleşme kabiliyeti de o oranda etkilenir.

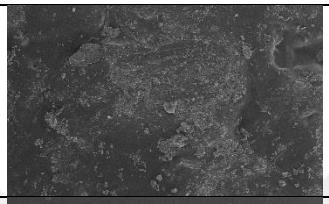
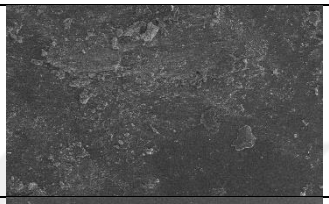
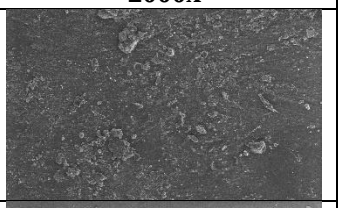
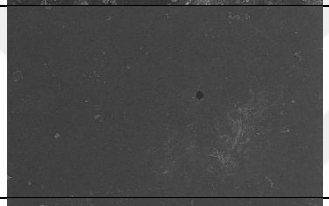
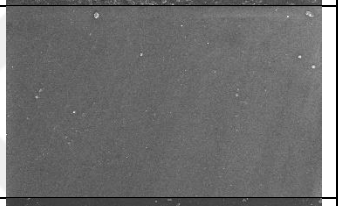
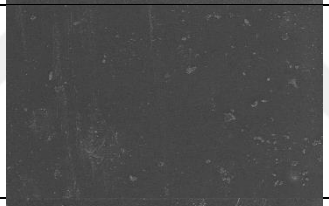
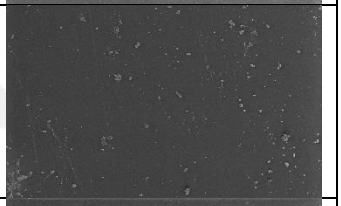
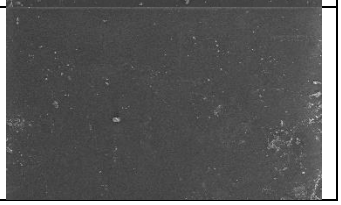


Şekil 5.7. Konik kalorimetre analiz sonucunda kalıntı numunelerin görüntüsü

Yonga levha numunelerinin kütle kaybı hızı sonuçlarına göre en düşük değer %20 APP içeren numunedir. Şekil 5.7'de analiz sonucunda oluşan kalıntı numunelerin görüntüsü verilmiştir. Kalıntı numuneleri görüntüleri incelendiğinde, kontrol numunesine göre kütle kaybı düşük olan %20 APP içeren numunede kahverengi yapı daha azdır ve kömürleşme görüntüsü daha belirgindir.

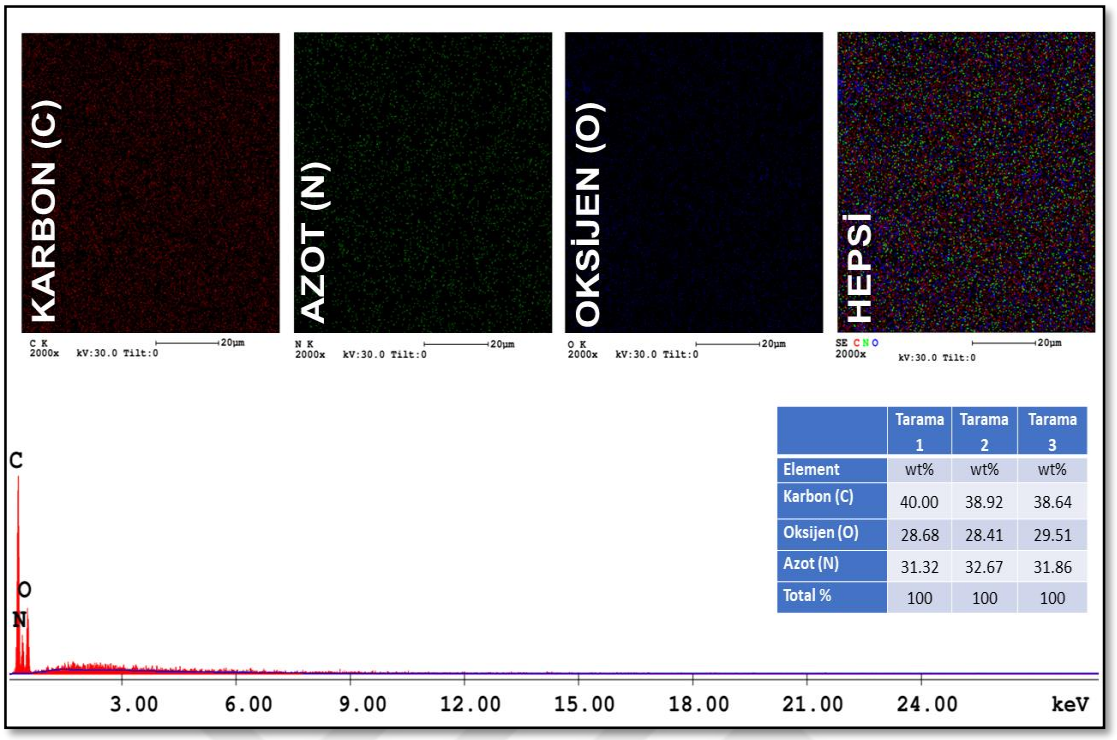
5.2.5.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Hazırlanan numunelerin yüzey morfolojileri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektrometre (EDX) ile incelenmiştir. Şekil 5.8'de tüm numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Alev geciktirici ilavesi ile yüzeylerde kontrol numunesine oranla daha pürüzsüz bir görüntü oluştuğu görülmektedir. Özellikle yüzey görüntüsü en pürüzsüz ve homojen olan numune %20 APP eklenmiş olarak görülmektedir.

