

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

LİF VE KAĞIT TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

**YANMA GECİKTİRİCİ ÖZELLİĞE SAHİP BAZI MİNERAL ESASLI
MADDELER İLE ÜRETİLEN ORTA YOĞUNLUKTA LİFLEVHALARIN (MDF)
TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orm. End. Müh. Umut Emre BAŞER

**HAZİRAN 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalında
Umut Emre BAŞER Tarafından Hazırlanan**

**YANMA GEÇİKTİRİCİ ÖZELLİĞE SAHİP BAZI MİNERAL ESASLI MADDELER İLE
ÜRETİLEN ORTA YOĞUNLUKTA LİFLEVHALARIN (MDF) TEKNOLOJİK
ÖZELLİKLERİ**

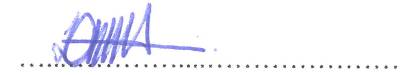
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/ 05/2016 gün ve 1653 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

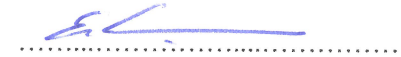
Başkan : Prof. Dr. Mustafa USTA



Üye : Yrd. Doç. Dr. Derya USTAÖMER



Üye : Yrd. Doç. Dr. Emrah PEŞMAN



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Yanma Geciktirici Özelliğe Sahip Bazı Mineral Esaslı Maddeler ile Üretilen Orta Yoğunlukta Liflevhaların (MDF) Teknolojik Özellikleri” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Anabilim Dalı, Lif ve Kağıt Teknolojisi Tezli Yüksek Lisans programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konumun seçiminde, araştırılmasında, planlanmasında ve gerçekleştirilmesinde her türlü bilgi, tecrübe ve desteğinden yararlandığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Derya USTAÖMER başta olmak üzere, manevi destek ve katkılarından dolayı sayın hocalarım Prof. Dr. Mustafa USTA'ya, Prof. Dr. Hüseyin KIRCI'ya, Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA'ya, Doç.Dr.Sedat ONDARAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında ilgili testlerin ve analizlerin yapılmasında katkı ve desteklerini esirgemeyen ve bilgilerinden faydalandığım, Yrd. Doç. Dr. Emrah PEŞMAN'a Doç. Dr. Ayfer Dönmez ÇAVDAR'a, Yrd. Doç. Dr. İbrahim YILDIRIM'a, Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZGENÇ'e, Yrd. Doç. Dr. Hüsnü YEL'e, Arş. Gör. Emir ERİŞİR'e, Arş. Gör. Uğur ARAS'a, Öğr. Gör. Hasan ÖZTÜRK'e ve Arş.Gör. Aydın DEMİR'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli olan tutkal ve lifin temin edildiği Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş'ye, mineral maddelerin temin edildiği Likya Minerals şirketine ve bazı testlerin yapılmasında katkılarından dolayı Çamsan Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş'ye teşekkür ederim. Yine malzeme temini ve testlerin gerçekleştirilmesinde yardımlarından dolayı Orman Endüstri Mühendisleri, Onur SEVİM'e, Onur NUR'a ve Türkan TANK'a çok teşekkür ederim.

Çalışmanın bütün aşamalarında yardımcı olan ve manevi desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Uğur KARAKUŞ'a, Oğuzcan YILDIRAN'a, İbrahim NEMLİ'ye ve Asena Damla ÇELİK'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme de şükranlarımı sunarım.

Umut Emre BAŞER
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yanma Geciktirici Özelliğe Sahip Bazı Mineral Esaslı Maddeler ile Üretilen Orta Yoğunlukta Liflevhaların (MDF) Teknolojik Özellikleri ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Derya USTAÖMER’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 06/06/2016

Umut Emre BAŞER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Odun Esaslı Kompozit Levhalar	2
1.2.1. Liflevha	4
1.2.1.1. Liflevha Üretim Prosesi	4
1.2.1.2. MDF (Medium Density Fiberboard – Orta Yoğunlukta Liflevha)	7
1.3. Yanma Olayı ve Mekanizması	9
1.4. Odun ve Odun Esaslı Levha Ürünlerinin Yanma Özellikleri	10
1.4.1. Odun ve Odun Esaslı Levha Ürünlerin Yanma Mekanizması	11
1.4.1.1. Termal Bozunma.....	11
1.4.1.2. Tutuşma.....	12
1.4.1.3. Kor Haline Gelme	13
1.4.1.4. Duman ve Gaz Oluşumu	14
1.4.2. Odun ve Odun Esaslı Malzemelerde Yanma Geciktirici İşlemler	14
1.4.3. Yanmayı Geciktirici Kimyasal Maddeler ve Sınıflandırılması.....	15
1.4.3.1. Mineral Esaslı Yanmayı Geciktiriciler ve Metal hidroksitler	18
1.4.4. Huntit – Hidromanyezit	19
1.4.5. Yanma Geciktirici Kimyasal Maddelerin Odun ve Odun Esaslı Malzemelerin Özelliklerine Etkileri.....	20
1.4.6. Çeşitli Malzemelere Uygulanan Yangın Tepki Sınıfları.....	21
1.4.7. Yanma Dayanımını ve Yanma Karakteristiklerini Belirleme Yöntemleri.....	23
1.5. Literatür Özeti	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	31

2.1.	Materyal	31
2.1.1.	Hammadde	31
2.1.2.	Kimyasal Maddeler	31
2.1.2.1.	UltraCarb.....	31
2.1.2.2.	Çinko Borat	32
2.1.3.	Tutkal	33
2.1.3.1.	Üre Formaldehit	33
2.1.4.	Sertleştirici Madde ve Parafin.....	34
2.2.	Metot	34
2.2.1.	Deneme Levhalarının Üretim Şablonun Belirlenmesi	34
2.2.2.	Deneme Levhalarının Üretimi	36
2.3.	Deneme Levhalarının Özelliklerinin Belirlenmesi	37
2.3.1.	Fiziksel Özellikler	37
2.3.1.1.	Rutubet Miktarlarının Belirlenmesi	37
2.3.1.2.	Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi.....	38
2.3.1.3.	Su Alma Oranının Belirlenmesi.....	38
2.3.1.4.	Kalınlığına Şişme Oranının Belirlenmesi	39
2.3.2.	Renk Değişimlerinin Belirlenmesi.....	39
2.3.3.	Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Belirlenmesi	40
2.3.4.	Mekanik Özellikler	41
2.3.4.1.	Eğilme Direncinin Belirlenmesi.....	41
2.3.4.2.	Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi.....	41
2.3.5.	Yanma Özellikleri	42
2.3.5.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	42
2.3.5.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi	43
2.3.6.	Isıl İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi.....	43
2.3.7.	Biyolojik Özellikler.....	45
2.3.7.1.	Mantar Çürüklük Testi	45
2.3.8	İstatistiksel Analiz.....	46
3.	BULGULAR	47

3.1.	Fiziksel Özellikler	47
3.1.1.	Rutubet	47
3.1.2.	Yoğunluk.....	47
3.1.3.	Su Alma Oranı	47
3.1.4.	Kalınlığına Şişme Oranı	48
3.2.	Renk Değişimi.....	49
3.3.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	50
3.4.	Mekanik Özellikler	53
3.4.1.	Eğilme Direnci	53
3.4.2.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	54
3.5.	Yanma Özellikleri	55
3.5.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	55
3.5.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI)	56
3.6.	Isıl İletkenlik Değerleri	57
3.7.	Biyolojik Özellikler.....	57
3.7.1.	Mantar Çürüklük Testi	57
4.	TARTIŞMA	59
4.1.	Fiziksel Özellikler	59
4.1.1.	Rutubet	59
4.1.2.	Yoğunluk.....	59
4.1.3.	Su Alma Oranları	59
4.1.4.	Kalınlığına Şişme Oranları.....	60
4.2.	Renk Değişimi.....	62
4.3.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	63
4.4.	Mekanik Özellikler	65
4.4.1.	Eğilme Direnci	65
4.4.2.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	66
4.5.	Yanma Özellikleri	67
4.5.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	67
4.5.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI)	72
4.6.	Isıl İletkenlik Değeri	74
4.7.	Biyolojik Özellikler.....	75
4.7.1.	Mantar Çürüklük Testi	75
5.	SONUÇLAR	78

5.1.	Fiziksel Özellikler	78
5.1.1.	Rutubet	78
5.1.2.	Yoğunluk.....	78
5.1.3.	Su Alma.....	78
5.1.4.	Kalınlığına Şişme	79
5.2.	Renk Değişimi.....	79
5.3.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	79
5.4.	Mekanik Özellikler	80
5.4.1.	Eğilme Direnci	80
5.4.2.	Yüze Dik Çekme Direnci	80
5.5.	Yanma Özellikleri	81
5.5.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	81
5.5.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI)	81
5.6.	Isıl İletkenlik	81
5.7.	Biyolojik Özellikler.....	82
5.7.1.	Mantar Çürüklük Testi	82
6.	ÖNERİLER.....	83
7.	KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YANMA GECİKTİRİCİ ÖZELLİĞE SAHİP BAZI MİNERAL ESASLI MADDELER
İLE ÜRETİLEN ORTA YOĞUNLUKTA LİFLEVHALARIN (MDF) TEKNOLOJİK
ÖZELLİKLERİ

Umut Emre BAŞER

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Derya USTAÖMER
2016, 93 Sayfa

Bu çalışmada; yanma geciktirici özelliğe sahip bazı mineral esaslı maddeler ile üretilen orta yoğunlukta liflevhaların (MDF) yanmaya karşı direnç özellikleri ve diğer bazı teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda (%2, %4, %6, %8, %10 ve %12) huntit/hidromanyezit içerikli kimyasal maddeler ile çinko borat alınarak üretilen formaldehit tutkalına ilave edilmiş ve bu karışım kayın odunu liflerine püskürtülerek levhalar üretilmiştir. Üretilen bu levhaların rutubet, yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme, eğilme direnci, çekme direnci, termogravimetrik analiz, limit oksijen indeksi, renk değişimi, yüzey pürüzlülüğü ve mantar çürüklük testleri yapılmıştır.

Yanma özelliklerini test etmek için yapılan limit oksijen indeksi (LOI) ve termogravimetrik analiz (TGA) sonuçlarına göre, bu mineral maddelerle üretilen orta yoğunlukta liflevhaların (MDF) yanmaya karşı direnç özelliklerinin iyileştiği ve mineral madde konsantrasyonu arttıkça bu değerlerin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, bu maddelerin ve madde konsantrasyonlarının üretilen levhaların yoğunluk, rutubet, eğilme direnci, çekme direnci, su alma, kalınlığına şişme, renk değişimi, yüzey pürüzlülüğü, ısı iletkenlik değerleri ve mantar çürüklük dayanımı üzerinde etkisinin olduğu ve bu etkinin değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yanmayı geciktirici mineral maddeler, MDF, LOI, TGA, Yanma direnci, Teknolojik özellikler

Master Thesis

SUMMARY

THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MEDIUM DENSITY FIBERBOARDS
(MDF) PRODUCED WITH SOME MINERAL BASED FIRE RETARDANTS

Umut Emre BAŞER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Fiber and Paper Technology Graduate Program
Supervisor: Asst.Prof. Derya USTAÖMER
2016, 93 Pages

In this study, fire retardant properties and other some technological properties of medium density fiberboards (MDF) produced with some mineral based chemicals which have fire retardant properties were investigated. For this purpose, various concentrations (2%, 4%, 6%, 8%, 10% ve 12%) of chemicals included huntite/hydromagnesite, and zinc borate were added to urea formaldehyde resin. Fiberboards were produced by spraying this mixture onto beech wood fibers. Moisture, density, water absorption and thickness swelling, color change, surface roughness, bending strength, tensile strength, limited oxygen index (LOI), thermogravimetric analyze (TGA), thermal conductivity and biological resistance experiments of the MDF boards were performed.

According to the results of limited oxygen index (LOI) and thermogravimetric analysis (TGA) performed to determine the fire properties, it was found that the fire resistance properties of the medium density fiberboard (MDF) produced with mineral chemicals improved, and these values increased with increasing chemical concentrations. Furthermore, it was determined that the chemicals and chemicals concentrations have effects on the water absorption, thickness swelling, color changes, surface roughness, bending strength, tensile strength, thermal conductivity and biological resistance of the MDF panels. These effects represented variability depending on chemicals type and chemical concentrations.

Key Words: Fire retardant minerals, MDF, LOI, TGA, Fire resistance, Technological properties

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Liflevha üretimi iş akışı	5
Şekil 2. Yanma üçgeni	9
Şekil 3. Selülozun pirolizi ve yanması	12
Şekil 4. Odun ve odun esaslı malzemede kömürleşme	13
Şekil 5. Dünyada plastikler için türlerine göre yanma geciktiricilerin tüketim miktarları	15
Şekil 6. Levha taslağı	36
Şekil 7. Levha üretiminde kullanılan tek katlı pres	37
Şekil 8. CIE L*a*b renk sistemi	40
Şekil 9. TGA cihazı	42
Şekil 10. Dynesco marka LOI cihazı	43
Şekil 11. FOX-314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı	44
Şekil 12. Mantar çürüklük testi	46
Şekil 13. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların su alma değerlerindeki değişim	60
Şekil 14. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların kalınlığına şişme değerlerindeki değişim	61
Şekil 15. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların renk değerlerindeki değişim	62
Şekil 16. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların Ra değerlerindeki değişim	63
Şekil 17. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların Ry değerlerindeki değişim	63
Şekil 18. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların Rz değerlerindeki değişim	64
Şekil 19. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci değerlerindeki değişim	65
Şekil 20. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların çekme direnci değerlerindeki değişim	66
Şekil 21. A kimyasalı ile üretilen levhaların TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	68

Şekil 22.	B kimyasalı ile üretilen levhaların TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	68
Şekil 23.	C kimyasalı ile üretilen levhaların TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	69
Şekil 24.	D kimyasalı ile üretilen levhaların TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	69
Şekil 25.	Farklı kimyasal maddelerin %4 konsantrasyonları ile üretilen levha gruplarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	70
Şekil 26.	Farklı kimyasal maddelerin %8 konsantrasyonları ile üretilen levha gruplarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	70
Şekil 27.	Farklı kimyasal maddelerin %12 konsantrasyonları ile üretilen levha gruplarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	71
Şekil 28.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların LOI değerlerinde meydana gelen değişim	72
Şekil 29.	LOI testine bir örnek, (a) C12 grubu ve (b) kontrol grubu görüntüleri	73
Şekil 30.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların ısı iletim katsayısı değerlerindeki değişim	74
Şekil 31.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların “ <i>Coniophora puteana</i> ” mantarına maruz kaldıktan sonraki ağırlık kaybı değerlerindeki değişim	76
Şekil 32.	UltraCarb-LH15 + çinko borat karışımı içeren D grubu (%8) ve kontrol örneği	77

