

**KOCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÜRE-FORMALDEHİT REÇİNESİ KULLANILARAK ÜRETİLEN
YONGA LEVHALARA FARKLI ALEV GECİKTİRİCİLERİN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

NUR GÜMÜŞ

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜRE-FORMALDEHİT REÇİNESİ KULLANILARAK
ÜRETİLEN YONGA LEVHALARA FARKLI ALEV
GEÇİKTİRİCİLERİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

NUR GÜMÜŞ

Doç.Dr. Erdiñ DOĞANCI

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç.Dr. Ayşe AYTAÇ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğretim Üyesi İkrime ORKAN UÇAR

Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 23.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

‘Üre-formaldehit reçinesi kullanılarak üretilen yonga levhalara farklı alev geciktiricilerin etkilerinin incelenmesi’ isimli bu çalışma, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma yonga levhalara belirli oranlarda alev geciktirici katkı maddeleri eklenerek malzeme üretimlerinin gerçekleştirilmesi, üretilen yonga levhaların, fiziksel, mekanik ve alev dayanımı özelliklerinin incelenmesi aşamalarını kapsamaktadır. Literatür çalışmaları incelendiğinde, yonga levha veya orta yoğunluklu ahşap numunelerine belirlenen alev geciktirici kimyasalların katı veya sulu çözelti şeklinde, kimyasalların levha yüzeyine emdirme biçiminde, levhalarda kullanılan tutkal tipinin farklı kullanılması ile, kimyasallar veya ahşap levhalara plastikleştirici ekleyerek kompozit halinde yapılması veya yonga cips cinslerinin farklı olması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve hala çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalarda farklı alev geciktirici kimyasal kullanımı ile bazılarında yanma özelliğinin arttırıldığı, mekanik özelliklerin değiştiği gözlemlenirken, bazı çalışmalarda mekanik özelliklerin iyileştiği fakat yanma direncinin azaldığı görülmektedir.

Yüksek lisans sürecim boyunca her türlü desteğini benden esirgemeyen, bilgi, katkı ve geliştirici yorumlarıyla bana yol gösteren değerli danışmanım, Sayın Doç. Dr. Erdinç DOĞANCI ’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına sağladığı finansal katkılarından dolayı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi’ne teşekkürlerimi sunarım. (Proje No: FYL-2021-2464)

Çalışmaya buldukları destek ve yardımlarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. Ayşe AYTAÇ’a ve doktora öğrencisi Bedriye ÜÇPINAR DURMAZ’ a teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmam süresince çalışmalarına destek olan KEAS Ar-ge Müdürü Başak BENGÜ’ ye, Samet GÜRSOY ’a ve Ar-Ge bölümündeki tekniker arkadaşlara teşekkürlerimi sunuyorum. Mekanik testlerin yapılması aşamasındaki yardımları için KEAS Kalite Yöneticisi Sayın Ayşe ALPAY ve ekibine çok teşekkür ederim. Yüksek lisans süresi boyunca her zaman destek olan KEAS Tutkal Müdürü Sayın Tuncay ATALAYIN’ a ve İşletme Şefi Sayın İlter EREN’e teşekkür ederim.

Bu süreç boyunca hep yanımda olan ve yapabileceğim konusunda her zaman destek veren hayat arkadaşım Ali Rıza GÜMÜŞ’e teşekkür ediyorum.

Haziran-2021

Nur GÜMÜŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Yonga Levhalar	5
1.1.1. Yonga levhaların tanımı	5
1.1.2. Yonga levhaların genel sınıflandırılması	6
1.1.3. Yonga levhaların TS EN 309'a göre sınıflandırılması	7
1.1.4. Yonga levhaların üretim teknolojisi	8
1.1.5. Yonga levha üretiminde kullanılan materyaller	9
1.2. Yonga Levha Üretiminde Kullanılan Kimyasal Maddeler	10
1.2.1. Melamin-formaldehit reçineleri	10
1.2.2. Fenol-formaldehit reçineleri	11
1.2.3. İzosiyanat reçineleri	12
1.2.4. Üre-formaldehit reçineleri	13
1.3. Yonga Levha Üretiminde Kullanılan Katkı Maddeler.....	16
1.3.2. Hidrofobik maddeler	16
1.3.2. Sertleştirici maddeler	17
1.3.3. Bozulma önleyici maddeler	18
1.4. Yanmayı Önleyici/ Geciktirici Maddeler	18
1.4.1. Amonyum polifosfat (APP)	22
1.4.2. Trifenil fosfat (TPP).....	22
1.4.3. Kalsiyum glukonat (CaG)	23
1.4.4. Borik asit (BA).....	24
1.5. Çalışmada Kullanılan Üretim Yöntemleri	25
1.5.1. Yongalama	25
1.5.1.1. Kaba yongalama.....	25
1.5.1.2. Normal yongalama.....	26
1.5.1.3. İnce yongalama	27
1.5.2. Kurutma	27
1.5.3. Yongaların sınıflandırılması	29
1.5.4. Yongaların yüklenmesi	29
1.5.5. Yongaların depolanması.....	29
1.5.6. Yongaların tutkalllanması	29
1.5.7. Tutkal hazırlığı ve diğer kimyasalların eklenmesi	30
1.5.8. Levha taslağının oluşturulması	31
1.5.9. Presleme	31
1.5.10.Sıcak presleme sonrası işlemler	33

1.5.11. Levhaların sınıflandırılması	33
1.6. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri.....	34
1.6.1. Yoğunluk.....	34
1.6.2. Yüzeye dik çekme direnci	35
1.6.3. Eğilme direnci	35
1.6.4. Rutubet	36
1.6.5. Yüzey dayanımı	37
1.6.6. Formaldehit emisyonu.....	38
1.6.7. Limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI).....	39
1.6.8. UL-94 dikey yanma testi.....	40
1.6.9. Konik kalorimetre	42
2. LİTERATÜR ÖZETİ	45
3. MALZEME VE METOD	54
3.1. Malzemeler.....	54
3.2. Yöntem.....	55
3.2.1. Deneysel tasarım	55
3.2.2. Yonga levhaların hazırlanması.....	56
3.3. Karakterizasyon.....	61
3.3.1. Fiziksel özellikler	61
3.3.1.1. Rutubet	61
3.3.1.2. Yoğunluk.....	62
3.3.2. Mekanik özellikler	63
3.3.2.1. Eğilme direnci	63
3.3.2.2. Yüzeye dik yönde çekme direnci	64
3.3.2.3. Yüzey dayanımı	65
3.3.2.4. Formaldehit emisyonu.....	66
3.3.2.5. UL-94 dikey yanma testi.....	68
3.3.2.6. Limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI).....	69
3.3.2.7. Konik kalorimetre	69
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	71
4.1. Levhaların Fiziksel Özelliklerine İlişkin Bulgular.....	71
4.1.1. Yoğunluk.....	71
4.1.2. Rutubet	72
4.2. Levhaların Mekanik ve Karakterizasyon Özelliklerine İlişkin Bulgular	73
4.2.1. Eğilme direnci	73
4.2.2. Yüzeye dik çekme direnci	75
4.2.3. Yüzey dayanımı	77
4.2.4. Formaldehit emisyonu.....	79
4.2.5. UL-94 dikey yanma testi.....	81
4.2.6. Limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI).....	83
4.2.7. Konik kalorimetre	84
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	93
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	103
ÖZGEÇMİŞ	104

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yonga levhalarda üretim şeması	8
Şekil 1.2. Melamin-formaldehit reçinesi	10
Şekil 1.3. Fenol-formaldehit kondenzasyon reaksiyonu	12
Şekil 1.4. Monometilol üre oluşumu	14
Şekil 1.5. Üre/formaldehit mol oranı ve serbest formaldehit arasındaki ilişki	15
Şekil 1.6. Üre / Formaldehit mol oranına bağlı jelleşme süresi grafiği	15
Şekil 1.7. Parafin görüntüsü	17
Şekil 1.8. Sertleştirici kimyasalların görünüşleri; (a) Amonyum Klorür (NH ₄ Cl), (b) Amonyum Sülfat	18
Şekil 1.9. Yangın üçgeni	19
Şekil 1.10. Ağaç malzemenin kömürleşme oluşumu	19
Şekil 1.11. Amonyum polifosfatın kimyasal yapısı	22
Şekil 1.12. TPP'nin kimyasal yapısı	23
Şekil 1.13. CaG'nin kimyasal yapısı	24
Şekil 1.14. Borik Asit kimyasal yapısı	25
Şekil 1.15. Çeşitli boyutlardaki yonga levhalar	26
Şekil 1.16. Normal yongalayıcı	26
Şekil 1.17. Elekli değirmen şekilleri	27
Şekil 1.18. Tamburlu kurutucu	28
Şekil 1.19. (a)Yongaların tutkallama hattına gönderilmesi, (b) Tutkal dozajlama ünitesi, (c) Tutkallama makinesi, (d)Yongaların tutkallanması	31
Şekil 1.20. Çok katlı pres	32
Şekil 1.21. Yıldız soğutucu	33
Şekil 1.22. Ölçme noktaları	34
Şekil 1.23. Çekme sistemi için deney haznesi	35
Şekil 1.24. Eğilme Direnci Düzenegi	36
Şekil 1.25. Çekme deneyi cihazına monte edilmiş çelik askı	37
Şekil 1.26. Oksijen indeksi test cihaz sistemi	39
Şekil 1.27. UL-94 Dikey Yanma Düzenegi	41
Şekil 1.28. Konik kalorimetre cihaz düzenegi	43
Şekil 3.1. Etüvde kurutulan yongaların görüntüsü	56
Şekil 3.2. Püskürtme işlemi ile tutkallama yapılması	58
Şekil 3.3. (a)Üst ve alt tabaka için eklenen kimyasal aşaması, (b) Orta tabaka için eklenen kimyasal aşaması	58
Şekil 3.4. Alt tabakanın elle serme aşaması.....	59
Şekil 3.5. (a)Yonga levhanın tabla ile sıkıştırılması, (b) Kalıptan çıkarılma işlemi ve preslenmeye hazır pasta, (c) Levha taslağının pres levhaları arasında yerleştirilmesi, (d) Preslemenin gerçekleşmesi aşaması (e) Presleme sonrası çıkan yonga levha	59
Şekil 3.6. (a) Üretilen yonga levhaların görüntüsü, (b) Zımparalama işlemi için kullanılan cihaz, (c) Test makinesi, (d) Belirli ebatlarda kesimi gerçekleşen yonga levha numunesi.....	60
Şekil 3.7. Etüv yardımıyla kurutması sağlanan yonga levha numuneleri	62

Şekil 3.8. Eğilme Direnci ölçümü yapılırken numunenin ve cihaz aparatının görüntüsü	63
Şekil 3.9. Yüze Dik Yönde Çekme testi yapılan cihaz görüntüsü	64
Şekil 3.10. Yüze dayanıklılığı ölçümü gerçekleştiren cihaz aparat görüntüsü.....	66
Şekil 3.11. Perfaratör test düzeneği görseli	67
Şekil 3.12. UL-94 dikey yanma test düzeneği	68
Şekil 3.13. (a) LOI cihaz görseli, (b) Cihazın cam ünitesine konulan numune görüntüsü (c) Yanan numune görüntüsü	69
Şekil 3.14. Konik kalorimetre testine hazır olan yonga levha numuneleri	70
Şekil 3.15. Konik Kalorimetre cihazı görüntüsü	70
Şekil 4.1. Yonga levha numunelerinin ortalama eğilme direnci değerlerinin grafik ile gösterimi	75
Şekil 4.2. Yonga levha numunelerinin ortalama yüze dik çekme değerlerinin grafik ile gösterimi	77
Şekil 4.3. Farklı oranlarda ilave edilen alev dayanıklı kimyasallı yonga levha numunelerinin ortalama yüze dayanımı değerlerinin grafik ile gösterimi	79
Şekil 4.4. Yonga levha numunelerinin ısı yayma oranların karşılaştırmalı grafiği	87
Şekil 4.5. Yonga levha numunelerinin belirli sürelerdeki toplam ısı yayılımı değerleri	88
Şekil 4.6. Yonga levha numunelerinin duman üretim hızlarının karşılaştırmalı grafiği	89
Şekil 4.7. Numune kütlesinin zamana bağlı değişim grafiği	90
Şekil 4.8. Konik kalorimetre analiz sonucunda kalıntı numunelerin görüntüsü	90

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. UL-94 için kriterler	42
Tablo 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal ve fiziksel özellikleri	54
Tablo 3.2. Hazırlanan yonga levhaların eklenen alev geciktirici bileşim ve oranları	55
Tablo 3.3. Yonga levha üretim aşamasında kullanılan ÜF 650 1,20 tutkal tiplerinin özellikleri	57
Tablo 3.4. Yonga levha üretim aşamasında kullanılan ÜF 500 1,10 tutkal tiplerinin özellikleri	57
Tablo 3.5. Yonga levhalarının pres aşaması üretim parametreleri	60
Tablo 4.1. Levha numunelerinin yoğunluk sonuç tablosu	71
Tablo 4.2. Yonga levha numunelerini ortalama rutubet değerleri	72
Tablo 4.3. Farklı oranlarda kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerinin eğilme direnci değerleri	74
Tablo 4.4. Farklı oranlarda kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerinin yüzeye dik çekme değerleri	76
Tablo 4.5. Farklı oranlarda alev geciktirici kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerinin ortalama yüzey dayanımı değerleri	78
Tablo 4.6. Yonga levha numunelerinin ortalama serbest formaldehit emisyon sonuçlar	80
Tablo 4.7. Farklı oranlarda eklenen yangına dayanıklı kimyasalların UL-94 dikey yanma testi sonuçları	82
Tablo 4.8. % LOI ve yanma miktarı değerleri	83
Tablo 4.9. Konik Kalorimetre cihazı ile yapılan yanma parametrelerinin ortalama sonuçları	85
Tablo 4.10. Konik Kalorimetre cihazı ile yapılan yanma parametrelerinin ortalama sonuçları	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Yüzey alanı (1000 mm ²)
b1,b2,t	: Örnek hacim (mm)
b	: Deneş örneğinin genişliğı (mm)
C	: Plaka Katsayısı (kg ^{1/2} m ^{1/2} K ^{1/2})
D	: Deneş örneğinin kalınlığı (mm)
E.D	: Eğilme direnci (N/mm ²)
F.E	: Formaldehit emisyonu (ml/100g)
F _{max}	: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)
F	: En büyük kuvvet, N
H	: Rutubet miktarı (%)
L	: Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)
Mh	: Klimatize edilmiş durumdaki örnek ağırlığı (g)
Mo	: Tam kuru haldeki örnek ağırlığı (g)
M	: Örnek ağırlığı (g)
N ₂	: Azot konsantrasyonu, (%)
O _{2,cr}	: Minimum oksijen derişimi, (%)
ΔP	: Plaka boyunca basınç düşüşü (Pa)
SS	: Yüzey Sağlamlığı, N/mm ²
T _e	: Plakadaki gaz sıcaklığı (K)
Q	: Isı yayma oranı (kW)
Xr	: Fotometik cihazda okunan değer
X _{O2}	: Egzos havasında ölçülen O ₂ mol fraksiyonu
ρ	: Özgöl kütle (kg/m ³)

Kısaltmalar

APP	: Amonyum Polifosfat
APPUF	: Azot-Fosfor Bazlı Alev Geciktirici
ATH	: Alüminyum Trihidroksit
BA	: Borik Asit
BB	: Bor Bileşikleri
Br	: Brom
BX	: Boraks
CaG	: Kalsiyum Glukonat
CaLS	: Atık Lignosülfonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
Cl	: Klor
CO ₂	: Karbondioksit
CO	: Karbon Monoksit
DAP	: Diamonyum Fosfat
DOL	: Dolomit
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri

EMD	: Emülsiyon Polimer İzosiyanat Tutkalı
FA	: Fosforik Asit
FF	: Fenol-Formaldehit
FR	: Fire Retardant (Alev Geciktirici)
FRN	: Phosphorus Containing Nitrogen Flame Retardant (Azot İçeren Fosforlu Alev Geciktirici)
FRP	: Pentaerythritol Treated Flame Retardant (Pentaeritritol İle Muamele Edilmiş Alev Geciktirici)
FRT	: Triethanolamine Treated Flame Retardant (Trietanolamin İle Muamele Edilmiş Alev Geciktirici)
FRU	: Urea Treated Flame Retardant (Üre İle Muamele Edilmiş Alev Geciktirici)
FTIR	: Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektrumları
GCC	: Kalsiyum Karbonat
GP	: Guanidin Fosfat
HCl	: Hidroklorik Asit
IFR	: Şişen Alev Geciktirici
LOI	: Limiting Oxygen Index (Sınırlayıcı Oksijen İndeksi)
MAP	: Monoamonyum Fosfat
mbPB	: Mineral Bazlı Yonga Levha
MF	: Melamin-Formaldehit
MDF	: Orta Yoğunluklu Levha
MPP	: Melamin Pirofosfat
MUF	: Melamin-Üre Formaldehit
NO	: Azot oksit
OKAL	: Dik Yongalı Levhalar
OSB	: Oriented Structural Board (Yönlendirilmiş Yongalı Levha)
PE	: Polietilen
PMDI	: Polimerik Difenilmetan Diizosiyanat Tutkalı
PMUF	: Fenol Melamin Üre-Formaldehit
PVC	: Polivinil Klorür
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TPP	: Trifenil Fosfat
ÜF	: Üre-Formaldehit
XPS	: X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi
WFP	: Odun Unu Yonga Levha
WPP	: Odun hamuru kâğıdı

ÜRE-FORMALDEHİT REÇİNESİ KULLANILARAK ÜRETİLEN YONGA LEVHALARA FARKLI ALEV GECİKTİRİCİLERİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Yanıcı bir hammadde olan ahşaplar yonga levha üretimi için kullanılmaktadır. Son zamanlarda yangına dayanıklı kimyasallar ahşap sektöründe önemli olmaya başlamıştır. Bu nedenle ahşapların yangına dayanıklı kimyasallarla işlenerek yanıcılık etkisinin azaltılması gerekmektedir. Brom(Br), Klor(Cl), Fosfor(P), Bor(B), Azot(N) gibi iki veya daha fazla element içeren bileşiklerin alev dayanımı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Yonga levha üretiminde yapıştırıcı olarak fenol-formaldehit reçinelerinin iş güvenliği açısından zararlı oluşu, izosiyanat reçinelerinin üretimde levha yüzeyine yapışma gibi problemlere neden olduğu için kullanımı azdır. Alev dayanımını arttırmak için üre-formaldehit reçinesinin maliyet olarak yaklaşık 2,5 katı olan melamin-reçineleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada maliyeti azaltmak için yonga levha üretimlerinde kullanılan üre-formaldehit reçinesi kullanılmıştır. Alev dayanımını arttıracak yönde kimyasalların geliştirilmesi ve ahşabın mekanik özellikleri üzerinde az olumsuz etki sağlayan alev geciktiricinin belirlenmesi hedeflenmelidir.

Bu tezdeki amaç, levhalara üretim aşamasında fosfat bazlı ve inorganik alev geciktiriciler belirli oranlarda katı halde eklenmesi ile alev dayanımını artırılması ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesidir. Yonga levha üretiminde chips cinsleri meşe, çam, yapıştırıcı üre-formaldehit reçinesi, trifenil fosfat(TPP), amonyum polifosfat(APP), borik asit(BA) ve kalsiyum glukonat(CaG) alev geciktirici kimyasalları kullanılmıştır. Yonga levhalara kimyasallar tekli, ikili veya üçlü bileşimler halinde eklenerek presleme yöntemiyle hazırlanmıştır. Levhalara çekme, eğilme, yüzey dayanımı, rutubet, yoğunluk, formaldehit emisyonu, LOI(Sınırlayıcı oksijen indeksi) ve UL-94 dikey yanma testi gerçekleştirilmiştir. En iyi yanma özelliği gösteren numunelere konik kalorimetre kullanılarak ısı salınımı, duman oluşumu ve oksijen tüketimi analizleri yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları sonucunda alev geciktirici kimyasallı tüm numunelerin mekanik özelliklerinde olumsuz bir etki yaratmadığı gözlenirken, iyi yanmazlık özelliği %50APP-%50CaG içeren karışımda gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap, Alev Geciktirici, Fosfat Bazlı, Üre-Formaldehit, Yonga Levha.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT FLAME RETARDANTS ON PARTICLE BOARDS PRODUCED USING UREA-FORMALDEHYDE RESIN

ABSTRACT

Wood, which is a flammable raw material, is used for chipboard production. Fire retardant chemicals have become important recently in the wood industry. Thus, it is necessary to reduce the flammability effect of woods by treating them with fire retardant chemicals. It has been determined that compounds containing two or more elements such as Bromine (Br), Chlorine (Cl), Phosphorus (P), Boron (B), Nitrogen (N) are effective on fire retardance. The use of phenol-formaldehyde resins as adhesives in chipboard production is less, since they are harmful in terms of occupational safety and isocyanate resins cause problems such as sticking to the surface of the board in production. Melamine-resins, which are approximately 2.5 times the cost of urea-formaldehyde resin, are preferred to increase the fire retardance. In this study, urea-formaldehyde resin used in chipboard production was used to reduce costs. It should be aimed to develop chemicals to increase the fire retardance and to have less negative impact on the mechanical properties of the wood.

The aim of this thesis is to improve the mechanical properties by increasing the fire retardance by adding phosphate-based and inorganic fire retardants to the chipboards in solid form in certain proportions during the production phase. In chipboard production, fire retardant chemicals such as chips of oak, pine, adhesive urea-formaldehyde resin, triphenyl phosphate (TPP), ammonium polyphosphate (APP), boric acid (BA) and calcium gluconate (CaG) are used. Chemicals were added to chipboards in single, double or triple combinations and prepared by pressing method. Tensile, bending, surface strength, humidity, density, formaldehyde emission, LOI (Limiting oxygen index) and UL-94 vertical burning tests were performed on the plates. Heat release, smoke generation and oxygen consumption analyzes were performed on the samples with the best combustion properties by using a cone calorimeter. As a result of the characterization studies, it was observed that all samples with fire retardant chemicals did not have a negative effect on their mechanical properties, while the best non-flammability was observed in the mixture containing 50% APP-50% CaG.

Keywords: Wood, Flame Retardant, Phosphate Based, Urea-Formaldehyde, Particleboard.

GİRİŞ

Tüm dünyada doğal kaynakların krizi ve çevre sorunlarının artması ile ahşabın çevreye duyarlı ve yinelenebilir bir malzeme olması ahşabı ilgi odağı haline getirmiştir. Yonga levhalar en fazla mobilya sektöründe olmak üzere gardıroplar, depolama alanları, ayakkabı ve kitap dolabı rafları, bilgisayar ve yemek odası masaları, televizyon üniteleri, hoparlör kutularında, ekran panolarında, otomobil parçalarında ve mobilyalı yüzeyler gerektiren diğer ürünlerde olduğu gibi çok fazla kullanım alanına sahiptir. Ancak yonga levha uygulamalarında dezavantaj, kolay yanma özelliği olmasıdır ve bu da geniş kullanım alanını kısıtlamaktadır. Yonga levha ve sunta gibi ahşap ve ahşap esaslı malzemeler hidrojen ve karbon moleküllerinden oluşur ve ahşap bazlı malzemeler doğal olarak yanıcıdır ve bu da ahşap malzemelerden üretim yapılan yonga levha, orta yoğunluklu levha gibi ahşapların kullanım alanını azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yanma işlemi (yaklaşık 300 °C kadar), ahşap yüzeyden yanıcı gazlar çıkarır. Odun ve odun ürünlerinin termal bozunması ve yanması, bileşenlerinin çeşitli kimyasal reaksiyonlarının bir sonucudur. Bu nedenle, ahşap malzemenin yanmazlık yeteneğinin geliştirilmesi önemli konulardan biri haline gelerek her zamankinden daha fazla ilgi odağı olmuştur. Yangına karşı direncini arttırmak için odun, yangın geciktirici kimyasallarla işlenir. Alev geciktiriciler (FR'ler) yüzey alev yayılımını azaltarak ahşabın yanıcılık özelliklerini değiştirmede etkilidir. Sonuç olarak, mobilya ve dekorasyonun önemli malzemesi olarak kullanılan ahşabın, alev geciktirici gereksinimini karşılayabilen ve üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde en az olumsuz etkiye sahip olan alev geciktiricinin araştırılmasına ve geliştirilmesine acilen ihtiyaç duyulmaktadır.

Ahşap sektörü için çeşitli alev geciktirici kimyasallar belli oranlarda katı, sulu çözelti halinde ya da levha üzerine püskürtme işlemi veya levha yüzeyine emdirme yöntemi ile uygulanmaktadır. Orta yoğunluklu levha, yonga levha ya da emprenye halinde veya levhalar kompozit biçiminde hazırlanarak hem yangın dayanımını hem de mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için bir çok literatür çalışması bulunmaktadır. Bu yapılan çalışmalarda yonga levha üretimi aşamasında üre-formaldehit reçinesi (ÜF) yerine melamin-formaldehit (MF) reçinesi kullanılarak yapılmıştır. Literatürde üre formaldehit

kullanılarak yapılan alev dayanıklı yonga levha çalışmaları hala sınırlı sayıdadır. Literatür çalışmalarında ÜF kullanılarak yapılan geciktirici yonga levha üretiminde sadece tek bir kimyasal belirli oranlarda kullanılarak çalışma sonuçları incelenmiştir. Yine farklı çalışmada ise üre-formaldehit reçine ile birlikte oligomer ile birleştirilmiş nitrojen-fosfor alev geciktirici ile işlenerek termal bozunması üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ise, yonga levha üretimi aşamasında katı olarak alev dayanımını arttırıcı fosfat bazlı amonyum polifosfat (APP) , trifenil fosfat (TPP), borik asit (BA) ve kalsiyum glukonat (CaG) eklenmiş ve karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bunun yanında bu katkı maddelerinin farklı oranlarda ikili bileşimlerinin etkileri APP-TPP, CaG-APP, TPP-CaG, TPP-BA, CaG-BA ve yine farklı oranlarda üçlü bileşimlerinin etkileri de (APP-CaG-TPP) bu tez çalışması kapsamında değerlendirilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalara baktığımızda genelde üre-formaldehit reçinesi yerine melamin-formaldehit reçinesi tercih edilmiştir. Melamin-formaldehit reçinesi ile kullanılarak ve de alev geciktirici eklenerek yapılan yonga levhalar fazla maliyete sebebiyet vermektedir. Bu çalışmada üre-formaldehit reçinesi kullanılarak ve de daha az maliyetli alev geciktirici kimyasal kullanımına önem vererek yüksek dayanımlı ve yüksek yanma özelliğine sahip yonga levhalar elde edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan alev geciktirici kimyasalların yonga levha uygulamasında literatür örneklerine fazla rastlanmamıştır.

Çalışmanın 1.bölümünde geri dönüşüm özelliğine sahip yonga levha üretimi için kullanılan ahşap hakkında bilgiler verilmiş, reçineler ve alev geciktirici kimyasallar konusuna genel olarak değinilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan malzemeler, hammaddeler, numune üretiminin gerçekleştirildiği cihazlar, numune karakterizasyon ve analiz yöntemleri anlatılmıştır. Çalışmanın 2.bölümünde literatür özetleri derlenerek anlatılmıştır. Çalışmanın 3. bölümünde kullanılan malzemeler ve deneyler ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilerek üretim ve karakterizasyon aşama 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 dayanımını ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla yonga

levha üretimi aşamasında yonga levhaya katı olarak aleve dayanıklı kimyasallar farklı bileşimler halinde eklenerek farklı oranlarda eklenmiş yonga levha numuneleri hazırlanmıştır. Çalışma süresince hazırlanan malzemelerin alev dayanımlarının belirlenmesinde temel olarak sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) testinden yararlanılmış ve yonga levhaya eklenen aleve dayanıklı kimyasallı yonga levha numunelerinin LOI değerinin 25 ve üzerinde olan malzemelerin hazırlanması amaçlanmıştır. Tez çalışmasında, katkı maddelerinin tekli, ikili ve üçlü bileşimleri de denenmiş ve böylece kullanılan alev geciktirici maddelerinin sinerjik etkileri de değerlendirilmesi sağlanmıştır. Üretilen yonga levhaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanarak eklenen kimyasalların levha içerisindeki serbest formaldehit miktarını düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile aynı zamanda yanma eğilimli yonga levhaya yanmazlık özelliği kazandırarak, farklı uygulama alanlarının yaratılması, kullanım alanlarının artırılması ve bu sayede hem ekonomik hem de ekolojik açıdan faydalar sağlanması da hedeflenmektedir. Bunlara ek olarak yonga levha alev dayanım özelliği kazandıran bu kimyasalların orta yoğunluklu levha ve emprenye gibi diğer ahşap sektörlerinde de kullanılması ile ilgili bir araştırma gerçekleştirilmesi de amaçlanmıştır.

1.GENEL BİLGİLER

Kaynakların yetersizliği ve çevresel sorunların ciddi hale gelmesiyle, malzemenin geliştirilmesi mevcut küresel sorunlardan biri haline gelmektedir. Sürdürülebilir malzeme kaynakları arayışında, yenilenebilir ve ekonomik olarak rekabetçi olacak ve insan kullanımı için önemli bir yüzdeyi odun sektörü kapsamaktadır. Estetik açıdan hoş görünen, yüksek mukavemet / kütle oranı, düşük ısı iletkenliği ve düşük ekonomik maliyet gibi üstün özellikleri nedeniyle, yenilenebilir bir doğal kaynak olan ahşap, bina, inşaat, dekorasyon veya mobilya için en çok yönlü malzeme olmuştur. En önemli dezavantajlarından biri muhtemelen konut ve konut dışı binalar için geniş kullanımını sınırlayan yanıcılığından kaynaklanmaktadır [1]. Ahşap ve selülozik malzemeler doğrudan yanmazlar, güçlü ısı kaynaklarının etkisi altında uçucu, katran bileşikleri ve yüksek derecede reaktif karbonlu kömür karışımına ayrışır, ve bunun sonucunda yanma gerçekleşir [2]. Ahşap, 300 °C'nin üzerinde tutuşabilir büyük bir gazla dolu termal bozunmaya dönüşür, bu nedenle kolayca alev alır ve alev ile birlikte güçlü bir şekilde yanar [3]. Ahşabın termal bozulması yüzeylerde kömürleşmiş bir tabaka oluşturarak ve etkili kesit alanını azaltır [4,5].

Kömür tabakası iyi bir termal yalıtıktır ve iç kesiti korur. Sıcaklık dağılımından, yangına maruz kalan ahşabın gradyanı, kömürleşmiş tabakanın düşük ısı iletkenliği nedeniyle büyüktür. Bu sayede ahşap, iyi bir yüksek sıcaklık kararlılığı sergiler. Fakat, ahşap malzemelerin alev geciktiriciliğinin iyileştirilmesi, güvenlik gerekliliklerine uymak için her zamankinden daha önemli hale gelmiştir [6,7].

Sentetik polimer malzemeler için çeşitli alev geciktiriciler (FR'ler) kullanılmasına rağmen, ahşap malzemeler için ideal alev geciktiriciler hala geliştirilme aşamasındadır ve acilen yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır [8].

Ahşap malzemeler için kullanılan en yaygın yangın geciktirici maddeler inorganik tuzlar, bor bileşikleri, fosforik asit, monoamonyum fosfat, diamonyum fosfat, amonyum sülfat, azot ve çinko klorürdür [9].

Ahşap ürünler için çok fazla kullanılan alev geciktirici kimyasallar fosfor içerir. Çevre sağlığı ile ilgili korumalar dolayısı ile, klor ve brom içeren etkili alev geciktirici halojenli bileşikler, hem plastik sektörü hem de ahşap endüstrisi için hızlı bir şekilde kullanımları sınırlandırılmıştır [10, 11].

Yangın esnasında, ideal yangın geciktiriciler alev yayılmasını geciktirebilir. Aynı zamanda ısı açığa çıkarma oranında da azaltma gösterirler. Karbon monoksit üzerine karbon veren reaksiyonlar lehine dekompozisyon reaksiyonlarını yönlendirebilen azot fosfor bileşikleri hem akademik hem de endüstri alanında her zamankinden daha fazla ilgi görmüş ve kullanılmıştır. Sinerjik azot-fosfor alev geciktirici, uçucu olmayan gazı ayrışarak ve karbonizasyon tabakalarının oluşumu yoluyla malzemeyi termal hasardan etkili bir şekilde koruyabilir [3,12].