Numune	500x	1000x	2000x
Kontrol			
%20 APP			
%20 MAP			
%20 DAP			

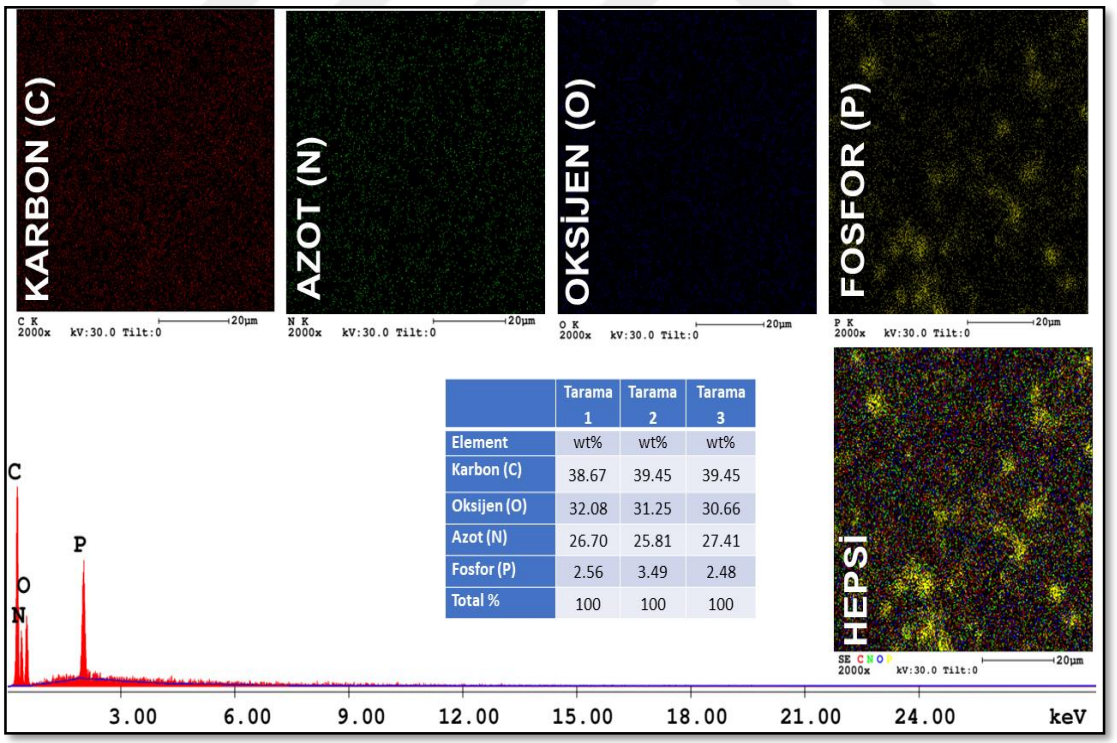
Şekil 5.8. Kontrol ve alev geciktiricili reçine ile kaplanmış yonga levhaların SEM görüntüleri

Şekil 5.9., 5.10., 5.11. ve 5.12.'de numunelerin EDX ile elementel kompozisyonları verilmiştir. Elementel kompozisyonlara bakıldığında kontrol dışındaki numunelerde fosfor görülmektedir. Fosfat içerikli alev geciktirici ilavesiyle levha yüzeylerinde fosfor varlığı EDX elementel analizi ile belirlenmiştir.