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Bazı halojen içermeyen mineral maddeler ve bozulma sıcaklıkları	19
Tablo 2. Yangın tepki sınıfları	22
Tablo 3. 2003/43/EC sayılı AB komisyon kararına göre test yapılmasına gerek olmadan ahşap esaslı levha malzemelerin yangına tepki sınıfları	23
Tablo 4. UltraCarb'a ait özellikler	32
Tablo 5. Çinko borata ait özellikler	33
Tablo 6. ÜF tutkalına ait özellikler	33
Tablo 7. Levha gruplarının içerikleri	34
Tablo 8. Deney şablonu ve örneklere uygulanan testler	35
Tablo 9. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların 24 saat süre ile su alma değerleri	47
Tablo 10. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların 24 saat süre ile su alma oranlarına ait ÇVA sonuçları	48
Tablo 11. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların 24 saat süre ile kalınlığına şişme oranları	48
Tablo 12. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların 24 saat süre ile kalınlığına şişme oranlarına ait ÇVA sonuçları	49
Tablo 13. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların ΔE^* değerleri	49
Tablo 14. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların ΔE^* değerlerine ait ÇVA sonuçları	50
Tablo 15. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların yüzey pürüzlülüğü parametreleri(Ra, Ry ve Rz) değerleri	51
Tablo 16. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların Ra değerlerine ait ÇVA sonuçları	51
Tablo 17. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların Ry değerlerine ait ÇVA sonuçları	52
Tablo 18. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların Rz değerlerine ait ÇVA sonuçları	52

Tablo 19.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci değerleri.....	53
Tablo 20.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların eğilme direncine değerlerine ait ÇVA sonuçları	53
Tablo 21.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların çekme direnci değerleri	54
Tablo 22.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların çekme direncine değerlerine ait ÇVA sonuçları	54
Tablo 23.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların TGA sonucu elde edilen değerler.....	55
Tablo 24.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal madde kullanılarak üretilen levhalarının LOI değerleri ve gözlemsel değerlendirme	56
Tablo 25.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların ısı iletkenlik katsayısı değerleri.....	57
Tablo 26.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri	58
Tablo 27.	Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların mantar çürüklük testi değerlerine ait ÇVA sonuçları	58
Tablo 28.	LOI değerlerine göre malzemelerin sınıflandırması.....	74

SEMBOLLER DİZİNİ

ASTM	: Amerikan Society of Testing Materials
ATH	: Alüminyum Trihidroksit
ÇVA	: Çoğul Varyans Analizi
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
EN	: Avrupa Standartları
FR	: Fire Retardants (Yangın geciktirici)
HDF	: High Density Fiberboard (Yüksek Yoğunlukta Liflevha)
KŞ	: Kalınlığına Şişme
LDF	: Light Density Fiberboard (Düşük Yoğunlukta Liflevha)
LOI	: Limit Oksijen İndeksi
MDF	: Medium Denstiy Fiberboard (Orta Yoğunlukta Liflevha)
OSB	: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yongalevha)
SA	: Su Alma
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ÜF	: Üre Formaldehit Tutkalı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Endüstriyel gelişimin ve teknolojik değişimlerin çok hızlı yaşandığı günümüz dünyasında; insanoğlunun ihtiyaç ve beklentileri de aynı şekilde hızlı bir artış göstermektedir. Bu ihtiyaç ve beklentileri karşılamak tüm endüstri kollarının öncelikleri arasında yer almaktadır. Özellikle kaliteli ve ihtiyaçlara hizmet edebilecek nitelikte ürün arayışları, yenilikçi yaklaşımlar ile mevcut problemlerin çözümleri ve proses iyileştirmeleri sağlanabilmektedir. Özellikle hammadde sıkıntısı çeken sektörler bu problemlerini yeni hammadde arayışları içerisine girerek çözmeye çalışmakta ya da alternatif ürünlere yönelmektedir. Bu durum odun esaslı levha sanayi içinde geçerlidir. Kullanım yerlerine bağlı olarak odun hammaddesine alternatif olarak geliştirilen odun esaslı kompozit levhalar son dönemlerin vazgeçilmez malzemeleridir. Bu malzemelerden çeşitli modifikasyonlar yapılarak istenilen özellikte ürünler elde edilebilmekte ve bu ürünler hayatımızın pek çok alanında farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

Bu odun esaslı ürünler arasında kullanımı ilk sıralarda yeralan levha ürünlerinden en önemlisi liflevhalardır. Liflevhaların ana hammaddesini odun veya diğer ligno-selülozik maddeler oluşturmaktadır. Üretimde kullanılan odun türü, tutkal miktarı ve türü uygulanan kimyasal maddeler üretilen levhaların mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Hashim vd.,1994).

Liflevhaların, masif malzemeler ve diğer odun esaslı kompozit levha ürünleriyle karşılaştırıldıklarında oldukça iyi özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Bünyesinde yüksek oranda bitkisel lif içerdiklerinden ağaç malzemedeki olduğu gibi yüksek değerlerde mekanik ve teknolojik özelliklere sahiptir. Masif malzemenin aksine direnç özellikleri her yerde aynıdır, işlenmesi kolaydır ve aynı zamanda teknolojik özelliklerinin (özellikler, sertlik, direnç, boyut gibi) istenilen ölçüde üretimi mümkündür. Benzeri daha birçok olumlu ve istenilen özelliklere sahip liflevha ürünleri günümüzde oldukça rağbet görmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Ancak tüm avantajlı özelliklerinin yanı sıra liflevhalar da masif malzeme ve diğer odun esaslı levhalar gibi bazı dezavantajlı özelliklere sahiptir. Bu dezavantajlı özelliklerden birisi de lignoselülozik yapıları sebebiyle levhaların kolay yanabilmeleri ve

tutuşabilmeleridir (Özkaya vd., 2007; Stevens vd., 2006). Bu durum özellikle toplu yaşam alanlarında can ve mal güvenliğini çok ciddi ölçüde tehdit edici bir unsurdur. İnşaat malzemesi, dış cephe kaplaması, kereste, mobilya vb. gibi birçok odun ve odun esaslı malzemenin insan sağlığı ve güvenliği açısından yanmaya karşı daha dayanıklı hale getirilmesi büyük önem teşkil etmektedir. Dolayısıyla, odun ve odun esaslı tüm levhaların bu dezavantajlı özelliğini önlemek ve bunun yanı sıra levhaların diğer kalite özelliklerini de iyileştirmek ve geliştirmek için çeşitli işlemler ile koruyucu kimyasal maddeler kullanılmaktadır.

Koruyucu kimyasal maddelerin etkinlikleri içerdikleri maddelere ve karışım oranlarına göre değişmektedir. Bu maddelerin bazıları yapısal özellikleri sebebiyle çeşitli sağlık ve çevre problemlerine sebep olabilmektedir. Dolayısıyla, bu maddelerin insan sağlığına ve çevreye az zarar verebilecek düzeyde olması kullanım yeri açısından son derece önemlidir.

Günümüzde; çevre ve sağlık faktörleri gözönüne alındığında halojen içermeyen yanma geciktirici kimyasal maddelere olan ilgi dikkat çekicidir. Bu maddeler, pazarda yoğun talep görmektedir. Özellikle Amerika ve Avrupa'da yasal kısıtlamalar sonucunda plastikler için yanmayı geciktirici olarak halojen içermeyen ve çevreye zarar vermeyen metal hidroksitler, fosfor ve bor bileşiklerinin kullanım oranı artış göstermiştir (Li ve He, 2004; Kylosov, 2007; Rakotomalala vd., 2010).

Bu çalışmada; yanma geciktirici özellikleri bilinen ve farklı endüstriyel alanlarda uygulanarak denenen huntit/hidromanyezit gibi mineral esaslı maddeleri içeren bazı kimyasal maddelerin, odun esaslı levha sektöründe uygulanabilirliği araştırılmış olup; bu maddeler ve çinko borat karışımı kullanılarak liflevhalar üretilmiş, üretilen bu levhaların yanma özelliklerinin yanı sıra bazı fiziksel, mekanik, yüzey, renk ve biyolojik özellikleri de test edilmiş, kullanılan kimyasal maddelerin performansları belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2. Odun Esaslı Kompozit Levhalar

Odun esaslı kompozit levha; orman ürünleri endüstrisinde boyutu küçük partiküllerin, liflerin ya da daha büyük boyutlu parçaların yapıştırıcı ilavesiyle biraraya getirilmesi ile geliştirilmiş olan malzemelerdir. Çoğu malzeme farklı şekillerde adlandırılmaktadır. Odun kompozitler, odunsu materyalin odunsu bir materyal ya da başka bir materyal ile yapıştırıcılar kullanarak birleştirilmesiyle elde edilen malzemeleri ifade

eder. Kompozitler yalnızca levha ürünleri değil aynı zamanda kalıpla şekillendirilmiş ürünleri, odun ve diğer malzemelerin kombinasyonuyla meydana getirilen ürünleri ifade eder. Bu ürünler liflevhalardan lamine malzemelere kadar geniş bir yer tutmaktadır (Maloney, 1986; Güller, 2001).

Masif odun; türler arasında, aynı türe ait ağaçlar arasında ve aynı ağacın değişik kısımlarında farklılık gösterdiği için masif odunun özellikleri, üretim sürecine müdahale edilerek üretilen kompozit malzemelerin özelliklerinden farklıdır. Bu tür odun esaslı kompozit malzemelerin özellikleri kullanılan madde miktarı, işlem süreleri, vb. gibi üretim prosesindeki çeşitli işlemlere müdahale edilerek değiştirilebilmektedir. Odun esaslı kompozitlerin özellikleri yonga, lif, kaplama vb. seviyesinde incelenir (Güller, 2001).

Odun esaslı kompozit ürünlerin inşaat sektöründe, mobilya endüstrisinde, iç ve dış mekanlarda çok geniş bir kullanım alanı vardır. Bu malzemelerin özellikleri kullanılan odunun özelliğine, levha yoğunluğuna, kullanılan tutkalın cinsi ve miktarına ve ayrıca çeşitli dış etkenlere karşı (biyolojik zararlılar, yangın ve suya dayanım vb.) etkilenen kimyasal maddeler ile geliştirilebilmektedir. Günümüzde odun esaslı kompozit malzemeler birlikte gruplandırılarak “Engineered Wood Products (EWP)” olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, MDF, kontrplak, yongalevha gibi (Maloney, 1996).

Odun esaslı kompozit ürünler ile ilgili çeşitli değişik sınıflandırmalar yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalardan yararlanılarak aşağıdaki gibi sınıflandırma yapılabilir (Güller, 2001).

Levha ürünleri: Kontrplak, kontrtabla, yongalevha (particleboard) [etiket yongalevha (waferboard), şerit yongalı levha (flakeboard), OSB (oriented strand board)], liflevha (fiberboard)[MDF, HDF, izolasyon levhası].

Yapısal Kompozitler: Yapısal kompozit keresteler [PSL (paralel strand lumber), LSL (laminated strand lumber), OSL (oriented strand lumber), LVL (laminated veneer lumber), GLULAM (glued laminated timber)] yapısal levha ürünleri [yapısal kontrplaklar yapısal flakebordlar (waferboard, OSB)], kirişler, COM-PLY keresteler.

Mekanik Olarak Lamine Edilmiş Elemanlar

Kaplanmış Ürünler

Odun-Odun Dışı Ürün kompozitleri: Bağlayıcı olarak inorganik maddelerin kullanıldığı kompozitler (alçılı levhalar, magnezyum çimentolu levhalar, portland çimentolu levhalar), odun lifi-termoplastik kompozitleri (yüksek termoplastik içerikli

kompozitler, düşük termoplastik içerikli kompozitler, dokunmamış tekstil tipi kompozitler).

1.2.1. Liflevha

Odun ya da diğer lignoselülozik lifli malzemelerin liflerinin doğal yapışma ve keçeleşme özelliklerinden yararlanılarak veya ilave yapıştırıcı madde kullanılarak meydana getirilen levha taslağının kurutulması ya da preslenmesi sonucu üretilen bir levha türüdür (Eroğlu ve Usta, 2000).

ISO'nun teknik anlamındaki tarifine göre liflevha, doğal yapışma ve keçeleşme özelliğine sahip lignoselülozik liflerden üretilmiş kalınlığı 1.5 mm'den fazla olan levhalardır. Liflevha üretim prosesinde liflerin doğal yapışma özelliğinden yararlanılmasının yanında levhanın fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini artırmak için çeşitli yapıştırıcı ve kimyasal maddeler gerektiğinde kullanılabilir (Kolmann vd., 1975).

Liflevhaları sınıflandırmada kullanılan en yaygın ölçüt (uluslararası ölçülere göre) özgül ağırlıktır (Eroğlu ve Usta, 2000).

Özgül ağırlıklarına göre liflevhalar esas olarak üçe ayrılmaktadır;

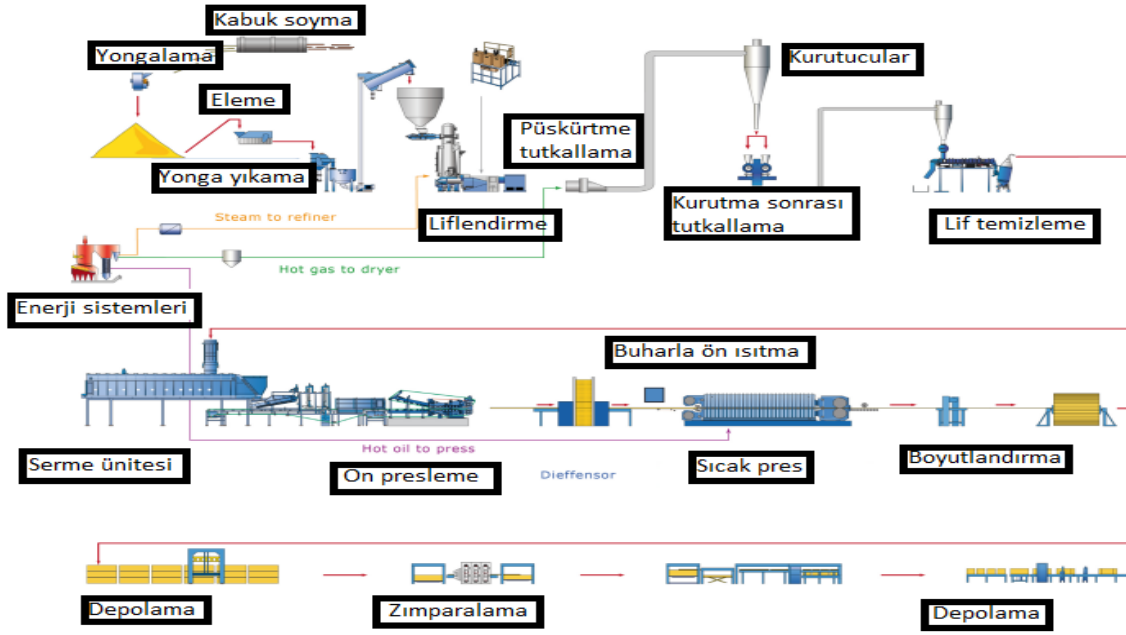
- Düşük yoğunlukta liflevhalar (LDF - Light Density Fiberboard): Özgül ağırlıkları 0.35 g/cm^3 den daha düşük yoğunlukta liflevhalar.