Yonga levha üretimi için üre-formaldehit reçinesi 1930'larda geliştirilmiştir ve dünyada yüzde doksan civarında yonga levha üretiminde yapıştırıcı olarak üre-formaldehit reçinesi kullanılmaktadır. Daha sonraları suya karşı daha dayanıklı olan melamin-formaldehit reçineleri, ürünün dış sınıf panel ürünleri ve mutfak mobilyaları gibi suyla temas edebileceği uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, onu üre-formaldehit reçinelerinden ayıran su saldırısına karşı yüksek dirence sahip olmasıdır. Tek dezavantajı melamin-formaldehit reçinesinin üre-formaldehit reçinesine nazaran çok pahalı olmasıdır [13].

Günümüzde özellikle Türkiye’de ahşap firmalarının birçoğu yabancı ülkelere yangına dayanıklı kimyasal temin ederek melamin-formaldehit içerikli reçine ile beraber daha fazla maliyetli yangına dayanıklı ürünler üretmektedir.

1.1. Yonga Levhalar

1.1.1. Yonga levhaların tanımı

TS EN 309 (Ahşap Yonga Levhalar – Tarif ve Sınıflandırma) Standardına göre: Yonga Levhalar; yonga, talaş, rende talaşı vb. odun parçalarından ve/veya keten, kenevir vb. lignoselülozik malzemeler ile elden edilen yongaların tutkallanma adımı sonrasında, sıcak presleme ile üretimi gerçekleşen levhalardır [14,15].

Yonga levhaların genel tanımı, ‘ligoselülozik malzemeler ile elde edilen yongaların uygun olan bir yapıştırıcı seçilerek belirlenen ısı ve basınç yardımı ile geniş, büyük yüzeyli levhalar haline getirilmesi ile oluşan ve tercihe göre mobilya sektörü, bina yapımı aşamaları vb. diğer alanlarda üretimi gerçekleşen malzeme’ diye tabir edilmiştir [16, 17, 18].

1.1.2. Yonga levhaların genel sınıflandırılması

-Kullanılan hammadde türüne göre üç çeşittir ve bunlar:

- a) Odun,
- b) Bitkisel artıklar,
- c) Tetrapak kutuları.

-Levhanın yüzeye emdirilmesine göre:

- a) Yüzeye emdirilmiş levhalar,
- b) Yüzeye emdirilmemiş levhalar.

-Yoğunluklara göre yonga levhalar üç grup altında toplanmıştır:

- a) Düşük yoğunlukta olanlar (Hafif) ($<0,59 \text{ gr/cm}^3$),
- b) Yoğunlukları $0,59-0,80 \text{ gr/cm}^3$ arasında olanlar,
- c) Yoğunlukları $>0,80 \text{ gr/cm}^3$ yani yüksek yoğunlukta olanlar.

-Presleme yöntemlerine göre yonga levhalar iki grupta toplanırlar:

- a) Yatay yonga levhalar,
- b) Dik yonga levhalar (OKAL),

-Tabaka sayılarına göre yonga levhalar dört gruba ayrılmaktadır.

- a) Tek (Homojen)
- b) Üç
- c) Beş
- d) Tabakaları belirsiz olanlar

-Yonga hammaddelerinin ebatları ve geometrisine göre yonga levhalar dört grupta toplanmaktadır:

- a) Normal yonga levhalar (Particleboard): Yonga uzunluğu: 10-25 mm, genişliği: 2-6 mm, kalınlıkları 0,25-0,40 mm.
- b) Etiket yongalı levhalar (Waferboard): Yonga uzunluğu: 35-75 mm, genişliği: 25-40 mm, kalınlıkları 0,5-0,7 mm.

c) Şerit yongalı levha (Flakeboard): Yonga uzunluğu: 35-75 mm, genişliği: 9-10 mm, kalınlıkları 0,5-0,7 mm.

d) Yönlendirilmiş Yongalı Levha (Oriented Structural Board – OSB): Yonga uzunluğu: 38-63 mm, genişliği: 6-25 mm, kalınlıkları 0,4-0,8 mm.

- Kullanılan tutkal türüne göre:

- a) Sentetik reçine kullanılarak,
- b) Anorganik bağlayıcı kullanılarak.

- Üretimde kullanılan yöntemlere göre:

- a) Thermodyn yöntemi ile
- b) Collipres yöntemi ile
- c) Werzalit yöntemi ile

-Kaplanmış yonga levhalar iki grupta toplanmaktadır.

- a) Sıvı yüzey
- b) Katı Yüzey [17,20].

1.1.3. Yonga levhaların TS EN 309'a göre sınıflandırılması

-Presleme şekillerine göre ;

- a) Yatık preslenmiş,
- b) Dik preslenmiş,
- c) Kalıp ile beraber şekillendirilmiş,

-Levha üst yüzey görünümüne göre:

- a) Zımpara yapılmamış,
- b) Zımpara yapılmış,
- c) Sıvı kaplama ile yüzeyi sarılmış,
- d) Yüzeye kaplama veya başka uygulamalar ile emdirilmesi.

- Tabaka sayılarına göre:

- a) Tek,
- b) Çok,
- c) Kendi aralarında sınıflandırılmış,
- d) Kalıp haline getirilmiş delikli levhalar.

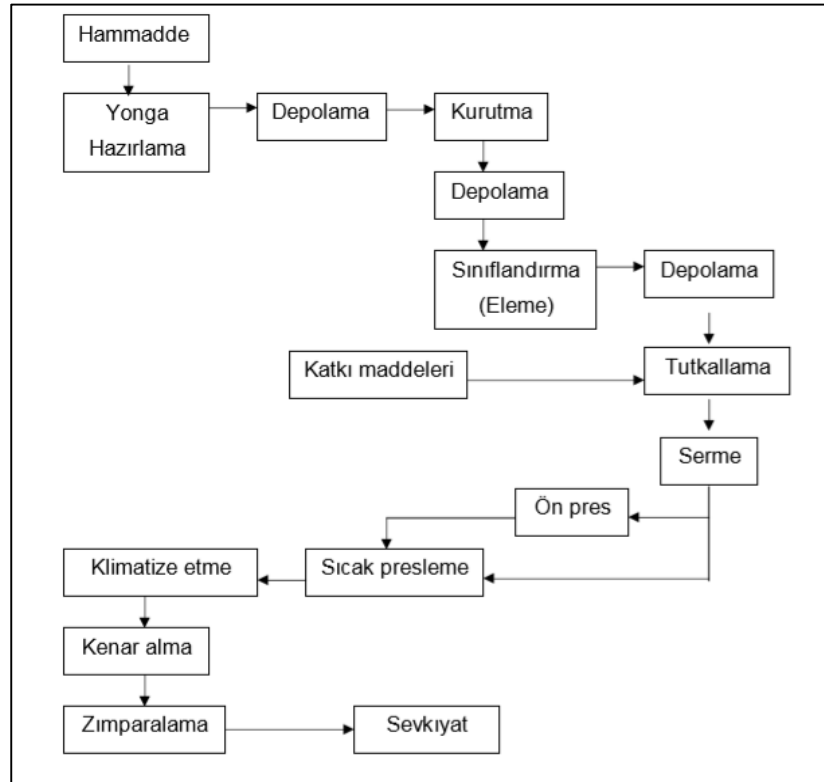
-Levhaların kullanım alanlarına göre:

- a) Klasik yani genel anlamda kullanılanlar,
- b) Kullanım şartları kuru veya açık olmayan mekânlarda kullanılanlar [20].

1.1.4. Yonga levha üretim teknolojisi

Yonga levha imalatında genel olarak üç çeşit teknoloji kullanılmaktadır. Bunları sıralayacak olursak; ilk olarak yatık yongalı, ikincisi dik yongalı (OKAL TİPİ) ve üçüncüsü kalıplanmış olandır. Bunların dışında pek kullanılmayan fakat teknoloji olarak Termodin Metodu, Collipres Metodu, Werzalit Metodu da bulunmaktadır. Tüm üretim metotları genel itibariyle benzer işlemlerden oluşmaktadır. Bu metodları birbirinden ayıran özellikler presleme tekniği, serme işlemleri veya bağlayıcı çeşitleridir. Presleme metoduna göre, levhalar yatık ve dik yongalı levha olarak adlandırılmaktadır ve presleme metodu yatık olarak uygulandığı zaman, serme işleminin farklılığından dolayı tek katlı, çok katlı ve yönlendirilmiş levhalar oluşabilmektedir. Kullanılan bağlayıcılar çimento ve alçı olduğu zaman, imal edilen levhalara çimentolu veya alçılı yonga levha olarak adlandırılmaktadır. Yukarıda yazılanlar özetlenirse; bağlayıcı farklılığı, serme işlemi farklılığı veya presleme tekniği değişkenlikleri dışında yukarıda belirtilen metotların diğer üretim aşamaları hemen hemen aynıdır.

Yatık yongalı yonga levha üretimi şeması Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Yatık yonga levhalarda üretim şeması [21]

Yonga levhalar, üç tabakalı levha şeklinde üretilirler ve presleme öncesi mekanik veya havalı serme sayesinde kuru yöntem ile üretim gerçekleştirilmektedir. Yonga levhaların üst ve alt yüzeylerinde ince yongalar, orta tabaka da ise kaba yongalar tercih edilir.

Sıcak presleme aşamasından sonra levhaların uygun ortam koşullarında soğutulması gerekmektedir ve bu soğutma işlemi için yıldız soğutucular kullanılmaktadır.

Zımparalama işlemi için genellikle sayı olarak en az 2 ve en fazla 4 olmak üzere silindirik zımparalama makineleri kullanılmaktadır. Bu zımparalama makinelerinin sayısı fabrikaların tercihine ve büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir.

Zımparalama işleminden sonra yonga levhalar yüzey görünümlerine göre sınıflandırılırlar. Bu aşamadan sonra bir kısmı yüzeyi kaplanmamış olarak satışa sunulurken bir kısmı kaplanmak üzere emprenye hattına verilmekte ve melamin emdirilmiş kâğıtlarla kaplandıktan sonra satışa sunulmaktadır.

1.1.5. Yonga levha üretiminde kullanılan materyaller

Yonga levha ve medium-density fiberboard (MDF) fabrikalarının birçoğu, Türkiye'nin ormanlarında yetişen ibrelili ve yapraklı ağaçların odunları ile birlikte özel olarak kavaklıklarda üretim süreçleri takip edilen odunu beraber işleyerek üretim yapmaktadırlar. Ayrıca ek olarak endüstriyel atık ve talaş malzemeleri de kullanabilmektedirler. Hammadde ihtiyacını Türkiye'den karşılayamadığı zamanlarda ithalat yaparak hammadde tedariki sağlamaktadırlar.

İbrelili ve yapraklı ağaç türleri olarak bu hammaddeleri fabrikalar değişik miktarlarda kullanmaktadır. Kullanılan odun türlerini incelediğimizde en çok Çam türleri (Kızılçam, Karaçam, Sarıçam), Kavak, Meşe, Kayın odunu tercih edilmektedir. Bu odunların dışında ibrelilerden Gökmar, Ardıç, Sedir, Kestane, Söğüt, Kızılağaç, Okaliptus, Gürgen, Ladin gibi çeşitleri de kullanarak üretimlerini gerçekleştirmektedirler [22].

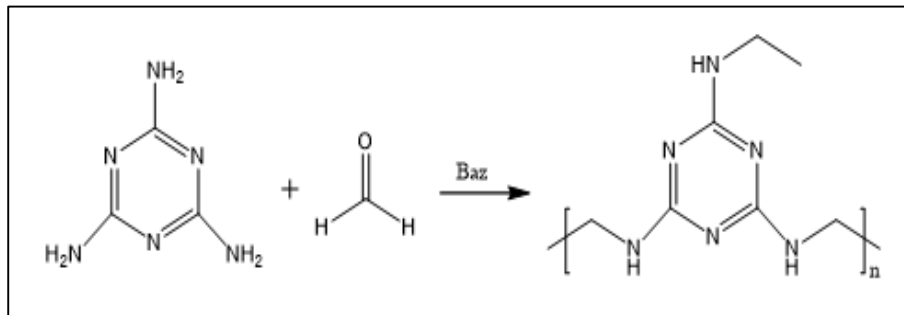
Yonga levha yapımında birçok artık odun cinsi ve çeşidi kullanılabilir. Bunlara yakacak odun, kapak tahtaları, çıtalar, vb. ile elde edilen artıklar ve testere talaşı, kaplama levha üretimi artıkları da eklenebilir.

1.2. Yonga Levha Üretiminde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Yonga levha üretiminde en çok kullanılan sentetik reçine üre-formaldehit olup, bunu fenol-formaldehit ve melamin-formaldehit reçineleri takip etmektedir. Ayrıca izosiyanat tutkalı, doğal yapıştırıcılar ve sülfat atık suyu gibi çeşitli reçine tipleri de nadir de olsa kullanılmaktadır.

1.2.1. Melamin-formaldehit reçineleri

Melamin formaldehit (MF) ve melamin üre formaldehit (MUF) dış kullanım amaçlı levhalarda, levha yüzeylerinde kullanılan düşük ve yüksek basınç kağıt laminantlarda çok fazla kullanılan tutkal tipleridir [23]. Normal melamin-formaldehit reçinesi (MF) sentezi işlemi, melaminin formaldehit ile reaksiyona girdiği zaman metilol grupları oluşturduğu baz veya asit ile katalize edilebilen melaminin metilolasyonu ile başlamaktadır. Bu aşamadan sonra bu metilol grupları, etilen eter ve metilen köprüleri oluşturmak için sistemi daha fazla ısıtmak ve / veya asitlendirmek üzerine yoğunlaşır [24-25]. Melamin-formaldehit reçinesinin sertleşme davranışı ve çapraz bağlanma derecesi ürün özelliklerini belirler. Reçine yeterince kürleşme özelliği göstermediyse, MF yapılandırılmış yonga levhaları daha düşük derecede mekanik mukavemete sahip olacaktır ve MF emdirilmiş kâğıtlara dayalı yüzey kaplamalarında sertlik, dayanıklılık, parlaklık ve hidrolize ve kimyasal maddelere karşı direnç yapıda olmayacaktır [26, 27]. Melamin-formaldehit reçine sentezi Şekil 1.2' de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Melamin-formaldehit reçinesi [28]

Melamin reçinesi çözeltisi saklama koşulları uygun olduğu takdirde bile raf ömrü ÜF reçinesi kadar uzun süreler sahip değildir. En fazla uygun koşullar altında 3 haftaya kadar bozunmadan kullanılabilirler. Melamin reçinesinin toz hali serin ve kuru bir yerde muhafaza edildiği takdirde bir yıl raf ömrüne sahiptir. Melamin reçinesinin üretimi esnasında dikkat edilmesi gereken önemli nokta, karışımın en kısa süre

sonunda 90 °C' ye gelmesi ve renginin saydam halde olmasıdır. Reaksiyonun tamamlanma süresi, su toleransı miktarına göre takip edilmektedir. Üretimi gerçekleşen melamin reçinesinin kullanılmadan önce yoğunluk, pH, katı madde yüzdesi, su toleransı, viskozite tayinleri yapılmaktadır [32].

Melamin reçinesinin dezavantajı, maliyeti pahalı olduğu için üre formaldehit kadar çok kullanılmamasıdır. Üre eklenmesi ile melamin oranını azaltılması ile maliyet düşürülebilir. Bu tarz reçineler de melamin-üre formaldehit reçineleri olarak üretilmektedir. Bu reçineler kaynatmaya karşı dayanım isteyen ağaç malzemenin yapılandırılmasında kullanılmaktadır [36].

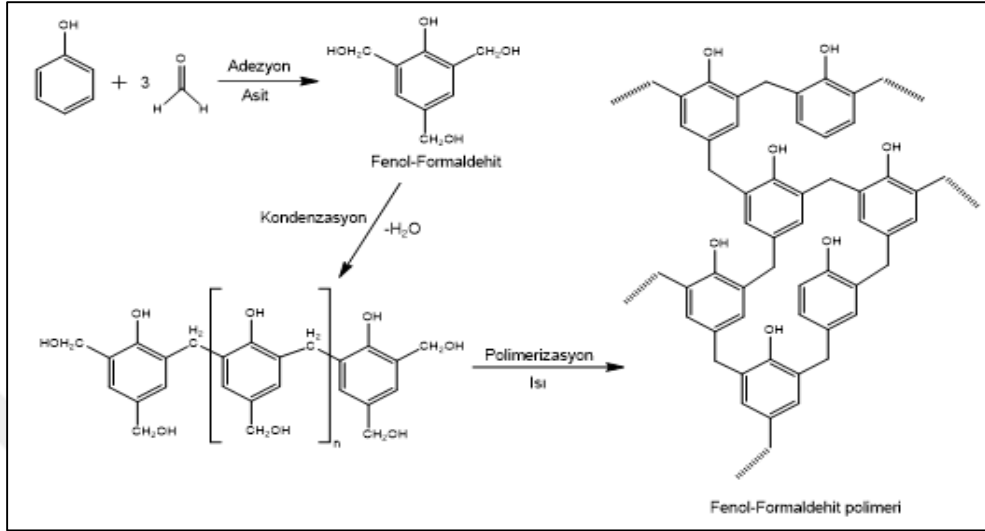
1.2.2. Fenol-formaldehit reçineleri

Fenol formaldehitin (FF) ana bileşenleri, fenol ve formaldehittir. Fenol ham petrolden elde edilir, toluen ve benzen ise temel bileşenleridir. FF reçinesi üretim esnasında fenol ve formaldehit bir karıştırıcı yardımı ile birleştirilir ve bu birleşme sonucunda kokusuz, koyu kahverengi bir sıvı oluşmaktadır. Üretim esnasında FF reçinesi polimerize edilerek bağlarını güçlendirilir. FF yapısı içerisindeki belirli orandaki fenol ve formaldehitin çoğu kuvvetli bağlar ile sürekli yapıştırma etkisi sağlamaktadırlar [29].

FF reçineleri termoset yapıya sahiptirler. Bu yüzden kullanıldığı yerde sertleştikten sonra yeniden yumuşayıp bozunma meydana gelmez. Suya ve diğer dış etmenlere karşı örneğin basınç, sıcaklık vb. durumlara göre dayanıklılık gösterir. Üre- formaldehit reçinelerin göre dayanıklı olması FF reçinelerini ayıran bir özelliktir. Dezavantaj olarak fiyat bakımından bakılacak olursa diğer reçinelerden daha pahalıdır. İçerdiği fenol miktarını azaltma işlemi, ya da fenol yerine alternatif başka bileşikler kullanarak veya farklı yollarla fiyat bakımından dengeleme işlemleri yapılabilir. İş sağlığı ve güvenliği açısından en tehlikeli üretim esnasında oluşan reaksiyonlar fenol formaldehit reçinelerinde görülür. Fenol hammaddesi çok aktif bir bileşik olduğu için reaksiyon hızı kontrol edilmediği takdirde reaktörde patlamalara neden olabilir.

Fenol-formaldehit tutkalının 2 farklı üretim metodu bulunmaktadır. Bunlar novalak ve resoldür. Alkali şartlar altında üretilen resol üretim metodu için, A durumunda Resol, B durumunda Resol (Resitol) ve C durumunda Resol olmak üzere üç çeşit olduğu bilinmektedir. Resol (pH 7 den büyük) formaldehit mol oranı fenole göre daha fazladır.

Novalak asit ortamda (pH 7 den daha az) üretilir. Bu tür reçinede resol üretim metodunun tam tersi fenol mol oranı formaldehite göre daha fazladır [32]. Şekil 1.3' de fenol-formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu görülmektedir.



Şekil 1.3. Fenol-formaldehit kondenzasyon reaksiyonu [30]

Fenol-formaldehit tutkalları üreden daha yavaş ve daha yüksek sıcaklık değerlerinde sertleşme özelliği göstermektedirler. FF reçineleri suya, atmosferik koşullara karşı dayanıklılık gösterdiği için dış cephelerde kullanılacak levhaların üretimi için idealdirler. Ancak, koyu renge sahip oldukları için levhalarda küçük kırmızı lekeler şeklinde görüntüler oluşturmaktadır. Bu da görsel olarak iyi olması istenen levhalarda istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Üre-formaldehit tutkalı ile FF reçineler arasındaki sertleşme için gerekli olan sıcaklık dayanıklılıkları karşılaştırıldığında FF reçinelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Levhanın orta kısmındaki pres sıcaklığı 120-150 °C olması beklenirken ve üst ve alt yüzey pres levhalarının sıcaklığı ise 200 °C kadar olması istenmektedir [33].

Levhalar için kullanılacak fenolik reçineleri tercih ederken reçinelerin formülasyonuna bakılmaksızın üretim esnasında uygulamasının kolaylığına ve uygulanabilirliğine bakılmalıdır [34].

1.2.3. İzosiyanat reçineleri

İzosiyanat reçineler, polimerik difenilmetan (PMDI) diizosiyanat tutkalı ve emülsiyon polimer izosiyanat tutkalı (EMDI) olmak üzere iki gruptan oluşurlar. Bu reçinelerin

avantajları rutubete karşı yüksek direnç göstermeleri, düşük presleme sürelerine sahip olmalarıdır. Bu reçinelerin dezavantajı ise özellikle yonga levhanın pres plakalarına yapışması, fiyatının yüksek olmasıdır [31].

1.2.4. Üre-Formaldehit Reçineleri

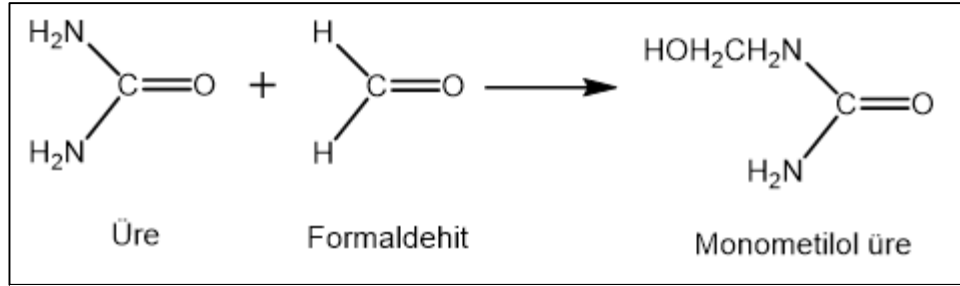
Üre-formaldehit reçinesi ekonomik açıdan uygun olduğundan dolayı, kaplamalı işler, yonga levha ve kontrplak üretimi olmak üzere, ağaç sanayi de çok fazla tercih edilen reçinelerden biridir. Formaldehit üretimi metanol kullanılarak gerçekleşir, metanol hammaddesi de maden kömürü, oksijen ve hidrojenden elde edilmektedir. Formaldehitin üretimi kısaca metanolün katalitik oksidasyon hidrolizasyonu yolu ile yapılmaktadır [32].

Üre-formaldehit reçinesi yapımının ana hammaddesi olan üre amonyak ve karbondioksitin birleştirilmesi sonucu üretilir ve görsel olarak renksiz ve suda kolaylıkla çözünebilen kristal küçük yuvarlak tanecikler halinde olan bir maddedir. amonyak ve karbondioksitin birleştirilmesi sonucu üretimi gerçekleşmektedir. Reaksiyon esnasında amonyum karbaminat ara madde olarak oluşmaktadır. Amonyak ilavesi ile beraber su ve üre meydana gelmektedir [33].

Üre-formaldehit reçinesi, üre ile formaldehitin sulu bir çözeltide kondense olmasıyla elde edilir. İki halde üretimi yapılabilir: kuru ve sıvı hal. ÜF reçineleri hafif alkali ortamda reaksiyona girerler ve bu reaksiyon sonucunda önce monometilol üre ve daha sonra dimetilol üre oluşması sağlanmaktadır. Oluşan bu maddeler su kaybederek metilen köprüleri oluşturmak için yoğunlaştırılır. Bu aşama ile beraber oluşan ön kondenzasyon ürünleri hâlâ suda çözünebilirler ve reaksiyona daha büyük boyutlu ağlar oluşturacak şekilde reaksiyonu sürdürürler. İstenilen kondenzasyon aşamasına geldiğinde, belli belirsiz asidik olan çözeltinin soğutulması ve nötralleşmesi ile reaksiyon kesme işlemi gerçekleştirilir.

Üretimi gerçekleşen reçinenin, reaksiyon zamanı, katalizör konsantrasyonu, sıcaklık ve üre-formaldehit molar oranı gibi özelliklerini etkilemektedirler [32].

Şekil 1.4’de monometilol üre oluşumu görülmektedir [34].



Şekil 1.4. Monometilol üre oluşumu [34]

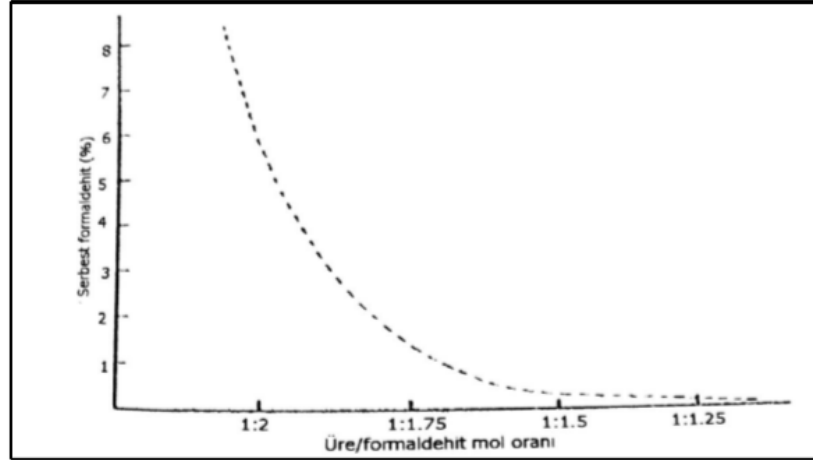
Termoset bir yapıya sahip olan üre-formaldehit reçinesi, bir kere sertleştikten sonra ısıtma işlemi yapılarak veya kimyasal bir çözücü kullanılarak yeniden yumuşatılamaz [35].

Günümüzde ürenin formaldehite mol oranı 1,15, 1,25 ve 1 değerlerinde kullanılırken, önceki dönemlerde bu değerler 1,5 ve 2 oranlarında yani daha yüksek oranlarda kullanılmıştır. Bu işlem levhalarda serbest formaldehit ayrışmasını azaltmak için yapılmaktadır. Formaldehit oranını azaltma için yapılan bu işlem ile tutkalın sertleşme zamanında uzamalara sebep olabileceği göz ardı edilmemelidir [35].

Amonyum klorür (NH₄Cl) veya amonyum sülfat hammaddeleri sıcak presleme de sertleştirici madde olarak kullanılmaktadır. Katı oranları %55'lik ve %65'lik olarak sıvı veya katı olarak üre-formaldehit reçineleri satışa sunulmaktadır. Toz halde bulunan üre- formaldehit reçinesinin bozunma süresi bir yıl kadar olurken, sıvı haldeki reçine ancak birkaç ay dayanabilir [36].

Üre-formaldehit reçinelerinin tercih edildiği yonga levhalarda son sertleşme sağlanması için sıcaklık dereceleri orta, alt ve üst tabakalarda değişiklik göstermektedir. Genelde orta tabaka için en az 100 °C, alt ve üst tabaka için ise 150-190 °C arasında sıcaklık kullanılmaktadır [32].

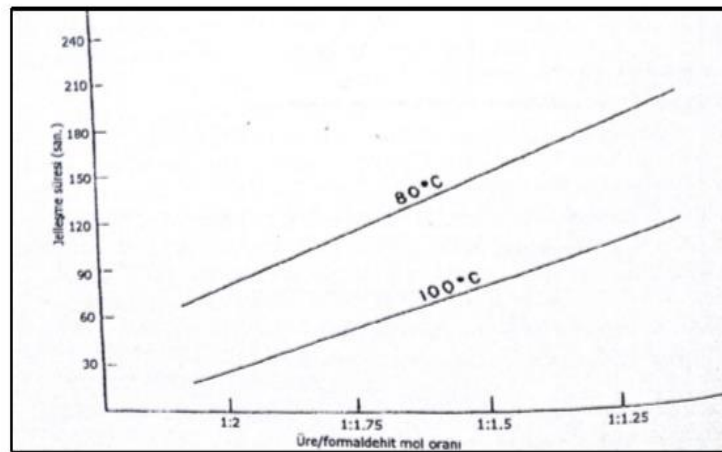
Yapılan araştırmalara göre üre formaldehitin mol oranı 1:1,45 iken serbest formaldehit oranı %0,8, 1:1,32 iken %0,3 ve 1:1,25 iken % 0,2' den azdır. Üre-formaldehit mol oranı 1:1,3 ve daha az olan üre formaldehit reçinelerinin kullanımının çok fazla olmasına rağmen bu tip reçinelerin yonga levha üretiminde çok da iyi sonuç vermediği bilinmektedir [34]. Şekil 1.5' de Üre/Formaldehit mol oranı ile serbest formaldehit arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 1.5 Üre/formaldehit mol oranı ve serbest formaldehit arasındaki ilişki [34]

Daha düşük formaldehit/üre mol oranlı ÜF reçineleri ile üretim yapılmak istenirse daha çok sertleştirici kullanmak gerekir. Çünkü reçinenin jelleşme süresinde kısalma görülür. Üretimi bitmiş yonga levhanın serbest formaldehit miktarını azaltmak için üretim esnasında tutkal karışımı içerisinde % 5'e kadar üre ilavesi yapılabilir. Son zamanlarda yapılan işlem ise üretimden sonraki levhada hem de üretim sırasında levhadan açığa çıkan formaldehit miktarını azaltmak için % 1-2 kadar tanen ekstraktı kullanılmasıdır [34].

Üre/formaldehit mol oranı ile jelleşme süresi arasındaki ilişki Şekil 1.6' da görülmektedir.



Şekil 1.6. Üre / Formaldehit mol oranına bağlı jelleşme süresi grafiği [34]

ÜF reçinelerinin, yüksek reaktiviteleri, düşük maliyetleri ve ahşaba mükemmel yapışma özelliği göstermeleri nedeniyle, özellikle yonga levha orta yoğunluklu levha (MDF) olmak üzere ahşap ürünlerin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [37].

Fenol-formaldehit reçinelerinin yonga levha üretim aşamasında patlama gibi risklere yol açması, izosiyanat reçinelerinin üretim esnasında yüzeye yapışma gibi kalite problemlerine yol açtığı için kllanımları azalmıştır. Melamin-formaldehit reçine ve üre-formaldehit reçineleri daha çok tercih edilmektedir. Tez çalışmasında melamin-formaldehit reçinesine oranla daha az maliyetli olan üre-formaldehit reçine kullanımı tercih edilmiştir.

1.3. Yonga Levha Üretiminde Kullanılan Katkı Maddeleri

Yonga levhaların dayanıklılığını arttırmak, suya ve rutubete karşı korumasını sağlamak, mantar ve böcek oluşumlarını engellemek için, bazı katkı maddeleri ilave edilebilir. Yonga levhanın özelliklerini iyileştirmek için kullanılan bazı katkı maddelerinin görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [38].

- Üst yüzeylerde toz oluşumunu engelleme,
- Plastikleştirme etkisi,
- Reçineye yapısal olarak iyileştirilme etkisi yapması,
- Stabilite sağlanması,
- Tutkalın eşit şekilde dağılma işlemini kolaylaştırması,
- Koku oluşumunu engelleme,
- Yanmayı en aza indirme,
- Sıcak pres aşamasında tutkaldan çıkan gaz çıkışının dengelenmesini sağlama,
- Bitkisel ve hayvansal kaynaklı oluşabilecek hasarlara karşı önleyici özelliklerde olabilmesidir.

1.3.1. Hidrofobik maddeler

Yonga levhalarda boyutsal stabilizasyonunun sağlamak için kullanılan malzemelere hidrofobik maddeler denir. Bu sayede levha özelliklerinde su alarak şişme etkisinde, çanaklaşma veya çarpılma gibi üretim hatalarının olması daha az yaşanacaktır [24].