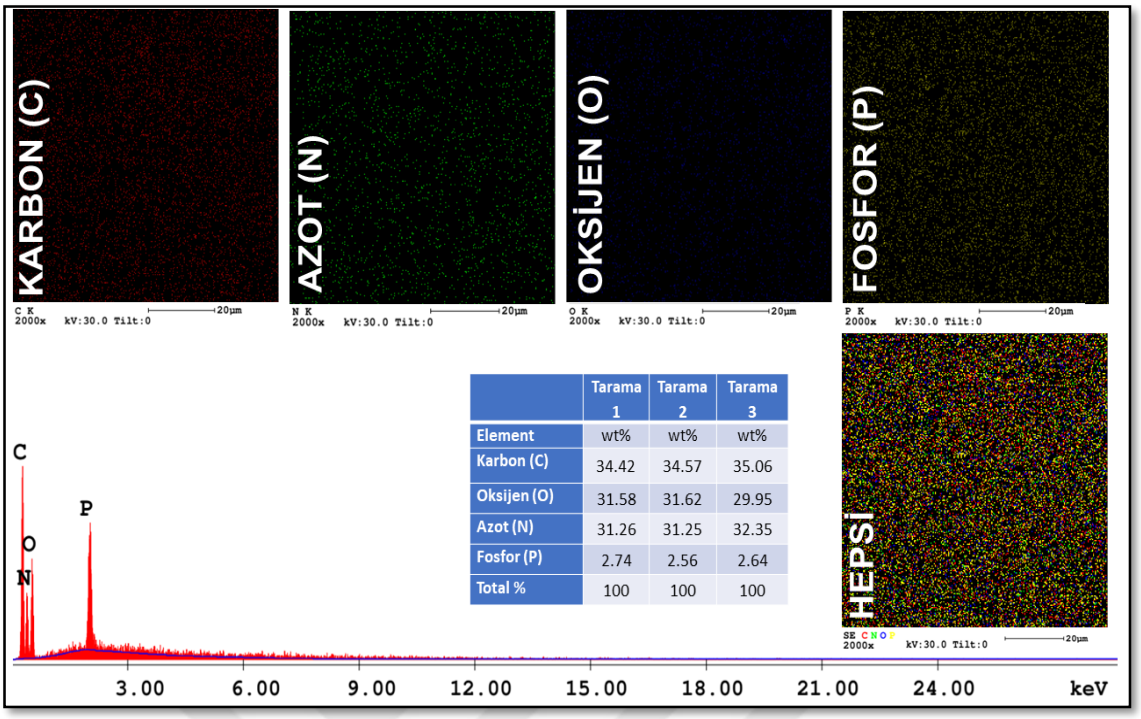
	Tarama 1	Tarama 2	Tarama 3
Element	wt%	wt%	wt%
Karbon (C)	40.00	38.92	38.64
Oksijen (O)	28.68	28.41	29.51
Azot (N)	31.32	32.67	31.86
Total %	100	100	100

Şekil 5.9. Kontrol için EDX elementel analiz sonuçları



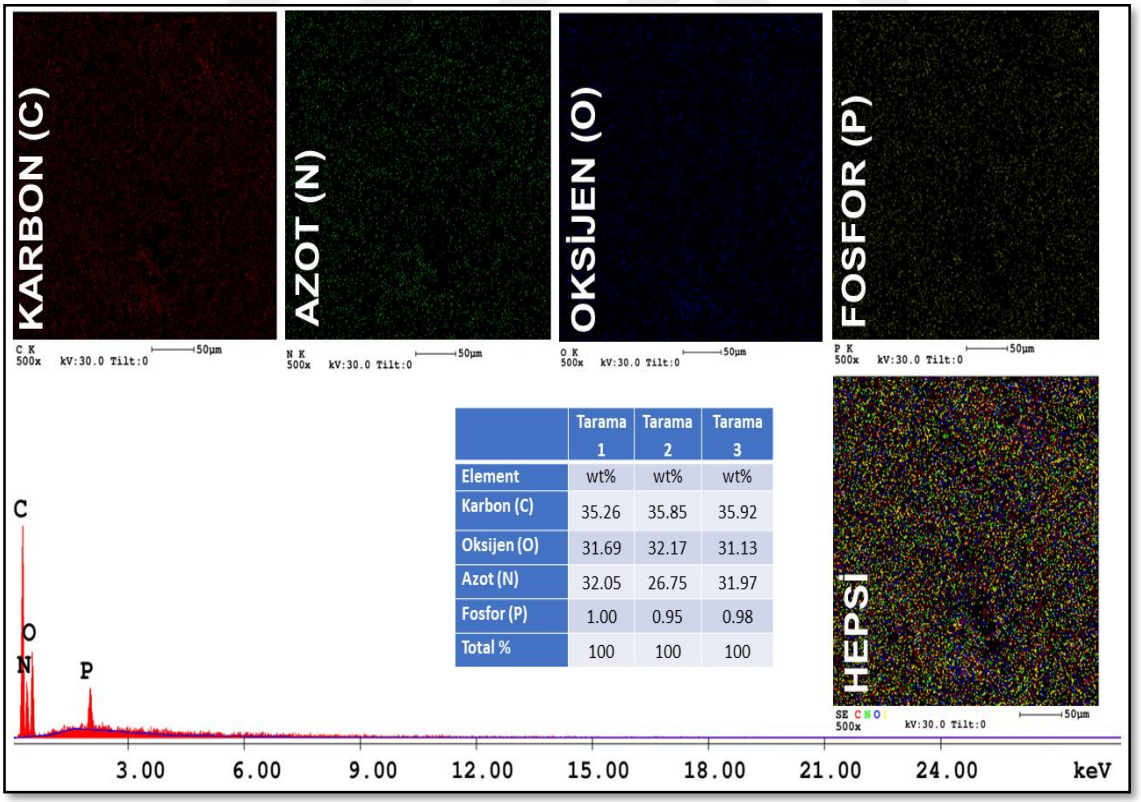
	Tarama 1	Tarama 2	Tarama 3
Element	wt%	wt%	wt%
Karbon (C)	38.67	39.45	39.45
Oksijen (O)	32.08	31.25	30.66
Azot (N)	26.70	25.81	27.41
Fosfor (P)	2.56	3.49	2.48
Total %	100	100	100