- Orta yoğunlukta liflevhalar (MDF - Medium Density Fiberboard): Özgül ağırlıkları $0.35 - 0.80 \text{ g/cm}^3$ arasında olan liflevhalar.

- Yüksek yoğunlukta liflevhalar (HDF - High Density Fiberboard): Özgül ağırlıkları 0.80 g/cm^3 ten daha fazla olan liflevhalar.

1.2.1.1. Liflevha Üretim Prosesi

Liflevha üretimi yaş ve kuru yöntemlerle yapılabilmektedir. Ancak yaş yöntem gerek ürün özellikleri gerekse üretim maliyetleri açısından dünyada terkedilmeye başlanmıştır. Bu nedenle kuru yöntemle liflevha üretimi tercih edilmektedir. Günümüzde kuru yönteme göre liflevha üretimi aşağıdaki iş akışına göre yapılmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000).



Şekil 1. Liflevha üretimi iş akışı (URL-1, 2016).

- Hammadde

Liflevha üretiminde iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunları hammadde olarak kullanılır. Yapraklı ağaç odunları ucuz ve kolay temin edilebilmesi, yoğunluğu yüksek olduğundan birim hacimden fazla oranda lif verimine sahip olması ve düzgün yüzeyli levhalar vermesi açısından avantajlıdır. İğne yapraklı ağaç odunları ise uzun lifleri sayesinde direnç özellikleri yüksek levhaların üretiminde önemli bir role sahiptir. Liflevha üretiminde kullanılan hammaddeler genel itibariyle şunlardır; kağıtlık odun, düşük kaliteli odun (bakım, aralama kesimi) ve endüstriyel atıklar.

- Kabuk Soyma

Kabuk, lif üretim sisteminde özellikle yaş yöntemle liflevha üretiminde köpüklenmeye sebep olması, pH kontrolünü zorlaştırması, levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri yanısıra görünüm üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, sert liflevhalar hariç (%10-15'e kadar) diğer liflevha türlerinde istenmez. Bu nedenle hammadde yongalamaya gitmeden önce çeşitli kabuk soyucu makinelerle odunun kabuğu soyulur. Endüstride kullanılan çeşitli kabuk soyucular;

1. Mekanik kabuk soyucular (Tamburlu kabuk soyucular, Bıçaklı kabuk soyucular)
2. Hidrolik tip kabuk soyucular
3. Buhar patlaması ve kimyasal yolla kabuk soyucular

- Yongalama ve yonga eleme

Kabukları soyulan odunlar, odun içine sıvının hareketini kolaylaştırmak amacıyla yongalanır. Bu aşamada kullanılan yongalayıcılar şunlardır; çok bıçaklı diskli yongalayıcılar, çevresel yongalayıcılar, konik diskli yongalayıcılar, çift konik diskli yongalayıcılar. Yongalayıcıdan çıkan yongalar depolandıktan sonra eğimli ve sallantılı tip elekler veya düz silindirik elekler ile elenir.

- Liflendirme

Elemeden gelen yongalar çeşitli lif üretim yöntemleri kullanılarak liflendirilir. Bu doğrultuda kullanılan yöntemler şunlardır;

Mekanik liflendirme yöntemleri

1. Taş mekanik liflendirme
2. Rafinör mekanik liflendirme

Kimyasal mekanik yöntemler

1. Biffar değirmeni
2. Boja Jung defibratörü

Termal mekanik yöntemler

1. Masonit yöntem
2. Asplund defibratörü

Bu yöntemler arasından kuru yöntemle liflevha üretiminde en fazla tercih edilen asplund defibratör yöntemidir.

- Tutkallama

Liflendiriciden çıkan lifler planlanan üretim sistemine göre iki farklı şekilde tutkallama işlemi yapılır. Bunlar; lif kurutma öncesi püskürtmeyle tutkallama veya lif kurutmasından sonra püskürtmeyle tutkallama.

- Lif kurutma

Levha formasyonu öncesi kurutucuya giren liflerin rutubeti % 50 civarında olup rutubetin %6-12 kadar düşürülmesi gerekir. Bu aşamada kullanılan makineler ise şunlardır; döner tambur şeklindeki kurutular ve tüplü kurutucular. Tüplü kurutucularda tek ve çift tüplü kurutucular olarak ikiye ayrılmaktadır. Çift tüplü uygulamalar genelde tek tüplü uygulamanın yetersiz olduğu yerde tercih edilir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Serme ünitesi

Serme ünitesi, lifler bir formasyon bantı üzerinde üniform yapıda keçe yapısı oluşturmak suretiyle levha taslağının olduğu kısımdır. Liflerin serilmesi 3 farklı şekilde yapılabilir.

1. Hava ile pnömatik serme
2. Mekanik serme
3. Hava ve mekanik kombine serme

- Ön Presleme

Oluşan levha taslağı sıcak presin kapanma süresini azaltma, levha taslağının yan alma işlemindeki kayıpları azaltmak ve levha taslağının belirli bir kalınlığa indirmek için ön presleme işlemi uygulanır.

- Sıcak presleme

Bu aşamada taslak, katlı presler veya continue preslerde istenen levha kalınlığına kadar sıkıştırılır. Yapışması için gerekli basınç ve sıcaklık sağlanır. Tutkalın sertleşmesi için gerekli sıcaklığa kadar taslak ısıtılır ve sonuç olarak basınç ve sıcaklık etkisiyle taslağın levha olacak şekilde yapıştırılması sağlanır.

- Soğutma işlemi

Sıcak presten çıkan levhalar yıldız soğutucularda normal koşullarda belirli bir süre bekletilir. Çünkü bu uygulama sıcak presten çıkan levhaların sertleşmesini sağlayarak levhaların daha dirençli hale gelmesini sağlamaktır.

- Zımparalama ve depolama

Levhalar yıldız soğutucudan alındıktan sonra belirli bir süre ara depolarda dinlendirilirler. Daha sonra panel kalınlığını kalibre etmek ve levha yüzeyini düzleştirme için zımpara işlemine tabii tutulurlar (Eroğlu ve Usta, 2000).

1.2.1.2. MDF (Medium Density Fiberboard – Orta Yoğunlukta Liflevha)

MDF, odun veya lignoselülozik kökenli levha ürünleri içerisinde geliştirilen en son levha ürünü olup, 1960'lı yılların ikinci yarısından itibaren başta Amerika olmak üzere Avrupa'da Almanya, İngiltere, Fransa gibi ülkelerde de gittikçe artarak üretilmeye başlanmıştır. Dünya'da ilk MDF fabrikası 1965 yılında New York Deposit'te kurulmuştur. Bundan daha sonra 1973 yılından itibaren çeşitli Avrupa ülkelerinde MDF üretilmeye başlanmıştır (Akbulut vd., 2000).

Levha endüstrisinde üretilen levhalar arasında MDF önemli bir yer tutmaktadır. Yoğunluğu $0.35 - 0.65 \text{ g/cm}^3$ arasında olan ağaç türleri MDF üretimi için uygundur. MDF üretiminde lif – yonga odunu (TS 1351), aralama kesimlerinden elde edilen odunlar, kereste endüstrisi artıkları çeşitli odun işleyen fabrika artıkları ve levha üretimi için gerekli lif uzunluğuna sahip atıklar kullanılabilir. Yuvarlak odunların çaplarının 6 cm ile 40 cm arasında olması, boylarının ise 2 m'den daha kısa olması aranan özelliklerdendir. Orman kaynaklarının yetersiz kaldığı alanlarda şeker kamışı, keten sapları, tahıl sapları, ayçiçeği sapları vb. yıllık bitkilerde hammadde olarak kullanılmaktadır (Güller, 2001).

MDF'nin kullanım yerleri ve özellikleri: MDF üretiminde kullanılan hammaddenin diğer levha endüstrilerinde kullanılan hammaddelere oranla daha düşük kalitede kullanılabilmesi ve levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri doğal ağaç malzemeye yakın olması sebebi ile birçok kullanım yerinde tercih edilmektedir.

MDF'nin homojen yapıda olup doğal ahşap malzeme özelliğinde olması levhanın her iki yüzünün olduğu kadar, kenarlarının da makineyle herhangi bir kırılma olmadan ya da malzeme parçacıkları arasında boşluklar ortaya çıkmaksızın işlenmesine olanak sağlamaktadır. MDF bu sayede masa tablaları kapı panelleri, kenarları pahlı veya profil yüzeyli çekmece alanları gibi parçaların üretilmesinde kullanılabilir. Son derece düzgün ve homojen bir yüzeye sahip olan MDF boyamada, dekoratif folyo veya ahşap kaplamada çok iyi bir taban oluşturur (Güller, 2001).

MDF günümüzde mobilya endüstrisinde sıklıkla kullanılan bir levha ürünü konumundadır (mutfak, banyo, oturma grupları, vb.). Ayrıca, MDF son zamanlarda küresel bazda ahşap kullanımının söz konusu olduğu pek çok yerde doğal ahşap malzemenin yerini almaktadır. Yapı sektöründe MDF'nin kullanıldığı yerlerden bazıları şunlardır: taban döşemeleri, tavanlar, bina iç bölmeleri, kapı kasaları, kapılar, trabzanlar ve küpeşteler gibi.

Büyük boyutlarda üretilmesi, yüksek kenar stabilitesine sahip olması, yüksek yüzey kalitesine ve güçlü gövde yapısına sahip oluşu, makinede işlenmesinin kolay oluşu, doğal ahşap malzemenin aksine herhangi bir yerinde budak, çatlak gibi kusurlara sahip olmaması, iyi bir yoğunluk profiline sahip olması, kullanıma hazır oluşu, neredeyse her çeşit lake boya vernik vs. ile kullanılabilmesi, ahşap kaplama, PVC, kağıt, gibi malzemelerle kaplanabilmesi ve vida tutma kabiliyetinin yüksek oluşu MDF'nin en önemli özelliklerini oluşturmaktadır (Ayrılmış, 1999; URL-2, 2015).

1.3. Yanma Olayı ve Mekanizması

Yanmanın en genel anlamda tanımı, yanıcı denen bir maddenin yakıcı olarak isimlendirilen başka bir madde ile biraraya gelmesi sonucunda ortamda oluşan ısıveren egzotermik bir reaksiyondur. Diğer bir tanımlama da ise yanma; bir malzemenin alev, ışık ve ısı özellikleri gösteren çevresinde hızlı bir şekilde oluşan oksidasyonu veya tutuşma sıcaklığına kadar ısı almış bir cismin oksijenle birleşmesine denir. Yanıcı, genellikle oksijen içeren başka bir maddedir. Bir maddenin yanabilmesi için havanın en az %14-18 oranında oksijen içermesi gerekmektedir (Uysal ve Özçiftçi, 2004)

Bir ortamda yangının çıkabilmesi için yanıcı madde, oksijen ve tutuşma sıcaklığı üçlüsünün varolması ve bunların o ortamda uygun oranlarda bulunması gerekir. Eğer bu üçlüden herhangi biri olmazsa yangın meydana gelmez (Aslan, 1994).



Şekil 2. Yanma üçgeni (Kısakürek, 2003).

Yangın esnasında meydana gelen aşamalar ise şu şekildedir.

- Başlangıç aşaması: Bu aşama, yeterli ısıya tam ulaşamadığından yarım yanma olayının gerçekleştiği ve dumanın bol olarak çıktığı bir safhadır.

- Yayılma aşaması: Bu aşamada ortamdaki unsurların yeterli olmasına bağlı olarak ideale yakın yanma gözlemlenmektedir. Bu durumda duman miktarı azdır ve sıcaklık hızla yükselmektedir.

- Korlaşma aşaması: Yangının son aşaması olup ortamdaki oksijenin tüketilmesiyle gerçekleşir. Ayrıca bu aşamada oksijen yetersizliğine bağlı olarak yoğun miktarda duman ve çeşitli uçucu gazlar meydana gelmektedir (Yıldız, 2006; Troitzsch, 1998).

1.4. Odun ve Odun Esaslı Levha Ürünlerinin Yanma Özellikleri

Birçok alanda kullanım yeri olan odun ve odun esaslı levha ürünlerinin en büyük dezavantajlarından birisi de, yapılarının karbon ve hidrojen gibi organik bileşiklerden oluşması sebebiyle kolay bir şekilde tutuşabilmeleri ve yanabilmeleridir (Kolmann ve Cote, 1968). Odunda sıcaklığın 275 °C ulaşması halinde yanma olayı gerçekleşmekte ve odunun bünyesinde kalıcı bir bozunma meydana gelmektedir. Bu aşamada, odunun yapısındaki bileşenlerden sırasıyla hemiselüloz, selüloz ve lignin degrades olmakta, 500-800 °C arasında ise karbonizasyon gerçekleşmektedir (Tutuş vd., 2010).

Son yıllarda; odun ve odun esaslı malzemeler, özellikle yapı ve inşaat sektörlerinde değerlendirildikleri için insan sağlığı ve güvenliği gözönüne alındığında yanmaya karşı direnç özelliklerinin iyi olması istenmektedir. Dolayısıyla odun ve odun esaslı malzemelere çeşitli şekillerde yanmaya karşı dayanım kazandırmak için çalışmalar yapılmaktadır (Ellis ve Rowell, 1989; Stevens vd., 2006; Ustaömer, 2008).

Odun ve odun esaslı malzemeler, kolay yanabilir özellikte olmalarına karşın diğer malzemelere karşı bir avantaja da sahiptir. Odunun yanma anında yangına katkısı minimum düzeyde olduğundan, yangının başlarında yanmaya karşı iyi bir direnç göstermektedir. İnşaat sektöründe yapılarda kullanılan en yanmaz malzeme ağır beton bloklardır. Ancak binalarda kullanılan bu malzemeler (demir, çelik vb.) ısı iletkenliklerinin diğer malzemelere oranla çok yüksek olması nedeniyle yüksek sıcaklıklar karşısında plastik deformasyona uğramaktadır. Bundan dolayı yangın esnasında yüksek sıcaklığa ulaşıldığında yapılar aniden çökmekte ve beton kısımlarda çatlamlar meydana gelmektedir (Berkel, 1972; Lie, 1972).