Hidrofobik maddelerin kullanılma amacı yonga levhaların su alarak şişmesini önlemektir. Bu maddeler levhaların su almasını tümüyle önleme etkisine sahip değildir fakat su alma hızını yavaşlatma etkisine sahiptir. Levhalar yüksek miktarda rutubete maruz kaldığında kullanılan hidrofobik maddeler sayesinde levhaların saklama koşulları altında rutubetten etkilenmezler. Çeşitli tercih edilen hidrofobik maddeler mumlar ve parafinlerdir [39]. Şekil 1.7’ de parafinin görsel resmi görülmektedir.



Şekil 1.7. Parafin görüntüsü [41]

Parafinin uygulanma oranı yapraklı ağaçlarda tam kuru yonga ağırlığına oranla % 0.5–1 arasında olurken; iğne yapraklı ağaçlarda ise %0,3–0,5 oranında kullanılmaktadır. Eğer ki parafin oranı %1-2’nin üzerinde kullanılırsa tutkallama esnasında olumsuz etkiler oluşur ve bu durum levhanın mekanik özelliklerinde düşme yaşanmasına sebep olur [40-25].

1.3.2. Sertleştirici maddeler

Yonga levha üretim esnasında reçine bağlayıcısının ve tutkallanmış yongaların direnç süresinin uzun olması beklenir. Bunun yanında sıcak pres esnasında üretim kapasite oranının yükselmesi için tutkalın sertleşmesinin de az sürede bitmesi istenir. Bu iki istenen durumun da olması için bir sertleştirici ile beraber bir tamponlayıcı madde de kullanılmaktadır. Kullanılan bu sertleştirici çeşitleri kullanılan tutkalın cinsine göre farklılık göstermektedir. Bazı tutkallarda sertleştirici kullanılması gerekirken bazı tutkal çeşitlerinde sertleştirici kullanılmasına ihtiyaç olmamaktadır [23].

Yonga levha üretim aşamalarından hazırlık ve presleme zamanına kadar tutkaldan sertleşme etkisini göstermemesi istenmektedir. Tutkalın sertleşmesi presleme aşamasında ve hemen gerçekleşmesi gerekmektedir. Genel olarak amonyum klorür ve

amonyum sülfat hammaddeleri üre-formaldehit reçineleri ile beraber sertleştirme etkisi vermek için kullanılmaktadır [18].

Şekil 1.8’de sertleştirici kimyasal görünüşleri görülmektedir.



Şekil 1.8. Sertleştirici kimyasalların görünüşleri; a. Amonyum Klorür (NH_4Cl), b. Amonyum Sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) [23]

1.3.3. Bozulma önleyici maddeler

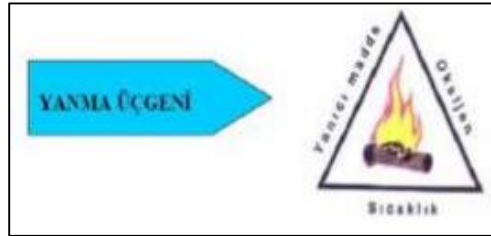
Böcek, mantar ve diğer biyotik zararlılar ağaç malzemelerine zarar vermektedirler. Araştırmalar sonucunda yonga levha üzerinde rutubet oranı %18’den fazla olduğunda mantarların oluştuğu görülmüştür. Mantarlara karşı dirençlilik her levhaya göre farklı olabilir. Değişik çeşitlerde reçine kullanılarak üretilen yonga levhaların bu zararlılara karşı direnç göstermesi için bazı işlemler yapılmalıdır. Örneğin, fenol-formaldehit kullanılarak levhaların zararlılara karşı direnci arttırmak için üretilen yonga levhaların yoğunluğunun artırılması, yapıştırıcı miktarının da %12’den başlayarak artırılması gerekmektedir [39].

1.4. Yanmayı Önleyici/ Geciktirici Maddeler

Yanma işlemi yanıcı ve yakıcı olan maddelerin bir araya gelmesi sonucunda ısı oluşturduğu olayların tümüdür. Genellikle oksijen içeren madde yanıcı bir malzemedir ve bu maddenin yanması için havanın en az % 14 – 18 oranında oksijen içermesi gerekmektedir. Normal koşullar altında havadaki oksijen oranı % 21 olarak belirlenmiştir [42,43]. Yanma olayının meydana gelmesi için; yakıt, oksijen ve ısı elemanları tutuşma sıcaklığına ulaşmalıdır. Diğer ifade ile tanımlanacak olursa yanma; tutuşma sıcaklığına kadar ısı almış bir maddenin oksijenle birleşimine veya alev, ışık ve ısı özellikleri gösteren malzemenin etrafına hemen oluşturduğu oksidasyonu olayına denilmektedir. Yanma meydana geldiğinde ahşap malzemelerde 170 °C ye

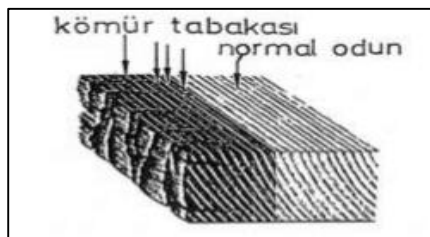
kadar kuruma, 270 °C ye kadar CO, CO₂ ve su buharı salınımı, 250-300 °C'lerde alev alma gerçekleşmektedir [42,44].

Yanma olayının oluşması için yanıcı madde – oksijen – tutuşma sıcaklığı üçlüsünün bir arada olması gerekir ve bu ateş üçgenini oluşturan faktörlerden herhangi biri ortamda yoksa yanma olayı meydana gelmez. Yanmanın şiddeti oksijen, sıcaklık ve yanıcı madde dengesindeki değişiklikler ile ifade edilir. Yanma olayının önlemek veya bir yanma olayını sona erdirmek için bu üç faktörden herhangi birini ortadan kaldırmak veya aralarındaki dengeyi bozmak gerekmektedir [42,45]. Ağaç malzemelerin sıcaklık yükselmesi ile boyutsal değişimleri metallere göre daha az meydana gelmektedir. Isıtılmış ağaç malzeme liflere dik olarak metaller ile aynı veya daha fazla; uzunlamasına yönde ise çok az uzama gösterir. Binalarda bu özellik çok önemli olmaktadır [42,46]. Odun malzemenin yanması ile yanma hızı ve derecesi çok önemlidir. Eğer yanma olayı oksijen bulunmayan ortamda meydana gelmezse, geniş enine kesitli ağaç malzeme üstünde hafif bir yanma meydana gelir ve ardından kömürleşme başlar. Sıcaklık yükseldikçe, malzeme yüzeyinde yanan gazlar çıktığı görülür. Sıcaklık daha da yükeldiğinde ise yüzeyde kömürleşmeler meydana gelmeye başlar. Şekil 1.9' da yangın üçgeni görülmektedir [42,45].



Şekil 1.9. Yangın üçgeni [42,45]

Şekil 1.10'da odun malzemesinde kömürleşmenin oluşumu gösterilmiştir [42,47].



Şekil 1.10. Ağaç malzemenin kömürleşme meydana gelmesi [42,47]

Ahşap malzemelerin yanmasını önlemek veya geciktirmek için kullanılan alev geciktirici maddeler, yanma sürecini yavaşlatmalı veya tamamen engel olmalıdır. Katı, sıvı ya da buhar fazında bulunan alev geciktirici maddeler kimyasal ve/veya fiziksel olarak etki göstermektedirler [48].

Alev geciktiriciler içerdikleri kimyasal bileşimlerine göre üç gruba ayrılmaktadır:

Halojenli alev geciktiriciler

Fosforlu alev geciktiriciler

Hidrat (sulu) alev geciktiriciler (inorganik) [49]

Halojenlenli alev geciktiriciler de kendi içerisinde 3'e ayrılmaktadır: aromatik, alifatik ve sikloalifatik. Halojen içeren alev geciktiricilerin etkinlikleri, $F < Cl < Br < I$ sırasına göre artmaktadır. Bunlar içerisinde brom ve klor bileşikleri, alev geciktirici kimyasallar aynı zamanda ticari öneme sahip tek halojen bileşiklerdir. Çok pahalı ve özel durumlar hariç C-F bağının çok güçlü olmasından dolayı etkisiz olan flor bileşikleri genellikle kullanılmazlar, çünkü yanma işlemine etki etmezler. Son olarak iyot bileşikleri etkili olması yanında pahalıdır ve karbonla bağlarını çok kaybederler bu yüzden çok fazla tercih edilmezler [50,51]. Bromlu ve klorlu alev geciktiricileri karşılaştırsak; bromlu alev geciktiriciler klorlu olanlarda çok daha etkilidir bunun nedeni ise HCl (hidroklorik asit) 'yi daha geniş sıcaklık aralığında salmalarındır [50]. Örnek olarak; dekabrom difenil eter $C_{12}Br_{10}O$, oktabrom difenil eter $C_{12}H_2Br_8O$, pentabrom difenil eter $C_{12}H_5Br_5O$, poliklor bifenil $C_{12}H_{10-x}Cl_x$ verilebilir [50].

Fosforlu alev geciktiriciler, malzemenin yüzeyinde yanmayan bir katman oluşturarak etki gösterirler. Oluşan bu katman, polimer yüzeyi üzerindeki yanma bölgesine oksijen transferini gitmesini engeller ve açığa çıkan ısıyı absorplayarak yanmanın durmasını sağlarlar. Düşük gaz emisyonu vermeleri de fosfor esaslı alev geciktiricileri iyi alev geciktiriciler grubuna dâhil eder. Fosfor içerikli alev geciktirici katkı maddeler halojen veya azot da içerirse, polimerin bozunması sırasında fosfor halojenür, oksihalojenür ve P-N bağı oluşarak sinerjik etki gösterirler. Örnek olarak organik ve anorganik yapıda olan fosfor içerikli bileşiklere; kırmızı fosfor, suda çözünen inorganik fosfatlar, çözünmeyen amonyum polifosfat, organo-fosfatlar, fosfin oksitler, bromoaromatik

fosfatlar verilebilir. Bu tip alev geciktirici malzemeye ilgi artmasının nedeni malzemenin yanması sırasında kömürleşen tabakanın intumesan (şişme ve kabarma) özelliği göstermesidir. Amonyum polifosfat, dipentaeritritol ve melamin birleşimi çok kullanılan intumesan özelliğine sahip alev geciktirici gruplarındandır [51].

İnorganik alev geciktiriciler yapılarında su bulunduran inorganik bileşikler olup, çoğunlukla 150-400°C aralığında etki gösterirler. Alev geciktirici katkı maddeleri içerisinde önemli bir yere sahiptirler çünkü kolay işlenebilirler, az zehirlidirler önemlisi düşük maliyetle üretilebilir olmalarıdır. Isıya maruz kaldığında, bu bileşiklerden ayrılan su molekülleri, soğutma etkisi yaparak yanmayı durdurur. Endotermik bir reaksiyonla açığa çıkan su, polimerin maruz kalacağı ısıyı emerek tutuşma sıcaklığının altında tutar ve malzemenin bozunma oranını düşürmektedir. Aynı zamanda açığa çıkan su, buhar fazındaki yanabilen gaz ürünlerin konsantrasyonunu seyreltmektedir. Bu alev geciktirici malzemenin soğutma etkisi yapabilecek yeterli suyu sağlaması için çok fazla kullanılması gerekir. Bu da malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde etki gösterebilir. Yanma esnasında oluşan dumanın miktarını azaltan bu gruptaki bileşiklerin en çok tercih edilenleri, alüminyum hidroksit, magnezyum hidroksittir [53].

Alev geciktirici maddelerden beklenen, öncelik olarak alev geciktirme etkisine sahip olmaları ve içine katıldığı ana malzemenin işleme niteliklerine zarar vermemiş olmalarıdır. Belli oranlarda ekleme yapılan alev geciktirici kimyasallar, hem kolay yanıcı ana malzemeyi seyreltmekte hem de ana maddenin oksijen indeksini düşürmektedir. Maddenin yanmasına devam edebilmesi için gereken minimum oksijen miktarı oksijen indeksi olarak tanımlanır. Etkisini gösteren bir alev geciktirici katkı maddesinden aşağıdaki özelliklerin olması beklenir:

Ürünün fiyat performansına daha az etki sağlaması,

Kullanım sırasında yanıcılık yoğunluğunun azaltma etkisi,

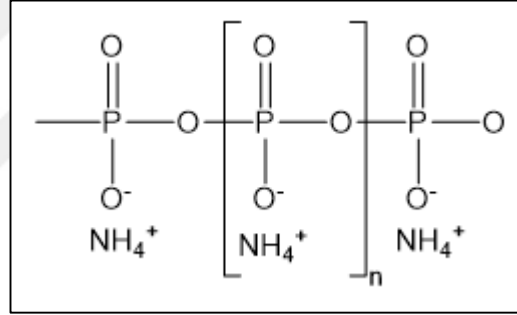
Düşük miktarda duman oluşturma,

Kullanılan kimyasalların özelliklerinin malzeme ile uygun olması,

Düşük oranda tutuşma hızı oluşturma yeteneği [54].

1.4.1. Amonyum polifosfat (APP)

Amonyum polifosfat (APP), şişen bir organizma ile hareket eden, fosfat bazlı bir alev geciktiricidir. Ateşe ve ısıya maruz bırakıldığında amonyum polifosfat polimerik fosfat asit ve amonyağa ayrışma sağlamaktadır. Oluşan polifosforik asit karalı olmayan bir fosfat esteri meydana getirmek için hidroksil gruplarıyla reaksiyona girme eğiliminde olur. Bu işlem sonrası fosfor esterlerinin dehidrasyonu ile, malzeme yüzeylerinde karbon bir köpük meydana gelir ve bu karbon köpük yalıtım tabakası görevini üstlenmektedir. Bu kimyasal, PVC, PE, kauçuk gibi plastik sektörlerinde, boyalar, kaplamalar, çeşitli polimerler ve çok fazla uygulamalarda alev geciktirici kimyasal olarak tercih edilmektedir. En önemlileri poliolefinler ve polipropilendir. Daha geniş kullanım alanları ise termosetler, epoksiler, poliüretan kumaş ve poliüretan köpük sistemleridir [55]. Şekil 1.11’de APP’nin kimyasal yapısı verilmiştir.



Şekil 1.11. Amonyum polifosfatın kimyasal yapısı [56]

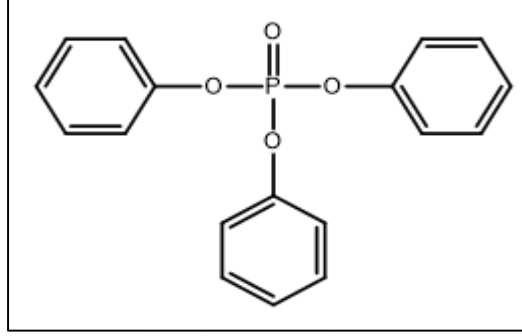
1.4.2 Trifenil fosfat (TPP)

Trifenil fosfat (TPhP), $\text{OP(OC}_6\text{H}_5)_3$ formülüne sahip kimyasal bileşiktir. Bu renksiz katı, fosforik asit ve fenolün esteridir (triester). Çok çeşitli ortamlarda ve ürünlerde plastikleştirici ve yangın geciktirici olarak kullanılır [57].

TPP, fosfor oksiklorür ve fenolün SN2 reaksiyonu ile hazırlanır. TPP, alev geciktirici ve plastikleştirici olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [58]. Elektronik ekipman, PVC, hidrolik sıvılar, yapıştırıcılar, tırnak cilaları ve döküm reçineleri gibi çeşitli malzemeler için alev geciktirici olarak kullanılmıştır. Alev geciktirici olarak etki mekanizması şu şekildedir: ilk olarak termal ayrışma sırasında fosforik asit oluşur. Bu, yoğun fazda olduğunda ısı transferini bloke eden pirofosforik asit oluşturmak için

reaksiyona girer. Belirli polimerler için en etkili alev geciktiricilerden biri olan TPP, yalnızca gaz fazında katkı maddesi alev geciktirici olarak aktiftir [59].

Şekil 1.12’de TPP’nin kimyasal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.12. TPP’nin kimyasal yapısı [60]

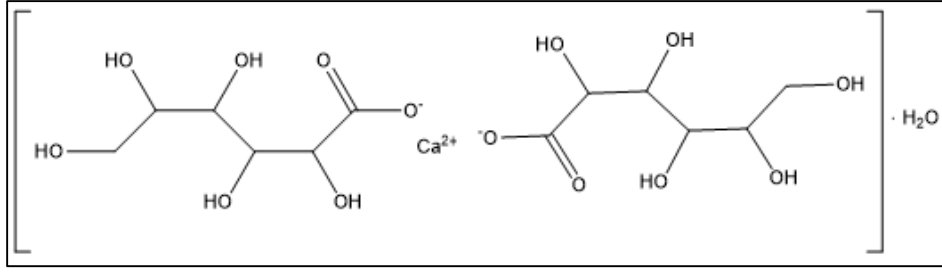
1.4.3. Kalsiyum Glukonat (CaG)

CaG, koku veya tat olmaksızın ince, beyaz kristal iğneler halinde oluşur. Asit kalsiyum karbonat ile nötraliz edildiğinde güçlü sulu glukonik asit çözeltilerinden kristalleşir. Kalsiyum glukonat, 25 ° C’de 100 ml suda 3.5 gram çözünebilir ve ne eterde ne alkolde çözünmez. Tuzun kendisinden daha yüksek konsantrasyonlarda stabilize kalsiyum glukonat çözeltileri, borik asit veya kalsiyum D-sakkarat ile hazırlanabilir [61]. Kalsiyum glukonat bir mineral takviyesi ve ilaçtır [62].

Bir ilaç olarak, düşük kan kalsiyumunu, yüksek kan potasyumunu ve magnezyum toksisitesini tedavi etmek için bir damara enjeksiyon yoluyla kullanılır. Takviye genellikle sadece diyetle yeterli kalsiyum olmadığında gereklidir [63].

Aynı zamanda CaG mineral bazlı bir yangın geciktirici katkı maddesi olarak da kullanılabilirdiği öngörülmektedir. İlginç bir şekilde, kalsiyum glukonatın (CaG) yanma sırasında dehidrate olabileceği ve eş zamanlı olarak CO₂ salabileceği bulunmuştur. Kalıntıları (esas olarak kalsiyum monoksit veya kalsiyum karbonat) kademeli olarak genişleyerek şişkinlik ve sürekli kömür oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca CaG, doğada yaygın olarak bulunan glikozdan elde edilen yeşil ve çevreye zarar vermeyen bir katkı maddesidir.

Şekil 1.13’de CaG’nin kimyasal yapısı verilmiştir [64].



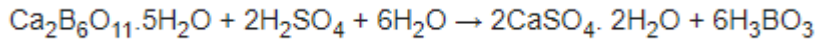
Şekil 1.13. CaG'nin kimyasal yapısı [64]

1.4.4. Borik asit (BA)

Yaygın olarak böcek ilaçları ve koku önleyici olarak kullanım alanına sahip beyaz kristal renkli ve suda çözünen bir inorganik asittir. Tarihte Wilhelm Homberg tarafından keşfedilmiştir ve sülfürik asidin yan ürünü olarak meydana gelmiştir.

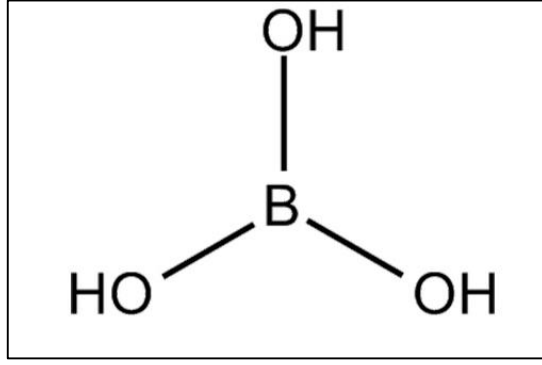
Borik asit Türkiye'de, kolemanitten üretilmektedir. Üretim Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafında gerçekleştirilmektedir. Üretim süreci temelde, kolemanitin sülfürik asit ile reaksiyonu ile oluşmaktadır.

Aşağıda uygulanan reaksiyonda gösterildiği üzere, reaksiyon sonucunda alçıtaşı ve borik asit meydana gelir. Üretim ile beraber oluşan alçıtaşı, çevreye zarar vermektedir.



Üretim aşamalarından birincisi, kolemanitin değirmenlerde inceltme işleminin yapılmasıdır. İnceltme işlemi için istenen kolemanitin boyutu <0,2 mm olması gerekmektedir. İnceltme işlemi tamamlanan kolemanit, sülfürik asit ile reaksiyona sokularak çözelti içerisinde alınır. Bu reaksiyon sıcaklığı 80-100 ° C arasında gerçekleşmektedir [65].

Borik asit kullanım alanları incelendiğinde, cam elyaf üretiminde, ahşap, tekstil ve diğer alanlarda alev geciktirici katkı maddesi olarak, kaplamalarda vb. diğer uygulamalarda tercih edilmektedir. Borik asit bazı durumlarda da hafif antiseptik olarak, göz damlaları, ağız gargaraları, kozmetik alanında ve suların sertliğini gidermede de kullanılabilir [66].



Şekil 1.14. Borik Asit kimyasal yapısı [67]

1.5. Çalışmada Kullanılan Numune Üretim Yöntemleri

1.5.1. Yongalama

Yonga levhaların üretimi esnasında kullanılan yongaların boyutları ve özellikle kalınlık ve uzunluğu levhanın kalitesini ve yüzey pürüzlülüğünün azalmasına katkı sağlayan faktörlerdendir.

Levhanın özelliklerine mekanik olarak bakıldığında en önemli parametrelerden olan eğilme direnci ve yüzeye dik çekme değerleri yonga kalınlıkları ve uzunlukları arttıkça ve azaldıkça değişimler göstermektedir.

Örneğin, yonga kalınlığı yüksek olursa levhalarda eğilme direnci azalır ve tam tersi olarak yüzeye dik çekme direnci de artar. Yonga uzunlukları arttığı zaman ise bu yaşanan durumda tam tersi meydana gelir, yani eğilme direnci artar ve yüzeye dik yönde çekme direnci azalma gösterir. Bu durumların yaşanmaması için yongalama adımına dikkat etmek çok önemlidir [38].

1.5.1.1. Kaba yongalama

Kaba yongalamanın amacı büyük parçalı yongalar meydana getirmektir. Değirmenler yardımıyla küçültme işlemi yapıldığında kaba yongaların boyları 10-30 mm arasında olması gerekirken, ince yongalama makineleri kullanılarak inceltilecek olan kaba yongaların boyları ise 30-60 mm arasında değişme göstermektedir.

Şekil 1.15'te odundan ve diğer sanayi atıklarından elde edilen kaba yongalar görülmektedir [24].



Şekil 1.15. Çeşitli boyutlardaki yonga levhalar [68]

Kaba yongalama makineleri kaba yongaları kesme işlemleri için kullanılmaktadır. Yongalar içerisinde bazı fabrika atıkları da küçültme işlemi yapılmaktadır. Örneğin, kontrplak ve kaplama fabrikaları atıkları, kereste endüstrisi atık kırıntıları, çalı ve yıllık bitki demetlerinde kaba yongaları küçültme ve kesme işlemlerinde kullanılır [24].

1.5.1.2. Normal yongalama

Normal yongalama levha üretimlerinde istenen kalınlık ve uzunlukta yuvarlak odundan yonga kesilmesine verilen addır ve bu yongalama için kullanılan diskli ve silindirik makine bulunmaktadır. Şekil 1.16’ da normal yongalayıcı makro değirmen görülmektedir.



Şekil 1.16. Normal yongalayıcı [23]

Yonga levha üretimi için kullanılacak yongalar için en uygun bıçak yönü lif yönüne dik olan liflere paralel yönde olan kesme biçimidir. Diğer bir seçenek ise bıçak yönünün lif yönüne doğru olan kesme şeklidir. Her iki kesim biçiminde makinenin içerisinde bulunan kenar bıçakları tarafından yongalar genellikle uzunluğuna kesilmiş olmaktadır. Yonganın eni genellikle ince olduğu için önem taşımamaktadır [26].

1.5.1.3. İnce yongalama

Düzgün yüzeyli bir yonga levha üretimlerinin gerçekleşmesi için kaba ve normal yongaların bir kere daha makinelerden ve değirmenlerden geçirilerek boyutlarının küçültülmesi gerekmektedir. Bu işlem için ince materyalin üretilmesinde Şekil 1.17’ de görülen elekli değirmenler kullanılmaktadır ve tüm yongaları inceltme işlemi bu cihaz kullanılarak yapılabilmektedir [24].



Şekil 1.17. Elekli değirmen şekilleri [23]

1.5.2. Kurutma

Üretimi gerçekleşen yongaların %30–120 arasında değişim gösteren rutubet miktarları bulunmaktadır. Rutubet değerlerinin tutarsız olmaması istenmektedir çünkü rutubet değerleri çok fazla veya az olduğu takdirde, levhalarda patlama, kopma ve kırılma durumları, tutkalın sertleşmeme durumu, ortamdaki toz miktarının artmasına ve dolaylı olarak yangın riskinin oluşma ihtimalinin yükselmesi gibi durumların yaşanması söz konusu olabilmektedir. Bu durumların yaşanmaması için levhaların presten çıkış rutubet değerine göre hesaplama yapılarak yongaların %3-6 oranında rutubete sahip olması istenmektedir. Bu kurutma işlemini yapabilmek için döner silindirik, türbünlü, süspansiyon tipi vb. çeşitlerde kurutucu makineleri bulunmaktadır [69].

Yonga levha rutubetlerinin tutkallamadan önce ve tutkallama işlemi yapıldıktan sonra farklı oranlarda olması gerekir. Tutkallama öncesi istenen değer %2-3 arasında, tutkallama sonrası ise %10-18 arasındadır.

Presleme aşamaları açısından yonga levha üretimi için dış ve orta tabaka yongalarının rutubetlerinin farklı olması üretim için faydalı bir durumdur. Bu durum için dış ve alt tabakada kullanılacak yongalara daha az kurutma işlemi yapılarak veya üretim esnasında levha pastası hazırlandıktan sonra pres saçlarına su püskürtme yapılarak rutubet oranı ayarlanabilir [23].

Yonga rutubetlerinin olması gereken değerlerden çok fazla olması durumunda üretim adımlarından olan sıcak presleme esnasında yonga levhaların orta bölümlerinde buhar kabarcıkları oluşur ve eğer pres aşamasında bu buhar kabarcıkları uzaklaştırılmazlarsa levha yüzeyinde bozulma veya tutkalın sertleşmeme durumu ile presten çıkan levhalarda patlamalar meydana gelir [24]. Kurutma işlemlerinin yapıldığı Büttner tamburlu kurutucu Şekil 1.18’de görülmektedir.



Şekil 1.18. Tamburlu kurutucu [68]

Yongaların kurutulması için basit fakat uzun süren bir yöntem olan temas yoluyla kurutma, daha kısa olup yongaların başlangıç rutubeti, yongaların büyüklüğü, kalınlığı ve kullanılan havanın sıcaklık ve hızına bağlı olarak değişebilen konveksiyon yoluyla kurutma, çok uzun süren ve pahalı bir işlem olan radyasyon yoluyla kurutma, şeklinde üç yöntem ile uygulanmaktadır. Bu yöntemler içerisinde genel olarak konveksiyon kurutma kuralları uygulanmaktadır.

Konveksiyon kurutmasının birinci aşamasında serbest su uzaklaştırılması yapılır, ikinci aşama da ise yapıya bağlı su uzaklaştırılır [23].

1.5.3. Yongaların sınıflandırılması

Yongalama makineleri ile hazırlanan yongaların bütünü heterojen yapıda bulunur. Yongalama işleminden sonra homojen olmayan ve üretilen yongaların direk bu hâlde kullanılması levhaların fizyolojik ve mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Levha yüzeylerinde bozulma, levhanın kenar işlemlerinde zorluklar ve levha içerisinde düzensiz yoğunluk farklılıkları bu heterojen yonga kullanımı ile oluşmaktadır. Yonga levha üretim esnasında uygun boyutlardan daha küçük yapılarda fark edilmeden kullanılan yongaların, tutkal yapışma kalitesinde sorunlara ve tutkal tüketim miktarlarının artmasına sebebiyet verebilir. Bu durumların yaşanmasını önlemek için yongaların uygun ve istenilen boyutlarda homojen hale getirilmesi için eleme işlemi yapılması oldukça önemlidir [23].

1.5.4. Yongaların yüklenmesi

Yonga levha üretim tesislerinde bulunan hammadde depolarında ve levha üretim aşaması esnasında çeşitli kademelerinde kullanılan taşıyıcı sistemler bulunmaktadır. Bu durumu tamamıyla üretim maliyetini de etkilemektedir. Taşıyıcı sistemleri seçimini yaparken, hammadde kalitesinin bozulmamasına dikkat edilmeli rutubet, hacim ve ağırlık gibi özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır [23].

1.5.5. Yongaların depolanması

Yonga levha üretim tesislerinde yongaların uygun şekilde depolama işleminin yapılması için silolar tercih edilmektedir. Bu kullanılan silolar da yaş yonga, kuru yonga ve talaş tozu için kullanılmak üzere kendi içerisinde sınıflandırılır. Siloların görevi tam olarak tanımlanacak olursa, kurutmaya, inceltmeye veya tutkallanmaya verilen yongalar ile yongalama makinelerinden gelen yongaları toplayarak homojen bir şekilde serme makinelerine iletmektir [38].

1.5.6. Yongaların tutkallanması

Ağaç türünün de etkili olmasının yanında bir de yapıştırıcı performansı da levha kalitesini büyük oranda etkilemektedir [70]. Yongaların tutkallanma oranının levha kalitesi açısından çok önemli bir konu olmasından ötürü, yonga yüzeyi ve tutkal arasındaki oran genel olarak 1 m² yonga yüzeyi için 8-12 gr sıvı tutkal olarak

belirlenmiştir. Tutkallamanın noktasal şekilde yapılması tutkal sıvısının aynı büyüklükte çok küçük taneciklere ayrılması ile yongalar üzerinde homojen bir dağıtma amaçlanır. Buradaki amaç, yongalara gelen tutkal sıvısının tanecik boyutlarının azaltılması ve böylelikle yonga yüzeylerine isabet eden tane sayısı artarak yonga yüzeylerini daha fazla tutkal sıvısına maruz bırakılmasıdır. Bu işlemi yaparken tutkal tanecik boyutunu da çok fazla azaltmamak gerekir çünkü yongalar üzerine giden minik tutkal tanecikleri havaya karışır ve yongaların yüzeyine isabet ettiğini tespit etmek zorlaşır. Yonga levha üretiminde tutkallama aşamasının iyi şekilde yapılmaması mekanik ve fiziksel özellikleri olumsuz etkilemektedir [38].

1.5.7. Tutkal hazırlığı ve diğer kimyasalların eklenmesi

Yonga levha üretimlerinde %60-65 katı miktarına sahip sulu çözelti halinde piyasada bulunan ÜF (üre-formaldehit) tutkal çeşidi tercih edilmektedir. Bazı tesisler tutkal ihtiyaçlarını firma içerisine tutkal tesisleri kurarak yaparken bazı tesislerde direk başka firmalardan hazır olarak satın almaktadır.

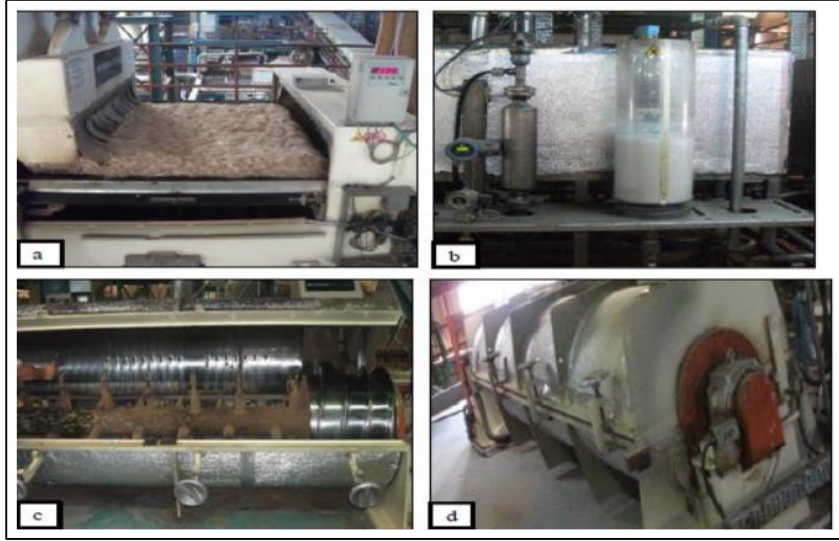
Üre-formaldehit tutkalının beyaz veya şeffaf renkte, yoğunluğunun da 1,27-1,29 g/cm³ arasında, pH'ı 8-9 arasında olduğu bilinmektedir.