Şekil 5.10. %20 APP için EDX elementel analiz sonuçları



	Tarama 1	Tarama 2	Tarama 3
Element	wt%	wt%	wt%
Karbon (C)	34.42	34.57	35.06
Oksijen (O)	31.58	31.62	29.95
Azot (N)	31.26	31.25	32.35
Fosfor (P)	2.74	2.56	2.64
Total %	100	100	100

Şekil 5.11. %20 MAP için EDX elementel analiz sonuçları



	Tarama 1	Tarama 2	Tarama 3
Element	wt%	wt%	wt%
Karbon (C)	35.26	35.85	35.92
Oksijen (O)	31.69	32.17	31.13
Azot (N)	32.05	26.75	31.97
Fosfor (P)	1.00	0.95	0.98
Total %	100	100	100

Şekil 5.12. %20 DAP için EDX elementel analiz sonuçları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, yonga levha üretiminde kullanılan %65'lik UF reçinesine fosfat içeren kimyasallar farklı oranlarda eklenerek hem reçinenin jelleşme zamanını hem de yonga levhada alev dayanımının arttırılması hedeflenmiştir. Alev geciktirici olarak APP, MAP ve DAP kimyasalları kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada, kontrol ve belirli oranlarda alev geciktirici kimyasal eklenmiş reçinelerin öncelikli olarak pH ve jelleşme süreleri tayin edilmiştir. Alev geciktirici eklendiğinde reçinenin pH düşmüştür ve reçinede jelleşme sağlanmıştır. Sadece %15 ve %20 oranında DAP ilavesinde reçine jelleşmemiştir.

Hem kontrol hem de %10 ve %20 oranlarında alev geciktirici eklenmiş reçineler etüvde bekletilerek sertleştirilmiş ve ardından TGA analizleri yapılmıştır. Analiz sonucuna göre kalan kül miktarı en fazla %20 APP içeren numune de olmuştur.

Standartlara uygun olarak belirli ölçülere getirilen yonga levha numunelerinin hem alt hem de üst yüzeylerine bir fırça yardımı ile 250 gr/m² olacak şekilde alev geciktirici eklenmiş reçineler sürülmüştür. Fiziksel özellikler için pH ve jelleşme süreleri, termal kararlılık için TGA, yüzey morfolojisi için SEM-EDX ve alev dayanım özellikleri için LOİ, UL-94 dikey yanma ve konik kalorimetre analizleri uygulanmıştır.

UL-94 dikey yanma testi sonuçlarında, kontrol numunesi yani hiç alev geciktirici kimyasal eklenmemiş olan yonga levha numunesi 4 dakikadan fazla yanma göstermiştir. Böylece yanıcı madde kategorisine girmiştir. Alev geciktirici kimyasal eklenmiş yonga levha numuneleri ise V-0 derecesine girmişlerdir. Kontrol numunesi ve tüm diğer farklı oranlarda APP-MAP-DAP alev geciktiricileri eklenmiş reçine sürülen yonga levhaların kıvılcım alarak damlaması ve altında bulunan pamuğun alev alması gibi parametreler tespit edilmemiştir.

LOI sonuçlarına göre; %20 alev geciktiricili kimyasal eklenmiş reçine ile kaplanan yonga levha numunelerinin % 29,1 ve %29,2 LOI değeri ile en yüksek alev direncine sahip oldukları gözlenmiştir. Dolayısıyla kontrol numunesine göre alev dayanımında %16 oranında bir artış olmuştur. Eklenen alev geciktirici kimyasalların kontrol numunesine

oranla alev dayanıklılığını arttırdığını göstermekte olup çalışmanın istenilen amaca ulaştığı söylenebilir. En yüksek LOI değeri gösteren %20 APP, MAP ve DAP içeren numunelere ve kontrol numunesine konik kalorimetre testi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kontrol numunesine oranla ; %20 APP içeren yonga levha numunesi alevlenme süresinde %50 oranında artış görülmüştür. Yani %20 APP içeren numunenin alevlenme süresi en yüksektir ve böylece yanma dayanımı da daha yüksektir.