Yapısal malzeme olarak odun ve odun esaslı ürünlerinin kullanılması durumunda ise yanmanın bir süre gecikmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca odun esaslı malzemeleri demir çelikle kıyasladığımızda, bu malzemelerde yüksek ısının etkisiyle yüzeyden içeriye doğru yavaş bir ilerleme gösteren kömürleşmiş bir tabaka meydana gelmekte ve bu sayede malzemenin iç kısımları sağlam kalabilmekte, direncini bir süre daha devam ettirebilmektedir. Böylece yangına müdahale süresi uzamakta, can ve mal güvenliğinin korunması açısından avantaj sağlanmaktadır (Lie, 1972).

1.4.1. Odun ve Odun Esaslı Levha Ürünlerin Yanma Mekanizması

Odun ve odun esaslı levha ürünlerinde, sıcaklık karşısında yapısal değişiklikle meydana gelmektedir. Buna göre, düşük ve yüksek sıcaklığın odun ve odun esaslı levha ürünlerde ortaya çıkardığı değişimler kısaca şu şekilde özetlenebilir.

Düşük sıcaklığın etkileri (200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda)

- Su uzaklaşması (100-200 °C)
- Düşük termal dekompozisyon reaksiyonlarının meydana gelmesi

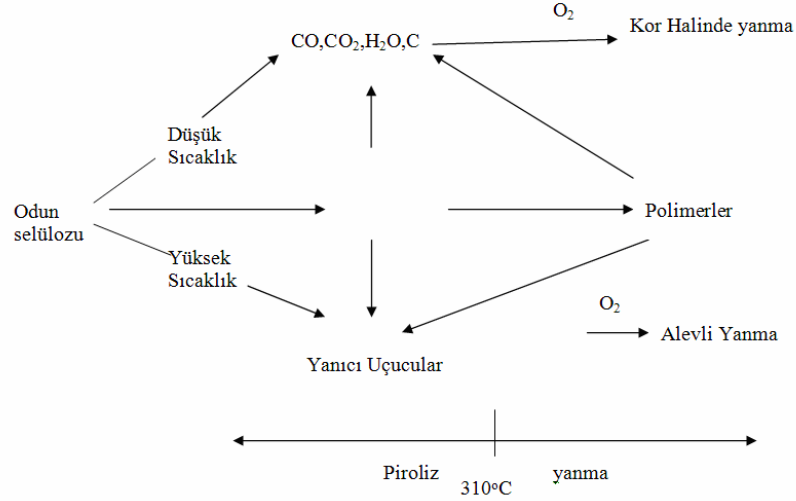
Yüksek sıcaklığın etkileri (200 °C'nin üzerinde)

- Termal bozunma
- Yanma (Tutuşma)
- Kor haline gelme
- Duman oluşması (İlhan, 1988).

1.4.1.1. Termal Bozunma

Odunun termal bozunması, 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda odun yapısında meydana gelen kimyasal bozunmalarla kendini göstermektedir. Genel anlamda meydana gelen bu bozunma olayı odunun hücre çeperi bileşenleri olan hemiselüloz, selüloz ve ligninde meydana gelen termal bozunma reaksiyonlarının bir bütünüdür.

Hemiselüloz, selüloz ve lignin farklı sıcaklık aralıklarında aktif bozunma gösterirler. Yapılan termogravimetrik analiz (TGA) sonuçlarına göre, selülozun kütle kayıpları yaklaşık olarak 100 °C de başlar, 100-300 °C ler arasında yavaş olarak seyredir. Fakat 300 °C'de kütle kayıp oranı artış gösterir ve 400 °C'de başlangıçtaki kütle %80 inden fazlası uçucu bileşikler haline dönüşür (Kotalainen, 2000). Selülozda bozunma; dehidrasyon, hidroliz, oksidasyon, dekarboksilasyon vb. reaksiyonlar yoluyla ortaya çıkmaktadır. Selülozun termal bozunması; su, asit ve oksijen varlığında hızlanabilmektedir. Sıcaklık arttıkça selülozun polimerizasyon derecesi azalmakta, ayrıca serbest radikaller ortaya çıkmakta ve karbonil, karboksil ve hidroperoksit grupları oluşmaktadır. Termal bozunma reaksiyonları ısı devam ettikçe artmaktadır (Ustaömer, 2008).



Şekil 3. Selülozun pirolizi ve yanması (LeVan,1989).

Hemiselüloz, selüloza oranla kristalen yapının daha az olması sebebiyle selülozdan termal olarak daha az stabildir. Aynı zamanda hemiselülozun pirolizinde selüloza nazaran daha çok yanmayan gaz ve daha az kömürleşmiş kısımlar kalmaktadır. Hemiselülozda termal bozunma yoğun olarak 200 ile 260 °C ye kadar ki sıcaklıkta gerçekleşir. Yapısının heterojen olması sebebiyle termal davranışlarının açıklanması kompleks bir durumdur (Kotalainen, 2000).

Lignin, odunun pirolizinde ekzotermik kademelerin asıl sorumlu faktörüdür. Yaklaşık 200 °C de gerçekleşen dehidrasyon reaksiyonları ligninin termal bozunmasının asıl sorumlusudur. Kütle kayıpları bu sıcaklık derecesinde başlamakta, sıcaklık 720 °C ye ulaştığında başlangıçtaki lignin kütesinin yaklaşık %50' si kalmaktadır. Maksimum kütle kayıp sıcaklıkları, yüksek ısıtma oranına bağlı olarak artmaktadır (LeVan, 1989).

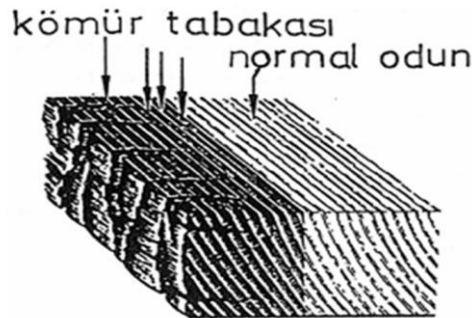
1.4.1.2. Tutuşma

Odun ve odun esaslı malzemeler yeterli oksijene sahip atmosfere ve yüksek sıcaklığa maruz kaldığında tutuşmaktadır. Tutuşmanın iki tipi olup bunlar alev kaynaklı ve alev kaynaklısız yanmadır. Bu olayın sonucunda kömür ve gaz oluşmaktadır (White ve Dietenberger, 2002). Odunun tutuşabilirliği üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların sonuçlarından odunun tutuşmasını etkileyen temel faktörler aşağıda verilmiştir.

- Alev kaynağının mevcut olup olmaması
- Alevin büyüklüğü ve pozisyonu
- Isıtma metodu ve oranı
- Isıya maruz kalma oranı
- Ortamda bulunan hava oranı
- Hava akımı ve türbülans
- Malzemenin büyüklüğü
- Isıya maruz kalma alanı
- Malzemenin termal özelliği
- Malzemenin yoğunluğu, rutubet miktarı, kimyasal yapısı ve termal degradasyonu
- Kimyasal muamelenin uygulanma şekli (Göker ve Ayrılmış, 2003).

1.4.1.3. Kor Haline Gelme

Odun ve odun esaslı malzemeler, alev ile yandıktan sonra kor haline gelmekte ve bir süre daha kor halinde içten yanmaya devam etmektedirler. Bu aşama ancak sıvı ve gaz fazlarının oluşmasıyla mümkündür. Oluşan bu kor halindeki tabaka (kömürleşme) oksijenin yanmakta olan malzeme içerisine girmesine engel olmaktadır. Kömürleşme yanma devam ederken 600-700 °C de kendiliğinden oluşur. Genellikle etkili bir yanmayı geciktirici kimyasalın bu aşamada kömürleşme miktarını ve yanma direncini artırması beklenmektedir (İlhan, 1988).



Şekil 4. Odun ve odun esaslı malzemede kömürleşme (Uysal, 1997).

1.4.1.4. Duman ve Gaz Oluşumu

Odun ve odun esaslı malzemelerde yanma tamamlandıktan sonra ortamda oluşan ısı ve ışıktan başka duman ve çeşitli uçucu gazlar ortaya çıkmaktadır. Bu kimyasallar kolaylıkla ortama yayılabilmekte, yanmanın kontrol altına alınması durumunda dahi ortama salınımları engellemek mümkün olmamaktadır. Tam yanmanın olmadığı durumlarda, karbonmonoksit, formik asit, asetik asit, metan ve diğer bazı gazlar meydana gelmektedir. Duman ve gaz oluşumu, binalardaki yangın esnasında insan hayatı için en büyük tehlike oluşturan ve meydana gelen ölümlerin %75-80'i alevle temastan olmayıp duman ve zehirli gazlar sonucu olmaktadır (İlhan,1988; Siau vd., 1975; Hull vd., 2002).

1.4.2. Odun ve Odun Esaslı Malzemelerde Yanma Geciktirici İşlemler

Yanmayı geciktirici işlemler; odun ve odun esaslı malzemelerin çeşitli koruyucu maddelerle işlem görerek yanma özelliklerinin değişmesi ve yanmaya karşı dayanımlarının artırılması çalışmalarını kapsamaktadır.

Yanmayı geciktirici işlemler, günümüzde sadece odun ve odun esaslı malzemelere değil, diğer endüstri kollarına ait birçok malzemeye de yanma direnci kazandırmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu doğrultuda, yanma geciktirici kimyasal olarak kullanılan pek çok madde mevcut olup, çeşitli şekillerde malzemelere uygulanmaktadır. Yanmayı geciktirici işlemlerdeki asıl amaç; malzemeye yanmaya karşı yeterli bir süre koruma sağlayabilmektir. Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler, malzemeye yalnızca yanmazlık özelliği kazandırmazlar, bununla birlikte tutuşmayı güçleştirip yanma başladıktan sonra ateşin yayılmasını geciktirebilirler (Ustaömer, 2008; Peker ve Atılğan, 2015).

Odun ve odun esaslı malzemeler için yanmayı geciktirici kimyasal maddelerin uygulama yöntemleri genel olarak şu şekildedir.

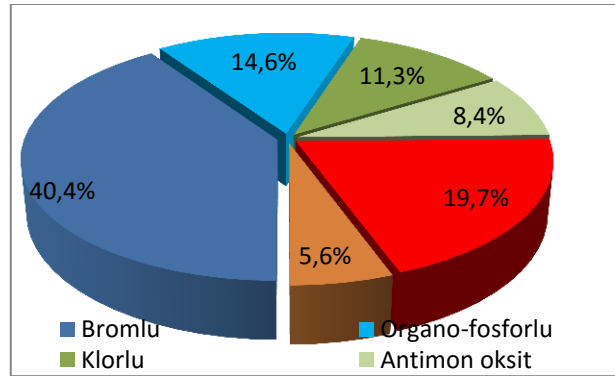
1. Levha üretimi öncesi lifin, yonganın vb. kimyasal maddelerle emprenye edilmesi.
2. Levha üretimi esnasında kimyasal maddelerin tutkal hattına ilave edilmesi.
3. Üretim sonrası kompozit malzemelerin kimyasal maddelerle emprenye edilmesi (daldırma, batırma, vakum-basınç).

4. Kimyasal maddelerin yüzeye uygulanması: Odun ve odun esaslı levha yüzeylerinin yanmayı geciktirici kimyasal maddelerle kaplanması ya da boyanmasıdır (White, 1984; Khouadja ve Barnes, 2001; Grexa, 2000).

1.4.3. Yanmayı Geciktirici Kimyasal Maddeler ve Sınıflandırılması

Günlük hayatımızda kullandığımız yanabilir nitelikte olan birçok malzemeye yanmaya karşı direnç kazandırmak amacıyla çeşitli kimyasal maddelerin uygulanması oldukça yaygındır. Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler; tekstilden, elektroniğe, plastikten, ahşap esaslı ürünlere, inşaat ve yalıtım malzemelerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bu kimyasal maddelerin özellikle plastiklerde kullanımı ise son dönemlerde oldukça hız kazanmıştır.

Yanmayı geciktirici kimyasal maddelerin dünya çapında tüketimi yılda 2 milyon ton civarındadır. 2012 yılında “Townsend Solutions Estimate” tarafından yapılan araştırma verilerine göre, son 4 yıl içerisinde özellikle elektronik sektöründe yanma geciktiricilerin tüketim miktarı büyük ölçüde artış göstermiştir. Bu miktarın yıllık olarak %4-5 oranında artış göstermeye devam edeceği düşünülmektedir. Yanmayı geciktiricilerin plastiklerde kullanımı ise Şekil 5’teki grafikte özetlenmiştir (URL-3, 2016).



Şekil 5. Dünyada plastikler için türlerine göre yanma geciktiricilerin tüketim miktarları (URL-3, 2016).

Tüm dünyada yaygın olarak kabul gören bu kimyasal maddeler etki mekanizmaları içerikleri ve kimyasal özellikleri de dahil olmak üzere çeşitli şekillerde sınıflandırılma yapılmaktadır.

Ahşap malzemeyi ateşe karşı korumada kullanılan maddelerin etki şekillerine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibidir (İlhan, 1988).

1. Mekanik şekilde etki yapan koruyucu maddeler: Bu maddeler malzeme yüzeyine sürülerek veya püskürtülerek malzemenin yanma esnasında havayla temasını kesmektedir.

2. Eriyici madde meydana getiren koruyucu maddeler: Erime esnasında yapıştırıcı tabakalar oluşturarak çevreden ergime ısısının malzemeye ulaşmasını engellemektedir.

3. Köpük oluşturan koruyucu maddeler: Isınma ile bu maddeler malzemenin yüzeyinde köpük şeklinde bir yalıtım tabakası meydana getirerek tutuşmayı geciktirmektedirler.

4. Söndürücü gazlar ortaya çıkaran koruyucu maddeler: Bu maddeler oluşan ısının etkisiyle söndürücü gazlar meydana getirerek malzemenin yüzeyinden çıkan gazların yoğunluğunu ve tutuşma özelliklerini azaltırlar.

5. Odun esaslı malzemeyi kömürleştiren koruyucu maddeler: Yüksek sıcaklıklarda bu maddeler malzemeyi kömürleştirerek yanmaya karşı bir dayanım sağlamaktadırlar. Bu amaç doğrultusunda kullanılan tüm koruyucu maddelerde kömürleştirme etkisi istenilen bir özelliktir.

Yanmayı geciktirici kimyasal maddelerin bir diğer sınıflandırılması ise kimyasal özelliklerine göre yapılmaktadır. Odun ve odun esaslı malzemelerde yanmaya karşı kullanılan koruyucular; inorganik maddeler (amonyum tuzları, alkali tuzlar, inorganik yüzey örtücüler) ve organik maddeler (polimerler ve reçineler, reaktif bileşikler organik çözücülü halojenlenmiş organik maddeler ve organik yüzey örtücüler) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Goldstein, 1973).

İnorganik maddeler: Bu gruptaki maddeler şu şekilde oluşmaktadır.