% katı miktarları seyreltme işlemi yapılarak ayarlandığından dolayı genellikle yongalar üzerinde homojen bir dağılım olması için %65'lik olarak satın alınan veya üretimi yapılan üre-formaldehit tutkalını %45-55 konsantrasyonlara seyreltme işlemi yapılarak kullanılması öngörülmektedir.

Tutkal çözeltisinin depolama şartları sıcaklık ile değişme göstermekte olup, 25 °C de 1 ay veya 20 °C de 2 ay olarak saptanmıştır [23].

Yonga levhalara sertleştirici, parafin ve alev geciktirici kimyasallar da tutkala ya da yongalara karıştırılarak üretim gerçekleştirilir. Bu kimyasallar üretim hattının başka bir yerinden veya tutkal-yonga karıştırıcısından verilmek üzere iki şekilde ilave edilebilirler [70].

Şekil 1.19' da yongaların tutkallama hattına gönderilmesi, tutkalın dozajlanması ve yongalara uygulanması görülmektedir [23].



Şekil 1.19. a.Yongaların tutkallama hattına gönderilmesi, b. Tutkal dozajlama ünitesi, c. Tutkallama makinesi, d. Yongaların tutkallanması [23]

1.5.8. Levha taslağının oluşturulması

Levhaların eşit bir şekilde serilerek ve levhaların presleme aşamasına hazır hale getirilmesi işleme serme denilmektedir. Serme yapılan yongaların kalınlığı, levha kalınlığının 3-20 misli olması gerekmektedir. Bu kalınlığın oluşmasında etkili olan etmenler yonga çeşitleri ve kullanılan ağaçların cinsleridir. Yonga boyutları için tek tabakalı, çok katlı veya katları belirsiz levhalarda onlara uygun serme başlıkları kullanılarak eşit bir şekilde serme işlemleri yapılmaktadır [23].

1.5.9. Presleme

Yongalar çeşitli serme sistemlerini kullanarak serme işlemi ile çok sıkı olmayan ve kalın bir keçe oluşturmaktadırlar.

Keçe ve levha kalınlıkları arasında bir oran bulunmaktadır. Bu oran keçe kalınlığı levha kalınlığının tam olarak 20 katı civarında olmalıdır. Bu sıkı olmayan keçenin sarsılma yaşaması sonucunda ince haldeki yonga levha parçacıkları alt kısımlarda toplanır. Böyle oluşan durumlarda levhaların mekanik, fiziksel özelliklerinde veya levha görünüşünde problemlere neden olmaktadır [38].

Yonga levha üretimi için ekonomik bakımdan farklılıklar gösteren çok katlı veya tek katlı pres makineleri kullanılmaktadır [73].

Şekil 1.20’de çok katlı pres görüntüsü verilmiştir.



Şekil 1.20. Çok katlı pres [74]

Serme işleminden sonra gelen presleme aşaması yonga levha alanında soğuk ve sıcak pres olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Hazırlanan levha pastası direk sıcak prese verilmez ki eğer bu işlem yapılırsa pres katları arasındaki boşluk artar ve dolayısı ile presin kapanma süresi uzayarak ısı kaybının yaşanmasına sebebiyet verir. Ayrıca bu durum yüzey düzgünlüğü bozar, levhanın üst ve orta tabakaları birbirine kenetlenmez, ince yongalar yaşanan sarsıntı ile alt tabakaya geçer ve levha uyumunun bozulmasına neden olur. Önce soğuk prese yani ön prese levhalar gönderilmelidir. Soğuk presin basıncı 15–20 kg/cm² arasında değişmektedir [71].

Soğuk pres işlemi levhanın sıkıştırılma işlemini yapar ve levha içerisindeki hava çıkışını sağlamaktadır [27].

Levha pastası yonga levha özelliğini sıcak pres esnasında kazanır. Levha pastası, sıcak pres altında hangi kalınlıklarda isteniyorsa o levha kalınlığına kadar sıcaklık altında sıkıştırılır ve bu sıcaklık ile tutkal sertleşerek düzgün bir levhanın üretilmesi sağlanır [70].

Sıcak presleme aşamaları levha pastasını istenilen kalınlıkta preslenmesi, yapışma için istenilen basıncın ayarlanması, sıcaklığın ayarlanarak tutkalın sertleşmesinin sağlanması ve son olarak yongaların levha oluşturacak şekilde birbirine yapıştırılması işlemlerinden oluşur.

1.5.10. Sıcak presleme sonrası işlemler

Levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin istenilen şekilde olması için pres ve presten önceki aşamaların hatasız yapılmış olması gerekir. İstenilen özelliklerde üretimi gerçekleştiren yonga levhanın bazı kusurların oluşmasını engellemek için sıcak presleme sonrası bazı işlemler yapılır.

Pres aşamasından sonra üretilen levhaların belirli bir dereceye (yaklaşık 70 °C altında) kadar soğutulma işlemi yapıldıktan sonra üst üste istifleme işlemi yapılmalıdır. Eğer soğutulmadan istiflenme yapılırsa üre-formaldehit tutkalı rutubet alarak hidroliz olur ve mekanik değerlerin direkt düştüğü gözlenir. Bu durum sadece bağlayıcı olarak üre-formaldehit tutkalı kullanılan yonga levhalarda geçerlidir. Mesela fenol-formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhalar için direkt sıcak istiflemeye yapılmaktadır. [27].

Üre-formaldehit kullanılan yonga levhalarda oluşan rutubet dengesizliği iç gerilme ve deformasyona neden olur. Bu durumların yaşanmaması için presten çıkan levhaların yıldız soğutucular kullanılarak istenilen sıcaklıklara (yaklaşık 60-70 °C) kadar soğutulması gerekmektedir (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Yıldız soğutucu [69]

1.5.11. Levhaların sınıflandırılması

Levhaların kalınlığının presleme sonrası veya zımparalama öncesi ölçülmesi gerekmektedir. Bu ölçüm sonucunda kalınlık oranlarındaki sapmalar ± 0.3 mm' den fazla ise ikinci sınıf olarak sınıflandırılarak bu şekilde depolama yapılır. Levhalar zımparalama işleminden sonra, 18-24 °C sıcaklıkta ve % 60-65 rutubete sahip olan depolarda istiflenmektedir. TSE Standartlarına göre numune alma, kesme, rutubet,

yoğunluk, kalınlık, su alma, şişme, çekme, yüzey dağılımı, vida tutma vb. testler yapılarak yonga levhaların uygun olup olmadığına karar verilmektedir.

1.6. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri

1.6.1. Yoğunluk

TS EN 323 (1999)'de belirlenen esaslara göre yapılmaktadır. TS-EN 326-1 (1999)'de uygulanan esaslara göre 20 ± 2 °C sıcaklıkta ve $\%65 \pm 5$ bağıl nemi bulunan ortamda soğutulan numune örnekleri 0,01 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır.

Levhanın boyutları da 0,01gr hassasiyetli kumpas yardımıyla yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra, yoğunluk hesabı denklem 1.1 kullanılarak yapılmıştır (ρ);

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6 \text{ kg/m}^3 \quad (1.1)$$

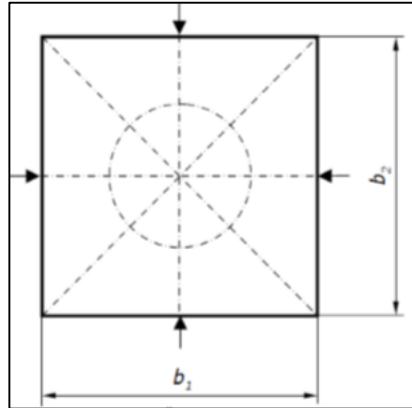
Denklemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklem içerisinde kullanılan sembol anlamları;

$$\rho = \text{Yoğunluk (kg/m}^3\text{)}$$

$$m = \text{Örnek kütlesi (g)}$$

$$b_1, b_2, t = \text{Örnek hacim (mm}^3\text{)}$$

b_1, b_2 kenar uzunluklarına sahip olan numuneler 0,1 mm hassasiyetle Şekil 1.22'de gösterildiği gibi ölçüm yapılarak bu değerler bulunmuştur [74].

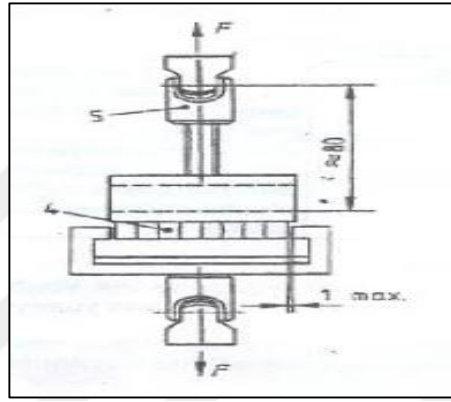


Şekil 1.22. Ölçme noktaları [74]

1.6.2. Yüzeye dik çekme direnci

TS EN 319 (1999), levha yüzeyine dik çekme dayanımı standartına göre yapılmaktadır. Bu deneyde levha parçalarında dik pozisyonda belirli bir çekme kuvveti altında levha parçasında kırılma meydana gelinceye kadar kuvvet uygulamaya devam edilir ve çıkan değer ile yüzeye dik yönde çekme direnci hesaplanır.

Deney makinesi, kavrama çeneleri arasına (Şekil 1.23) yerleştirilen levha numuneleri yüzeylerine dik yönde çekme direnci uygulayarak ve uygulanan direncin %1 hassasiyetle ölçülmesi gerekmektedir [75].



Şekil 1.23. Çekme testi düzeneği için deney haznesi

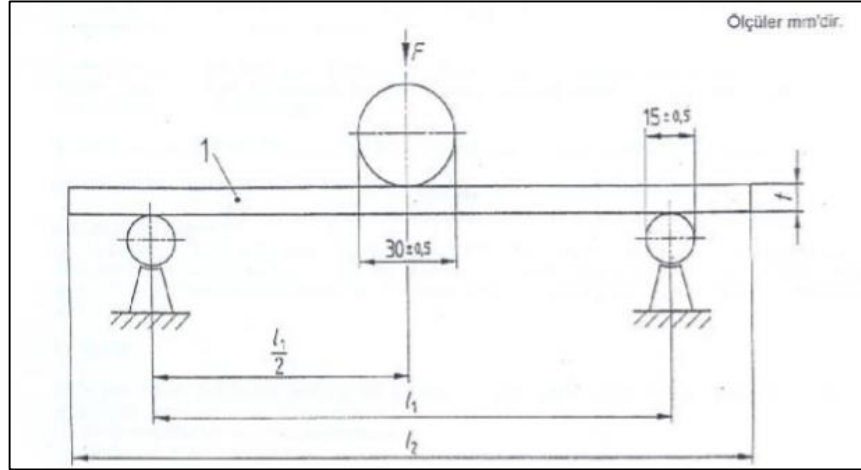
Yüzeye dik yönde çekme direnci hesabı levha numuneleri yüzeyine uygulanan en yüksek değerde olan çekme kuvvetinin, levha numunesinin yüzey alanına oranı ile bulunmaktadır.

1.6.3. Eğilme direnci

TS EN 310 (1999) ahşap esaslı levhalar-eğilme dayanımı tayini esasına göre yapılmaktadır. Eğilme direnci iki dayanak üzerine yerleştirilen levha numunelerine, orta kısmından bir kuvvet uygulanarak hesaplanır.

Eğilme dayanımı, maksimum kuvvet ' F_{max} ', toplam en kesit alanına oranı yoluyla hesaplanır.

Kuvvet ölçme aleti, deney parçasına uygulanan yükü 0,01 (%1) hassasiyetle ölçebilecek uygunlukta olmalıdır [76].



Şekil 1.24. Eğilme Direnci Düzenegi [76]

Aşağıdaki formülle hesaplama yapılır:

$$E.D. = \frac{3xF_{max}L}{2xbxd^2} \text{ N/mm}^2 \quad (1.2)$$

Burada;

E.D: Eğilme dayanımı (N/mm²)

Fmax: Numunenin kırılma anındaki en yüksek kuvvet (N)

L: Eksenleri arasındaki uzaklık (mm)

b: Numunenin genişliği (mm)

d: Numunenin kalınlığı (mm)

1.6.4. Rutubet

Rutubet yüzdesi TS EN 322 (1999)'a göre yani rutubet miktarının tayinine göre yapılmaktadır. Rutubet miktarının, deney parçasından numune alındıktan hemen sonra tartılan kütlesi ile, (103±2)°C'de değişmeyen kütleye kadar kurutma yapıldıktan sonra tartılan kütlesi arasındaki farkın, kurutulduktan sonraki kütleye oranının yüzde olarak hesaplanmasıdır. Teraziler ±0,01 gram hassasiyetle ölçme yapabilmelidir [77].

Her deney parçasının rutubet miktarı (H), yüzde olarak %0,1 yaklaşımla ve eşitlik 1.3'teki formülle hesaplanır:

$$H = \frac{mH - mO}{mO} * 100 \quad (1.3)$$

H : Rutubet yüzdesi (%)

mH: Soğutulmuş numune örneği (g)

mo:kuru olan numune örneği (g)

1.6.5. Yüzey dayanımı

Yüzey Dayanımı TS EN 311 (2005) yüzey dayanımı test metoduna göre yapılmaktadır. Levhanın yüzeyindeki yonga veya liflerle levha yüzeyi altındaki tabaka (kaplanmamış levhalar) veya kaplama malzemesi ile altındaki tabaka (kaplanmış levhalar) arasındaki mukavemet veya yapışmanın kalitesi test edilmektedir [78].

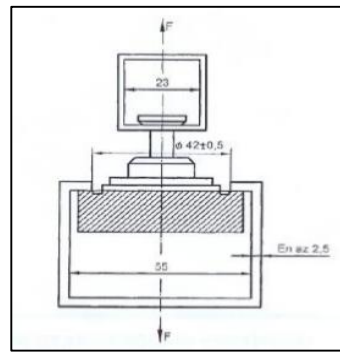
Her deney parçasının yüzey sağlamlığı (SS) N/mm² olarak eşitlik 1.4'deki formüle göre hesaplanır.

$$SS = \frac{F}{A} \quad (1.4)$$

F=En büyük kuvvet, N

A=Yüzey alanı (1000 mm²)

Şekil 1.25'de çekme cihazına monte edilmiş yüzey dayanımı ölçümü yapan metal aparat görülmektedir.



Şekil 1.25. Çekme deneyi cihazına monte edilmiş çelik askı [78]

1.6.6. Formaldehit emisyonu

Formaldehit emisyonu TS 4894 EN 120 (1999) formaldehit miktarının tayini-ekstraksiyon yöntemi standardına uygun olarak perforatör yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde ekstraksiyon ile levhadaki serbest formaldehitin suya geçmesi işleminin yapılabilmesi için belirli miktardaki örnek toluen içerisinde kaynatılmaktadır.

Bu işlem ile formaldehit, kaynayan toluen ile levha numuneleri ekstrakte edilir ve bu işlem sonrası damıtık veya deiyonize su içine aktarılır. Su içeren çözeltinin formaldehit içeriği, asetil aseton yöntemi ile fotometrik olarak analiz edilir [78]. Bu yöntemin detayları şöyledir ki; 23 ± 1 ve %40 RH şartlarında kondisyonlanan yaklaşık 110-120 g ağırlığındaki, levha örnekleri perforatör cihazının cam balonu içine konulur ve üzerine 600 ml toluen hammaddesi eklenir. Toluenin geri akışı dakikada 70 ile 90 damla olacak şekilde ekstraksiyon süresinde ayarlama yapılması sağlanır. Ekstraksiyon işlemi ilk damlanın da sayılması ile tam olarak 2 saat devam eder ve sürenin sonunda düzenek ve balonun soğuması beklenir. Daha sonra perforatör içindeki formaldehit su karışımı 2000 ml'lik balon jøjeye aktarılıp üzeri saf su ile tamamlanır. Karışımın homojen olması istendiği için çalkalanır ve deneye hazır hale getirilir. Bu aşamadan sonra biri test diğeri kör numune için kullanılmak üzere 2 adet temiz tüp alınarak ikisine de 4,5 ml sıvı ölçüm kitinden ve 1 mikro kaşık toz ölçüm kitinden konularak iyi bir karıştırma işlemi yapılır. Test tüplerinin üzerine 3 ml formaldehitli su, kör numune tüpüne ise 3 ml saf su eklenip 10 dk'lık reaksiyon süresi için beklenilir. Ardından damıtık suya karşı 412 nm dalga boyunda spektrofotometre ölçümüne geçilir [79].

Formaldehit emisyonu eşitlik 1.5 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$F.E = \frac{2 * X_r}{m_0} * 100 \quad (1.5)$$

Burada;

F.E: Formaldehit emisyonu (ml/100g)

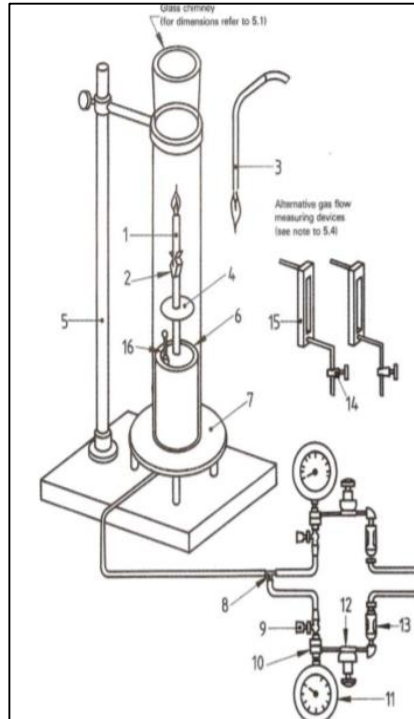
X_r: Fotometik cihazda okunan değer

m₀: Tam kuru ağırlık

1.6.7. Limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI)

Limit oksijen indeksi, belirli deney şartlarında, dik olarak oturtulmuş örneklerin yanma işlemleri için, azot ve oksijen gaz kombinasyonları içerisinde bulunması gereken en az miktarda oksijen konsantrasyonu değeridir. Bu analiz sonuçları hacimce % oksijen cinsinden cihazdan okunmaktadır. Bu analiz, ASTM D2863 [81] veya ISO 4589-2 ve 4589-3 [81,82] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilen analiz işlemlerini içermektedir.

Her tür malzemeler için önceden belirlenmiş ve istenen boyutlara getirilen deney numuneleri, düşey pozisyonda ve içerisinde yukarı yönde oksijen ve azot karışımı geçen cam bir baca içerisinde yerleştirilmektedir [54]. İstenilen ebatlara getirilen örneklerin üst kısmı herhangi bir alev yardımı ile tutuşturularak örneklerin yanma etkileri gözlemlenmektedir. Burada gözlenen yanma değerleri ile önceden belirlenen değerlerle kıyaslanır. Farklı oksijen konsantrasyonları ile, bir seri örnekler kullanılarak yapılan analizler, yanmanın devam etmesi için gerekli olan LOI değeri istatistiksel bir yöntem ile hesaplanır. Bu yöntem Dixon'ın alt-üst yöntemidir [54]. Şekil 1.26'da oksijen indeks sisteminin şematik görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1.26. Oksijen indeksi test cihaz sistemi [82]

Oksijenin havadaki standart volumetrik konsantrasyonu yaklaşık olarak % 21'dir. Bu yüzden, oksijen indeks değeri % 21'den büyük olan maddeler kendiliğinden sönen (self-extinguishing) ve oksijen indeks değeri % 21'den küçük olan maddeler ise havada yanabilen malzemeler olarak ifade edilmektedirler. Yüksek oksijen indeks değerine sahip malzemenin yanmaya karşı dayanıklı olduğunu anlayabiliriz [83]. Denkilil 1.6' da sınırlayıcı oksijen indeksinin hesaplama formülü verilmiştir:

$$LOI = \frac{O_{2,cr}}{O_{2,cr} + N_2} \quad (1.6)$$

[O_{2,cr}]: Minimum oksijen derişimi

[N₂]: Azot derişimi [85].

1.6.8. UL-94 dikey yanma testi

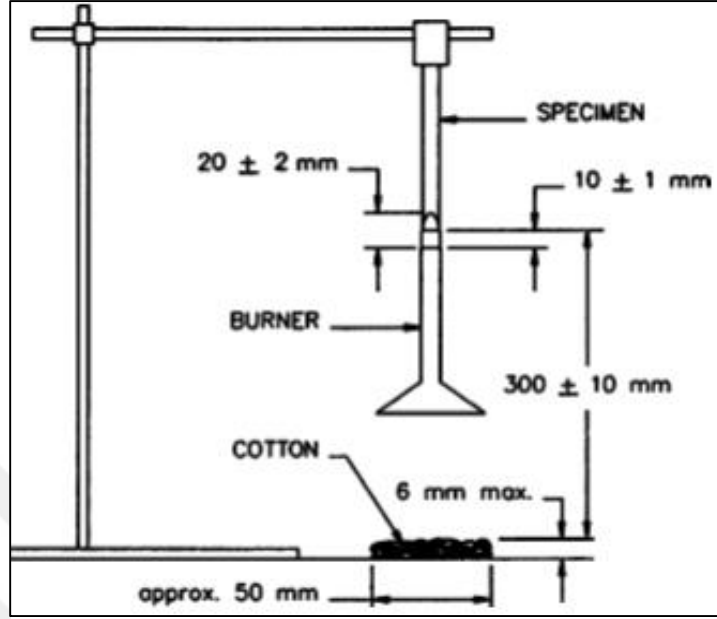
UL-94 dikey yanma testi, tutuşturma kaynağı (alev beki) ile temasta olan dikey konumlu örneklerin yanma davranışlarının analizinin yapılmasında uygulanmaktadır [85].

Prosedür, aynı bileşime ve geometriye sahip bir dizi numunenin iki ile on saniyelik yangın uygulaması için standart bir test programına tabi tutulmasından oluşur. Sonraki alev süresi ilk alev uygulamasından sonra kayıt edilir ve ikinci alev uygulamasından sonra alev sonrası süre ile beraber son parlama süreleri de kayıt edilir. Ayrıca numunenin yanma sonucu kıvılcımların damlayıp damlamadığına dair bilgiler de kayıt edilmektedir.

Standart numune geometrisi, tayin amaçlarına uygun kalınlıkta 13,0 ± 0,5, 12,5 ± 5 mm olmalıdır. Eğer numuneler 13 mm'den daha kalın ise bu test yöntemi ile test edilmemelidir. Yüzeylerin pürüzsüz ve kesintisiz olması beklenir. Köşe yarıçapı 1,3 mm'yi geçmemelidir. Herhangi bir kesme işleminden sonra, çapakları, testere izlerini ve kalıntıları gidermek için kenarlar için ince zımparalama işlemi yapılması istenir.

UL-94 yanma testi, indüklenmiş veya zorlanmış hava akımı olmayan bir oda veya laboratuvar da bulunan çeker ocakları içerisinde gerçekleştirilmelidir. Çünkü yanan ürünler toksik bileşikler içerdiğinden dolayı egzoz fanlı bir laboratuvar çeker ocak gibi bir yerde gerçekleştirilmesi yanma ürünlerinden çıkan duman ve toksikleri içine alarak

uzaklaştırmada yardımcı olur. Şekil 34'de UL-94 dikey yanma testinin sisteminin görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 1.27. UL-94 Dikey Yanma Düzenegi [87]

Boyunun 6 mm üstünden bir numune boyunca 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. Şekil 34'teki gibi sistem olacaktır. Brülörü numuneden uzağa yerleştirilir, mavi alev 20 ± 2 mm yüksekliğinde olacak şekilde ayarlanarak ateşleme işlemi yapılır [86].

UL-94 dikey yanma testinde alev, örneğe 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, tek tek tüm numunelerin bireysel yanma zamanı, numunelerin hepsinin toplam yanma zamanı ve düşen alev miktarı ile ilgili olarak üç şekilde (V0, V1, V2) numuneler sınıflandırılır. UL-94 testi için kategorilendirme şartları Tablo 1.1'de gösterilmektedir [86].

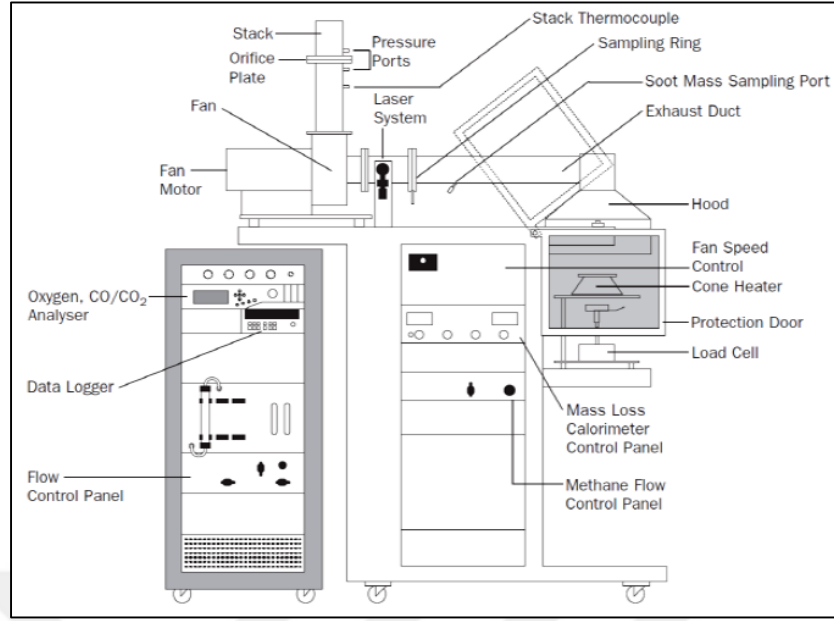
Tablo 1.1. UL-94 için kriterler [87]

Kriterler	V-0	V-1	V-2
Her numune için bir süre sonra t_1 veya t_2	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
Herhangi bir koşul seti için yangın süresinden sonraki toplam (beş numune için $t_1 + t_2$)	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
İkinci alev uygulamasından sonra her bir numune için alev ve son parlama süresinden sonra (beş numune için $t_1 + t_2$)	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
Pamuğun parçacıklar ile alev alması	Hayır	Hayır	Evet
Parçanın bütünüyle yanması	Hayır	Hayır	Hayır

1.6.9. Konik kalorimetre

Konik kalorimetre testi yangına dayanıklılık tespitinde en önemli tezgah ölçekli cihaz olarak kabul edilmektedir. Bu cihaz sayesinde bir numunenin ısı yayılım oranını (HRR) Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO 5660-1) tarafından belirlenen kurallara göre ölçülmektedir. Çoğu yakıtın tüketilen oksijen kg'ı başına yaklaşık 13,1 MJ enerji ürettiği bilinmektedir. Bu nedenle ısı yayılım oranı, yanma sırasında tüketilen oksijenin salınan ısı ile orantılı olması ile ilgilidir. Konik kalorimetre cihazı ile bir de yanma gazları analiz edilir ve belirli bir ısı akışına maruz kalan bir numunede üretilen dumanı ölçülebilir. Açığa çıkan ısıyı hesaplamak için oksijen konsantrasyonu ölçülmelidir fakat doğruluğu daha da artırmak için karbon monoksit ve karbondioksit konsantrasyonları da analiz edilebilir [87].

Konik kalorimetresi çok sayıda temel parça ve cihazdan oluşur. Bu parçalarla birlikte sıcaklıklar, kütle, gaz akışı ve konsantrasyon gibi çeşitli parametreleri ölçer, kaydeder ve ayarlar. Şekil 1.28'de konik kalorimetre cihazını ve parçalarını tanıtan şematik gösterimi bulunmaktadır [88].



Şekil 1.28. Konik kalorimetre cihaz düzeneği [88]

Yangın ile ilgili araştırma yapan gruplar tarafından konik kalorimetre cihazı ile malzemelerin yanma özellikleri için bir veri kaynağı oluşturulduğu konik kalorimetre cihazı ile ifade edilmektedir. Bu cihaz ile bir yakıt numunesi test edildiğinde yüzeyi farklı ısı akışlarıyla yayılma gösterebilir. Yakıt numunesi aşırı havada tutuşur ve yanma gösterir. Konik kalorimetre cihazı ile tutuşma süresi, kütle kaybı, duman miktarları, gaz analizleri, ısı yayma oranı ve bir yakıtın yanma özellikleriyle ilgili testler yer almaktadır. Isı salım hızı da, malzemenin kütle kaybı ile yanma ısısının çarpımı olarak tanımlanmaktadır [87].

Test edilecek numune, yük hücreğine yerleştirilen metal bir numune tutucu yardımıyla yerleştirilir. Bu esnada yük hücresi, deney sırasında numunenin ağırlığını kayıt eder. İki tip numune tutucu çeşidi vardır. Bunların kullanım şekli numuneye bağlı olarak tutucunun kenarları açık veya kapalı olacak şekilde farklılık gösterebilir. Eğer numune şişen tipteyse (yani, numune şişer ve koruyucu bir kömür tabakası oluşturur), şişme meydana geldiğinde numuneyi yerinde tutmak için kablolu bir ızgara takılmaktadır.

Koni ısıtıcının altındaki numune yüzeyinin hemen üzerinde bir kıvılcım ateşleyicisi yer alır ve numune ısıtıldığında numuneden çıkan yanıcı gazları tutuşturma görevi vardır. Numune alanının tamamı yandığında, ateşleyici kapatılır ve yana doğru hareket ettirilir. Cihazın kalibrasyonu sırasında deneyden önce, numune yüzey seviyesine su soğutmalı bir ısı akışı ölçüm cihazı yerleştirilir. Koni ısıtıcı daha sonra numunenin

yüzeyinde istenen ısı akışını veren sıcaklığa ayarlanır. Koni genelde yatay olarak monte edilmektedir fakat istenirse dikey yönlendirme de mümkündür. Bu test aparatının adı, ısıtıcının şeklinden kaynaklanmaktadır. Isıtıcı, magnezyum oksit refrakter içinde paketlenmiş 3 m'den uzun dirençli bir ısıtma telinden konik bir şekle sarılır.

Temel konik kalorimetre deneylerini yapmak için gereken tek analizör oksijen analizörüdür. Karbon monoksit ve karbondioksit analizörleri gibi ek analizörler takılması da yanma sürecini daha iyi anlamak ve sonuçlardaki belirsizlikleri azaltmak için kullanılmaktadır. Konik kalorimetre yazılımı, aşağıdaki 1.7'de ki denklemle ısı yayma oranını hesaplar:

$$q = (13 \cdot 10^3) * 1,10 C * \left(\frac{0,2095 - X_{O2}}{1,105 - 1,5 X_{O2}} \right) \quad (1.7)$$

q=ısı yayma oranı (kW)

C=Plaka Katsayısı ($\text{kg}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2} \cdot \text{K}^{1/2}$)

ΔP =Plaka boyunca basınç düşüşü (Pa)

T_e =Plakadaki gaz sıcaklığı (K)

X_{O2} =Egzos havasında ölçülen O_2 mol fraksiyonu

Standart numunenin boyutları 100 x 100 mm²'dir. İzin verilen maksimum numune kalınlığı ise 50 mm'dir. Numune alüminyum folyoya sarılmalıdır. Çünkü sadece üst yüzey konik ısıtıcıdan gelen ısı tarafından yayılması sağlanır. Numunenin kenarları radyatif ısıya maruz bırakılmamalıdır. Kıvılcım ateşleyicisi numune yüzeyinin yukarısına yerleştirilmeden ve gerçek yanma testi başlatılmadan önce, temel verilerin 60 saniye boyunca toplanması gerekir. Çünkü deneysel veriler daha sonra bu temelden 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 CO₂ verimleridir. CO ve duman tipik olarak eksik yanmadan kaynaklanır ve yanma işlemi alev geciktiriciler tarafından engellenirse istenen ürünler elde edilmiş olur [89].