MARHE değeri, kontrol numunesi için 176.5 kW/m² olan %20 oranında APP eklendiğinde 120 kW/m² 'ye düşmüştür. Aynı zamanda 0-300 s aralığında toplam ısı yayılımı değeri kontrole göre alev geciktirici eklendiğinde azalma göstermiştir ve yine en yüksek oranda azalmayı %20 APP ilavesi sağlamıştır. Yonga levha numune yanma sonrası oluşan kalıntı numunelerinin görüntüleri incelendiğinde, kontrol numunesine göre kütle kaybı düşük olan %20 APP içeren numunede kahverengi yapı daha azdır ve kömürleşme görüntüsü daha belirgindir, daha fazla kömür tabakasına sahip bir yapı oluşmuştur.

Tüm analiz sonuçları değerlendirildiğinde yonga levha numunelerinin fiziksel özellikleri istenen aralıklarda sonuçlar vermiştir. Termal ve morfolojik analiz sonuçlarına göre de en iyi sonuçları %20 APP içeren numune vermiştir. Aynı zamanda yangın performansı için LOI değerinde yüksek değerin çıkması, UL-94 dikey yanma testinin V-0 gelmesi ve konik sonuçlarında MARHE değeri ve ısı yayılımında ki azalma, alevlenme süresinde artma gibi sonuçları veren % 20 APP içeren UF reçinesinin yangın geciktirici etkisinin yüksek olduğu görülmektedir.

Elde edilen tüm verilere göre, ilerleyen dönemde yapılacak çalışmalarda da daha yüksek alev dayanımı elde edebilmek için kullanılan alev geciktiricilerin sinerjik etki yaratma ihtimalleri göz önünde bulundurularak farklı oranlarda karışımları hazırlanarak denemeler yapılabilir. Bir de levha yüzeyine farklı miktarlarda tutkal sürülerek, tutkal miktarının değişimi ile aleve dayanıklılığın etkisi araştırabilir.

KAYNAKLAR

Abdul Rashid, A. M., Murphy, R. J. (1992). Pyrolysis and Heat Release of İnorganic Flame-Retardants. *Journal of Tropical Forest Science*, *5*(3), 322–336.

Akyüz, İ. (2004). *Avrupa Birliğine Giriş Sürecinde Türkiye ile Avrupa Birliği Üye Ülkelerin Yonga Levha Dış Ticareti*. Kafkas Üniversitesi, *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, *3*(4), 124-134.

Altun, S., Tokdemir, V. (2017). Modification With Melamine Formaldehyde And Melamine-Urea Formaldehyde Resin To İmprove The Physical And Mechanical Properties Of Wood,*Bio Resources*, *12*(1): 586-596.

Anonim 1, İstanbul University Department of Pharmacology and Toxicology, *Toxicity Test and Toxicological Assessment Report*, 14.09.2005.

Anonim 2, Gazi University, *Faculty of Technical Education*, Test Report, No: 02016,07.11.2003.

Anonim 3, Balıkesir University, *Basic Sciences Application and Research Center*,Test Report, No: 4, 04.06.2004.

Arthur, L. T., K., Quill. (1992).*Commercial flame retardant applications of boron compounds*.

Aslan S., Özkaya, K. (2004). Farklı Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Ahşap Esaslı Levhaların Yanma mukavetinin Araştırılması, *Turkish Journal of Forestry*, *5*(2), 122-140.

ASTM D 3801-00. (2010). International Standard Test Method for Measuring the Comparative Burning Characteristics of Solid Plastics in a Vertical Position, International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Atar, M., Keskin, H., Yavuzcan H.G. (2004). *Varnish Layer Hardness of Oriental Beech(Fagus Orientalis Lipsky) Wood as Affected by İmpregnation and Color Bleaching*, J. Coatings Technol.,1, 498–504.

Atar, İ. (2012). Sertleştirici Türü, Üre Kullanımı ve Depolama Süresinin Yonga Levhanın Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 312170.

Ayrılmış, N. (2006). Çeşitli Kimyasalların Bazı Ahşap Levha Ürünlerinde Yanma ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,276461.

Ayrılmış, N. (2007). Effect Of Fire Retardants On İnternal Bond Strength And Bond Durability Of Structural Fiberboard. Building And Environment,42(3), 1200-1206.

Babrauskasi, V. Peacock, R.D. (1992). Heat Release Rate: The Single Most Important Variable In Fire Hazard, *Fire Safety Journal*, 18(3), 255-272.

Bardak S. (2009). Sıcak Pres Diyagramı ve Zımpara Tozu Kullanımının Yonga Levhanın Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 244633.

Berkel A. (1970). Ağaç Malzeme Teknolojisi, II Cilt. Ağaç Malzemenin Korunması ve Emprenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No:1745, Orman Fak. Yayın No:183, 385 s.

Betts,K.S. (2008). New Thinking on Flame Retardants, Environ Health Perspect,116(5):A210A213,PMID:18470294,https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2367656/(19 Eylül 2018).

Bilici, İ.Y., Bilgesu, AY. (2012). *Atık Plastiklerden Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu*. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.

Bozkurt AY., Göker Y. (1996). Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 436, İstanbul, 374s.