1. Amonyum tuzları: Bu tuzlar ısınma sonucunda amonyak ortaya çıkararak oluşan yanıcı gazların yoğunluğunu düşürmektedir ve aynı zamanda geriye kalan serbest mineral asitleri odunun kömürleşmesini hızlandırır. Bu maddelerden en önemlileri şunlardır (İlhan, 1988).

Monoamonyum Fosfat ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)

Diamonyum fosfat (NH_4HPO_4)

Amonyum Sülfat (NH_4)₂SO₄

Amonyum Tetraborat (NH_4)₂B₄O₇.4H₂O

2. Alkali tuzları: Alkalinite derecesi arttıkça yüksek ısı derecelerinde kömürleşme oranı da artmaktadır. Bu gruptaki en önemli tuzlar şunlardır (İlhan, 1988).

Potasyum karbonat ($2K_2CO_3 \cdot 3H_2O$)

Potasyum Fosfat ($K_3PO_4 \cdot 4H_2O$)

Boraks ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)

Sodyum Asetat ($NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$)

3. Bazı Metal bileşikleri: Bu gruba giren kimyasal maddeler şunlardır (İlhan, 1988).

Alüminyum klorür ($Al_2Cl_6 \cdot 12 H_2O$)

Alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_2 \cdot 18H_2O$)

Çinko klorür ($ZnCl_2 \cdot 3H_2O$)

Çinko borat ($ZnO \cdot 2B_2O_3$)

Alüminyum trihidroksit ($Al(OH)_3$)

Huntit ($CaMg_3(CO_3)_4$)

Hidromanyezit ($Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$)

4. İnorganik yüzey örtücüler: Odun esaslı malzemeyle muamele edildiğinde yüzeyi örterek ateşe karşı bir izolasyon tabakası oluştururlar. Açık hava koşullarına duyarlı, yüzeylere güç uygulanan ve dekoratif özellikleri örten bu inorganik maddelerden en önemlileri alkali silikatlardır. Sodyum silikat ve potasyum silikat örnek olarak verilebilmektedir (Yalınkılıç, 1993).

Organik maddeler: Bu maddelerin karbon bileşimli olmaları doğal yapılarına yanıcı bir özellik sağlamaktadır. Ancak bu maddeler oluşturulan kimyasallarda, büyük oranda azot ve yangın geciktirici etkisi olan halojenler ve fosfatlar olduğu için etkileri önemli bir düzeye çıkmaktadır. Bu organik maddeleri şu şekilde sınıflandırmak mümkündür (Uysal, 1997).

- Polimerler ve reçineler
- Reaktif bileşimler
- Diğer organik koruyucular

Alev geciktirici kimyasal maddeler bir çok değişik sınıflandırmaya tabi tutulmakla birlikte kendi aralarında halojen içeren ve halojen içermeyen yanmayı geciktiriciler olarakta sınıflandırılabilirler.

Halojen içeren kimyasal maddeler etkilerini yanma prosesini keserek sağlamakta ve bu da çıkan duman miktarını artırmaktadır. Bromlu ve klorlu yanmayı geciktirici sistemler atmosfere yan ürünler olan hidrobromik veya hidroklorik asitler çıkartır. Yine organobromürler ve klorürler ile PVC'nin yanması sonucu HCl meydana gelir. En önemlisi ise halojen içeren yanmaz maddeler çevreye zehirli gazlar yaymaktadırlar. Halojen içerikli

maddelerin özellikle brom türlerinin Kuzey Amerika’da dumandan zehirlenen insanların sayısındaki artışın sebebi olduğu kaydedilmiştir. Bu yüzden bu tür bileşiklerin çoğu, birçok Avrupa ülkesinde yasaklanmıştır. (Kaya ve Öz, 1999; Atay ve Çelik, 2010a).

Halojen içermeyen maddeler ise alüminyum hidroksit (ATH) ve magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$) gibi inorganik maddelerdir. Bu maddeler genellikle hidroksit ve hidrokarbonat içerirler ve 200-400 C° sıcaklıklarda bozunarak ortama su ve CO_2 verirler. Ortamda açığa çıkan su, yanıcı gazı sulandırır ve yanma olayı için gerekli oksijene engel olur. Ortamdaki soğutma olayından dolayı yanmaz madde yanıcı yüzeyde seramik bir tabaka oluşturarak yanıcı yüzeyi kaplar, bu durum alevin ve ısının artışıını önleyerek, yanma olayının ilerlemesini engeller (Kaya ve Öz, 1999; Atay ve Çelik, 2010a).

1.4.3.1. Mineral Esaslı Yanmayı Geciktiriciler ve Metal hidroksitler

Mineral esaslı yanmayı geciktiricilerin en önemli grubu metal hidroksitlerdir. Bunlar içerisinde en yaygın kullanılanlar ATH ve magnezyum hidroksittir. Metal hidroksitler, sıcaklıkla değişmeyen, inorganik kalıntılar bırakan, endotermik bozunma yoluyla su buharı salıveren yanma geciktiriciler olarak kabul edilirler. Polimer kompozitlerde ise bir dolgu maddesi olarak kullanıldıklarında oluşan su ile tutuşabilen polimerin bozunma ürünlerini seyreltirler (Hollingbery ve Hull, 2010).

Genel olarak bakıldığında alüminyum hidroksitin dünyada en yüksek tonajlı yanmayı geciktirici kimyasal madde olduğu görülmektedir.

Alüminyum hidroksit, $2Al(OH)_{3(s)} \rightarrow Al_2O_{3(s)} + 3H_2O_{(g)}$ eşitliğine göre ayrışır. Bozunma, partikül boyutu ve fiziksel şekillerine bağlı olarak 180 °C ve 200 °C’de başlar. Genel olarak, çok yüksek oranlarda kullanıldığında çok iyi bir yanmaya karşı direnç performansı gösterdiği bildirilmiştir. Ancak yüksek kullanım oranı mekanik özellikler üzerinde negatif bir etki gösterdiğinden bu durum metal hidroksitlerin uygulanmasını sınırlandırmaktadır (Hollingbery ve Hull, 2010).

Magnezyum hidroksit ise ATH’den daha az kullanılmaktadır. Su uzaklaşmasıyla endotermik reaksiyon yoluyla bozunmaktadır.

$Mg(OH)_2$ ana su kütlesinin yaklaşık %31’ini salıvererek 300 °C ile 330 °C arasında bozunmaya başlar. Magnezyum hidroksitin yüksek bozunma sıcaklığı polipropilen ve poliamid gibi polimerlere daha uygundur. Bu sıcaklıklar ATH’nin bozunma sıcaklığından daha yüksektir (Hollingbery ve Hull, 2010).

ATH ve magnezyum hidroksit en iyi bilinen mineral esaslı yanma geciktiriciler olmasına rağmen, polimerlerde potansiyel faydaları olabilecek çok sayıda mineral esaslı maddeler vardır. Bu maddelerin herbiri ya CO₂ ya su ya da her ikisini birden vererek bozunmaya uğrarlar. Bu mineral maddelerden hidromanyezit en fazla ticari ilgiye sahip olan maddelerden biridir. Bozunma sıcaklığının ATH'den daha yüksek olması onu ATH'nin kullanıldığı alanlarda daha uygun bir mineral madde haline getirmiştir (Hollingbery ve Hull, 2010).

Tablo 1. Bazı halojen içermeyen mineral maddeler ve bozunma sıcaklıkları (Rothon,2003).

Mineral türü	Kimyasal formül	Bozunma sıcaklığı (°C)
Nesqueonit	MgCO ₃ .3H ₂ O	70-100
Magnezyum fosfat oktahidrat	Mg ₃ (PO ₄) ₂ .8H ₂ O	140-150
Magnezyum hidroksit	Mg(OH) ₂	300-320
Hidromanyezit	Mg ₅ (CO ₃) ₄ (OH) ₂ .4H ₂ O	220-240
Huntit	Mg ₃ Ca(CO ₃) ₄	>450
Alüminyum hidroksit	Al(OH) ₃	180-200
Boehmite	AlO(OH)	340-350
Sulu kalsiyum sülfat	CaSO ₄ .2H ₂ O	60-130
Kalsiyum hidroksit	Ca(OH) ₂	430-450

1.4.4. Huntit – Hidromanyezit

Huntit ve hidromanyezit özel magnezyum karbonat mineralleridir. Huntit magnezyum kalsiyum karbonat, hidromanyezit ise sulu magnezyum karbonattır. Her iki mineralde serpantin ve bursit gibi magnezyum açısından zengin minerallerin ayrışma ürünleri ile ilişkilidir (URL-4, 2016).

Şu anda ticari olarak kullanılan mineral yatakları Türkiye'de ve Yunanistan'da bulunmaktadır. Bu cevher, huntit ve hidromanyezitin çeşitli oranlardaki karışımından oluşmaktadır (Atay ve Çelik, 2010b).

Halojen içermeyen ve korozif olmayan bu mineral etkin bir duman bastırıcıdır ve özel yüzey işlemleri ile plastiklerde uygun kullanım alanı bulmaktadır. Ayrıca bu özelliklerinin yanında asit süpürme özelliğide vardır.

Tablo 1’de gösterildiği gibi bozunma sıcaklığının yüksek olması sebebiyle sadece termosetlerde değil, 200 °C’nin üstünde işlenen termoplastik malzemelerde de kullanımı avantajlıdır.

Huntit ve Hidromanyezitin en önemli özelliği 220 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda su ve karbondioksit açığa çıkarmasıdır. Bu da minerallerin plastik ve kauçuk için etkili bir alev geciktirici dolgu maddesi olarak kullanılmasına neden olur (URL-4, 2016).

Huntit – hidromanyezit içerikli ürünlerin alev geciktirici olarak kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir: Tel ve kablo uygulamalarında (telekominikasyon kabloları, otomobil kabloları, tel bağlantı sistemleri, büyük gemilerdeki kablo ağı), yapı endüstrisi uygulamalarında (yer döşemesi tavan karosu uygulamaları, kablo, elektrik tel borularında, bölme ve panolarda, yalıtım sistemlerinde), elektronik ve elektrik uygulamalarında, elektrik priz kutularında, düğmelerinde, yuvalarda, evlerde elektrik sisteminde, yalıtım ve bağlantı bölgelerinde ve basılı devre panolarında kullanılır (Weber, 1999).

Huntit – hidromanyezit kökenli ürünlerin diğer kullanım alanı ise, boya ve silikon üretiminde dolgu malzemesi yapımıdır. Madde, kolay dağılım sağlaması, gelişmiş mekanik özellikleri, yüksek parlaklığı, doğal beyazlığı, su geçirmezliği ve ateş geciktirici özellikleri ile inşaat, sırlama ve otomobil endüstrisinde başarıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bu alanda kullanılan diğer maddelere nazaran daha sabit akış direncine sahip olan bu madde, daha az akma, kayma, yığılma özelliklerinden dolayı mekanik etkilere dirençlidir. Bu özelliğinden dolayı da özellikle kaplama uygulamalarında avantaj sağlar (Muerinik, 1997).

1.4.5. Yanma Geciktirici Kimyasal Maddelerin Odun ve Odun Esaslı Malzemelerin Özelliklerine Etkileri

Odun ve odun esaslı malzemelerde yanma geciktirici olarak kullanılan kimyasal maddelerin özelliklerine bağlı olarak bu kimyasallar malzeme üzerinde çeşitli etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler şu şekilde sıralanabilir (Denizli, 1997; Yalınkılıç, 2000; Ellis ve Rowell, 1989) .

1. Direnç özelliklerine olan etkisi: Yapılan çalışmalarda yanma geciktirici olarak kullanılan kimyasalların odunun direnç özelliklerine önemli derecede etki ettiği

saptanmıştır. Direnci etkileyen çeşitli faktörler şu şekildedir; odunun kendi yapısal özellikleri, yangın geciktirici kimyasallar, işlem ve muamele koşulları ve yeniden kurutma sıcaklığı gibi. Yangın geciktirici kimyasal maddeler ile odunun direnç özelliklerindeki etki en üst seviyeye çıkmaktadır. Muamele işleminden sonra oda sıcaklığına maruz kalan odunun direnci %10 ile %20 arasında düşmektedir (Denizli, 1997).

2. Higroskopik özelliklere olan etkisi: Yangın geciktirici olarak kullanılan kimyasalların çoğu odunun nem içeriğinde artırmaktadır (Levan ve Collet, 1989). Özellikle inorganik tuzlarla muamele edilen odun, yüksek bağıl nemde muamelesiz oduna oranla daha higroskopik özellik göstermektedir (Sweet ve Winandy, 1999; Östman vd., 2001).

3. Koroziyona olan etkisi: Yangın geciktirici kimyasalların çoğu koroziyona özelliğe sahiptir. Ancak %5 veya daha yüksek oranda korozyon önleyici maddelerin katılmasıyla metallere karşı korozyon etkisi minimize edilebilmektedir. Yine de yangın geciktirici kimyasal ile muamele edilmiş odunların özellikle yüksek bağıl nemli ortamlarda uzun süre bırakılmaması gerekmektedir (Holmes, 1974; Ellis ve Rowell, 1989; Östman vd., 2001).

4. Tutkallamaya olan etkisi: Odun ve odun esaslı levha üretiminde tutkallama özellikleri, yangın geciktirici kimyasallar tarafından olumsuz etkilenmektedir. Bu durum kimyasal maddelerin yapısal özelliğinden, kullanım miktarından, pH'sından, tutkallama koşullarından ve tutkalın türünden kaynaklanabilmektedir (Eickner,1966; Ellis ve Rowell, 1989).

5. İşlenebilmeye olan etkisi: Yangın geciktirici kimyasallar ile muamele edilmiş odun ve odun esaslı malzemelerin işlenebilmesi zor olmaktadır. Özellikle inorganik tuz kristallerinin aşındırıcı etkisiyle kullanılan aletlerin çalışma verimliliğini ve ömrünü azalmaktadır (Eickner,1966; Holmes, 1974).

6. Boyanabilirlik üzerine olan etkisi: Bu durum diğer özellikler kadar önemli bir problem oluşturmamasına rağmen; yüksek bağıl nem içeriğinde odunun rutubetinin artması nedeniyle yangın geciktirici kimyasalları boya üzerinde kimyasal kristaller oluşturabilmekte ve bazen de boya adhezyonunu etkileyebilmektedir (Holmes, 1974; Östman, 2001).

1.4.6. Çeşitli Malzemelere Uygulanan Yangın Tepki Sınıfları

Belirli şartlar altında, bir yapı malzemesinin yangına maruz kaldığı zaman parçalanması suretiyle yangına katkıda bulunarak gösterdiği davranış, o yapı malzemesinin

yangına karşı tepkisini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda kullanılacak malzemenin seçiminde Tablo 2’deki sınıflandırmadan yararlanır.

Tablo 2. Yangın tepki sınıfları (URL-5, 2016).