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Neme dayanıklı yonga levha (dış mekân kullanımı için), ince yonga levha (mobilya sektörü için), yüksek yoğunluklu yonga levha (döşeme için) ve yangın geciktirici işlem görmüş yonga levha gibi durumlarda kullanımlarına göre farklı yonga levha türleri üretilmektedir. Alev geciktirici yonga levha üzerine araştırmalar önem kazanıyor. Yonga levha üretimi için temel hammadde yanıcı olan ağaçtır. Bu nedenle, ahşap parçacıklarının ve / veya elde edilen yonga levhanın alev geciktirici kimyasallar kullanılarak işlenmesi gerekir [90]. Yonga levha üretimi esnasında yapıştırıcı olarak kullanılan çeşitlerden biri üre- formaldehit tutkalıdır ve üre ile formaldehitin yaptığı bir kondenzasyon ürünüdür. Üretimi gerçekleşen tutkalın; pH değeri, reaksiyon süresi, sıcaklık ve katalizör miktarı tutkalın mol oranını etkilemektedir [91]. Diğer bir reçine çeşidi ise melamin-formaldehittir. Melamin-formaldehit reçinelerinin üretim adımları üre-formaldehit reçineleri ile hemen hemen aynıdır. Ancak bu reçineler diğer reçine çeşitleri yani fenol-formaldehit ve üre-formaldehit ile kıyaslandığında daha pahalı olduğu söylenebilir. Rutubete karşı dayanıklılığını üre-formaldehit reçinelerine oranla yüksek, fenol-formaldehit reçinesine göre ise daha dayanıksız olduğu tespit edilmiştir [92]. Literatür incelemesi, endüstriyel ve kurumsal uygulamalar için ahşap yonga levha kullanmanın ana sınırlamalarından birinin, ahşap, esas olarak yanıcı organik karbon bileşiklerinden oluşan ve doğal olarak büyüyen bir malzeme olduğu için yanıcılık olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, ahşap ve ahşap yonga levhaların yangın geciktirici muamelesi çok önemli bir önlemdir [93]. Literatürde yonga levhanın alev dayanımını arttırmak için yapılan çalışmalar incelenmiş ve sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Hashim ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, orta yoğunluk sunta (MDF) kauçuk ağaç lifleri ile 21.2 cm x 21.2 cm x 0.5 cm ebatlarında laboratuvar presinde, yapıştırıcı olarak UF reçinesi kullanılarak levha üretimi gerçekleştirmişlerdir. Deney panellerinin alev dayanımı kazandırmak için sodyum alüminat, çinko borat ve alüminyum trihidrat kimyasallarını % 10, % 15, % 20 ve % 30'luk solüsyonlar halinde hazırlayarak levhaların su emme, kalınlık şişmesi, eğilme özellikleri ve iç yapışma mukavemeti gibi

fiziksel ve mekanik özelliklerini gözlemlemişlerdir. Panellerin alev geciktirici özellikleri, kömür indeksi, ağırlık kaybı ve elips alanının boyutu ile birlikte bir Kabin Yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Son olarak, MDF panellerinin termal özelliklerini analiz etmek için termogravimetri analiz (TGA) yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, alev geciktirici arttıkça kalınlığın şiştiğini ve su emiliminin azaldığını göstermiştir. Alev geciktirici yüzdesi arttıkça kömür indeksi azaldığını, elips alanı ve ağırlık kaybı azaldığı tespit edilmiştir. Termal bozunma açısından, sodyum alüminat ile muamele edilmiş levhaların en iyi sonuç verdiğini, bunu alüminyum trihidrat ve çinko borat ile muamele edilmiş levhalar takip ettiği görülmüştür [94].

Jiang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise, aleve dayanıklı ahşap elde etmek için reaktif üre-formaldehit oligomeri ile birleştirilmiş azot-fosfor bazlı alev geciktirici ile muamele edilmiştir. Mol oranları sırasıyla APPUF 0.5, 0.75 ve 1.0 ile 3 farklı tipte alev geciktiricili üre formaldehit oligomerleri elde edilmiştir. Alev geciktiriciler %10, %15, %20, %25 oranlarında ayrı ayrı sulu çözeltileri hazırlanarak ahşap numuneleri içerisine daldırılarak belli bir sürede alev geciktiricilerin ahşabın içerisinde nüfuz etmesi için bekletmişlerdir. İşlenmiş ahşabın kabarma önleyici verimliliği, alev geciktiriciliği LOI ile, morfolojik analizleri (SEM), su itici verimliliği ve termal bozunmasını araştırmak için termogravimetri (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DSC) yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Alev geciktirici APPUF'lerin ahşaba empenye edilmesi ile, yüksek kaliteli kullanımı hedefleyen ahşabın özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği şeklinde yorum yapmışlardır. Kontrol numunesinin LOI miktarı 23 gelirken en yüksek LOI miktarı 57 değer ile en yüksek APPUF 1.0 ile muamele edilmiş ahşap numunesinde görülmüştür. Çalışmanın sonucunda, fiziksel özelliklerin önemli ölçüde iyileştirilmesinin yanı sıra, LOI değerleri, ahşap malzemenin alev geciktirici APPUF'lerin eklenmesiyle yanmaz malzeme aralığına yaklaşabileceğini göstermiştir [95].

Mamatha ve arkadaşlarının yaptığı diğer bir çalışmada ise, alev geciktirici kimyasal olarak fosfor, azot ve bor içeren kimyasallar ve bileşimleri kullanmışlardır. Yonga levhaların üretimi için melamin üre-formaldehit reçinesi kullanılarak ya ahşaba işlenmesi şeklinde ya da tutkal içerisine kimyasalların eklenmesiyle 2 yöntem kullanmışlardır. Her bileşimin üçlü levhaları MUF reçinesi kullanılarak yonga levha numuneleri AC1, AC2, AC3, AC4, AC5 olarak adlandırılmıştır. Farklı oranlarda

hazırlanan yonga levha numunelerinin yanma dayanımını test etmek için LOI değerlerine bakılmıştır. LOI değerleri ahşap üzerine geciktirici kimyasalların eklenmesi ile % 29'dan en yüksek % 38'e yükselme göstermiştir. Levhaların fiziksel ve mekanik analizleri de test edilmiştir. Ahşaba kimyasalların işlenmesi metodu ile yapılan yonga levha numune sonuçlarının tutkal içerisine kimyasalların eklenmesi ile yapılan yöntemle göre daha iyi yanma ve fiziksel mekanik özelliklerin iyileştiğini gözlemlemişlerdir [96].

Jiang ve arkadaşlarının başka bir çalışmasında, bir molekül içerisinde fosforik asit, pentaeritritol ve melaminden sentezlenen bir tür IFR, doymamış polyester reçinelere uygulandı ve doymamış polyester reçinelerin artan alev geciktiriciliği UL-V0 seviyesine ulaşmıştır. Sentezlenen IFR reçinesi ile pentaeritritol ile muamele edilmiştir ve adı FRP alev geciktirici, üre ile muamele edilince FRU alev geciktirici, trietanolamin ile muamele edilince adına FRT alev geciktirici olarak isimlendirme yapmışlardır. Oluşan alev geciktiriciyi de % 30 oranında sulu çözeltileri hazırlanarak ahşaba işlenmesini sağlamışlardır. Ahşapların yanma özellikleri karakterizasyonu LOI ile tespit etmişlerdir. Yapılan LOI testinden sonra oluşan kalıntıların taranması için elektron mikroskobu (SEM) görüntülerini analiz etmişlerdir. Ahşabın ısıl bozunması davranışı termogravimetri (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DSC) yöntemlerini kullanmışlardır. En yüksek LOI değerini 57,5 ile üre ile muamele edilmiş FRU alev geciktirici ile elde etmişlerdir. Karakterlerin SEM görüntüleri, alev geciktiricilerin işlenmiş ahşabın yanma sonrası odun lifi bütünlüğünü koruduğunu ve yanan ahşabın yüzeylerinde yanmaz bir kaplama tabakası oluşumunu ortaya çıkardı [12].

Wang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, Plantasyon Çin köknar ağacı, düşük moleküler ağırlıklı fenol melamin üre formaldehit (PMUF) reçinesi, bor bileşikleri (BB) ve PMUF / BB (PMUF-BB) karışımı ve ardından bir kütleme adımı ile modifiye etmişlerdir. PMUF reçinesini laboratuvarında sentezlemişlerdir. Belli oranlarda hazırlanan bu kimyasallar (1.numune kontrol numunesi, 2.numune %2 borik asit ve %4 boraks karışımı, 3.numune %30 PMUF reçinesi, 4.numune %30 PMUF reçinesi, %2 borik asit, %4 boraks karışımı) sulu çözelti halinde preslenen ahşap numunelerine emprenye edilerek nüfuz etmesi sağlanmıştır. Ahşap numunelerinin emprenye işleminden sonra kurutularak nem içeriklerini %10 civarında olmasını sağlamışlardır. Ahşabı yangın performansı ve termal bozunması LOI, koni kalorimetresi ve eş zamanlı

termal analiz (TGA) ile yapılmıştır. LOI sonuçlarına göre, 2. 3. ve 4. numuneleri için kontrol numunesine (%24,1) kıyasla % 50,7, % 43,5 ve % 55,0'a yükseldiğini göstermiştir. PMUF reçinesi, ahşabın ısı salım oranını düşürdü, ancak kontrol numunelerine kıyasla toplam ısı salımını arttırmıştır. Termal analiz sonuçları, PMUF reçinesinin ahşabın termal stabilitesini arttırdığını, ancak kömür kalıntıları üzerinde çok az etkisi olduğunu göstermiştir. Bor bileşikleri ile kombine işlem, PMUF ile modifiye edilmiş ahşap için yangın riskini önemli ölçüde azaltabildiğini ve kamusal ortamlarda uygulama için yararlı olduğunu ispat etmişlerdir [97].

Lu ve arkadaşlarının yaptığı diğer bir çalışma ise, hem empenye hem de kompozit yapım aşamaları içermektedir. Ahşabın alev dayanımını arttırmak için organik bir asit olan fosforik asit (FA) ve melamin hammaddeleri kullanılmıştır. Bu kimyasalları ahşap ile birlikte önce sadece FA ile sonra melamin ile daha sonra her ikisi ile birlikte buharlı ve buharsız olarak çeşitli vakum şartları kullanılarak sentezleme işlemi yapılarak kompozit haline getirmişlerdir. LOI ve con calorimetre testleri ile ahşabın yanıcılık karakterizasyonunu test etmişlerdir. İki aşamalı bir yöntem kullanarak % melamin ve ağırlıkça % 25 APP çözümleri LOI değeri % 21.0' dan % 68.5'e yükseltmiştir. MEL / APP modifiye ahşabın alev geciktiriciliği ve higroskopikliği önemli ölçüde iyileştirmiştir. MEL / APP nitrojen fosfor kompoziti, bu molekül sınıfının etkili alev geciktiriciler olarak uygunluğunu göstermiştir [98].

Ma ve arkadaşlarının yapmış olduğu diğer bir çalışmada, sürfaktanlar, kompozit kütleme ajanları, köpürtücü ajanlar, ağaç lifleri susuz MUF reçinesine birleştirilerek kalıba dökülmesi sağlanarak 70° C altında köpükleştirerek yeni bileşikler elde etmişlerdir. Bu köpük numunelerini oluştururken içerisindeki odun lifi miktarlarını % 0, % 5, % 10, % 15, % 20 olarak eklemiştir. Odun lifi-MUF köpüğünün mekanik özellikleri, kırılma dayanımı, alev geciktirici, yalıtım özellikleri ve mikroskobik yapılarını, ahşap lifi miktarının etkisini araştırmak için test edilmiştir. Taramalı elektronik mikroskop (SEM) sayesinde, odun lifi miktarının mikro yapılar ve performanslar üzerindeki etkisi daha da araştırılmıştır. Kompozit numunelerinin yangına dayanım etkisini analiz ederken LOI (limiting oxygen index) analiz metodunu kullanmışlardır. Saf MUF köpüğünden eklenen % 20 odun lifi-MUF köpüğüne kadar, oksijen indeksi % 36,8' den % 41,3'e yükseltilmiştir ve eklenen odun lifi oksijen indeksini iyileştirmede önemli bir rol oynamıştır. Sonuçlar, kompozit köpüklerde odun lifi

miktarının artmasıyla alev geciktirici özelliklerin arttığını, kırılmanın ve mekanik özelliklerin azaldığını göstermiştir. Odun lifi ilavesi, daha homojen hücre boyutu dağılımı ve düzensiz hücre şekli ile sonuçlanarak yalıtım özellikleri üzerinde de çok az etkiye sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır [99].

Zhao ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, alev geciktirici kimyasal olarak melamin pirofosfat (MPP) ve alüminyum hipofosfat (APP) hammaddelerini kullanmışlardır. Bu kimyasalları belirli oranlarda kullanarak ve yine farklı oranlarda polipropilen ve odun lifi ile kompozit haline getirerek ısı kararlılığı üzerindeki sinerjik etkisini araştırmışlardır. Yaklaşık 10 adet farklı oranlarda hazırlanan numunelerin LOI (limiting oxygen index), UL-94 dikey yanma, termogravimetrik analiz (TGA), morfolojik karakterizasyonlarını ve konik kalorimetre cihazı ile de ortalama ısı yayma oranı, toplam ısı yayımı, duman üretim hızı, toplam duman salınımı analiz etmişlerdir. Sonuçları değerlendirdiklerinde ise, LOI değeri hacimce % 29,2' yi UL-94 V-0 derecesini ağırlıkça % 20 MPP / APP (3: 1) bileşimli numuneden elde etmişlerdir. Ek olarak, PP / WF kompozitin toplam ısı yayımı ve duman üretim hızı, saf PP / WF kompozit ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde azalmış, koni testlerinde sırasıyla % 40,0 ve % 23,7 azalmıştır. Bu nedenle, MPP ve APP kombinasyonunun, PP / WF kompoziti için umut verici bir IFR sistemi olduğu kanıtlanmıştır [100].

Ozyhar ve arkadaşlarının yapmış olduğu diğer bir çalışmada, kalsiyum karbonat bazlı bir mineral ile azot içeren fosforlu alev geciktirici (FRC) hammaddelerinin bileşimleri kullanılarak ahşap üzerindeki yanma etkilerini araştırmışlardır. Değişik oranlarda bileşimi sağlanan ahşap kompozitlerini hazırlarken MUF reçinesi kullanmışlardır. Numuneleri belirli oranlarda hazırlanarak yangına tepki ve mukavemet özellikleri üzerindeki etkisi, aleve maruz kaldıktan sonra kendi kendine sönme süresi ve iç yapışma mukavemetini, serbest suyu emme-salma kabiliyetlerini ve termogravimetrik analizlerini (TGA) ölçerek belirlemişlerdir. Bu ölçümler, öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) ve ticari olarak temin edilebilen nitrojen içeren fosfor bazlı alev geciktirici (FRC) ile karşılaştırılarak değerlendirildi. FRC'lerin iç bağ mukavemeti üzerinde olumsuz bir etkisi olmasına rağmen, sonuçlar alev geciktirici potansiyellerini doğruladı ve alev geciktiricinin ağırlıkça % 10-15'inin alev geciktirme ile alev geciktirme arasındaki dengeleme açısından iyi bir dengede olduğunu göstermiştir. İç bağ kuvvetinde kabaca % 30' luk bir azalma pahasına da olsa, ağırlıkça % 10 FRC

ilavesi, anında kendi kendine sönme özelliklerine ulaşmak için yeterliydi. Bu sonuca dayalı olarak, ağırlıkça % 10 FRC uygulamasının alev geciktirme ve mekanik özellikler arasındaki denge açısından iyi bir uygulamayı temsil edeceği sonucuna varılmıştır [101].

Ustaömer ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, huntit / hidromagnezit ve çinko borat içeren alev geciktirici kimyasallar farklı konsantrasyonlar da kullanılarak MDF üzerindeki yanma etkileri araştırılmıştır. MDF panelleri üretimi esnasında reçine olarak ÜF kullanılmıştır. Farklı konsantrasyon sonucu hazırlanan numunelere termogravimetrik analiz (TGA), termal iletkenlik, LOI vb. analiz metodları uygulanmışlardır. LOI sonuçlarına göre kontrol numunesi % 29,75, yüzde olarak hidromagnezit oranı yüksek olan numune LOI sonucu % 35,25 gelmiştir. Sonuçlar, yaygın olarak plastik malzemeler için alev geciktiriciler olarak bilinen huntit / hidromagnezit minerallerinin MDF panellerin yanma özellikleri üzerinde de önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, tek başlarına veya diğer yangın geciktiricilerle kombinasyon halinde kullanılabilirliklerini vurgulamışlardır [102].

Yang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise, formaldehit emisyonu içermeyen ve mükemmel yangın geciktirici ve duman bastırma özelliklerine sahip mineral bazlı yonga levha (mbPB) hazırlamak için MgO, MgCl₂, Na₂SiO₃, Na₃PO₄'ten oluşan inorganik bir yapıştırıcı karışımı kullanmışlardır. Farklı yapıştırıcı tüketimi olan %53, %57, %61 ve %65 oranlarında 4 farklı mbPB'yi 300x300x10 mm ebatlarında presleme işlemi ile üretimini gerçekleştirmişlerdir. MbPB'nin mekanik özellikleri, iç mikro yapısı, yangın geciktirme ve duman bastırma davranışı, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve konik kalorimetri ile araştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında genel olarak yüksek inorganik ilaveli yeni yonga levhalar, geleneksel olanlara göre yangın geciktirme ve duman süspansiyonu ile ilgili daha iyi özellikler göstermiştir [103].

Özdemir ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, kalsit ve çeşitli alev geciktirici (FR) ile kaplanmış yonga levhaların yanma özellikleri araştırılmıştır. Fırında kuru kalsit ağırlığına göre % 1,0, % 3,0 ve % 5,0 konsantrasyonunda dört farklı kimyasal, borik asit (BA), boraks (BX), dolomit (DOL) ve melamin karışımı ilave ederek hazır yonga levhalara kaplama metodu ile kaplamışlardır. Yonga levha paneller, alev geciktirici özelliklerini araştırmak için ASTM-E 69 standardına göre test edilmiştir.

Numunelerin ağırlık kaybı, sıcaklık ve O₂, CO ve NO salınımının belirlenmesi malzemelerin yanması sırasında 30 saniye aralıklarla ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Sonuçlar, BA kaplamalarının diğer kimyasallardan daha iyi termal stabilite sergilediğini göstermiştir. En düşük ağırlık kaybı ve sıcaklık, % 5,0 BA ile işlenen numunelerde bulunmuştur. FR kimyasal ile kaplanmış numunelerin % 100 kalsit ile kaplanmış yonga levha numune yüzeylerinin yanma özelliklerine göre etkili olduğu gözlemlenmiştir [104].

Pedieu ve arkadaşlarının yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise, borik asit FR kimyasalının %8, %12 ve %16 oranlarında yonga levhaya presleme esnasında eklenerek yanma özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Yonga levha üretimi aşamasında yapıştırıcı olarak ÜF reçinesini kullanmışlardır. Yonga levha numunelerinin analiz yöntemleri ASTM 3806 standardına göre yapılarak mekanik özellikleri (kalınlık şişmesi), yanma özellikleri için alev yayılma hızı, ağırlık kaybı vb. metotları uygulamışlardır. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, borik asidin ahşap yonga levhalar için yangın geciktirici bir ajan olarak başarıyla uygulanabilirliğini göstermiştir. Yonga levha bileşimindeki artan borik asit oranı, yanma geciktirici özelliklerde önemli bir iyileşmeye yol açmıştır. Bu ajanın bir diğer önemli avantajı ise iç bağdaki artışa ve üretilen yonga levhalarının kalınlık şişmesindeki önemli azalmaya olan katkısı olmuştur. Çalışmada serbest formaldehit salınımının ölçülmesi ve kontrol numunesi ile karşılaştırılması tavsiye edilmiştir [105].

Izran ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, fosfat bazlı alev geciktiricilerle işlenmiş kenaf cipsleri kullanarak işlenmiş yonga levhanın yangın performansını belirlemek için çalışmalar yapılmıştır. Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) çekirdek parçacıkları ilk olarak sıcak ve soğuk banyo işlemleri kullanılarak % 8 ve 10'luk monoamonyum fosfat (MAP), diamonyum fosfat (DAP) ve borik asit, guanilüre fosfat ve fosforik asit karışımı ile ayrı ayrı işlemden geçirmişlerdir. Kenaf çekirdek parçacıklı yonga levha ebatlar 350x350x12 mm olarak üretilip, reçine olarak da ÜF reçineleri kullanılarak 180 °C 'de presleme işlemi yapılmıştır. Levhalara British Standartlarına göre uygulanan maruz kalan ve kalmayan yanma yüzdesi, yalıtım testleri, ateşleme süresi, yanmış alan, ağırlık kaybı, yoğunluk gibi analizler yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, incelenen üç yangın geciktirici, Kenaf yonga levhalarının yangın direncini ve erken yanma performansını iyileştirmede etkili olduğu görülmüştür.

İşlenmemiş levha için 13 dakika olan değer işlenmiş levhalar için 15 ila 19 dakika arasında yalıtım ve bütünlük performanslarına sahip olmuştur. BP ve MAP, panelin yalıtımını ve bütünlüğünü iyileştirmede DAP'tan daha iyi performans göstermiştir [106].

Keskin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise, haşhaş (*Papaver Somniferum* Linnaeus) kabuğunun ahşap bazlı yonga levha üretimi için kullanılma potansiyelini analiz etmeyi amaçlamıştır. % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 olarak çam ahşabı ve haşhaş (*P. somniferum* Linnaeus) kabukları kullanılarak 500 x 500 x 18 mm ebatlarında 3 katmanlı yonga levha üretimi için reçine olarak ÜF reçinesi ile 160 °C'de presleme işlemi yapılmıştır. Üretilen yonga levha numunelerinin fiziksel, mekanik özellikler, formaldehit emisyonu ve oksijen endeksi (LOI) analiz edilmiştir. Haşhaş kabuğu kullanılarak (% 25'e kadar) üretilen yonga levha, Avrupa Normunda (EN 312) iç donanımlarda kullanılmak üzere hem fiziksel hem de mekanik gereksinimleri sağlamıştır. Ayrıca, haşhaş kabuğu parçacıkları, formaldehit emisyonunu azaltmış ve oksijen endeksinin yüksek sınırlandırılması nedeniyle üretilen yonga levhalar için alev geciktirici özelliğini artırmıştır. %0 içeren haşhaş kabuğunun LOI 36 gelirken, % 25 içeren 38, % 50 içeren 42, % 75 içeren 46, % 100 içeren 48 gelmiştir. Haşhaş kabuğu için bu yeni uygulama alanı, haşhaş kabuğu biyokütlesinin geri dönüşümü için potansiyel bir fırsat olmuştur [107].

Hashim ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, Kauçuk ağacı lifleri ve geri dönüştürülmüş eski oluklu kapların karışımından yapılan orta yoğunluklu lif levhanın (MDF) alev geciktiriciliği incelenmiştir. Alüminyum trihidroksit (ATH) alev geciktirici kimyasal olarak kullanılmış ve ıslak işlem kullanılarak deneysel MDF panelleri üretmek için elyaflarla karıştırılmıştır. Sıvı haldeki fenol-formaldehit (FF) reçinesi,% 0,% 10,% 15 ve% 20 ATH ile birlikte, liflerin fırında kuru ağırlığına göre %2 kullanılmıştır. Daha sonra elyaf matın her iki tarafında alüminyum ağ bulunan 21 X 21 cm paslanmaz çelik şekillendirme kalıbına dökülerek ıslak pres yapıldı ve 7 N / mm²' nin altındaki bir basınçta 10 mm kalınlığında durdurulmuştur. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve levhanın çekme, su emilimi, kalınlık şişmesi gibi mekanik testleri de yapılmıştır. Alev geciktirici etkisi, LOI testi kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar, ATH yüklemesi arttıkça, MDF'nin sınırlayıcı oksijen endeksinin de arttığını göstermiştir. Bu, yeterli miktarda ATH'nin MDF'nin yangın geciktirme özelliğini

iyileştirebileceğini gösterdi. ATH konsantrasyonundaki bir artış, reçinesiz yapılan MDF'nin çekme değerlerinde bir artış göstermiştir ve mekanik özellikler de iyi etkileri olduğunu göstermektedir [108].

Wang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, asit bazlı sinerjistik etkileşime dayanan bir guanidin fosfat (GP) / boraks (BX) alev geciktirici sistemi için odun hamuru kâğıdında (WPP) tasarlanmış ve kullanılmıştır. Farklı kütle oranlarına sahip GP / BX solüsyonları (solüsyonun toplam konsantrasyonu: ağırlıkça %7), FR'ler deiyonize suya mekanik karıştırma ile ilave edilerek hazırlanmıştır. Elde edilen çözeltiler WPP örneklerini 160 mm x 180 mm x 0.30 mm boyutlarında kaplamak için kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin TGA, SEM, kömür yüzeyinin X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ölçümleri, LOI, Fourier dönüşümü kızılötesi spektrumları (ATR-FTIR) analizleri detaylı olarak yapılmıştır. Özetle, BX ile birleştirilmiş asit kaynaklı alev geciktirici GP, WPP'yi alev geciktirmek için başarıyla uygulanmıştır. Asit-baz etkileşiminden yararlanılarak, WPP'nin asitliği ilk ısıtılmış aşamada kontrol edilerek, GP'den salınan asitlerin neden olduğu katalitik bozunma etkisini etkili bir şekilde zayıflatarak ve termal stabiliteyi büyük ölçüde iyileştirmişlerdir. Uygun bir oranla, GP / BX sinerjistik sistemi, WPP'de % 35,7 LOI değeri ve dikey alev testinde B-0 derecesi ile tatmin edici alev geciktirme sergilemiştir [109].

Stefania ve arkadaşlarının yapmış olduğu diğer çalışmada ise, kâğıt fabrikasından elde edilen atık lignosülfonat (CaLS), WFP' nin (odun unu yonga levhaları) kabiliyetini azaltmak için düşük maliyetli bir FR olarak kullanılarak yanmaya etkisi arttırılmak üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yanmaya dayanıklı kimyasal olarak APP kullanılmıştır. Sunta hazırlamada dolgu maddesi olarak WF, bağlayıcı olarak ÜF reçinesi ve LD katkı maddeleri ve FR katkı maddeleri kullanılmıştır. ÜF, toplam katı miktarına (150 g) göre ağırlıkça % 15 oranında kullanılmıştır. Levhalar pres vasıtasıyla sıkıştırma kalıplama yoluyla elde edilmiştir. Elde edilen numunelere TGA, konik kalorimetre cihazı ile yangına dayanıklılık testleri yapılmıştır. Sonuç olarak, atık lignosülfonat, üre formaldehit WFP'nin yangın davranışını iyileştirmek için basit ve etkili bir teknik olduğunu kanıtlayarak, WFP'ye sokulduğunda, ısı yayılımı, duman üretme hızı parametrelerini azaltarak ve kömür oluşumunu artırarak yangını geciktirici bir aktivite göstermiştir [110].

3. MALZEME VE METOD

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, numune üretim yöntemleri ve üretilen numunelerin karakterizasyonu ile ilgili deney çalışmaları yer almaktadır.

3.1. Malzemeler

Tablo 3.1. Deneysel çalışma esnasında kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Malzeme	Ticari Adı ve Firma	Özellikleri
Aluminyum Hipofosfat	EXPOLİT AP 422, Clariant	%10'luk pH: 5,5-7,5 Ayrışma Sıcaklığı: >270°C Bulk Densite: 700 kg/m ³
Trifenil Fosfat	Merck	Bozunma sıcaklığı: 500°C Erime Noktası: 48-50°C Kütle Yoğunluğu: 650 kg/m ³
Kalsiyum Glukonat	Yılmaz Kimya	Erime Noktası: 178 °C Bulk Densite: 560 kg/m ³
Borik Asit	Merck	33 g/l (20 °C'de) pH:3,8-4,8 Yoğunluk (20 °C'de):1,489 g/cm ³ Bozunma sıcaklığı:70 °C

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneysel tasarım

Çalışmada kimyasal eklenmemiş numune ile alev geciktirici kimyasallar alt ve üst tabakada kuru yonga ağırlığının %10'u, orta tabakada ise % 20'si olacak şekilde eklenerek üretilmiştir. Tablo 3.2'de eklenen kimyasalların oranları gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Hazırlanan yonga levhalara eklenen alev geciktirici bileşim ve oranları

	Bileşen	Kütlece % Bileşim
1	Kontrol	0
2	APP	100
3	TPP	100
4	CaG	100
5	APP/TPP	50-50
6	CaG/APP	50-50
7	TPP/CaG	50-50
8	APP/TPP/CaG	50-25-25
9	APP/TPP/CaG	25-50-25
10	APP/TPP/CaG	25-25-50
11	BA	100
12	TPP/BA	50-50
13	CaG/BA	50-50
14	APP/BA	50-50

3.2.2. Yonga levhaların hazırlanması

Gebze Kastamonu Entegre yonga levha tesisinden hazır alınan kaba ve ince taneli yongaların (meşe, çam, kavak, talaş) 105 °C’de 2-4 saat arası laboratuvar etüvünde kurutulması sağlanmıştır. Yongalar tesisten orta ve yüzey yongaları şeklinde hazır olarak alındıkları için kullanımdan önce herhangi bir eleme ve sınıflandırma işlemi yapılmamıştır. Yonga levhanın tutkallamadan önce yongaların rutubetinin %0,5-3 arasına indirilmesi gerekmektedir. İstenilen rutubet aralığına gelen yongaların etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında soğutulması sağlanmıştır. Şekil 3.1’de laboratuvarda kurutulmuş yongaların görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.1. Etüvde kurutulmuş yongalar

Deney levhaları 400x400x8 mm ebatlarında üretilmesi için gerekli olan tutkal tartımları yapılmıştır.

Kullanılan tutkal tipleri; orta tabaka için ÜF %65 katılı 1,20 mol oranına sahip, alt ve üst tabaka için ÜF %50 katılı 1,10 mol oranına sahip tutkallardır.

Kullanılan üre-formaldehit tutkalları Gebze Kastamonu Entegre Tutkal bölümünden hazır olarak alınmıştır.

Tutkal tiplerinin özellikleri Tablo 3.3 ve 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.3. Yonga levha üretim aşamasında kullanılan ÜF 650 1,20 tutkal özellikleri

Özellikler	UF 650 1,20 tutkal tipi (orta tabaka için)
% Katı madde (Limit: %63-65)	% 64,55
Yoğunluk (20 °C) (Limit: 1,270-1,295 g/cm ³)	1,277 g/cm ³
pH (20°C) (Limit: 7,80-9,00)	8,53
Viskozite (20 °C) (Limit: 150-400 cps)	203 cps
Jel zamanı (35-50 sn)	39 sn
Kullanma süresi (gün)	30

Tablo 3.4. Yonga levha üretim aşamasında kullanılan ÜF 500 1,10 tutkal özellikleri

Özellikler	ÜF 500 1,10 tutkal tipi (alt ve üst tabaka için)
% Katı madde (Limit: %48-52)	% 50,52
Yoğunluk (20 °C) (Limit: 1,200-1,215 g/cm ³)	1,211 g/cm ³
pH (20 °C) (Limit: 7,80-9,00)	8,65
Viskozite (20 °C) (Limit: 20-50 cps)	32 cps
Jel zamanı (35-60 sn)	49 sn
Kullanma süresi (gün)	30

Yonga levha taslakları %33 oranında alt-üst tabaka, %67 oranında orta tabaka olacak şekilde hazırlanmıştır. Üretilcek yonga levhaların yoğunluğu 0,78 g/cm³ olacak şekilde hazırlanmıştır. Tam kuru yonga ağırlığına oranla yüzey tabakalarında %10, orta tabakada ise %8 oranlarında ÜF reçinesi kullanılmıştır. Tutkal tam kuru ağırlığına oranla kütleye %1 amonyum sülfat sertleştirici olarak kullanılmıştır. Benzer şekilde tam kuru yonga ağırlığı değerine göre yanmayı geciktirici kimyasal maddeler orta

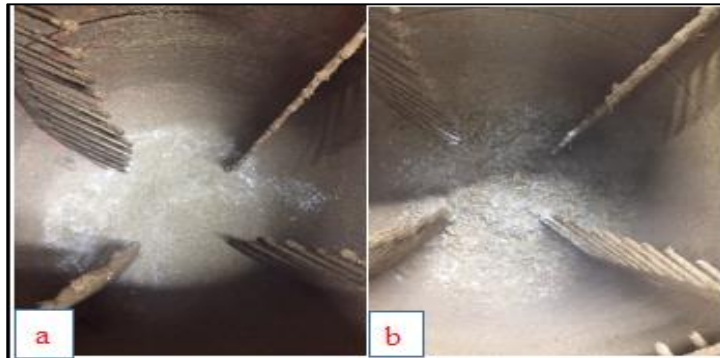
tabakaya %20, alt ve üst tabakaya %10 olacak şekilde toz halinde tutkallama işleminden sonra pulverizatör ile tutkallı yongalar üzerine püskürtülmüştür. Püskürtme işlemi döner tamburlu tutkallama makinesinde yapılarak homojen karıştırılması sağlanmıştır. Şekil 3.2’de püskürtme işlemi ile tutkallama işlemi görülmektedir.