Bozkurt AY., Erdin N. (1997). *Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı*, İstanbul Üniversitesi Orman Fak. Orman ve Müh. Böl., 372s. İstanbul.

Bozkurt, A., Göker, Y. & Erdin, N. (1993). *Emprenye Tekniği*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 3779/425.

Deka, M., Saikia, C. N. (2000). Chemical Modification Of Wood With Thermosetting Resin: Effect On Dimensional Stability And Strength Property, *Bioresource Technology* 73(2), 179-181. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00167-4

Durgun, Z. G. (2010). Çeşitli Kalsiyum Boratların Sentezi, Karakterizasyonu ve Alev Geciktirici Etkinliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,284917.

Eickner, H. W. (1966). *Fire Retardant Treated Wood, Journal of Materials*, 625-644.

Ellis D.W.,Rowell M.R. (1989). Flame-Retardant Treatment of Wood with a Disocynate and An Oligomer Phosphonate. *Wood and Fiber Science*. 21(4):367- 375.

Epmeier, H., Westin, M., Rapp, A. O., Nilsson, T. (2003). Comparison Of Properties Of Wood Modified By 8 Different Methods: Durability, Mechanical And Physical Properties, in: *Proceedings From The First European Conference On Wood Modification*, Ghent, Belgium, Pp. 121-142.

Eren, T., Aşçı, A. (2015). Fosfonat İçeren Polinorbornen Türevlerinin Romp (Halka Açılma Metatez Polimerizasyonu) Metodu ile Sentezi, Karakterizasyonu ve Alev Geciktirici Özelliklerinin İncelenmesi, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi,* 33(4): 615-625.

Eroğlu H., Usta M. (2000). *Lif Levha Üretim Teknolojisi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 200, Fakülte Yayın No: 30, Trabzon, s. 351.

Frıhart C.R. (2005). Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, USA, *Forest Service, Forest Products Laboratory*, Madison, pp. 215-259.

Gay-Lussac, J. L. (1821). Note on Properties of Salts for Making Fabrics Incombustible, Annales de Chimie et de Physique, 2 (18), 211–217,1821.

George, C. W., Susott, R. A. (1971). *Effects of Ammonium Phosphate and Sulfate on the Pyrolysis and Combustion of Cellulose*. Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, US Department of Agriculture.

George, Charles W. (1971). Effects of ammonium phosphate and sulfate on the pyrolysis and combustion of cellulose, *Intermountain Forest & Range Experiment Station*, Forest Service, US Department of Agriculture.

Gindl, W., Hansmanni, C., Gierlinger, N., Schwanninger, B., Hinterstoisser, B., Jeronimidis, G. (2004). Using A Water-Soluble Melamine-Formaldehyde Resin To İmprove The Hardness Of Norway Spruce Wood, *Journal Of Applied Polymer Science* 93(4), 1900-1907. DOI: 10.1002/App.20653

Grexa, O. Elena H., Peter L. (1999). Flame retardant treated plywood. *Polymer degradation and stability* 64(3), 529-533.

Goldstein I. S. (1973). Degradationand Protection of Woodfrom Thermal Attcak, in:Wood Deteriorationand İts. Preventionby Preservative Treatments (D. D.Nicholas, Ed.) Syracuse Univ., New York , Press, Vol:I, 307-339.

Göker Y. (2000). *Değişik Yöntemlerle Üretilmiş Yonga Levhaların Kullanım Yerleri,*Laminart Mobilya ve Dekorasyon ve Sanat ve Tasarım Dergisi, Sayı:7, İstanbul.

Habibzade S., Taghiyari, H. R., Omidvar, A., Roudi, H. R. (2016). Effects Of İmpregnation With Styrene And Nano-Zinc Oxide On Fire-Retarding, Physical, And Mechanical Properties Of Poplar Wood. *Cerne,22,* 465-474.

Hirata T., Fukui Y., Kawamoto S. (1988). *Plywood fire-retarded by chemical treatments*, Surface flammability in Japanese, Mokuzai Gakkaishi,34:337–345.

Hong, H., Liu, H., Zhang, H., He, H., Liu, T., Jia, D. (2018). Flame Retarded Polyethylene/Wood Flour Composites With High Performances: Satisfying Both Sides With İntumescent Flame Retardants And Synergistic Compatibilizers, Respectively. *Polymer Composites*, *39*(2), 569-579.

Huggett, C. (1980). Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements. *Fire and Materials*, 4(2), 61-65.

Huş S. (1997). Ağaç Malzeme Tutkalları, *İstanbul Üniversitesi Yayın No: 2337, Orman Fakültesi Yayın No: 242*, Kurtulmuş Matbaası, İstanbul.

İstek A. (2006). Sert Lif Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Sıcaklık ve Basıncın Etkisi, ZKÜ, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi,* Cilt: 8, Sayı: 10.

Jaskolowski, W., Bilski, D., Maminski. (2013). M. Cone calorimeter study of nano silica as flame retardant in selected woods. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology,83*.