Malzemenin yanıcılık özelliği	Duman oluşumu yok	Yanma damlamaları/ tanecikleri yok	TS EN 13501-1’e göre Yangına tepki sınıfları	DIN 4102’ye göre yangına tepki sınıfları
Yanmaz	x	x	A1	A1
	x	x	A2-s1,d0	A2
Yangına karşı dayanıklı	x	x	B-s1,d0	B1
	x	x	C-s1,d0	
		x	A2-s2,d0	B1
		x	A2-s3d0	
		x	B, C-s2,d0	
	x	B, C-s3,d0		
	x		A2-s1,d1	B1
	x		A2-s1,d2	
	x		B, C-s1,d1	
	x		B, C-s1,d2	
			A2-s3,d2	B1
			B-s3,d2	
			A2-s3,d2	
Normal alevlenebilir	x	x	D-s1,d0	B2
		x	D-s2,d0	
		x	D-s3,d0	
			E	
	x		D-s1,d2	B2
			D-s2,d2	
			D-s3,d2	
			E-d2	B2
Alevlenebilir			F	B3

s1, s2 ve s3 duman tepkisini tanımlar.

s1: Duman yok ya da çok sınırlı

s2: Duman oluşumu sınırlı.

s3: Duman oluşumu s1 ve s2 sınıflarının gerekliliklerini karşılamayan.

d0, d1, ve d2 yanan damlaları tanımlar.

d0: Alev damlacıkları veya parçacıkları meydana gelmeyen.

d1: Alev damlacıkları veya parçacıkları çabuk sönen.

d2: Alev damlacıkları veya parçacıklarının teşkili d0 ve d1 sınıflarının gerekliliklerini karşılamayan.

Tablo 3. 2003/43/EC sayılı AB komisyon kararına göre test yapılmasına gerek olmayan ahşap esaslı levha malzemelerin yangına tepki sınıfları (Anonim, 2003).

Ahşap esaslı levha malzemeler	Üretim standartları	Minimum yoğunluk (kg/m ³)	Minumum kalınlık (mm)	Sınıf (döşeme malzemeleri hariç)
Yongalevhalar	EN 312	600	9	D-s2,d0
Liflevhalar (sert)	EN 622-2	900	6	D-s2,d0
Liflevhalar (yumuşak)	EN 622-4	250	9	E
Liflevhalar (MDF)	EN 622-5	600	9	D-s2,d0
Çimentolu yonga levhalar	EN 634-2	1000	10	B-s1,d0
Yönlendirilmiş liflevhalar(OSB panel)	EN 300	600	9	D-s2,d0
Kontraplak	EN 636	400	9	D-s2,d0
Masifahşap levha	EN 13353	400	12	D-s2,d0

1.4.7. Yanma Dayanımını ve Yanma Karakteristiklerini Belirleme Yöntemleri

Yanma geciktiriciler ile muamele edildikten sonra odun ve odun esaslı malzemelerin yapılarında meydana gelen termal değişimleri, yanma dayanımlarını ve karakteristiklerini araştırmak üzere çok sayıda yöntem mevcuttur.

Yangın geciktirici kimyasal maddelerle işlem görmüş örneklerin yanma karakteristiklerinin belirlenmesinde termal analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Termal analiz yöntemleri, malzemelerin fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin incelendiği yöntemlerdir. Termal analiz malzemelerin kontrollü bir şekilde ısıtılarak ya da

soğutularak, malzemelerin fiziksel özelliklerinde (ağırlık, absorplanan ya da açığa çıkan ısı, boyut, iletkenlik, manyetik özellik vs.) meydana gelen değişimin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü yöntemleri içerir (URL-6, 2015). Termal analiz yöntemlerin başında; diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetrik analiz (TGA) gelmektedir. Diğer yaygın olarak kullanılan test yöntemleri ise alev yayılma testleri, oksijen indeks metodu, cone kalorimetre, ısı salınımı (heat release test), duman yoğunluğu ve zehirlilik testleridir.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC): Örneklerin belirli bir atmosfer altında ısıtılması, soğutulması veya sabit bir sıcaklıkta tutulması sırasında soğurulan veya salı verilen enerji miktarını zaman ve/veya sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçme esasına dayanır. DSC yöntemi ile çok değişik malzemelerin farklı termal özelliklerini belirlemek mümkündür:

- Camsı geçiş sıcaklığı,
- Erime ve kristalleşme sıcaklığı,
- Erime kristalleşme entalpisi,
- Polimer malzemelerin kristalleşme derecesi,
- Polimerlerin oksidasyon indüksiyon süresi (OIT),
- Isı kapasitesi,
- Faz dönüşümleri, vb.

Termogravimetrik Analiz (TGA): Termogravimetri, genel olarak malzemelerde sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybı ve/veya kazanımlarının belirlenmesinde kullanılır.

Diferansiyel Termal Analiz (DTA): Numune ve referans arasındaki sıcaklık farkını ve ağırlık değişimini eş zamanlı olarak ölçmeye yarayan bir sistemdir. Sıcaklık farklılıkları numunedeki sıcaklığın değişmesiyle meydana gelen endotermik ve/veya ekzotermik reaksiyonlar sonucunda olmaktadır. DTA cihazı ile değişik malzemelerin erime ve süblimleşme sıcaklıkları, kütle kaybı/kazancı, faz değişimi ve oksitlenme gibi özellikleri belirlenebilir.

Tünel Alev Yayılma Testleri: Bu test 0.6m, 2.5m ve 7,6m'lik tünellerde gerçekleştirilmektedir. Genelde alev yayılma oranları onaylanmış standart bir test yöntemi olan 7.6 m'lik tünel testi kullanılmaktadır. Tünel test yöntemi arasındaki temel farklılıklar, yanmaya maruz bırakmanın şiddeti ve tutuşma kaynağına maruz bırakılma süresidir (Yıldız, 2006).

Limit Oksijen İndeksi testi (LOI): Limit oksijen indeksi, spesifik koşullar altında devam eden yanma için gerekli olan minimum oksijen miktarı olarak tanımlanır ve malzemenin yanmaya karşı eğiliminin sayısal bir ölçümüdür. Buna bağlı olarak; yanma özelliği yüksek materyaller düşük oksijen indeksine, yanma özelliği düşük materyaller yüksek oksijen indeksine sahip olmaktadır (Sachdev, 2004; Yıldız, 2006; Dietenberger ve White, 2001).

Cone Kalorimetre: Bu yöntem çeşitli ısı akış şiddetlerine bağlı olarak materyallerin yanma reaksiyonu özelliklerini belirlemek ve ısı salınımını tespit etmek üzere yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Isı salınım oranı belirlenirken aynı zamanda yanma ve tutuşma sıcaklığı, duman ve zehirli gaz ölçümleri de belirlenmektedir (White, 1997; Schartel ve Hull, 2007; Burchill vd., 2005).

1.5. Literatür Özeti

Çeşitli yanmayı geciktirici kimyasallar ile birlikte üretilmiş odun ve odun esaslı malzemelerin yanma özellikleri, yanma mekanizmaları ve kullanılan kimyasalların bu malzemelerin diğer mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkilerini araştırmak amaçlı yapılmış literatürde çok sayıda çalışma vardır.

Pedieu ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada; üç farklı konsantrasyonda (%8, %12, %16) borik asit ile muamele edilmiş yonga levhaların yanma performanslarını incelemiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda; %16 konsantrasyonda borik asit ile muamele edilmiş yonga levhaların yanmaya karşı direnç performansları en yüksek düzeyde bulunmuştur. Aynı zamanda borik asit kullanımının levhalarda iç yapıştırmayı ve kalınlığına şişmeyi iyileştirdiği gözlenmiştir.

Odunun termal degradasyonu sırasındaki uçucu gazların bileşimi ve prosesinde K_2CO_3 , $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$, ve $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ yanma geciktiricilerin etkileri Qu ve arkadaşlarının (2011) yaptığı bir çalışmada değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda $Na_2B_4O_7$ 'in, düşük sıcaklıklarda odun yüzeyinde koruyucu bir camsı tabaka oluşturan etkili bir yangın geciktirici kimyasal olduğu görülmüştür. K_2CO_3 ise düşük konsantrasyonlarda daha yüksek alev geciktirici etkinliği göstermiştir. K_2CO_3 konsantrasyonu artığında odunun depolimerizasyon reaksiyonunu artırdığı fakat yangın geciktirici etkisinin azaldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada Na_2SiO_3 'ün en düşük yangın geciktirici etkinliği gösterdiği saptanmıştır.

Nagieb ve arkadaşları (2011) yaptıkları çalışmada, testere talaşlarından elde edilen liflerle birlikte üre formaldehit tutkalı ve çeşitli konsantrasyonlarda (%0.5, %1, %5) yangın geciktirici (boraks ve borik asit) kullanarak levhalar üretmiş ve üretilen bu levhaların çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda levhaların su alma ve eğilme direncinde azalma gözlenirken yanma performansları artmıştır. Boraks ve borik asidin yüksek konsantrasyonlu kombinasyonu ile en yüksek yanma dayanımı elde edilmiştir.

Liodakis ve arkadaşları (2008) yaptıkları bir çalışmada; *Phillyrea latifolia L.* odunundan aldıkları numuneleri doğal hidromanyezit ve karışım halindeki hidromanyezit - huntit ile muamele ederek, bu kimyasalların yangın geciktirici özelliklerini termal analiz yöntemlerle incelemiştir. Ayrıca diğer ticari olarak kullanılan yangın geciktiriciler ile kullanılan bu kimyasalların karşılaştırmasını yapmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

* Yanma söz konusu olduğunda, minerallerin *Phillyrea latifolia L.* odununun tutuşma süresini ve kalıntı kütle miktarını artırdığı saptanmıştır.

* Odunun pirolizinde, her iki mineralinde DTG'de düşük sıcaklık değerlerinde pik yapması ve kütle kalıntı miktarlarının fazla olması sebebiyle tatmin edici seviyede yangın geciktirici özellik gösterdiği bulunmuştur.

* Huntit-hidromanyezitli örneklerin, kütle kalıntısındaki artışa bakılarak saf hidromanyezitli örneklerden daha iyi yanmaya karşı direnç sağladığı bulunmuştur.

* Piroliz ile ilgili olarak, kullanılan diğer ticari yangın geciktiriciler (DAP, MAP ve AS) selülozun ayrışmasına etki ederken kullanılan bu minerallerin asıl olarak ligninin ayrışmasına etki ettiği gözlenmiştir.

Kurt ve arkadaşları (2009) basınç ve daldırma yöntemleri kullanarak, amonyum sülfat, boraks, borik asit ve çinko klorür ile emprenye edilmiş ve çeşitli vernik ve boyalar ile muamele edilmiş kayın odunlarının ısı iletimini incelemişler ve çalışma sonucunda; en düşük termal iletim katsayısının kontrol örneklerinde, en yüksek termal iletim katsayısının ise basınç yöntemi kullanılarak amonyum sülfat ile emprenye edilmiş ve sentetik vernik uygulanmış odun örneklerinde olduğu gözlenmiştir.

Liodakis ve arkadaşlarının (2010) yaptığı diğer bir çalışmada; hidromanyezit, huntit ve hidromanyezit-huntitin doğal karışımlarını çeşitli oranlarda kullanarak fıstık çamı ve laden bitkisi üzerindeki yangın geciktirici etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen diferansiyel termogravimetrik analiz ve alev yayılım testleri sonuçlarına göre, mineraller odunun tutuşabilirliğini ve yanma süresini azaltmakta kalıntı kütle miktarını ise

artırmaktadır. Ayrıca kullanılan bütün mineraller incelendiğinde, aralarında en etkili yangın geciktirici mineralin huntit/hidromanyezitin doğal karışımı olduğu belirlenmiştir.

Lioudakis ve arkadaşlarının (2009) yaptıkları bir çalışmada, DTG analizi ve LOI testleri kullanılarak hidromanyezit, huntit ve hidromanyezit/huntit doğal karışımları ile işlem görmüş Halep çamı ve Laden bitkilerinin yanma özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kullanılan minerallerin odunun piroliz oranını azalttığı, kalıntı kütle miktarını artırdığı bulunmuş ve hidromanyezitin en iyi performansı sergilediği görülmüştür.

Tome ve arkadaşları 1996 yılında yaptıkları çalışmada, etilen-propilen kopolimerinin tutuşabilirliğini azaltmak için polimeri, doğal mineraller olan huntit/hidromanyezit minerali ve antimontrioksit (Sb_2O_3), dekabromodifenil oksit karışımı ile muamele etmişlerdir. Çalışmada kompozite, DTA ve TGA termal analiz yöntemleri, tutuşabilirlik testi ve mekanik testler uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda en iyi sonuçları %25 oranında huntit/hidromanyezit mineralleri ve %20 oranında Sb_2O_3 /DBDPO karışımının verdiği bulunmuştur.

Atay ve Çelik (2010b) yaptıkları bir araştırmada, huntit/hidromanyezit mineralinin etilen vinil asetat (EVA) polimeri üzerindeki yangın geciktirici davranışını araştırmıştır. Elde ettikleri bulgular sonucunda, mineralin plastiğin yanmaya karşı direncini artırdığını, bununla birlikte mekanik, elektriksel ve polimerin diğer özelliklerini iyileştirdiğini bulmuştur. Çalışma sonucunda ayrıca ince parçacıklı minerallerin yangına karşı daha yüksek direnç sağladığı saptanmıştır.

Atay ve Çelik (2013) yaptığı bir diğer çalışmada; huntit/hidromanyezit minerali takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu mineral maddeleri Etilen vinil asetata farklı partikül boyutları ve farklı miktarlarda ekleyerek kompozit materyaller üretmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, partikül miktarı artıkça mekanik özelliklerin düştüğü ve partikül boyutu artıkça daha iyi mekanik özellikler sağlandığı tespit edilmiştir.

Atay ve Çelik (2012) yaptıkları bir diğer çalışmada yangın geciktirici olarak kullanılan huntit/hidromanyezit minerali katkılı plastik kompozit malzemelerin elektriksel özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında çeşitli oranlarda ve değişik partikül boyutlarında mineraller kullanarak etilen vinil asetat kompozitini üretmişlerdir. Yapılan testler sonucunda malzemenin elektriksel özelliklerinin azalan partikül boyutuna bağlı olarak iyileştiği görülmüştür.

Hollingbery ve Hull (2012) yaptıkları çalışmada, çevre dostu olarak nitelendirilen doğal huntit/hidromanyezit mineralinin yangın geciktirici etkilerini araştırmışlar. Cone kalorimetre testinin sonuçlarına göre hidromanyezitin su ve CO₂ salınımı sonucu tutuşma süresini artırdığı, huntitin ise ortamda ısı salınım hızını azalttığı ve kalıntı miktarını artırdığı görülmüştür. Elektron mikroskopuyla minerallerin morfolojisi incelendiğinde huntinin katmanlı bir yapıya sahip olduğu ve bunu cone kalorimetrede ki yanma sırasında koruduğu ve bu sayede ısı salınım oranını azalttığı tespit edilmiştir. Huntite/hidromanyezit doğal karışımının huntitin yangın geciktirici özelliği iyileştirmesi aşamasında önemli bir rol oynadığı saptanmıştır.