Tutkal 20 devir/dak hızla dönen tamburun merkezinden püskürtme nozulu kullanılarak 5-6 barlık basınçla yongalar üzerine püskürtülmüştür. Yaklaşık olarak 5-6 dakikada tutkallama işlemi bitirilecek şekilde yongalara tutkal karıştırılarak ilave edilmiştir.



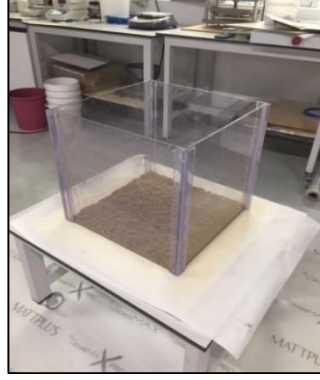
Şekil 3.2 Püskürtme işlemi ile yapılan tutkallama

Tutkallama işlemi orta tabaka ve alt, üst tabaka için ayrı ayrı yapılmaktadır. Tutkallama işlemi yapıldıktan sonra bu aşamada hangi oranda kullanılacaksa alev geciktirici kimyasallar hazırlanır ve toz halinde tamburun içerisine eklenir. Şekil 3.3’de kimyasal eklenme aşaması hem alt, üst tabaka hem de orta tabaka için gösterilmiştir.



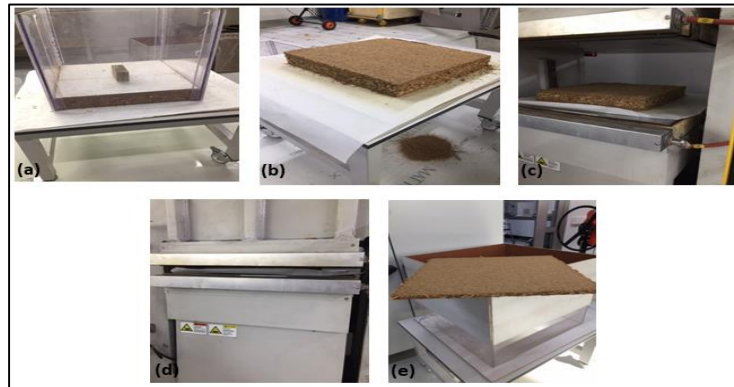
Şekil 3.3. a.Üst ve alt tabaka için eklenen kimyasal aşaması, b. Orta tabaka için eklenen kimyasal aşaması

Kimyasallar eklendikten sonra belli bir süre homojen karışması sağlanmıştır. Alt tabaka için alınan ince yongalar 400x400 mm ebatlarındaki soğuk pres kalıbına Şekil 3.4'teki gibi elle serme işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.4. Alt tabakanın elle serme aşaması

Bu işlemden sonra, tutkallanmış ve kimyasal eklenmiş orta tabaka yongaları ve son olarak üst tabaka yongaları serilmiştir. Serme adımından sonra yongalar kalıp ebatlarında bir tabla yardımı ile bastırılarak preslenmiştir (Şekil 3.5 (a)). Daha sonra kalıp kenarlarından tutularak ağır bir şekilde levha taslağını kaydırmamak koşulu ile kaldırma işlemi yapılmıştır ve yapılan levhanın preslenmesinde laboratuvar tipi tek katlı hidrolik pres kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.5 (c) ve 3.5 (d)'de pres cihazına yerleştirilen levhanın pres makinesi içerisinde görünüşü ve preslemenin gerçekleştirilmesi gösterilmiştir. Pres sonrası çıkan yonga levhanın görüntüsü de Şekil 3.7 (e)'de gösterilmiştir.



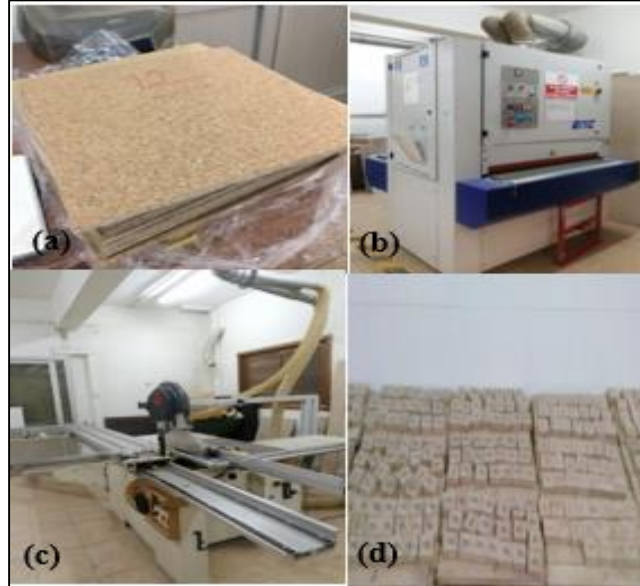
Şekil 3.5. a. Yonga levhanın tabla ile sıkıştırılması, b. Kalıptan çıkarılma işlemi ve preslenmeye hazır pasta, c. Levha taslağının pres levhaları arasında yerleştirilmesi, d. Preslemenin gerçekleştirilmesi, e. Presleme sonrası çıkan yonga levha

Presleme aşamasındaki yonga levhaların pres şartlarının özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Yonga levhalarının pres aşaması üretim parametreleri

Kalınlık	8 ve 14 mm
Levha boyutları	400x400
Pres basıncı	0-70 bar arası
Pres sıcaklığı	200 °C
Pres süresi (sn)	141
Pres adım sayısı	9 adım

Toplamda 8 mm olmak üzere 14 adet 400x400 ebatlarında değişik bileşimlerde alev geciktirici eklenmiş yonga levha üretilmiştir. Üretimi yapılan yonga levha resimleri Şekil 3.6 (a)' da gösterilmiştir. Zımparalama işlemi EMC marka cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.6 (b)).



Şekil 3.6: a:Üretilen yonga levhaların görüntüsü
b:Zımparalama işlemi için kullanılan cihaz
c:Testere makinesi d: Belirli ebatlarda kesimi gerçekleşen yonga levha numuneleri

Presleme sonrası elde ettiğimiz levhaların yüzey düzgünlüğünü iyileştirmek ve levhaların kalınlıklarının daha homojen hale getirilmesi için levha yüzeyleri zımparalanmıştır. Şekil 3.6 (c,d)'de kesme işlemleri yapılan testere cihazı ve ebatlandırılmış numuneler gösterilmiştir.

3.3 Karakterizasyon

3.3.1 Fiziksel Özellikler

Levhaların rutubet ve yoğunluk deneyleri Gebze Kastamonu Entegre Yonga Levha kalite laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.3.1.1 Rutubet

Üretilen yonga levhaların rutubet ölçümleri TS-EN 322 (1999)'a uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Levhaların nem miktarına 2'şer adet numune bakılarak 14 levha için toplamda 28 adet 50x50 mm ebatlarındaki yonga levhalar testere yardımıyla kesilmiştir. Örnekler $\pm 0,01$ g hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra etüvde $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de kurutmaları sağlanmıştır. 6 saat arayla yapılan tartım ölçümlerinde iki tartım arasındaki ağırlık farkının, yonga levha numunesi ağırlığın %1'inden fazla olmaması halinde bu ağırlığın sabit olduğu anlaşılır ve değişmez ağırlık olarak kayıt edilir. Daha sonra yonga levha numuneleri etüvden çıkarılarak desikatörde soğutulması sağlanarak hassasiyeti yüksek olan bir terazide tek tek tartılmıştır. Şekil 3.7' de etüv içerisinde kurutulması sağlanan yonga levha numunelerinin görseli yer almaktadır.

Yonga levha numunelerinin rutubeti 3.1' deki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$H = \frac{mH - mO}{mO} * 100 \quad (3.1)$$

H :Nem yüzdesi (%)

mH: Soğutulmuş numune kütlesi (g)

mo:Kuru haldeki numune kütlesi (g)



Şekil 3.7. Etüv yardımıyla kurutması sağlanan yonga levha numuneleri

3.3.1.2 Yoğunluk

Üretilen yonga levha numunelerinin yoğunluklarının tespiti TS EN 323 (1999)'e göre yapılmış olup TS EN 325 (1999)'e göre numunelerin hangi ebatlarda kesilmesi gerektiğine bakılmış olup 50x50 mm ebatlarda toplamda 28 adet yonga levha numunesinin kesimi gerçekleştirilmiştir.

TS EN 326-1 (1999)'e göre ahşap numunelerinin kesilerek, yapılan yonga numunelerinin ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tartılmış ve boyutları da $\pm 0,01$ hassas olan bir kumpas yardımıyla ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Aşağıdaki 3.2'de belirtilen eşitlik ile hesaplama yapılarak sonuçlar kayıt edilir.

$$d = \frac{m}{v} \quad (3.2)$$

Burada:

d: Özkütle(gr/cm³)

m: Test numunesinin kuru kütlesi (gr)

V: Test numunesinin kuru hacmi (cm³)

3.3.2 Mekanik Özellikler

Levhaların kullanım yeri şartlarının belirlenmesi önemli olduğundan Eğilme Direnci, Dik Çekme Dayanımı, Serbest Fomaldehit analizleri belirli standartlara göre yapılmıştır. Yonga levha numunelerinin alev geciktirici etkisini gözlemlemek için ise, UL-94 Dikey yanma testi, LOI (Oksijen indeksi) ve detaylı analiz olan konik kalorimetre deneyleri uygulanmıştır.

3.3.2.1 Eğilme Direnci

Eğilme Direnci deneyleri TS EN 310 (1999)'a göre yapılmıştır. Yonga levha örneklerinin nasıl alınması ve ebatlarının nasıl kesiminin yapılması gerektiği ile ilgili bilgileri için TS EN 326-1 (1999)'den faydalanarak yapılması sağlanmıştır. Yonga levha numuneleri dikdörtgen şekilde, 50 mm genişlik ve uzunluk olarak da numunelerin kalınlığının 20 katı \pm 50 mm olacak şekilde ve mm birimi olarak ayarlanmaktadır. Yonga levha numuneleri istenilen boyutlarda kesimi yapıldıktan sonra TS EN 325 (1999)'e uyularak kalınlık, genişlik mikrometre yardımıyla ölçülür. Yonga levha deney parçalarına uygulanacak yük sabit hızla ve maksimum kuvvete 60 \pm 30 saniyede ulaşması için cihaza ayarlama yapılmıştır.

Şekil 3.8' de levhaya eğilme testi uygulanma aşamasını gösteren resim yer almaktadır.



Şekil 3.8. Eğilme Direnci ölçümü yapılırken numunenin ve cihaz aparatının görüntüsü

Her bir yonga levha parçasının eğilme dayanımı bulma için eşitlik 2.3' deki hesap kullanılır.

$$E.D. = \frac{3*F_{max}*L}{2*b*d^2} \text{ N/mm}^2 \quad (3.3)$$

Burada;

E.D: Eğilme dayanımı (N/mm²)

F_{max}: Kırılma zamanındaki maksimum kuvvet (N)

L: Aparatların arasında kalan uzaklık (mm)

b: Test numunesinin genişliği (mm)

d: Test numunesini kalınlığı (mm)

3.3.2.2 Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci

Üretimi yapılan yonga levha numunelerin çekme direnci testi TS EN 319 (1999)'a göre evrensel kullanılan test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Testin uygulandığı cihaz görseli şekil 3.9' da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Yüzeye dik yönde çekme testi yapılan cihaz görüntüsü

Yonga levha örneklerinin alınması ve test parçalarının elde edilmesi, TS EN 326-1 (1999)' e göre düzgün bir şekilde gerçekleşmiş olup, kenar uzunluğu 50±1mm olan kare şeklinde kesilmesi sağlanmıştır. Yapılan numunelerin ebatlarını tanımlamak amacıyla; TS EN 325 (1999)'e göre hassasiyeti ±0,01 olan mikrometre kullanılmıştır. Yonga levha numuneleri alüminyumdan hazırlanmış metal aparatlara sıcak silikon kullanılarak yapıştırılmıştır. Yapıştırılan numuneler soğutulduktan sonra, örnek test ekipmanına yerleştirilerek yüzeye dik doğrultuda kopması sağlanmıştır.

Yüzeye dik yönde çekme direnci hesabı levha numuneleri yüzeyine uygulanan en yüksek değerde olan çekme kuvvetinin, levha numunesinin yüzey alanına oranı ile bulunmaktadır ve eşitlik 3.4' e göre hesaplama yapılır.

$$\text{Ç.D} = \frac{F_{max}}{A} \quad (3.4)$$

Burada;

Ç.D: Yüzeye dik çekme dayanımı (N/mm²)

F_{max} : Kırılma zamanındaki en yüksek kuvvet (N)

A : Numuneni kesit alanı (mm²)

3.3.2.3 Yüzey Dayanımı

Yüzey dayanımı testleri TS EN 311 (2005) yüzey sağlamlığı test metoduna göre uygulanmıştır. Yonga levhaların alınması belirli ebatlarda kesilme işlemi için ise TS EN 326-1 (1999) kapsamına göre hareket edilmiştir. Sonuç olarak, yonga levha numuneleri 50 ±1 mm genişliğinde ve uzunluğunda kare biçiminde hazırlanmıştır.

Genellikle erime noktası 150 °C'nin altında erimiş sıcak bir yapıştırıcı ısıtılan çelik parçanın üzerine yayılır. Yapıştırıcı akışkan hale geldikten sonra oyuk açılan levhaların üzerine yapıştırılır ve numuneler üzerine bastırılma işlemi yapılır. Levhalar üzerindeki yapıştırıcının tamamen kuruyup katılaşması için soğutulmaya bırakılarak yaklaşık 0,1 N/mm² ile 0,2 N/mm² arasında basınç uygulanır. Bu işlem genel olarak çekme cihazı kullanılarak ve basınç değerleri ayarlanarak yapılmaktadır. Şekil 3.10'da yüzey dayanımı ölçülen cihaz ve aparatın görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.10. Yüzey dayanıklılığı ölçümü gerçekleştiren cihaz aparatı

Her deney parçasının yüzey sağlamlığı SS, N/mm² olarak eşitlik 3.5 'deki formüle göre hesaplanır.

$$SS = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

F=En büyük kuvvet, N

A=Yüzey alanı (1000 mm²)

3.3.2.4 Formaldehit Emisyonu

Formaldehit emisyonu ölçümü TS 4894 EN 120 (1999)'a uygun olarak perforatör yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Metod içeriği özet olarak incelendiğinde, ekstraksiyon ile levhadaki serbest formaldehitin suya geçmesi için belirli miktardaki örnek tolüen içerisinde kaynatma yapıldığı tespit edilmiştir.

Bu yöntemde, 23±1 ve %40 RH şartlarında kondisyonlanan yaklaşık 110-120 g ağırlığındaki, bu test için 25x25 mm boyutlarında numuneler perforatör cihazının cam balonu içine yerleştirilerek 600 ml tolüen eklenmiştir. Tolüenin geri akış hızı dakikada 70-90 damla olması gerektiği için düzenek bu şekilde ayarlanması gerekmektedir. Ekstraksiyon yaklaşık 2 saat devam etmiş, sürenin sonunda düzenek ve balonun

soğuması beklenerek perforatör içindeki formaldehit su karışımı 2000 ml'lik balon jöjeye aktarılıp üzerine deiyonize su ile 2000 ml'ye tamamlanma işlemi yapılmıştır. Karışım homojen olması için belli bir süre karıştırma işlemi yapılarak test için hazır hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra biri test diğeri kör numune için kullanılmak üzere 2 adet temiz tüp alınıp ikisine de 4,5 ml sıvı ölçüm kitinden ve 1 mikro kaşık toz ölçüm kitinden konarak karıştırılmıştır.

Test tüpüne 3 ml formaldehitli su, kör numune tüpüne ise 3 ml saf su ilave edilip 10 dk'lık reaksiyon süresi boyunca beklenmiş ve ardından spektrofotometre ölçümü yapılmıştır.

Şekil 3.11'de Formaldehit emisyonu perfaratör test düzeneği görseli yer almaktadır.



Şekil 3.11. Perfaratör test düzeneği

Formaldehit emisyonu Eşitlik 3.6 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E = \frac{2 \cdot Xr}{m_0} * 100 \quad (3.6)$$

Burada;

F.E: Formaldehit emisyonu (ml/100g)

Xr: Fotometik cihazda okunan değer

m₀: Tam kuru ağırlık

3.3.2.4 UL-94 Dikey Yanma Testi

Yonga levha numunelerine UL-94 dikey yanma testi ASTM D 3801-0 Standartına uygun bir şekilde yapılmıştır. Numune ebatları standartta belirtildiği gibi 100x1x6 mm olacak şekilde kesim işlemi yapılmıştır.

Numuneler tutucuya dik bir şekilde sabitlenerek mavi alev 20± 2 mm yüksekliğinde olacak şekilde ve dik olarak 10 sn süre ile mavi aleve maruz bırakılmıştır. Alev sönme süresi t₁ olarak kaydedilmiş ve snme olayı bittikten sonra aynı numune tekrar 10 sn boyunca alev tutulur. Bu alev sonrası sönme süresi de t₂ olarak kaydedilmiştir. Ayrıca düzenekte test boyunca alt kısımda bulunan pamuk numunesine aleve maruz sonrası alev düşmesi ve dşe damlacığın pamuğu alevlendirip alevlendirmediği de gözlenmiştir. Daha sonra teker teker numuneler test edilip aleve karşı etkileri kayıt altında tutulmuştur.

şekil 3.12’de UL-94 dikey yanma test düzeneği yer almaktadır.



şekil 3.12. UL-9 yanma test düzeneği

3.3.2.5 Limit (Sınırlayıcı) Oksijen İndeksi (LOI)

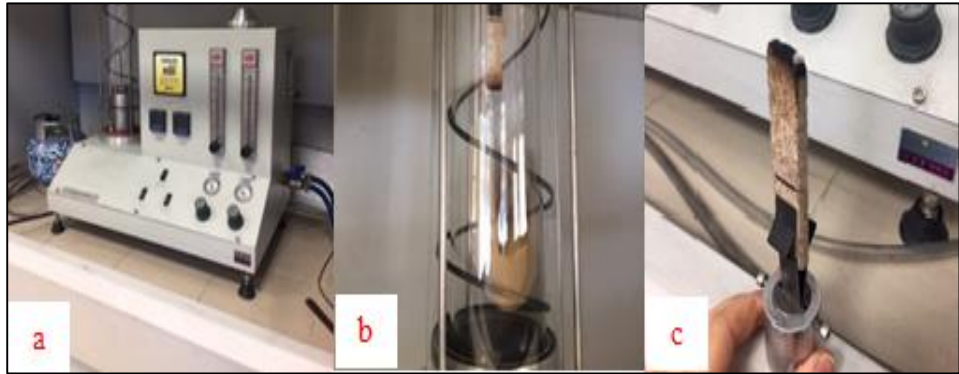
Yonga levha numunelerinin üretim esnasında katılan alev geciktirici kimyasallarının alev dayanımını ölçmek için ahşap numunelerine LOI test cihazından ISO 4589-2 standardına uygun olarak analizler yapılmıştır.

Ahşap numuneler 80x1x4 mm ebatlarında kesimi sağlanarak içerisinde yukarı yönde oksijen ve azot kombinasyonu geçen cam bir baca içerisinde tutacak kalıp ile beraber dikey olarak yerleştirilmiştir.

Ahşap yonga levha numunelerin üst ucunu aleve maruz bırakarak ve tutuşturulduktan sonra numunelerin yanma davranışı incelenerek yanmanın kaç sn sürdüğü ve yanan ahşap yonga levha numunesinin uzunluğu, yanma için önceden tespit edilen değerlerle karşılaştırma işlemi yapılmıştır.

Sonuçlar hacimce % oksijen cinsinden bulunarak kayıt altına alınmıştır.

Şekil 3.13'de numune cihazı ve numuneyi yakma ünitesi ve yanan numune görselleri görülmektedir.



Şekil 3.13. a. LOI cihaz görseli, b. Cihazın cam ünitesine konulan numune görüntüsü, c. Yanan numune görüntüsü

3.3.2.6. Konik Kalorimetre

Üretilen 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.

Standart numunenin boyutu 100 x 100 mm²'dir. Numune kalınlığı da 14 mm'dir. Konik kalorimetre için üretimi yapılan ve istenen ebatlarda kesimi gerçekleşen numuneler Şekil 3.14'de yer almaktadır.



Şekil 3.14. Konik kalorimetre testine hazır olan yonga levha numuneleri

Konik kalorimetre testi için kullanılan konik kalorimetre cihazı Şekil 3.15'de görülmektedir.



Şekil 3.15: Konik kalorimetre cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Levhaların Fiziksel Özelliklerine İlişkin Bulgular

Levhaların fiziksel özelliklerinden yoğunluk ve rutubet değerleri deneyleri yapılmıştır.

4.1.1. Yoğunluk

Üretilen yonga levhaların ortalama yoğunluk ve sapma değerleri Tablo 4.1’de sunulmuştur. Tablo 4.1’de verilen yonga levha numuneleri boyut, kalınlık ve yoğunluk verileri sonuçları incelendiğinde, standart sapma değerlerinden de anlaşıldığı üzere birbirine yakın değerler saptanmıştır.

TS EN 312 standardına göre yonga levhalarda ortalama yoğunluğa dair toleransın \pm %10 olması gerekmektedir.

Ortalama yoğunluk değerleri $0,78-0,83 \text{ g/cm}^3$ arasında değişme göstermiş olup, bu veriler çalışmanın başında hedeflendiği gibi $0,78 \text{ g/cm}^3$ ile karşılaştırıldığında aradaki sapma farkın standartlara uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1. Yonga levha numunelerinin ortalama sonuçları tablosu

Bileşen	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm^3)
Kontrol-%0	49,94 \pm 0,01	50,16 \pm 0,31	8,10 \pm 0,25	0,79 \pm 0,01
APP-%100	49,89 \pm 0,01	50,16 \pm 0,19	7,95 \pm 0,30	0,78 \pm 0,01
TPP-%100	49,85 \pm 0,05	50,02 \pm 0,34	8,13 \pm 0,21	0,80 \pm 0,01
CaG-%100	49,83 \pm 0,01	49,82 \pm 0,10	7,89 \pm 0,11	0,81 \pm 0,01
APP %50-TPP %50	50,00 \pm 0,19	50,13 \pm 0,27	7,92 \pm 0,09	0,82 \pm 0,02
CaG%50-%50 APP	50,04 \pm 0,01	50,10 \pm 0,17	8,11 \pm 0,42	0,80 \pm 0,01

Tablo 4.1. (Devam) Yonga levha numunelerinin yoğunluk sonuçları tablosu

APP %50-%25TPP- %25 CaG	49,91±0,16	50,08±0,34	8,05±0,40	0,80±0,03
APP%25-TPP%50- %25CaG	50,76±0,07	50,67±0,18	8,13±0,35	0,82±0,01
APP%25-%25TPP- %50 CaG	50,02±0,06	50,29±0,29	8,17±0,43	0,80±0,02
BA-%100	50,01±0,01	50,20±0,13	7,88±0,22	0,83±0,03
TPP %50-%50 BA	50,89±0,01	50,64±0,04	7,91±0,43	0,79±0,01
CaG%50-%50 BA	50,19±0,05	50,45±0,01	8,18±0,48	0,79±0,01
APP %50 /%50 BA	50,65±0,21	50,60±0,13	8,20±0,38	0,78±0,04

4.1.2. Rutubet

Tablo 4.2’de yonga levha numunelerini ortalama rutubet değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde yonga levha numune rutubetlerinin % 4 ile % 8 arasında değişen değerler aldığı görülmektedir. Tablo 4.2’nin değerlerine bakıldığında ortalama yonga levha rutubetlerinin TS EN 312 standardında belirtilen % 5-13 aralığına uygun olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.2. Yonga levha numunelerini ortalama rutubet değerleri

Levha Num.	Bileşen	Rutubet (%)
1	Kontrol-%0	4,85 ± 0,14
2	APP-%100	4,82 ± 0,14
3	TPP-%100	4,90 ± 0,10
4	CaG-%100	5,05 ± 0,04

Tablo 4.2. (Devam) Yonga levha numunelerini ortalama rutubet değerleri

5	APP %50-TPP %50	4,96 ± 0,08
6	CaG%50-%50 APP	4,87 ± 0,06
7	TPP%50-%50CaG	4,79 ± 0,05
8	APP %50-%25TPP-%25 CaG	4,96 ± 0,08
9	APP%25-TPP%50-%25CaG	4,88 ± 0,06
10	APP%25-%25TPP-%50 CaG	4,88 ± 0,07
11	BA-%100	7,58 ± 0,13
12	TPP %50-%50 BA	5,24 ± 0,15
13	CaG%50-%50 BA	5,21 ± 0,23
14	APP %50 /%50 BA	5,34 ± 0,23

4.2 Levhaların Mekanik Özelliklerine İlişkin Bulgular

Yonga levha numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yüzeye dik çekme, eğilme direnci ve yüzey dayanımı, serbest formaldehit testleri TSE standartlara göre yapılmıştır. Aynı zamanda yonga levha numunelerinin yangına dayanım özelliklerini belirlemek için UL-94 dikey yanma testi, LOI (Limit oksijen indeksi ve detaylı analiz için seçilen belirli yonga levha numunelerine konik kalorimetre cihazı ile test uygulanmıştır.

2.2.1 Eğilme Direnci

Aleve dayanıklı kimyasal eklenmiş yonga levhaların ortalama eğilme direnci değerleri ölçülmüştür. Değerler Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3’e bakıldığında en yüksek değer 9.(APP %25-TPP %50-%25 CaG) sırada yer alan ve 17,94 N/mm² değerine sahip iken, en düşük değer ise 15,03 N/mm² değerine sahip olan ve 2.(% 100 APP) sırada yer alan yonga levha numunesidir.

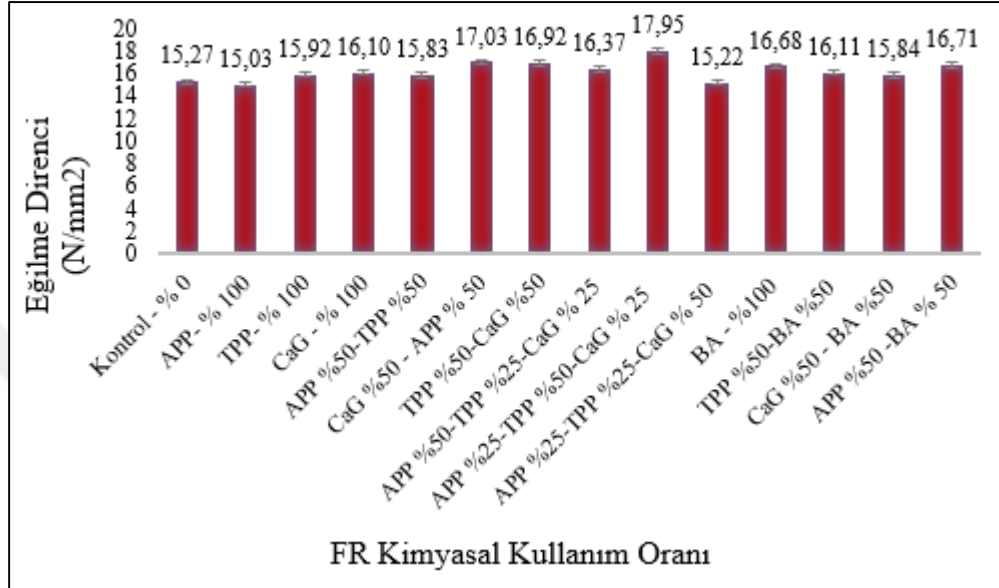
Tablo 4.3 Farklı oranlarda kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerinin eğilme direnci değerleri

Levha Num.	Bileşen	Eğilme Direnci (N/mm ²)
1	Kontrol-%0	15,27 ± 0,95
2	APP-%100	15,03± 0,68
3	TPP-%100	15,92 ± 0,12
4	CaG-%100	16,10 ± 0,92
5	APP %50-TPP %50	15,83± 0,40
6	CaG%50-%50 APP	17,03± 0,50
7	TPP%50-%50CaG	16,92± 0,33
8	APP %50-%25TPP-%25 CaG	16,37± 0,88
9	APP%25-TPP%50-%25CaG	17,95± 0,13
10	APP%25-%25TPP-%50 CaG	15,22± 0,33
11	BA-%100	16,68± 1,01
12	TPP %50-%50 BA	16,11± 0,62
13	CaG%50-%50 BA	15,84± 0,66
14	APP %50 /%50 BA	16,71± 0,48

Şekil 4.1 incelendiğinde farklı oranlarda eklenen aleve dayanıklı kimyasal ile üretilen yonga levhaların eğilme direnci sonuçları kontrol numunesi sonuçları ile benzer sonuçlar göstermiştir. Bu durumun anlamı ise eklenen farklı oranlarda kimyasalların levhanın eğilme direnci üzerine olumsuz bir etki göstermediğidir.

Genel olarak tüm levhaların eğilme direnci değerleri incelendiğinde TSE 312'nin belirlemiş olduğu $6 < t < 13$ mm aralığındaki levhalar için eğilme direnci Min.11 N/mm² değerine uygun olduğu görülmektedir.

Şekil 4.1'de eğilme dayanım değerlerinin grafik ile gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.1. Yonga levha numunelerinin ortalama eğilme direnci değerlerinin grafik ile gösterimi

4.2.2 Yüzeye Dik Çekme Direnci

Farklı oranlarda eklenmiş alev geciktirici kimyasallar ile üretilmiş yonga levhaların yüzeye dik çekme dayanımları ölçülmüştür. Tablo 4.4' de levhalarda kullanılan kimyasal oranları ve yüzeye dik çekme dayanımları verilmiştir.

Tablo 4.4 incelendiğinde en yüksek değere sahip ve yüzeye dik çekme direnci birbirine eşit olan 3 adet yonga levha görülmüştür. Bunlar; 4.(% 100 CaG) ,10. (% 25 APP-% 25 TPP /-% 50 CaG) ve 14.(% 50 APP-% 50 BA) sırasında yer alan levhaların yüzeye dik çekme değeri 0,88 N/mm² ölçülürken, en düşük değer ise 12. (% 50 TPP-%50 BA) sırada olan 0,60 N/mm² ölçülmüş değerdir.