Kamal I., Malek A., Yusof M., Masseat K., Ashaari Z, Abood F. (2009). *Physical and Mechanical Properties of Flame Retardant-Treated Hibiscus Cannabinus Particle Board*, Mod Appl, Sci 3(8).

Kawarasaki M., Kikuchi S., Hiradate R., Hirabayashi Y. (2004). *Development of Wood-Based Material With High Fire Preventive Performance (I) (in Japanese).* J Hokkai for Prod Res Inst, 18:16–22.

Kikuchi S., Maeda S., (2007). *Effects of Fire Retardant Chemicals and Retention on Heat Release Rate of Wood in Japanese,* Mokuzai Gakkaishi,53:276–282.

Koo. J. H. (2016). 'Structures and Properties Characterization', Fundamentals, Properties, and Applications of Polymer Nanocomposites/core/books/fundamentalspropertiesandapplicationsofpolymernanocomposites/structuresandpropertiescharacterization/BA456DE4903C440E375451E6A4F973A5 (Ziyaret Tarihi : 27 Nisan 2020)

Leao, A.L. (1993). Treatment Variations For Production of Fire Retardant Flakeboards, Doktora Tezi, University of Wisconsin, 270 s.

Le Van SL., Winandy JE. (1990). Effects of Fire Retardant Treatments on Wood Strentgh: A Rewiew, *Wood and Fiber Science* , 22 (1) 113-131.

LeVan S. L.(1984). Chemistry of Fire Retardancy, *The Chemistry of Solid Wood, American Chemical Society,* Washington, DC, pp 531–574.

Lindholm, J., Anders, B., Mikko, H.. (2009) "Cone calorimeter—a Tool for Measuring Heat Release Rate." *Åbo Akademi Process Chemistry Centre: Turku, Finland* .

Liodakis, S., Tsapara, V., Agiovlasitis, I. P., & Vorisis, *D.*(2013). *Thermal Analysis of Pinus Sylvestris L. Wood Samples Treated with a New Gel–Mineral Mixture of Short-and Long-Term Fire Retardants,*Thermochimica Acta,568, 156-160.

Mamatha, B. S., Sujatha, D., Nath, S. K., Uday, D. N., Nandanwar. A. (2017). *Development of Fire Retardant Wood Composite Using Amino Resin*. In Wood is Good ,(pp. 353-361). Springer, Singapore.

Mantanis, G. I., Martinka, J., Lykidis, C., Ševčík, L. (2019). Technological properties and fire performance of medium density fibreboard (MDF) treated with selected polyphosphate-based fire retardants. *Wood Material Science & Engineering*.

Mantanis G.I., Athanassiadou, E. T., Barbu, M. C., Wijnendaele, K. (2018). Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries, *Wood material science & engineering*, *13*(2), 104-116.

Markesinis, K., Katsampas.I. (2009). Innovative And Competitive Chemical Technology For Production Of Fire Retardant Wood Based Panels, *Chimar Hellas,2009,SA*, 1-13.

Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastına Katkı Maddeleri, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 14-15 Ekim 1999.

Miroy, F., Eymard, P., Pizzi, A. (1995). Wood Hardening By Methoxymethyl Melamine, *Holz Als Roh –Und Werkstoff* 53(4), 276-276. DOI: 10.1007/S001070050089

Mngomezulu, M. E. J., Jacobs, V. Luyt A. S.(2014). *Review on flammability of biofibres and biocomposite*, Carbohydrate Polymers, 111, 149- 182.

Nemli G. (1995). Melamin Emdirilmiş Kâğıtlarla Kaplamanın Yonga Levha Teknik Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 38376.

Nemli G., Aytaç A. (2002). Üre Formaldehit Tutkallar, *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, 47 (6): 218.

Nemli G. (2003). Sentetik Laminant Endüstrisi, *KTÜ, Orman Fakültesi Yayınları*, Ders Teksirleri Serisi, No: 71, Trabzon, s. 91-111,2003.

Nine, M. J., Tran, D. N., Tung, T. T., Kabiri, S., Losic, D. (2017). Graphene-borate as an efficient fire retardant for cellulosic materials with multiple and synergetic modes of action. *ACS applied materials & interfaces*, *9*(11), 10160-10168.

Oliveira, Rodrigo BRS, A. L. Moreno, and L. C. M. Vieira. (2017). Intumescent paint as Fire protection coating. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais 10:220231.

Östman B. (2017). Fire Performance of Wood Products and Timber Structures, International Wood Products Journal, 8(2):74–79.https://doi.org/10.1080/20426445.2017.132085.

Özdemir, F., Ayaz, A. (2017). Yüzey Kaplamasında Kullanılan Bazı Yanmayı Geciktirici Kimyasalların Orta Yoğunluklu Lif Levhanın Yanma Özellikleri Üzerine Etkileri. *Turkish Journal Of Forestry*,18.3: 251-257.