Garba (1999) yaptığı bir çalışmada, çinko borat ile emprenye edilmiş bazı tropik odunların termal karakteristiklerini araştırmıştır. Çalışmada bu uygulamanın, odunların alev yayılma oranını, tepki süresini ve alev sıcaklığını büyük ölçüde azalttığı, kalıntı miktarını ve limit oksijen indeksini artırdığını tespit etmiştir.

Marney ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmalarında bakır bazlı organo fosfor içeren yangın geciktirici kimyasal ile emprenye edilmiş odunların yanma özelliğini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, bu maddenin yangın büyüme oranı endeksini azalttığı, odunun çürümeye ve termite karşı daha dirençli hale geldiği bulunmuştur.

Giudice ve Pereyra (2010) alkalın silikat ile muamele ettikleri odunların termal özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda alkalın silikatın, yangına karşı yüksek direnç ve düşük termal genleşme sağladığı ve duman oluşumunu azalttığı bildirilmiştir.

Carosio ve arkadaşları (2011), Alongi ve arkadaşları (2013) nano kompozitlerin üzerinde yangın geciktirici çalışmalar yapmıştır. Araştırmacıların yaptığı çalışmalarda layer by layer teknolojisi kullanılarak pamuk lifleri üzerine silikon bazlı yangın geciktirici kimyasal uygulanmıştır. Araştırmacılar, bu teknolojinin üç şekilde uygulandığını (daldırma, yatay ve dikey püskürtme) ve en iyi yangına karşı direnç performansının yatay püskürtme ile elde edildiğini bildirmiştir.

Barnes and Murphy (2006), buhar fazında trimetil borat kaynağıyla muamele ederek MDF ve OSB örnekleri hazırlamış ve bu örneklerin bağlanma direnci, kalınlığına şişme ve su absorplama değerleri üzerine muamele işleminin etkisini araştırmış, sonuç olarak; yüksek bor içeriğinin OSB'nin bağlanma direncini negatif yönde etkilediğini ve düşük kalınlığına şişme sağladığını bulmuştur. Yine bu çalışma sonucunda, MDF örnekleri için

de, yüksek bor içeriğinin; bağlanma direncinin düşmesine ve kalınlığına şişmenin azalmasına sebep olduğu belirlenmiş, MDF ve OSB örnekleri için buhar fazında uygulanan bor işlemlerinin ise su absorpsiyonu üzerinde olumsuz bir etki göstermediği bildirilmiştir.

Stevens ve arkadaşları (2006) yaptıkları bir çalışmada, Sarıçam yongalarını çeşitli alkil ve fenilklorofosforlu bileşiklerle modifiye etmişler ve örnekler TGA uygulamışlardır. Buna göre; bütün fosforlu bileşiklerin piroliz sıcaklığını etkilediğini ve kömür oluşumunu artırdığını ancak alkil gruplarının daha az etki gösterdiğini bulmuşlardır.

Kılınç ve Bayram (2006), yaptıkları bir çalışmada, propilene (PP) yanmazlık kazandırmak amacıyla; çeşitli oranlardaki çinko borat, dekabromodifenoil oksit, antimon trioksit, magnezyum hidroksit ve metal karışımlarını PP'ye katarak kompozitler üretmiş ve bu kompozit örneklerinin mekanik ve yanma özelliklerini test etmişlerdir. Sonuç olarakta %40 oranında ilave edilen bu kimyasal maddelerin, örneklerin mekanik özelliklerinde çok aşırı bir düşmeye neden olmadığını, buna nazaran yanma hızlarını artırarak PP'ye yanmazlık kazandırdıklarını tespit etmişlerdir.

Özkaya ve arkadaşları (2007) OSB'nin yanma özelliklerini belirlemek amacıyla; potasyum karbonat, boraks ve wolmanit'i yüzeye sürme ve daldırma yoluyla uygulayarak yaptıkları bir çalışmada, tüm kimyasalların OSB'nin tutuşma sürelerini değiştirdiğini, en etkili sonucun potasyum karbonat ile sağlandığını belirtmişlerdir. Alev kaynağının kapatılmasından sonra ki yanmada, boraks ve potasyum karbonat etkili iken wolmanit pek etkili bulunmamıştır. Ayrıca, muamele yöntemi olarak daldırma yönteminin daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Yine, Aslan ve Özkaya (2004) yaptıkları bir diğer çalışmada, kontrplak, OSB ve MDF'nin yanma dayanımlarını karşılaştırmışlardır. Bu amaçla, kimyasal madde olarak yine boraks, potasyum karbonat, wolmanit CB kullanmışlar ve sonuç olarak yanma tehlikesi olan yerlerde diğer levha ürünlerine kıyasla MDF'nin kullanılması gerektiğini, yanmaya en dayanıklı levhanın ise MDF olduğunu bulmuşlardır.

Wang ve arkadaşları (2004), borik asit (BA), boraks, guanilüre fosfat (GUP) ve GUPBA karışımı ile ıhlamur ağacı odun örneklerini muamele etmişler ve daha sonra bu örneklerin TG/DTG, DTA, CONE ve GC-FTIR analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçlarında; özellikle borik asitin, nispeten düşük sıcaklıklarda (100-300 °C) odunun diğer O₂-eliminasyon reaksiyonlarını ve dehidrasyon reaksiyonlarını katalizlediği ve aromatik bileşikler meydana getirerek yeni oluşan polimerik materyallerin izomerizasyonunu hızlandırdığı belirlenmiştir. GUP+BA ile güçlü bir sinerjik etki

gözlemlendiği, genel itibariyle de güçlü sinerjik etkinin borik asit ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Ustaömer (2008) yaptığı çalışmada; çeşitli yanma geciktirici kimyasal maddelerle muamele edilerek üretilmiş MDF'lerin özellikleri üzerinde; kimyasal maddelerin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve kullanılan tutkaldaki melamin katkı oranının etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda; kimyasal madde konsantrasyonu arttıkça örneklerin su alma ve kalınlığına şişme değerlerinin, mantara çürüklülüğüne karşı dirençlerinin ve renk değişim oranlarının arttığı; eğilme ve çekme dirençlerinin ise kimyasal madde türüne göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca tutkaldaki melamin katkı oranı artışında; örneklerin eğilme ve çekme direncini, mantar çürüklülüğüne karşı direncini arttırdığı, su alma ve kalınlığına şişme değerleri ile renk değişim oranlarını ise azalttığı bulunmuştur. Levhaların yanma parametrelerini, yanmada mukavemet deneyi ve TGA olmak üzere iki yöntem yardımıyla belirlemiştir. Yanma mukavemet deneylerinde kimyasal madde konsantrasyonu ve melamin katkı oranı artışıyla; ağırlık kaybı, sıcaklık, CO₂ ve CO değerleri düşerken O₂ değerleri artış göstermiştir. TGA sonuçlarına göre ise kimyasal madde konsantrasyonu ve tutkaldaki melamin katkı oranı artışıyla, örneklerin bozunmadan kalan kısımlarının oranı artmıştır.

Ustaömer ve arkadaşları (2008), %3, %5 oranında borik asit, boraks, sodyum perborattetrahidrat, çinko borat ve borik asit+boraks karışımı ile muamele edilerek ürettikleri MDF örneklerinde, bu kimyasal maddelerin meydana getirdiği yüzey pürüzlülüğü etkilerini belirlemek üzere yaptıkları çalışmada; kimyasal madde türü ve kimyasal madde konsantrasyonu artışına bağlı olarak; kontrol örneğine kıyasla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığını, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerinin ise çinko borat kullanılarak üretilen levha örneklerinden elde edildiğini bulmuşlardır. Yine yanmayı geciktirici karakterdeki kimyasal maddelerin, MDF yapısında meydana getirdiği renk değişimlerini gözlemek amacıyla, Ustaömer ve arkadaşları (2006), %1 ve %3 konsantrasyonlarda borik asit, boraks ve sodyum perborat tetrahidrat ile muamele ettikleri liflerden levhalar üretmiş ve bu kimyasalların levha yüzeylerinde meydana getirdikleri renk değişimlerini belirlemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, renk değişimi değerinin (ΔE^*) kimyasal madde konsantrasyonunun artışına bağlı olarak arttığını, en yüksek renk değişimi değerinin (ΔE^*) ise %3 sodyum perborattetrahidrat kullanılarak üretilen levha örneklerinden elde edildiğini belirtmişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan hammadde, kimyasal maddeler, tutkal, kullanılan cihazlar ve üretilen levhalara uygulanan testlere ait bilgiler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Hammadde

Bu çalışmada, hammadde olarak Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic A.Ş. Gebze tesisinden temin edilen kayın lifleri kullanılmıştır. Lifler tesiste tutkallama işleminden önce alınıp, kurutulduktan sonra deneylerde kullanıma hazır hale getirilmiştir.

2.1.2. Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada, kimyasal madde olarak Likya Minerals Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen ve yanmayı geciktirici özellikleri ile özellikle polimer uygulamalarında tercih edilen mineral (huntit-hidromanyezit) esaslı UltraCarb-1250 ve UltraCarb-LH15 kullanılmıştır. UltraCarb-1250 içeriğinde huntit miktarı fazla iken UltraCarb-LH15 içeriğinde ise hidromanyezit miktarı fazladır. Bu maddelere ilave olarak yine yanma geciktirici özelliği olan borlu bileşiklerden, Riedel-de Haën markalı çinko borat kullanılmıştır. UltraCarb kimyasalları, deneme levhalarının üretiminde tek ve çinko borat ile birlikte karışım halinde kullanılmıştır.

2.1.2.1. UltraCarb

UltraCarb; huntit-hidromanyezit içeriğine sahip yanma geciktirici bir maddedir. İçerisinde bulunan her iki mineralde tek başlarına birer yangın geciktiricidir. Huntit ve hidromanyezit, magnezyum karbonat içeren özel bir mineraldir. Huntit; magnezyumlu kalsiyum karbonat, hidromanyezit; hidratlanmış magnezyum karbonattır (URL-7, 2016).

UltraCarb; özellikle polietilen, polipropilen, pvc ve kauçuk gibi polimerlerde yangın geciktirici olarak kullanılır. Köpük yalıtımında, UltraCarb yangın geciktirici olarak ATH'nin doğal bir alternatifidir. Kömürleşen tabaka, izolasyon köpüklerinin yangını hızlandırmasını engeller ve yangın geciktirici etki göstermesine katkıda bulunur. UltraCarb polimer yüzeylerde alevin yayılmasını ve polimerin eriyip damlamasını etkili bir şekilde azaltabilmektedir (URL-7, 2016).

UltraCarb, klasik endotermik yangın geciktirici kimyasal maddelerin gösterdikleri tek aşamalı yangın geciktirme mekanizmasına karşın, 3 aşamalı bir yangın geciktirici mekanizmasına sahiptir (URL-7, 2016).

1. Yaklaşık olarak 220 °C de su salınımı meydana gelir.
2. Yaklaşık olarak 330 °C de karbondioksit salınımı meydana gelir.
3. 560 °C sıcaklıkta UltraCarb partikülleri yanan polimerin üzerinde birikerek bir tabaka oluşturur. Oluşan bu tabaka yanma suresince polimerin damlamasını engelleyerek alevin yayılmasını engeller.

UltraCarb polimerlerde dolgu maddesi olarak kullanıldığında yüksek yüzey alanına sahip partiküller sayesinde polimere mükemmel özellikler sağlamaktadır. Yüksek ısı absorblaması sayesinde polimerleri hızlı bir termal bozunmadan korur ve yanabilir bir ürün olmalarını engeller (URL-7, 2016).

Tablo 4. UltraCarb'a ait özellikler (URL-7, 2016)

Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.3-2.6
Kırılma İndisi	1.56
Mosh Sertlik	2.5
Yüzey Alanı (m ² /g)	11-17
pH	9-11
Görünüm	Beyaz, Toz pudra

2.1.2.2. Çinko Borat

Çinko borat, çinko oksit veya çinko tuzlarının belli oranlarda sodyum boratlar veya borik asitle reaksiyona girmesi sonucunda oluşmaktadır. Çinko borat, ince beyaz toz ve kristal yapıda olup birçok formasyonda üretilebilmektedir. Yüksek sıcaklıklara

dayanabilmesi, duman ve alev bastırıcı özellikte olması, diğer kimyasallarla birlikte kullanılma imkanının olması, kullanılan malzemenin elektriksel özelliğini ve optik özelliklerini iyileştirmesi sebebiyle çeşitli endüstri alanlarında malzemelere yanma direnci kazandırmak amacıyla çinko borat yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Bilici, 2003; Schubert vd., 2003).

Tablo 5. Çinko borata ait özellikler

Formül yapısı	$2ZnO.3B_2O_3.3.5H_2O$
Molekül ağırlığı	434.66
Kristal yoğunluk (g/cc)	2.79
Görünüm	Beyaz, kokusuz, toz pudra
Ortalama tane boyutu	7 mikron
Stabilite	290 °C'ye kadar termal olarak stabil
pH	7-7.2

2.1.3. Tutkal

2.1.3.1. Üre Formaldehit

Bu çalışmada, levha üretiminde Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic A.Ş. Gebze tesisinden temin edilen üre formaldehit (ÜF) tutkalı kullanılmıştır.