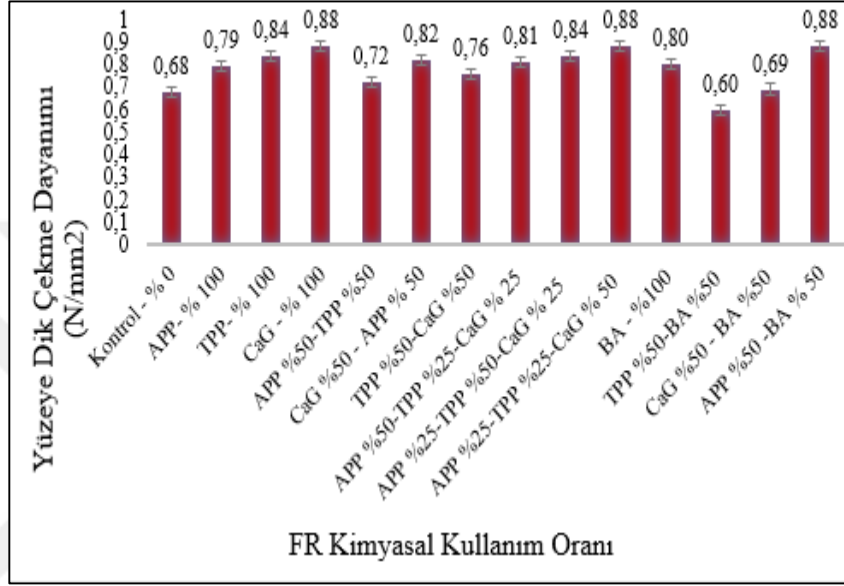
Tablo 4.2' de görüldüğü gibi levha gruplarının ortalama yüzeye dik çekme dirençleri birbirlerinden farklı değerler göstermektedirler.

Tablo 4.4. Farklı oranlarda kimyasal eklenmiş numunelerin ortalama yüzeye çekme değerleri

Levha Num.	Bileşen	Yüzeye Dik Çekme (N/mm ²)
1	Kontrol-%0	0,68±0,01
2	APP-%100	0,79±0,04
3	TPP-%100	0,85±0,06
4	CaG-%100	0,88±0,01
5	APP %50-TPP %50	0,72±0,07
6	CaG%50-%50 APP	0,82±0,06
7	TPP%50-%50CaG	0,76±0,04
8	APP %50-%25TPP-%25 CaG	0,81±0,04
9	APP%25-TPP%50-%25CaG	0,84±0,01
10	APP%25-%25TPP-%50 CaG	0,88±0,03
11	BA-%100	0,80±0,04
12	TPP %50-%50 BA	0,60±0,01
13	CaG%50-%50 BA	0,69±0,08
14	APP %50 /%50 BA	0,88±0,03

Aşağıdaki Şekil 4.2’de ise farklı oranlarda alev dayanıklı kimyasal eklenmiş yonga levhaların yüzeye dik çekme değerleri grafik ile gösterilmiştir. Şekil 4.2’ye göre, alev dayanıklı kimyasal ilavesi ile üretilen yonga levhanın normal eklenmemiş hali ile kıyas yaptığımızda yüzeye dik çekme değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu da

eklenen kimyasalların yonga levhanın yüzeye dik çekme değerlerini düşürmediği aksine yükselterek levhanın mekanik özelliklerini arttırdığını göstermektedir. Sadece %50 TPP- %50 BA içeren yonga levha numunesinin çekme değerlerinde düşme söz konusudur. Genel olarak tüm levhaların yüzeye dik çekme değerlerine bakıldığında TSE 312'nin belirlemiş olduğu $6 < t < 13$ mm aralığındaki levhalar için yüzeye dik çekme dayanımının Min.0,40 N/mm² değerine uygun olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.2. Yonga levha numunelerinin ortalama yüzeye dik çekme değerlerinin grafik ile gösterimi

4.2.3 Yüzey dayanımı

Farklı oranlarda eklenmiş alev geciktirici kimyasallar ile üretilmiş yonga levhaların yüzey dayanımları da ölçülmüştür.

Tablo 4.5’de levhalarda kullanılan kimyasal oranları ve yüzeye dayanımları değerleri verilmiştir.

Tablo 4.5 detaylı incelendiğinde en yüksek yüzey dayanımı değerine sahip yonga levha numunesi 13. Sırada yer alan %50-%50 CaG-BA numunesinde aiten, en düşük yüzey dayanımı değeri 2.sırada yer alan ve %100 oranında eklenen APP kimyasallı yonga levhada bulunmaktadır.

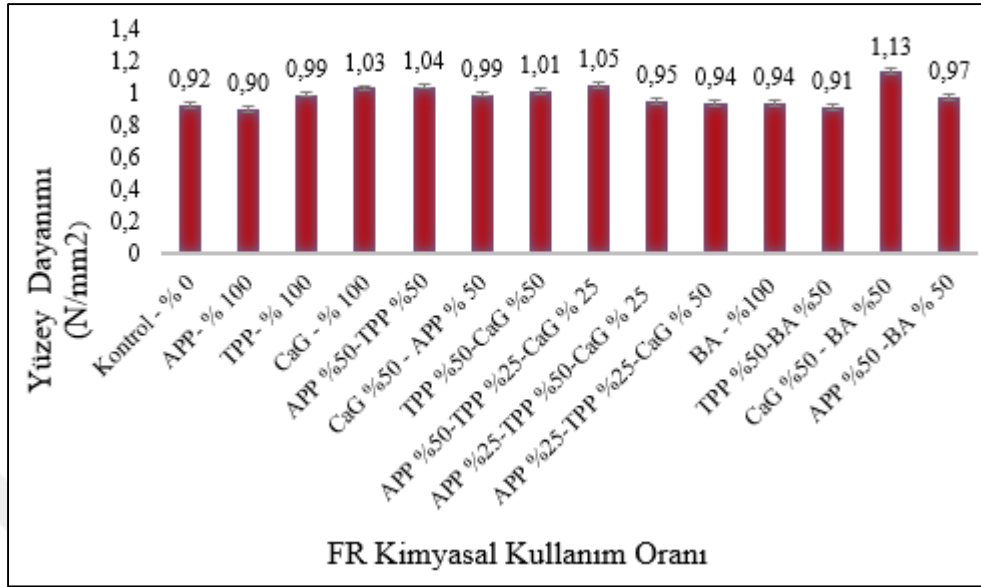
Genel olarak yonga levha numunelerinin yüzeye dayanıklılık değerleri birbirlerine eşit ya da yakın ölçüm sonuçları vermiştir.

Tablo 4.5. Farklı oranlarda alev geciktirici kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerinin ortalama yüzey dayanımı değerleri

Levha Num.	Bileşen	Yüzey Dayanımı (N/mm ²)
1	Kontrol-%0	0,92±0,02
2	APP-%100	0,90±0,08
3	TPP-%100	0,99±0,01
4	CaG-%100	1,03±0,05
5	APP %50-TPP %50	1,04±0,14
6	CaG%50-%50 APP	0,99±0,08
7	TPP%50-%50CaG	1,01±0,08
8	APP %50-%25TPP-%25 CaG	1,05±0,11
9	APP%25-TPP%50-%25CaG	0,95±0,04
10	APP%25-%25TPP-%50 CaG	0,94±0,06
11	BA-%100	0,94±0,06
12	TPP %50-%50 BA	0,91±0,01
13	CaG%50-%50 BA	1,13±0,07
14	APP %50 /%50 BA	0,97±0,11

Şekil 4.3’de yonga levha numunelerinin ortalama yüzey dayanım değerlerinin grafik ile gösterimi yer almaktadır.Şekil 4.3’den de net bir şekilde görüldüğü üzere, kontrol numunesine göre, alev geciktirici kimyasal eklenmiş yonga levhaların yüzey dayanıklılıkları az da olsa bir artma eğilimi göstermiştir. % 25 APP-% 25 TPP-% 50 CaG eklenmiş kimyasallı yonga levha ile % 100 BA içeren yonga levha numunelerinin yüzeye dayanıklılık ölçüm değerleri aynı gelmiştir. Genel olarak tüm levhalar için

yüzey dayanım değerlerine bakıldığında; TSE 311'nin belirlemiş olduğu $6 < t < 13$ mm aralığındaki levhalar için Min.0,80 N/mm² değerine uygun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. Farklı oranlarda ilave edilen alev dayanıklı kimyasallı yonga levha numunelerinin ortalama yüzey dayanımı değerlerinin grafik ile gösterimi

4.2.4. Formaldehit Emisyonu

Farklı oranlarda alev geciktirici kimyasal eklenerek üretimi gerçekleşen yonga levha numunelerinin perfaratör yöntemi ile analizi yapılmış serbest formaldehit emisyon sonuçları Tablo 4.6'da yer almaktadır.

Tablo 4.6'ya bakıldığında farklı oranlarda ve farklı kimyasal kullanım oranı ile serbest formaldehit emisyon miktarı arasında doğrudan bir ilişki olmadığı söylenebilir. En düşük formaldehit emisyonu 1,42 mg/100g ile %100 APP içeren yonga levhada, en yüksek formaldehit emisyonu ise 3,23 mg/100g ile %50-%50 APP-BA içeren yonga levha numunelerinde tespit edilmiştir. Formaldehit emisyon değerleri arasında gözlenen değişik değerlerin birçok nedeni vardır. Öncelikle tüm deneylerde olmak üzere çalışmamızda kullandığımız perforatör metodu ile yapılan ölçümlerin çok dikkat gerektiren bir ölçüm olduğunu ve çok hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ölçüm sırasında gözden kaçan ufak bir yanlışlık veya hata sonuçların farklı çıkmasına neden olabilmektedir. Bunun dışında farklı oranlarda eklenen alev geciktirici karışımların yongalarla karışımı esnasında eşit bir şekilde dağılıp dağılmaması gibi nedenlerde formaldehit emisyonu sonuçlarını etkilemektedir. Bunun için eklenen alev

geciktirici kimyasalların yongalar ile karışımı uzun sürede ve iyi bir şekilde gerçekleşmiştir.

Tablo 4.6. Yonga levha numunelerinin ortalama serbest formaldehit emisyon sonuçları

Levha Num.	Bileşen	Serbest Emisyonu (mg/100g)
1	Kontrol-%0	5,41±0,34
2	APP-%100	1,42±0,10
3	TPP-%100	1,58±0,05
4	CaG-%100	1,80±0,15
5	APP %50-TPP %50	1,62±0,18
6	CaG%50-%50 APP	1,49±0,13
7	TPP%50-%50CaG	2,17±0,26
8	APP %50-%25TPP-%25 CaG	1,75±0,14
9	APP%25-TPP%50-%25CaG	2,54±0,08
10	APP%25-%25TPP-%50 CaG	3,12±0,18
11	BA-%100	1,92±0,26
12	TPP %50-%50 BA	1,74±0,29
13	CaG%50-%50 BA	2,29±0,23
14	APP %50 /%50 BA	3,23±0,45

Yapılan çalışmada eklenen alev geciktirici kimyasalların serbest formaldehit değerini düşürüp düşürmediği kontrol edilmek istenmiştir. Sonuçlara bakacak ve değerlendirecek olursak kontrol numunesine göre alev geciktirici eklenmiş tüm yonga

levha numunelerinde serbest formaldehit emisyon oranı azalmıştır. Bu da ortama yayılan serbest formaldehit oranının azaldığını göstererek istenilen bir durum olduğunu işaret etmektedir. Ek olarak TS EN ISO 12460-5 standardında belirtilen serbest formaldehit emisyon oranı <8 olarak belirlenmiş olup üretilen tüm yonga levhalar bu aralığa girmektedir.

4.2.5 UL-94 Dikey Yanma Testi

Üretilen kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerinin dikey pozisyonda alev alabilirliğini ve düşük oranlarda alev maruz bırakıldığında alevin dağılılabirliğini belirlemek için UL-94 dikey yanma testi yapılmıştır.

Tablo 4.7’de belirli oranlarda alev geciktirici kimyasal eklenmiş ve eklenmemiş olarak üretilen yonga levha numunelerinin yanmaya maruz bırakılma sonucu yonga levhalarda tespit edilen UL-94 sonuçları verilmiştir.

Alev geciktirici kimyasal eklenmemiş olan yani kontrol olan yonga levha numunesi 5 dk.’dan fazla yanma göstererek yanıcı madde kategorisinde girerken, alev geciktirici kimyasal eklenmiş yonga levha numuneleri göstermiş oldukları hızlı sönme saniye süreleri ile V-0 derecesine girmişlerdir. APP, TPP ve CaG alev geciktirici kimyasalların alevi yavaşlattığı ve numunelerin alev ile temas eden yüzeylerinde oksijen ile temasını engelleyerek, koruyucu gösterecek bir şekilde kömürleşmiş tabaka oluşturdukları düşünülmektedir [54].

V-0 olarak değerlendirme yapılabilmesi için kontrol numunesi de dâhil olmak üzere tüm diğer farklı oranlarda TPP-APP-BA-CaG eklenmiş kimyasallı yonga levhaların kıvılcım alarak damlaması ve altında bulunan pamuğun alev alması gibi oluşumların görülmemesi gerekmektedir.

Kontrol numunesi de olmak üzere farklı kimyasallar eklenerek üretimi sağlanan yonga levha numuneleri kıvılcım alarak damlama ve deneyin başından düzeneğin altına yerleştirilmiş pamuğun kıvılcımların damlaması ile alev alması gibi sonuçlar elde edilmemiştir. Tüm numuneler benzer özellik göstererek herhangi bir damlama ile pamuğun alev alması eylemi gerçekleşmemiştir.

Tablo 4.7. Farklı oranlarda eklenen kimyasalların UL-94 dikey yanma testi

%Bileşim	t1 (sn)	t2 (sn)	UL-94	Damla ma	Pamuğun damlalar ile alev alması
Kontrol-0	5 dk.	Yanma devam etti	Yanıcı madde	Hayır	Hayır
APP-%100	4	8	V0	Hayır	Hayır
TPP-%100	3	4	V0	Hayır	Hayır
CaG-%100	3	5	V0	Hayır	Hayır
APP%50-TPP%50	3	5	V0	Hayır	Hayır
CaG%50-APP%50	7	14	V0	Hayır	Hayır
TPP%50-CaG%50	3	4	V0	Hayır	Hayır
APP%50-TPP%25- CaG%25	4	8	V0	Hayır	Hayır
APP%25-TPP%50- CaG%25	2	6	V0	Hayır	Hayır
APP%25-TPP%25- CaG%50	3	7	V0	Hayır	Hayır
BA-%100	5	8	V0	Hayır	Hayır
TPP%50-BA%50	2	5	V0	Hayır	Hayır
CaG%50-BA%50	3	15	V0	Hayır	Hayır
APP%50-BA-%50	2	7	V0	Hayır	Hayır

4.2.6 Limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI)

Alev geciktirici kimyasal eklenmemiş yonga levha yani kontrol numunesi ile farklı oranlarda kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerinin TS EN ISO 4589-2 standardına göre LOI testleri uygulanmıştır. Yonga levha numunelerinin LOI değerleri Tablo 4.8’ de % O₂ cinsinden verilmiştir. Tablo 4.8’ de belirtildiği gibi LOI sonuçlarına göre; %100 BA ile üretimi gerçekleşen yonga levha numunesinin % 31,5 LOI değeri ile en yüksek alev direncine sahip olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla kontrol numunesine göre alev dayanımında % 28 oranında bir artış olmuştur. İkili olarak farklı oranlarda kimyasal eklenerek üretimi gerçekleşen %50 CaG - %50 APP yonga levha numunesi ile %50 TPP - %50 CaG içeren yonga levha numuneleri de kontrol numunesine göre yanma oranlarında %21 oranında artış göstermiştir.

Tek olarak %100 APP eklenmesi ile üretilen yonga levha numunesinin LOI değeri 26,8 ölçülerek tek başına yanma oranında pek fazla artış göstermemiştir. TPP-CaG-BA kimyasalları ile ikili ve üçlü şekilde kullanım ile yapılan üretimlerde daha başarılı olmuştur. Tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlar ile farklı oranlarda kimyasal eklenerek üretimi gerçekleşen yonga levha numunelerini 14 tanesi içerisinde 12 tanesinin LOI değeri % 28 ve üzeri gelmiştir. Eklenen 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 “X tepkisi” göstermiştir.

Tablo 4.8. LOI ve yanma miktarı değerleri

Levha Numuneleri+% bileşim	LOI (% O ₂)	Yanma Süresi (s)	Yanma Miktarı (Sınır:50 mm)
%0 Kontrol	24,6	39	Geçmiyor
%100 APP	26,8	16	Geçmiyor
%100 TPP	29,1	16	Geçmiyor

Tablo 4.8. (Devam) LOI ve yanma miktarı değerleri

%100 CaG	29,1	16	Geçmiyor
%50 APP-%50 TPP	28,6	18	Geçmiyor
%50 CaG-%50 APP	29,7	20	Geçmiyor
%50 TPP-%50 CaG	29,8	16	Geçmiyor
%50 APP-%25 TPP-%25 CaG	29,3	26	Geçmiyor
%25 APP-%50 TPP-%25 CaG	28,9	32	Geçmiyor
%25 APP-%25 TPP-%50 CaG	28,8	30	Geçmiyor
%100 BA	31,5	21	Geçmiyor
%50 TPP-%50 BA	29,2	35	Geçmiyor
%50 CaG- %50 BA	29,2	33	Geçmiyor
%50 APP- %50 BA	29,6	34	Geçmiyor

4.2.7 Konik Kalorimetre Testi

Üretilen yonga levha numunelerinin yangın dayanımı analizlerinden en iyi sonuç veren, CaG kimyasalının tek veya ikili bileşimler halindeki yangın performansını tespit etmek için 1'i kontrol olmak üzere 3 adet numune 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.

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da konik kalorimetre sonucu tutuşma zamanı, ısı yayma oranı, toplam ısı yayılımı, spesifik sönme alanı, etkili yanma ısısı, duman üretim oranı değerlerinin ortalama sonuçları yer almaktadır. Tutuşma zamanı, numune yüzeylerinde meydana gelen tutuşmanın ilk başladığı zaman olarak tanımlanır. Tutuşma zamanı levhaların yangın performansını değerlendirmek açısından önemlidir [111].

Malzemelerin uzun tutuşma zamanına sahip olması malzemelerin alev ile temas ettiklerinde daha geç tutuşmaları anlamına gelmektedir Tablo 4.9’ da 4 adet yonga levha numunesinin tutuşma süreleri görülmektedir. Kontrol numunesine oranla, %100 CaG içeren yonga levha numunesi tutuşma zamanda % 45 oranında artma göstermiştir. %50 CaG -%50 APP, %50 TPP-%50 CaG kimyasal içerikli yonga levha numuneleri ise kontrol numunesine oranla sırasıyla % 29,5, %26,1 oranında artma göstermiştir. Sonuçları değerlendirildiğinde, %100 CaG ile muamele edilmiş numunenin tutuşma süresi daha yüksek olduğundan dolayı diğerlerine oranla tutuşmaya daha uzun sürede başlıyor ve yanma dayanımı daha yüksek denilebilir.

Tablo 4.9. Konik Kalorimetre cihazı ile yapılan yanma parametrelerinin sonuçları

% Bileşim	Kütlece Tutuşma Süresi (s)	Isı Oranı (1.pik) (kW/m ²)	Yayma Oranı (2.pik) (kW/m ²)	Toplam Yayılımı (MJ/m ²)	Isı
Kontrol	31	165,73	128,0	0-300 s	34,61
				0-600 s	63,43
				0-1200 s	112,41
%100 CaG	56,5	159,66	158,6	0-300 s	29,75
				0-600 s	53,23
				0-1200 s	106,61
%50 CaG-%50 APP	44	109,33	109,2	0-300 s	21,86
				0-600 s	39,82
				0-1200 s	81,38
%50 CaG-%50 TPP	42	156,69	123,0	0-300 s	32,90
				0-600 s	60,96
				0-1200 s	109,09

Tablo 4.10. Konik Kalorimetre cihazı ile yapılan yanma parametrelerinin ortalama sonuçları

% Bileşim	Kütlece Sönme Alanı (m ² /kg)	Spesifik Sönme Alanı (m ² /kg)	Etkili Yanma Isısı (MJ/kg)	Duman Üretim Hızı (m ² /s)	Toplam Duman Üretimi (m ²)	Kütle kaybı hızı (g/s.m ²)
Kontrol		37,90	13,89	0,0014	3,5	5,47
%100 CaG		27,44	12,77	0,0009	2,9	5,28
%50 CaG- %50 APP		9,03	11,19	0,0004	0,9	4,88
%50 CaG- %50 TPP		150,70	12,75	0,0030	6,3	5,39

Tutuşma zamanı, ısı yayma hızı, toplam ısı yayılımı, duman üretim hızı, iç malzemelerin alev geciktiriciliğini ve yanıcılığını değerlendirmek için kullanılan önemli parametrelerdir [112].

Şekil 4.4’de numunelerin ısı yayma hızları grafik halinde gösterilmektedir.

Konik kalorimetre testinden elde edilen birincil sonuç, zaman eğrisine göre ısı yayma hızıdır. Isı yayma birim zamanda numuneden çıkan ısı olarak tanımlanır ve yanma esnasında tüketilen oksijen tarafından belirlenmektedir [113].

Şekil 4.4’de görüldüğü üzere numuneler tutuşturulduğu zaman ısı yayma hızı önce artan, sonra azalan ve tekrar artan bir davranış sergilemiştir. Numunelerin tümünde ısı yayma hızlarında zamanla birlikte iki adet ekzotermik pik gözlenmiştir [114-115-116].

Ahşap numunelerin yüzeyi önce ısı radyasyonuna maruz bırakılarak yanıcı maddeye ayrıştırma sağlanmıştır. Numunenin yüksek sıcaklık koşullarında yanma reaksiyonu devam ederek ilk ekzotermik tepe meydana gelmiştir. İlk ekzotermik pik, yüzeyde kömürleşmiş tabakanın oluşumundan kaynaklanmaktadır. Bu pikin oluşumundan sonra, ısı yayma hızındaki azalma eğilimi, ısı miktarını ve iç yanma alanına gaz emisyonunu

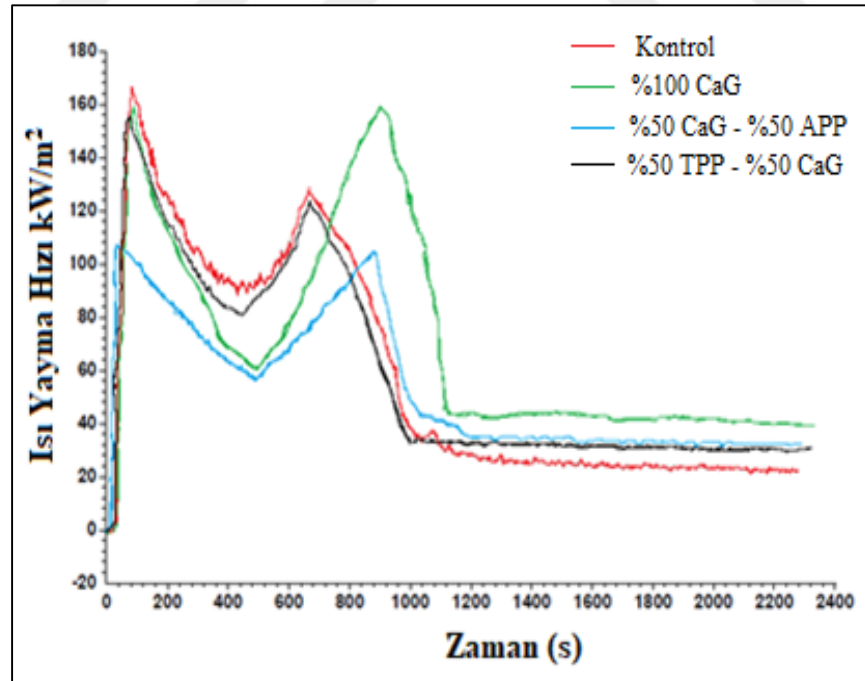
azaltan dıştaki kömürleşmiş katmanının etkisidir. İkinci oluşan ekzotermik pik, yüksek sıcaklıkta numunenin arkasında biriken ısı nedeniyle başlamıştır [117].

Isı kademe kademe iç alana aktarılır. Ahşap numunelerin iç alanı daha sonra ısıya maruz bırakılır, ayrışır ve yüksek sıcaklık koşulları altında yakılır. Yanıcı malzemeler arttığından ve ısı yayma hızı yükseldiğinden, ikinci ekzotermik pik meydana gelmiştir. İkinci pik bazı numunelerde belirgin olduğu için bazı numunelerde 1.pik yerine kullanılmaktadır [118].

Değerlendirme yapılırken en yüksek ısı yayma oranına sahip oranlar kullanılmıştır. 1.ekzotermik pik değerlerine bakıldığında, en yüksek azalma gösteren numune %50 CaG-%50 APP kimyasal içeren yonga levha numunesidir.

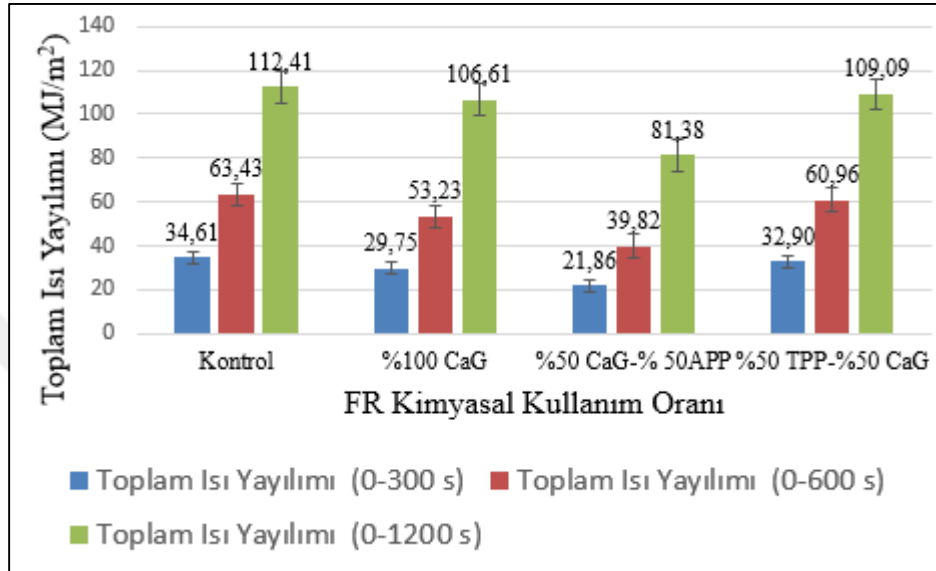
%50 CaG-%50 APP kimyasal içeren yonga levha numunesi kontrol numunesine göre ısı yayma hızında %34 oranında bir azalma göstermiştir.

%100 CaG ve %50 CaG-%50 TPP alev geciktirici kimyasal içeren yonga levha numunelerinin ısı yayma hızları sırası ile %3,6 ve %5,4 oranında azalma göstermiştir.



Şekil 4.4 Yonga levha numunelerinin ısı yayma oranları karşılaştırmalı grafiği

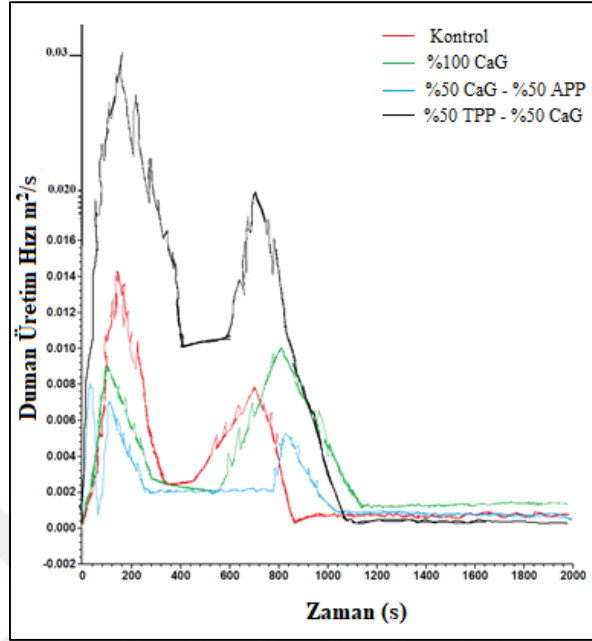
Şekil 4.5’de de görüldüğü üzere yonga levha numunelerinin toplam ısı yayılımlarını (0-300) değerlendirecek olursak, %100 CaG, %50 CaG-%50 APP ve %50 CaG-%50 TPP içeren yonga levha numuneleri kontrol numunesine göre sırasıyla, %14, %36,8 ve %4,9 oranında azalma göstermişlerdir. En yüksek oranda azalma gösteren %50 CaG-%50 APP içeren yonga levha numunesine aittir.



Şekil 4.5. Yonga levha numunelerinin belirli sürelerdeki toplam ısı yayılımı değerleri

Duman üretme hızı, belirli bir söndürme alanının, kütle kaybına oranına bölünmesinden hesaplanabilen birim zaman başına salınan yoğun duman miktarını ifade etmektedir. Toplam duman üretimi ise, yanma ve piroliz sürecinde malzeme tarafından salınan toplam duman miktarı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.6’da yonga levha numunelerinin duman üretme hızlarının karşılaştırması yer almaktadır. Duman üretme hızlarını değerlendirecek olursak, % 100 CaG, % 50 CaG-% 50 APP içeren yonga levha numuneleri kontrol numunesine göre sırasıyla, % 35,7, % 71,4 oranında azalma, % 50 CaG-%50 TPP numunesinde ise kontrol numunesine göre % 53,5 oranında artma gözlemlenmiştir. Toplam üretimi sonuçlarında ise, % 100 CaG, % 50 CaG-%50 APP içeren yonga levha numuneleri kontrol numunesine göre sırasıyla, %17,1 ve % 74,3 oranında azalma, % 50 CaG-% 50 TPP oranında kimyasal içeren numune de ise % 44,4 oranında artma meydana gelmiştir. Hem duman üretme hızı hem de toplam üretim değerleri sonucunda APP ve CaG alev geciktirici kombinasyonlu kimyasalların sinerjik duman bastırma etkisi ile alev geciktiricili

yonga levhaların daha kompakt ve şişen bir kömür oluşumunu teşvik eden termal olarak kararlı bariyer olarak işlev görmesini sağladığı görülmektedir.

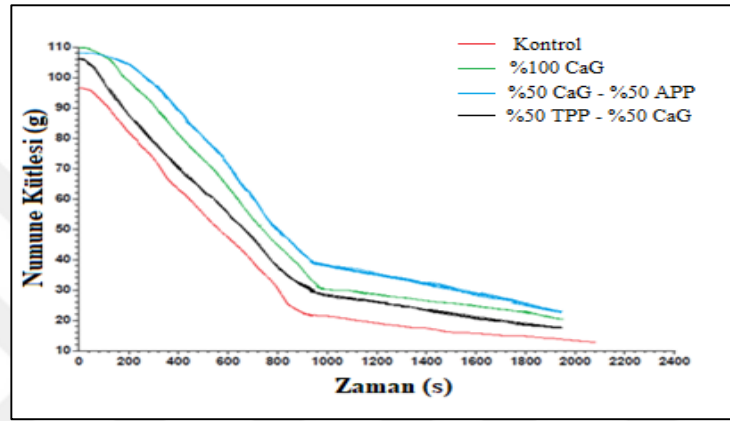


Şekil 4.6 Yonga levha numunelerinin duman üretim hızlarının karşılaştırmalı grafiği

Duman emisyonununun bir başka endeksi, spesifik söndürme alanıdır. Duman veriminin bir ölçüsü olup bu değer ne kadar yüksekse, numunenin kilogramı başına yayılan duman miktarının da fazla olduğu kabul edilmektedir [120]. Spesifik söndürme alanı sonuçları duman üretme hızı ve toplam duman üretimi sonuçları ile birbirini doğrulamaktadır. Kontrol numunesine oranla % 100 CaG, % 50 CaG-% 50 APP kimyasal içeren numunelerin söndürme alanları, % 27,6, % 76,2 oranında azalma göstermiştir. % 50 CaG-% 50 TPP oranında kimyasal içeren numune de ise % 74,9 oranında artma meydana gelmiştir.