Papadopoulos A.N., Hill C.A. ve Traboulay E. (2002). *lsocynate Resins for Particle Board; PMD1 and EMDĠ,* Holz als Roh-Und Werkstoff, 60, 2, 81-83.

Rowell R. M., LeVan-Green, S. L. (2005). Thermal properties,*Handbook of wood chemistry and wood composites*, 121.

Shishlov, O., Dozhdikov, S., Glukhikh, V., Eltsov, O., Kraus, E., Orf, L., Stoyanov, O. (2017). Synthesis of bromo-cardanol novolac resins and evaluation of their effectiveness as flame retardants and adhesives for particleboard. *Journal of Applied Polymer Science*, *134*(38), 45322.

S.L. LeVan, (1984). *Chemistry of Fire Retardancy*, in: R. Rowell (Ed.), The Chemistry of Solid Wood, American Chemical Society, Washinghton, DC, p. 542.

Su WY., Subiyakto HT., Imamura Y., Ishihara S. (1997). *Improvement of the Fire Retardancy of Strandboard by Surface Treatment with Melamine and Boric or Phosphoric Acids.*,Mokuzai Gakkaishi, 43:75–81.

Tunç H. (2012). Silan Modifiyeli Fenol Formaldehit Tutkalı ile Üretilmiş Yönlendirilmiş Yonga Levhaların Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 100 s,2012.

Tunç H, Pizzi A. (1994). Advanced Wood Adhesive Technology. Marcel, Dekker, pp. 10-120, New York, USA, Kalaycıoğlu, H. (2003). *Odun Levha Ürünleri Ders Notları.* KTÜ, Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 69,Trabzon. s. 2-11,2012.

Türk Standartları Enstitüsü. (1975). *Odun lifi ve Yonga Levhalar* (TS 2129). Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (1978). *Yonga levhalar (Yatık yongalı-Genel Amaçlar İçin)* (TS 180). Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (1996). *Reçineler-Üre Formaldehit* (TS 12009). Ankara.

URL-1 : http://www.sfc.com.tr/yonga-levha.asp/, (Ziyaret tarihi: 10 Kasım 2021).

URL-2 : http://acikerisim.kirklareli.edu.tr/, (Ziyaret tarihi: 12 Eylül 2021).

URL3:https://www.boysspetrokimya.com/trTR/halojensizalevgeciktiriciler/218/314/52/, (Ziyaret Tarihi: 10.06.2021).

URL-4:https://stringfixer.com/tr/Ammonium_polyphosphate/, (Ziyaret Tarihi: 23 Ağustos 2021).

URL-5: http://www.turksan.com/termal-analiz.html DSC ve TGA/, (Ziyaret tarihi: 11 Haziran 2021).

URL-6: http://www.tisan.com.tr/ Yanmazlık Testi/, (Ziyaret tarihi: 02 Haziran 2021).

URL-7: http://tr.wikipedia.org/Taramalı Elektron Mikroskobu/, (Ziyaret tarihi: 12 ARALIK 2021).

Uysal B. (1997). Çeşitli Kimyasal Maddelerin Ağaç Malzemenin Yanmaya Dayanıklılığı Üzerine Etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,67966.

Williams, L.H. (1990). Potential benefits of diffusible preservatives for wood protection: An analysis with emphasis on building protection., *First International Conferance on Wood Protection, with Diffusible Preservatives, M. Hamel, Ed., Forest Products Research Society* : 29-35.

Xing-Xia, MA, Yu-Zhang, WU, Hai-Long, ZHU. (2013). The Fire-Retardant Properties of the Melamine - Modified Urea – Formaldehyde Resins Mixed With Ammonium Polyphosphate. *Journal of Wood Science*,59.5: 419-425.

Wu, M., Song, W., Wu, Y., Qu, W. (2020). Preparation and Characterization of the Flame Retardant Decorated Plywood Based on the İntumescent Flame. Retardant Adhesive. *Materials*, *13*(3), 676.

Yıldız, Ü.C. (2005). Odun Koruma Ders Notları, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı,Tranzon.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Doğancı E., **Uygur N.,** Fosfat İçerikli Alev Geciktirici Kimyasalların Üre Formaldehit Ve Melamin Üre Formaldehit Reçinelerine Tatbiki, Yanma Ve Jel (Sertleşme, Kürleşme) Süreleri Üzerine Etkileri *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi (IMASCON 2019 GÜZ),* Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 01-03 Kasım 2019, IMASCON 2019 Autumn Proceedings Book, 601-606, 2019.

ÖZGEÇMİŞ

İlkokul öğrenimini Cumhuriyet İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğrenimi Çanakkale Milli Piyango Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında Ankara Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümüne başladı ve 2007 yılında Kimya Mühendisi olarak mezun oldu. Orman ürünleri ve gübre sanayisinde laboratuvar şefi ve üretim yöneticisi olarak görev aldı. Şu anda özel bir şirkette Üretim Geliştirme Mühendisi ve Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı olarak çalışmaktadır.2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.