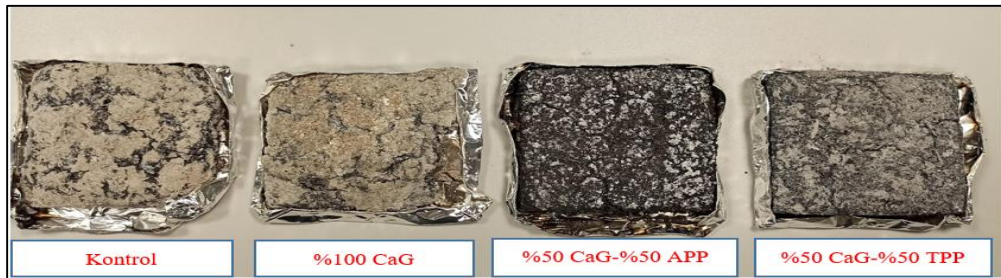
Etkili yanma ısı, gaz fazı salınımını ve kütle kaybı oranını ifade etmektedir. Kontrol numunesine oranla tüm numunelerde etkili yanma ısı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. % 100 CaG, % 50 CaG-% 50 APP ve % 50 CaG-% 50 TPP içeren yonga levha numuneleri kontrol numunesine göre sırasıyla, 12,77 MJ/kg, 11,19 MJ/kg, 12,75 MJ/kg değerlerinde gelmiştir. Yanma ile oluşan uçucu gazların yanma olasılığını azalttığı söylenebilir.

Kütle kaybı hızı, konik kalorimetre sonucu ölçülen diğer parametrelerden biridir. Kütle kaybı ne kadar düşük olursa, yanma sırasında kömür kalıntısı da o kadar yüksek olacağından, malzemenin kömürleşme kabiliyeti de o oranda etkilenecektir. Yonga levha numunelerinin kütle kaybı hızı sonuçlarına göre en düşük değer % 50 CaG-% 50 APP kimyasal içeren numuneye aittir. %100 CaG ve % 50 CaG-%50 TPP oranında kimyasal içeren numunelerin sonuçları kontrol numunesine çok yakındır. Şekil 4.7' de de yonga levha numunelerinin zamana bağlı kütlelerindeki değişim görülmektedir.



Şekil 4.7. Numune kütlesinin zamana bağlı değişim grafiği

Şekil 4.8' e bakıldığında, % 50 CaG-% 50 APP numunesi, kömür tabakası hacim olarak önemli ölçüde genişledi, malzemenin yüzeyine dağılmış solucan benzeri ve beyaz renkte bir yapı oluşturdu ve alev ile alttaki malzemeler arasındaki mesafeyi arttırarak numunenin yanma yoğunluğunu ve yanma ısısını düşürmüştür [120, 121]. % 50 CaG-% 50 APP içeren numune, APP'nin ayrışmasıyla oluşan polifosfatlar çapraz bağlı bir karbonlu yapı oluşturduğundan daha kompakt bir kömür yapısına sahip gibi görünmektedir [122, 123]. Kontrol ve % 100 CaG kimyasal içeren yonga levha numuneleri birbirine benzer yapıda kalıntı görseli oluşturmuşlardır.



Şekil 4.8: Konik kalorimetre analiz sonucunda kalıntı numunelerinin görüntüsü

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kütlece farklı oranlarda alev geciktirici kimyasal eklenerek üretimi sağlanan yonga levha numunelerinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve alev dayanımının artırılması hedeflenmiştir. Yonga levha ahşabı için orta tabakaya kaba yonga, alt ve üst tabakaya ince yongalar, alev geciktirici kimyasallar olarak; amonyum polifosfat (APP) , trifenil fosfat (TPP), borik asit (BA) ve kalsiyum glukonat (CaG) kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, kontrol ve belirli oranlarda kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerine fiziksel olarak yoğunluk, rutubet, mekanik olarak eğilme direnci, yüzeye dik yönde çekme direnci, yüzey dayanımı, formaldehit emisyonu, alev dayanım özellikleri için limit (sınırlayıcı) oksijen indeksi (LOI), UL-94 dikey yanma ve konik kalorimetre analizleri uygulanmıştır.

Fiziksel test sonuçları incelendiğinde; kimyasal eklenmiş tüm yonga levha numunelerinin yoğunluk değerleri çalışmanın başında hedeflenen değerler içerisinde olup rutubet değerleri de % 4 ile % 8 arasında değişen değerler aldığı görülmüştür. Mekanik özelliklerde ise, farklı oranlarda eklenen alev dayanıklı kimyasal ile üretilen yonga levhaların eğilme direnci sonuçları kontrol numunesi sonuçları ile benzer sonuçlar göstermiştir. Kimyasal eklenmiş yonga levha numunelerini, kontrol numunesi ile kıyas yaptığımızda yüzeye dik çekme değerlerini arttırmaktadır. Yüzey dayanıklılık testinde değerlerin birbirlerine eşit ya da yakın ölçüm sonuçlar verdiği görülmüştür. Serbest formaldehit emisyon sonuçlarında, kontrol numunesine göre alev geciktirici eklenmiş tüm yonga levha numunelerinde serbest formaldehit emisyon oranı azalmıştır. Bu durum da ahşap levhalar için istenilen bir durumdur.

UL-94 dikey yanma testi sonuçlarında, kontrol olan yani hiç alev geciktirici kimyasal eklenmemiş olan yonga levha numunesi 5 dk.'dan fazla yanma göstermiştir yanıcı madde kategorisinde girmiştir. Alev geciktirici kimyasal eklenmiş yonga levha numuneleri V-0 derecesine girmişlerdir. Kontrol numunesi ve tüm diğer farklı oranlarda TPP-APP-BA-CaG eklenmiş kimyasallı yonga levhaların kıvılcım alarak damlaması ve altında bulunan pamuğun alev alması gibi parametreler tespit edilmemiştir.

LOI analiz sonuçlarına bakıldığı zaman, %100 BA ile üretimi gerçekleşen yonga levha numunesinin % 31,5 LOI değeri ile en yüksek alev geciktirici etkiye sahiptir. %50 CaG - %50 APP yonga levha numunesi ile %50 TPP - %50 CaG içeren yonga levha numuneleri de sırasıyla, % 29,7, % 29,8 değerinde gelmiştir. Tek olarak %100 APP eklenmesi ile üretilen yonga levha numunesinin LOI değeri 26,8 ölçülerek tek başına yanma oranında pek fazla artış göstermediği TPP-CaG-BA kimyasalları ile ikili ve üçlü şekilde kullanım ile yapılan numunelerde daha yüksek değerlerde geldiği gözlemlenmiştir.

En yüksek gelen numuneler arasında kontrol numunesi ile beraber %100 CaG ,%50 CaG-%50 APP ve % 50 CaG-% 50 TPP içeren numunelere konik kalorimetre testi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, % 50 CaG-% 50 APP kimyasal oranına sahip yonga levha numunesi kontrol numunesine oranla yanma ısısı (% 34 oranında) , duman üretme hızı (%71,4 oranında), toplam ısı yayılımı (%36,8) ve etkin yanma ısısı değerlerinde diğer numuneler ile karşılaştırıldığında gözle görülür bir azalma meydana gelmiştir. Aynı zamanda %50 CaG - %50 APP içeren yonga levha numune yanma sonrası kalıntı numune sonuçlarına bakıldığında diğer numunelerden daha çok kömür tabakasına sahip bir yapı elde edildiği görülmektedir.

Tüm analiz sonuçları değerlendirilirse, yonga levha numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri iyi sonuçlar vermiştir, formaldehit emisyonunda azalma meydana gelmiştir. Yangın performansı için LOI değerinde yüksek değerin çıkması, UL-94 dikey yanma testinin V-0 gelmesi ve konik sonuçlarında ısı yayılımı, yanma ısısı ve duman üretme hızlarında azalma gösteren % 50 CaG-%50 APP karışım numunesinin yangın geciktirici etkisi yapabileceği öngörülmektedir. Tüm veriler ışığında, ilerleyen dönemde yapılacak çalışmalarda da yüksek alev dayanım elde edebilmek için APP ve CaG kimyasalların dışında, guanidin bazlı fosfat kimyasalları da beraber kullanılarak sinerjik etkilerinin araştırılması önerilebilir. Diğer bir öneri ise, yonga levha numunelerine üretim aşamasında eklenen katı haldeki kimyasalların sulu çözelti halinde hazırlanarak yonga levha numunelerine eklenerek mekanik ve yangın dayanım özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Sharma N.K., Verma C., Chariar V.M., Prasad R., Eco-friendly Flame-retardant Treatments for Cellulosic Green Building Materials, *Indian Institute of Technology*, 2015, **24**(3), 422-432.
- [2] Rowell R.M., Dietenberger M.A., *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, 2nd ed., CRC Press-Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2013.
- [3] Hirata T., Kawamoto S., Nishimoto N., Thermogravimetry of Wood Treated with Water-insoluble Retardants and a Proposal for Development of Fire-retardant Wood Materials, *Fam Fire and Materials*, 1991, **15**(1), 27–36.
- [4] Buchanan A.H., Fire Performance of Timber Construction, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2000, **2**(3), 278–289.
- [5] Frangi A., Fontana M., Hugi E., Jöbstl R., Experimental Analysis of Cross-laminated Timber Panels in Fire, *Fire Safety Journal*, 2009, **44**(8), 1078–1087.
- [6] Schmid J., Just A., Klippel M., Fragiaco M., The Reduced Cross-section Method for Evaluation of the Fire Resistance of Timber Members: Discussion and Determination of the Zero-strength Layer, *Fire Technology*, 2015, **51**(6), 1285–1309.
- [7] Lowden L.A., Hull T.R., Flammability Behaviour of Wood and a Review of the Methods for Its Reduction, *Fire Science Reviews*, 2013, **2**(4), 2-4.
- [8] Gu J.W., Zhang G.C., Dong S.L., Study on Preparation and Fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant coatings, *Surface and Coating Technology*, 2007, **(201)**18, 7835–7841.
- [9] Candan Z., Ayırlımış N., Akbulut T., Dimensional Stability Performance of Fire-retardant Treated Veneer-oriented Strandboard Composites, *Bioresources*, 2011, **6**(1), 308–316.
- [10] LeVan S.L., Winandy J.E., Effect of Fire Retardant Treatments on Wood Strength: a Review, *Wood Fiber Science*, 1990, **22**(1), 113–131.
- [11] Pedieu R., Koubaa A., Riedl B., Wang X.M., Deng J., Fire-retardant Properties of Wood Particleboards Treated with Boric Acid, *European Journal of Wood and Wood Products*, 2012, **70**(1), 191–197.
- [12] Jiang J., Li J., Hu J., Fan D., Effect of Nitrogen Phosphorus Flame Retardants on Thermal Degradation of Wood, *Construction and Building Materials*, 2010, **24**(12), 2633–2637.

- [13] G.A Ormnondroyd, *Adhesives for Wood Composites, Introduction – A Brief History of Wood Composites Resins*, In *Wood Composites*, 2015 ed., Woodhead Publishing, Cambridge, 47-66, 2015.
- [14] TS EN 309 Ahşap Yonga Levhalar-Tarif ve Sınıflandırma, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1999.
- [15] TS 1770, Odunlifi ve Yongalevhaları – Sentetik Reçinelerle Kaplanmış, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1974.
- [16] Bozkurt Y., Göker Y., *Yonga levha Endüstrisi*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:3614/413 , İstanbul, 14-170,1990
- [17] Göker Y., “Değişik Yöntemlerle Üretilmiş Yongalevhaların Kullanım Yerleri”, *Laminart Mobilya ve Dekorasyon ve Sanat ve Tasarım Dergisi*, 2000, (7), 128-133.
- [18] Bozkurt Y., Göker Y., *Orman Ürünlerinden Faydalanma*, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 3946/437, İstanbul, 230-250, 1996.
- [19] Kalaycıoğlu H., Yonga Levha Teknolojisi, *Laminart Mobilya ve Dekorasyon ve Sanat ve Tasarım Dergisi*, 2000, **7**, 120-126.
- [20] TS EN 309, Ahşap Yongalevhalar-Tarif ve Sınıflandırma, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1999.
- [21] Akyıldız M.H., Türkiyede Yongalevha ve Lif Levha Endüstrisinin Yapısı ve Sorunları , Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003, 133493.
- [22] T.C Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, <http://www.ogm.gov.tr> (Ziyaret Tarihi: 18 Mart 2021).
- [23] Hagstrand, P.O., Mechanical Analysis of Melamine-formaldehyde Composites. Ph.D. thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 1999, 101181.
- [24] Crick C.R., Parkin I.P., Aerosol Assisted Deposition of Melamine-formaldehyde Resin: Hydrophobic Thin Films from a Hydrophilic Materia, *Thin Solid Film*, 2011, **519**(7), 2181-2186.
- [25] Baltieri R.C., Innocentini-Mei L.H., Tamashiro W.M.S.C., Peres L., Bittencourt E., *European Polymer Journal*, 2002, **38**(1), 57-62.
- [26] Kandelbauera A., Model-free Kinetic Analysis of Melamine–formaldehyde Resin Cure, *Chemical Engineering Journal*, 2009, **152** (2), 556-565 s.
- [27] Mercer, A. T. and Pizzi, A., A 13C-NMR Analysis Method for MF and MUF Resin Strength and Formaldehyde Emission from Wood Particleboard, II. MF resins, *Journal of Applied Polymer Science.*, 1996, **61**(10), 1697–1702.

- [28] Research and Markets, Amino Resin Market e by Types (Urea Formaldehyde, Melamine Formaldehyde, Melamine Urea Formaldehyde), Applications (Particle Board, MDF, Plywood, Laminates, Coatings) & Geography e-Global Trends & Forecasts. *Markets and Markets 2013-2018*, 268 p, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/amino-resins-market-966.html> (Ziyaret Tarihi: 28 Nisan 2021).
- [29] Uysal B., ve Kurt Ş., Dimensional Stability of Laminated Veneer Lumbers Manufactured by Using Different Adhesives After the Steam Test, *Gazi University Journal of Science*, 2005, **18**(4), 681-691.
- [30] Frihart C.R., *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, USA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, pp., 2005, 215-259.
- [31] Schmidt R.G., Aspect Of Wood Adhesion: Application of 3C CP/MAS NMRA and Fracture Testing, Doctorate Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia,1998, pp.150.
- [32] Biçer A., Sodyum Karboksümetilselüloz (Na-CMC) Modifiyeli Yonga Levha Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 2014, 390556.
- [33] Bozkurt Y. ve Göker Y., *Yonga Levha Endüstrisi Ders Kitabı*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1990, 258 s.
- [34] Eroğlu H., ve Usta M., *Lif Levha Üretim Teknolojisi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 200, Fakülte Yayın No: 30, Trabzon, 2000, s. 351.
- [35] Alvir F., Yönlendirilmiş Yonga Levhaların Üretimi Özellikleri ve Kullanım Yerleri Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2001, 105350.
- [36] Güler C., Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Saplarından Kompozit Levha Üretimi Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 2001, 151 s.
- [37] Dunky M., *The Chemistry of Adhesives, in: COST Action E13 Wood Adhesive*, first edition, Austria, Report on the State of the Art, 2002.
- [38] Karakuş B., Çeşitli Bitkisel Sera Atıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2007, 96 s.

- [39] Baharoğlu M., Ağaç Türü, Parafin Kullanım Miktarı ve Uygulama Őeklinin Yonga Levhanın Fiziksel ve Mekanik zellikleri zerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2010, 155 s.
- [40] zliusoylu İ. Üre-formaldehit Tutkalının Sodyum-karboksimetilselüloz ile Modifikasyonun Yonga Levhaların Bazı zellikleri zerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 2016.
- [41] zen R., *Yonga Levha Endüstrisi Ders Notları*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Ders Notları: 30, Trabzon, 1980.
- [42] Peker H., ve Atılgan A., Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun Yanma özelliği ve Koruma Yöntemleri, *Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering*, 2015, **15** (2).
- [43] Uysal B., zifti A., The Effects of Impregnation Chemicals on Combustion Properties of Laminated Wood Material, *Combustion Science & Technology*, 2004, **176**(1), 117– 133.
- [44] Akıncıtrk, N., Perker, S., 700 Yıllık Tarihi Cumalıkızık YerleŐimindeki Ahşap Yapılarda Yangın Yalıtımı, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yalıtım ve Enerji Yönetimi Kongresi*, Ankara, Türkiye, 21-22-23 Mart 2003, 151-159.
- [45] Aslan S., *Ağaç Dendrolojisi Odun Anatomisi*, 1.baskı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Beytepe, Ankara, 1994.
- [46] Bozkurt AY., Erdin N., Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları Yayın No: 445, İstanbul, 1997, 372 s.
- [47] Uysal B., eŐitli Kimyasal Maddelerin Ağaç Malzemenin Yanmaya Dayanıklılığı zerine Etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997, 67966.
- [48] Troitzsch J., *International Plastics Flammability Handbook*, 2nd ed., Hanser Publishers, Munich, Vienna, New York, 1990.
- [49] Garlotta D A., Literature Review of Poly(lactic acid), *Journal of Polymers and the Environment*, 2001, **9**(2), 63–84.
- [50] Pettigrew A., *Halogenated Flame Retardants*, *KirkOthmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th ed., New York, John Wiley & Sons, 1993, 954-976.
- [51] Cullis CF., Bromine Compounds as Flame Retardants. *In: Proceedings of the International Conference on Fire Safety*, **12**, 1987, 307-323.
- [52] Zhang S. and Horrocks A.R., A review of Flame Retardant Polypropylene Fibres, *Progress in Polymer Science*, 2003, **28**(11), 1517-1538.

- [53] Hollingbery L.A. and Hull T. R., The Fire Retardant Behaviour of Huntite and Hydromagnesite, *Polymer Degradation and Stability*, 2010, **95**(12), 2213-2225.
- [54] Durgun Z G., Çeşitli Kalsiyum Boratların Sentezi, Karakterizasyonu ve Alev Geciktirici Etkinliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, 284917.
- [55] Ataman Kimya, Amonyum Polifosfat Kullanım Alanları, <https://www.ataman-chemicals.com/urunler/amonyum-polifosfat-229.html>, (Ziyaret tarihi 28 Mart 2021).
- [56] Bourbigot S., Le Bras M., Intumescence Flame Retardants and Char Formation, Editors: Troitzsch J, *Plastics Flammability Handbook*, 3rd ed., Hanser Publishers, Munich, **139**, 2004.
- [57] Abdallah M.A.E., C.A., Organophosphate Flame Retardants in Indoor Dust from Egypt: Implications for Human Exposure, *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(9), 4782-4789.
- [58] Stapleton, H.M., Klosterhaus S., Eagle S., Fuh J., Meeker J.D., Blum A., Webster T.F., Detection of Organophosphate Flame Retardants in Furniture Foam and U.S. House Dust, *Environmental Science & Technology*, 2009, **43**(19), 7490–7495.
- [59] Van der Veen I., Boer J., Phosphorus Flame Retardants: Properties, Production, Environmental Occurrence, Toxicity and Analysis, *Chemosphere*, 2012, **88**(10), 1119–1153.
- [60] Mendelsohn E., Hagopian A., Hoffman K., Butt C. M., Lorenzo A., Congleton J., Webster T. F., Stapleton H. M., Nail Polish as a Source of Exposure to Triphenyl Phosphate, *Environment International*, 2016, **86**, 45–51.
- [61] Francis J. Prescott, John K. Shaw, James P. Bilello, and Gordon O. Cragwall, Gluconic Acid and Its Derivatives, *Ind. Eng. Chem.* 1953, **45**(2), 338–342.
- [62] The American Society of Health-System Pharmacists, 2017, [https://en.wikipedia.org/wiki/Acetic_acid_\(medical_use\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Acetic_acid_(medical_use)), (Ziyaret Tarihi: 25 Mart 2021).
- [63] Stuart MC., Kouimtzi M., Hill S., WHO Model Formulary, World Health Organization, 2008, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44309>, (Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021).
- [64] Krause M., Keller J., Beil B., Van D.I., Zustin J., Barvencik F., Schinke T., Amling M., Calcium Gluconate Supplementation is Effective to Balance Calcium Homeostasis in Patients with Gastrectomy, *Osteoporos*, 2015, **26**(3), 987–95.
- [65] Wikipedia, Borik Asit, Borik Asit Üretim Yöntemleri, https://tr.wikipedia.org/wiki/Borik_asit (Ziyaret tarihi: 28 Mart 2021).

- [66] Borik Asit Nerelerde Kullanılır, Üretim Yöntemleri, <https://sorhocam.com/mobil/konu.asp?sid=4241&borik-asit-nedir-nerelerde-kullanilir.html>, (Ziyaret Tarihi: 28 Mart 2021).
- [67] Borik Asit Kimyasal Yapısı, Kimyasal Şekli <http://it.powderedlactulose.com/info/encyclopedia-of-boric-acid-33937283.html>, (Ziyaret Tarihi: 28 Mart 2021).
- [68] Yonga levha üretim esnasında kullanılan sistemler, <http://www.siempelkamp.com/>, (15 Şubat 2016).
- [69] Özen, R., *Yonga Levha Endüstrisi Ders Notları*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No:30, 1980, Trabzon.
- [70] Usta, P., Çay Bitkisi Atıklarından Elde Edilen Kompozit Levhanın Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 2011.
- [71] Bozkurt, A.Y. ve Göker, Y., *Yongalevha Endüstrisi*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları No: 331/372, 1985, İstanbul.
- [72] Akbulut, T., Dünya’da ve Türkiye’de MDF Endüstrisinin Genel Durumu. *Laminart Mobilya ve Dekorasyon ve Sanat ve Tasarım Dergisi*, 200, 3, 44-47.
- [73] Biele şirketi, yonga levha üretim aşamaları, http://www.biele.com/img/biele_wood/3-three-layer-board-solid-wood/2-press-lines-big-1.jpg (Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2016).
- [74] Gündüz G., Yılmaz A.A., Türkiye’de 16 farklı Tesiste Üretilen Yonga Levhaların Teknolojik Özellikleri, *ZKU Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 2005, 7(8), 49-57.
- [75] TS EN 319, Yonga Levhalar ve Lif Levhalar- Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1999.
- [76] TS EN 310, Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1999.
- [77] TS EN 322, Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1999.
- [78] TS EN 311 Ahşap Esaslı Levhalar-Yüzey Sağlamlığı-Deney Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1999.
- [79] TS EN 4894 120, Ahşap Esaslı Levhalar-Formaldehit Miktarının tayini-Ekstrasyon Metodu ile Ayırma, *Türk Standartları Enstitüsü* Ankara, 1999.
- [80] ASTM D 2863, Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), *American Society for Testing and Materials*, USA, 2004.

- [81] TS 11162 (EN ISO 4589-2), Plastikler – Oksijen İndisi ile Yanma Davranışının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2001.
- [82] TS 11162 (EN ISO 4589-3), Plastikler – Oksijen İndisi ile Yanma Davranışının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2001.
- [83] Z.Aslankılıç, Alev Geciktirici Katkı Maddelerinin PVC Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008, 232315.
- [84] Tatlı N. Ö., Üç İplik Kumaş Yapısının ve Geçirdiği Terbiye İşlemlerinin Yanma Davranışı Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, 222487.
- [85] Tuzcu H., Isı Yalıtım ve Otomotiv Endüstrilerinde Kullanılan Yanmaya Dirençli Poliüretan Esaslı Malzemelerin Tutuşma ve Yanma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2010, 275314.
- [86] ASTM D 3801-00 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.
- [87] Babrauskas V. and Peacock R.D., Heat Release Rate: The Single Most Important Variable In Fire Hazard, *Fire Safety Journal*, 1992, **18**(3), 255-272.
- [88] FTT Cone Calorimeter brochure, Available from World Wide Web: <http://www.fire-testing.com>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mart 2021).
- [89] Huggett C., Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements. *Fire and Materials*, 1980, **4**(2), 61-65.
- [90] Kamal I., Malek ARA., Yusof M.N.M., Maseat K., Ashaari Z., Abood F., Physical and Mechanical Properties of Flame Retardant-treated Hibiscus Cannabinus Particleboard, *Mod Appl Sci.*, 2009, **3**(8), 2-8.
- [91] Çolakoğlu, G., Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Kitabı, *K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları*, Trabzon, 2001.
- [92] Yeniocak, M., Bağ Budama Artıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, 12- 13, Muğla, 2008, 179521.
- [93] Basson G.R., Conradie W.E., Preservative and Fire-retardant Composition and Combination and Process, 2001, United States Patent No: 6,319,431, *United State Patent*.

- [94] Hashim R., Sulaiman O., Kumar R.N., Tamyez P.F., Murphy R.J., Ali Z. Physical and Mechanical Properties of Flame Retardant Urea-formaldehyde Medium Density Fiberboard, *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, **209**(2), 635–640.
- [95] Jiang J., Li J., Gao Q., Effect of Flame Retardant Treatment on Dimensional Stability and Thermal Degradation of Wood, *Construction and Building Materials*, 2015, **75**, 74-81.
- [96] Mamatha B.S., Sujatha D., Nath S.K., Uday D.N and Nandanwar A., Development of Fire Retardant Wood Composite Using Amino Resin , K.K. Pandey et al. (eds.), *Wood is Good*, DOI 10.1007/978-981-10-3115-1-32, 353-361.
- [97] Wang F., Liu J., Lv W., Thermal Degradation and Fire Performance of Wood Treated with PMUF Resin and Boron Compounds, *Fire and Materials*, DOI : <https://doi.org/10.1002/fam.2445>.
- [98] Lu J., Jiang P., Chen Z., Li L. , Huang Y., Flame Retardancy, Thermal Stability, and Hygroscopicity of Wood Materials Modified with Melamine and Amino Trimethylene Phosphonic Acid, *Construction and Building Materials*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat>.
- [99] Ma Y., Zhang W., Li L., Zhang M., Cheng Z., Wang C., Chu F., The Influence of Amount of Wood Fiber on New Flame-retardant Melamine-Urea-Formaldehyde (MUF) Composite Foam, *Advanced Materials Research Vols*, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.393-395.1012.
- [100] Zhao P., Guo C., Li L., Exploring the Effect of Melamine Pyrophosphate and Aluminum Hypophosphite on Flame Retardant Wood Flour/Polypropylene Composites, *Construction and Building Materials*, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.074.
- [101] Ozyhar T., Tschannen C., Hilty F., Thoemen H., Schoelkopf H., Zoppe J., Mineral-Based Composition With Deliquescent Salt as Flame Retardant for Melamine–Urea–Formaldehyde (MUF)-Bonded Wood Composites, *Wood Science and Technology*, (2021), **55**, 5–32.
- [102] Ustaömer D., and Başer U.E., Thermal and Fire Properties of Medium-density Fiberboard Prepared with Huntite/hydromagnesite and Zinc Borate, “*Huntite & zinc borate*,” *BioResources*, 2020, **15**(3), 5940-5950.
- [103] Yang K. and Li X., Preparation of Mineral Bound Particleboards with Improved Fire Retardant and Smoke Suppression Properties Based on a Mix of Inorganic Adhesive, *Holzforschung*, 2019, **73**(6), 599-604.
- [104] Özdemir F., and Tutuş A., Effects of Coating with Calcite Together with Various Fire Retardants on the Fire Properties of Particleboard, *Coated particleboard*, *BioResources*, 2016, **11**(3), 6407-6415.

- [105] Pedieu R., Koubaa A., Riedl B., Wang X., Deng J., Fire Retardant Properties of Wood Particleboards Treated with Boric Acid, *Eur. J. Wood Prod.*, 2012, **70**, 191-197.
- [106] Izran K., Zaidon A., Beyer G., Abdul Rashid A.M., Aabood F., Rahim S., Optimising Treatment System for Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) Particleboard with Fire Retardants, *Journal of Tropical Forest Science*, 2010, **22**(2), 175-183.
- [107] Keskin H., Kucuktuvek M., Guru M., The Potential of Poppy (*Papaver Somniferum* Linnaeus) Husk for Manufacturing Wood-Based Particleboards, *Construction and Building Materials*, 2015, **95**, 224-231.
- [108] Hashim R., How L.S., Kumar R.N., Sulaiman O., Some of the Properties of Flame Retardant Medium Density Fiberboard Made from Rubberwood and Recycled Containers Containing Aluminum Trihydroxide, *Bioresource Technology*, 2005, **96**, 1826-1831.
- [109] Wang N., Liu Y., Xu C., Liu Y., Wang Q., Acid-Base Synergistic Flame Retardant Wood Pulp Paper with High Thermal Stability, *Carbohydrate Polymers*, 2017, **178**, 123-130.
- [110] Angelini S., Barrio A., Cerruti P., Scarinzi G., Garcia-Jaca J., Savy D., Piccolo A., Malinconico M., Lignosulfonates as Fire Retardants in Wood Flour-Based Particleboards, *International Journal of Polymer Science*, 2019, ID 6178163, 10 pages, DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/6178163>.
- [111] Li B., *Smoke Suppression and Fire-Retardant of Poly (Vinyl Chloride). Harbin*, first edition, Northeast Forestry University Press, Chinese, 2000, 85-204.
- [112] Li B., Influence of Polymer Additives on Thermal Decomposition and Smoke Emission of Poly(vinyl chloride), *Polym Degrad Stabil*, 2003, **82**(3), 467-76.
- [113] ASTM E 1354, Annual Book of ASTM Standards, Conshohocken, PA: *American Society for Testing and Materials*, 2008, **4**(7).
- [114] Grexa O., Lubke H., Flammability Parameters of Wood Tested on a Cone Calorimeter, *Polymer Degradation and Stability*, 2001, **74**(3), 427-432.
- [115] Chung Y., Comparison of Combustion Properties of Native Wood Species Used for Fire Pots in Korea, *Journal of Industrial Engineering Chemistry*, 2010, **16**(1), 15-19.
- [116] Lee B., Kim H., Kim S., Kim J., Deng Y., Feng Q., Luo J., Evaluating the Flammability of Wood-based Panels and Gypsum Particleboard Using a Cone Calorimeter, *Construction and Building Materials*, 2011, **25**, 3044-3050.

- [117] Li K., Pau D., Wang J., Ji J., Modelling Pyrolysis of Charring Materials: Determining Flame Heat Flux Using Bench-scale Experiments of Medium Density Fibreboard, *Chemical Engineering Science*, DOI:10.1016/j.ces.2014.10.043
- [118] Xu Q., Chen L., Harries K.A., Zhang F., Liu Q., Feng J., Combustion and Charring Properties of Five Common Constructional Wood Species from Cone Calorimeter Tests, *Constr. Build. Mater.*, 2015, **96**, 416–427.
- [119] Babrauskas V. and Grayson S.J., *Heat Release in Fires*, First edition, Eds., Interscience Communication Ltd., USA, 1992.
- [120] Han Z.D, Dong L.M, Li Y., and Zhao H., A Comparative Study on the Synergistic Effect of Expandable Graphite with APP and IFR in Polyethylene, *Journal Fire Science*, 2007, **25**(1), 79-91.
- [121] Bai G., Guo C., Li L., Synergistic Effect of Intumescent Flame Retardant and Expandable Graphite on Mechanical and Flame Retardant Properties of Wood Flour-polypropylene Composites, *Construction and Building Materials*, 2014, **50**, 148-153.
- [122] Stark N.M., White R.H., Mueller S.A., Osswald T.A., Evaluation of Various Fire Retardants for Use in Wood Flour-polyethylene Composites, *Polymer Degradation Stability*, 2010, **95**, 1903-1910.
- [123] Zhang, Z.X., Zhang, J., Lu B.X., Xin Z.X., Kang C.K., and Kim J.K., Effect of Flame Retardants on Mechanical Properties, Flammability and Foamability of PP/Wood-fiber Composites, *Composites Part B: Engineering*, 2012, **43**, 2012, 150-158.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Doğancı E., **Gümüş N.**, Yonga Levhalara Ure-formaldehit Reçinesi Kullanılarak Yeni Alev Geciktirici Kimyasalların Geliştirilmesi ve Yanma Süreleri Üzerine Etkileri, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON 2020 Bahar)*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 19-20 Haziran 2020, IMASCON 2020 Spring Proceedings Book, 274-278, 2020.



ÖZGEÇMİŞ

Orta öğretimini Bekir Esener İlköğretim Okulun'da, lise öğrenimi Üsküdar Halide Edip Adıvar Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi %30 İngilizce Kimya bölümüne başladı ve 2013 yılında Kimyager olarak mezun oldu. Dezenfektan sanayii, ilac sanayii, su arıtma sistemleri gibi kimya sektörlerinde laboratuvar bölümlerinde görev aldı. Şu anda özel bir firmanın tutkal laboratuvar bölümünde laboratuvar uzmanı olarak görev almaktadır. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