Tablo 6. ÜF tutkalına ait özellikler

Katı madde	%58
pH	8.4
Akma zamanı	30 sn
Yoğunluk	1.210 (g/cm ³)
Görünüş	Yarı saydam

2.1.4. Sertleştirici Madde ve Parafin

ÜF tutkalında sertleştirici madde olarak %20'lik amonyum klorür çözeltisi kullanılmış ve bu çözeltilerden tam kuru tutkal ağırlığına oranla %2 oranında alınmıştır. Ayrıca, tutkala %1 oranında parafin ilave edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Deneme Levhalarının Üretim Şablonunun Belirlenmesi

Tez çalışması öncesinde bazı ön denemeler yapılarak levha üretimi gerçekleştirilmiş ve deney üretim şablonu belirlenmiştir. Bu ön denemelere bağlı olarak, kimyasal maddeler %2, %4, %6, %8, %10 ve %12 oranlarında alınmıştır. Mineral esaslı bu kimyasal maddeler tek ve ikili kombinasyonlar şeklinde kullanılmıştır. Daha sonra hazırlanan kimyasal maddeler tutkala karıştırılmış ve bu karışım püskürtme yoluyla liflere uygulanmıştır. Levha gruplarının içerikleri ve deney parametreleri Tablo 7'de, deney şablonu ve örneklere uygulanan testler ise Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 7. Levha gruplarının içerikleri

Kimyasal madde	Gruplar	Konsantrasyon					
		%2	%4	%6	%8	%10	%12
UltraCarb-1250	A	A2	A4	A6	A8	A10	A12
UltraCarb-LH15	B	B2	B4	B6	B8	B10	B12
UltraCarb-1250+Çinko Borat	C	C2	C4	C6	C8	C10	C12
UltraCarb-LH15+Çinko Borat	D	D2	D4	D6	D8	D10	D12

2.2.2. Deneme Levhalarının Üretimi

Deneme levhalarının üretimi öncesi, lifler elenmiş ve belirli bir rutubete kadar kurutularak daha sonra kullanılmak üzere poşetlere doldurulmuş ve üretime hazır hale getirilmiştir. Çeşitli oranlarda alınan mineral maddeler, tutkala karıştırılmak suretiyle liflere püskürtülerek tutkallama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her deneme levhası için ÜF tutkalı tam kuru lif ağırlığına oranla %13 oranında alınmış ve parafinli olarak levha grupları üretilmiştir. Tutkallama işleminden sonra ise serme işlemine geçilmiştir. Bu amaçla, pres sacı zemine yerleştirilmiş, üzerine 35x35 cm boyutlarında şekillendirme çerçevesi konulmuştur. Tutkallanmış lifler, mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde çerçeve içerisine yerleştirilerek serilmiştir. Serme işleminin sonrasında çerçevenin içine geçebilecek bir ahşap tabla yardımıyla taslak iyice bastırılarak bir ön presleme uygulanmıştır. Daha sonra tablaya üstten bastırarak çerçeve, levha taslağının kenarlarına zarar vermeyecek şekilde yavaş yavaş kaldırılmıştır. Sacın üzerine 1cm kalınlıkta kalınlık takozları yerleştirilip levha preslemeye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6. Levha taslağı

Hazırlanan levha taslaklarından levha üretim işlemleri, KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı laboratuvarlarında yapılmıştır. Levha taslakları, Şekil 7’de görülen Cemil Usta Ağaç Makineleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. ürünü olan tek katlı sıcak preste 180 °C sıcaklık ve 7 dak. süre ile preslenerek levha haline getirilmiştir. Bu parametreler kullanılarak 24 deney grubu için 2’şer levha olmak üzere 48 tane levha üretilmiştir.



Şekil 7. Levha üretiminde kullanılan tek katlı pres

Presleme sonrası üretilen deneme levhaları, daha sonra ilgili deneyleri yapılmak için standartlara göre gerekli boyutlarda kesilerek hazırlanmıştır.

2.3. Deneme Levhalarının Özelliklerinin Belirlenmesi

Mineral maddeler ilave edilerek üretilen levhaların bazı fiziksel, mekanik, yüzey, renk, yanma ve biyolojik özellikleri aşağıdaki yöntemlere göre belirlenmiştir.

2.3.1. Fiziksel Özellikler

2.3.1.1. Rutubet Miktarlarının Belirlenmesi

Deneme levhalarının rutubet miktarları belirlemek için 50x50xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında örnekler hazırlanmış ve bu örneklerin ağırlıkları ± 0.01 g duyarlıdaki analitik terazide tartılmıştır. Daha sonra örnekler kurutma dolabında 103 ± 2 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekledikten sonra alınmış ve yeniden tartımı yapılarak ağırlıkları belirlenmiştir.

Rutubet miktarları ise aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

$$r = \frac{m_r - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte;

r: Rutubet miktarı (%)

m_r : Kondisyonlanmış haldeki örnek ağırlığı (g)

m_0 : Tam kuru haldeki örnek ağırlığı (g)

2.3.1.2. Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Deneme levhalarından 50x50xlevha kalınlığı (mm) örnek boyutlarında hazırlanan deney örneklerinin ağırlığı, kalınlığı ve iki kenar genişliği ölçüldükten sonra ilgili formüle göre yoğunluğu hesaplanmıştır (EN 323, 1993).

$$\delta = \frac{m}{a_1 \times a_2 \times t} \times 10^3 \quad (2)$$

Eşitlikte;

δ : Yoğunluk (g/cm^3)

m: Hava kurusu ağırlık (g)

a_1, a_2 : Örnek genişliği (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)

2.3.1.3. Su Alma Oranının Belirlenmesi

Deneme levhalarının su alma oranının belirlenmesi amacıyla örnekler 50x50 mm ölçülerinde kesilerek hazırlandıktan sonra tartılmış ve 20 ± 2 °C'deki su banyosunda 24 saat süre ile bekletilmiştir. Bekletme süresi sonunda sudan alınan örneklerden temiz bir bez yardımıyla fazla su alındıktan sonra örneklerin ağırlıkları tartılmış ve su alma oranları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (EN 317, 1993).

$$SA = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3)$$

SA: Su alma oranı (%)

m_0 : Örneğin ilk ağırlığı (g)

m : Örneğin suda bekledikten sonraki ağırlığı (g)

2.3.1.4. Kalınlığına Şişme Oranının Belirlenmesi

Levhaların kalınlığına şişme oranlarının belirlenmesi için örnekler 50x50 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Örneklerin kalınlıkları tam orta noktasından 0.01 mm duyarlıklı mikrometreyle ölçülmüş ve su yüzeyinden 25 mm aşağıda tutmak suretiyle 19-21 °C sıcaklıktaki temiz suda 24 saat süre ile bekletilmişlerdir. Bu sürelerin sonunda sudan çıkarılan örneklerin suları bir bez yardımıyla alınmış ve kalınlıkları ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülerek kalınlığına şişme oranları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır. (EN 317, 1993).

$$KŞ = \frac{e_k - e_y}{e_y} \times 100 \quad (4)$$

KŞ: Kalınlığına şişme

e_y : Örneğin suda bekledikten sonraki kalınlığı (mm)

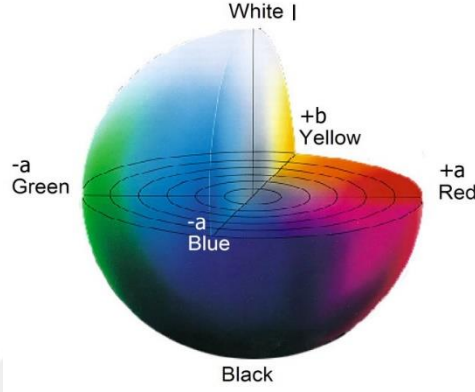
e_k : Örneğin ilk kalınlığı (mm)

2.3.2. Renk Değişimlerinin Belirlenmesi

Kullanılan mineral esaslı kimyasal maddelerin üretilen levhaların yüzeyinde meydana getirdikleri renk değişimlerini belirlemek amacıyla; Minolta CM-2600d spektrofotometresi yardımıyla ISO 2470 (1977) standardına göre $L^* a^* b^*$ değerleri, ölçülmüştür. Renk ölçümünde CIE $L^* a^* b^*$ sistemi tercih edilmiştir.

CIE $L^* a^* b^*$, International Commission on Illumination tarafından belirlenen bir renk sistemidir. Bu sistem, insan gözüyle görülebilen tüm renkleri açıklamaktadır. CIE $L^* a^* b^*$

renk sistemi üç boyutlu bir yapıyla temsil edilir. Algılanan renk farklılıkları renk değeri olarak ölçülmüş uzaklıklara denk gelir (URL-8, 2015). Aydınlık (L) aşağıdan yukarıya doğru doğru gidildikçe azalır. L* a* b* renk sistemi bir zıt renk sistemi olup renklerin açık-koyu, kırmızı-yeşil ve sarı-mavi olarak algılanması esasına dayanmaktadır. L* açık renklilik, a* ve b* ise kromatik koordinatları göstermektedir (Boardman vd., 1992).



Şekil 8. CIE L* a* b* renk sistemi (URL-9, 2015).

L* a* b* değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmaktadır.

$$\Delta L^* = L1^* - L2^*$$

$$\Delta a^* = a1^* - a2^*$$

$$\Delta b^* = b1^* - b2^*$$

$$\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (5)$$

ΔL^* açık renk farkını, ΔE^* kontrol örneğine oranla meydana gelen renk değişimini ifade etmektedir.

2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerinin Belirlenmesi

Farklı konsantrasyonlarda kullanılan yanmayı geciktirici maddelerin, üretilen deneme levhalarının yüzeyindeki etkilerini belirlemek amacıyla; yüzey pürüzlülük cihazı yardımıyla yüzey pürüzlülük parametreleri belirlenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili parametreler; profil ortalama çizgisine göre yüzeyin 2 boyutlu profilini veren, profilin yükseklik yönünde veya yüzey düzlemine dik girinti ve çıkıntıların oluşturduğu düzensizlikleri ifade etmektedir. Odun yüzeylerinin pürüzlülüklerinin sayısal olarak ifade edilmesinde genellikle Ra (Ortalama pürüzlülük değeri), Ry (En büyük pürüzlülük değeri) ve Rz (10 noktanın ortalama pürüzlülük değeri) parametrelerinden faydalanılmaktadır (Aydın ve Çolakoğlu, 2003).

2.3.4. Mekanik Özellikler

2.3.4.1. Eğilme Direncinin Belirlenmesi

Eğilme direnci EN 310 standardına göre yapılmıştır. Deney örnekleri ilgili standarda göre hazırlanmış ve eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (EN 310, 1993).

$$E = \frac{3 \times F_{\max} \times l}{2 \times b \times t} \times 100 \quad (6)$$

E: Eğilme direnci (N/mm²)

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

l: Dayanak açıklığı, örnek kalınlığının 20 katı (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)

2.3.4.2. Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi

Örneklerin yüzeye dik çekme direncinin belirlenmesinde EN 319 standardı uygulanmıştır. Standarda uygun olarak kesilen örneklerin yüzeye dik çekme direncinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (EN 319, 1993).

$$F_t = \frac{F_{\max}}{a \times b} \quad (7)$$

f_t : Yüzeye dik çekme direnci (N/mm^2)

f_{max} : Kopma anındaki kuvvet (N)

a ve b: Örneklerin uzunluk ve genişliği (mm)

2.3.5. Yanma Özellikleri

Levhaların yanmaya karşı direnç etkinliklerini test etmek amacıyla TGA ve LOI yöntemleri kullanılmıştır.

2.3.5.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak, üretilen levhaların yanmaya karşı direnci üzerinde bu maddelerin etkilerini enstrümental düzeyde belirlemek amacıyla termogravimetrik analiz (TGA) yöntemi kullanılmıştır. Örneklerin TGA ölçümleri, Artvin Çoruh Üniversitesi, Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu analiz için, çeşitli kimyasal maddeler ilave edilerek üretilen levhalardan alınan parçalar bir öğütücü yardımıyla toz haline getirilerek kullanılmıştır. Toz haline gelen örneklerden 10 mg alınarak TGA panı içerisine yerleştirilmiş ve TGA cihazında enstrümental olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir. TGA ölçümlerinde ortamda kullanılan gaz N_2 gazıdır, ve tarama sıcaklığı $20-800^\circ C$ dir.



Şekil 9. TGA cihazı

2.3.5.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi

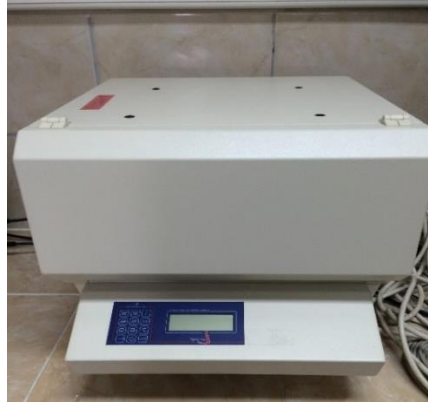
Levha örneklerinin yanmaya karşı etkinlik performansını test etmek amacıyla bir diğer test olan limit oksijen indeks testi (LOI) testi yapılmıştır. Levha örneklerinin LOI testi, KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan Dynesco marka Oksijen İndeks Cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 10. Dynesco marka LOI cihazı

2.3.6. Isıl İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

Levha örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin ölçümleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tutkal analiz laboratuvarında bulunan FOX-314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler ASTM C 518 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 11. FOX-314 ısı iletkenlik ölçüm cihazı

Isıl iletkenlik katsayısı, bir materyalin bir sıcaklık farkı altında birim kalınlığı boyunca geçen ısı enerjisini ifade etmektedir ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (ASTM C 518, 2004).

$$\lambda = \frac{Q \times e}{A \times z \times d_t} \quad (8)$$

Formülde;

λ : Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)

Q: Geçen ısı miktarı

e: Ağaç malzemenin kalınlığı

A: Ağaç malzemenin yüzey alanı

z: Zaman

d_t : t_2-t_1 , iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı

Ağaç malzemenin ısı iletkenliğinin etkileyen başlıca özellikler yoğunluk, rutubet içeriği, ilkbahar yaz odunu oranı, lif yönü vb.'dir. Isıl iletkenlik ile ağaç malzemenin özgül ağırlığı, rutubet içeriği, sıcaklığı, ısı akış yönü ve yonga boyutu arasında bir ilişki olduğu belirtilmektedir (Demir, 2014).

2.3.7. Biyolojik Özellikler

2.3.7.1. Mantar Çürüklük Testi

Deneme levha örnekleri için, modifiye edilmiş EN 113 (1997) çürüklük testi; KTÜ, Orman Endüstri mühendisliği mikoloji laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu test için, deney levhalarından 25x10x8 mm boyutlarında örnekler kestirilerek hazırlanmış ve bu örnekler değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve tam kuru ağırlıkları (Çö) ölçülmüştür. Çürüklük testi “*Coniophora puteana*” ve “*Trametes versicolor*” mantarları kullanılarak test ve kontrol örnekleri için 10 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deney için 1 lt saf su içerisine 48 g malt agar ekstraktı konulmuş ve çözelti manyetik karıştırıcıda homojen bir şekilde karıştırılarak hazırlanmıştır. Çözeltiyi sterilize etmek için 1 lt lik erlenlerin ağzları alüminyum folyo ile kaplanarak 120 °C deki bir otoklavda 30 dakika bekletilmiş ve süre sonunda otoklavdan çıkarılarak UV ışığı altında steril kabinde soğutulmuştur. Daha sonra steril petri kaplarına bir miktar agar aktarılmıştır ve 1 gün boyunca UV kabininde bekletilmiştir. Agar çözeltileri donduktan sonra ise petrilere mantar miselleri aşılmalıdır. Misellerin petrilere sarması için 20 °C ve %65 bağıl nem koşullarındaki iklim dolabında bir hafta bekletilmişlerdir. Daha sonra örnekler otoklavda 120 °C’de 40 dakika sterilize edilmişlerdir. Soğuduktan sonra her bir petriye 1 test 1 kontrol örneği yerleştirilmiştir. 60 gün 20 °C de ve %65 bağıl neme ayarlanmış bir klima dolabında bekletilmiş ve deney sonrası tam kuru ağırlıkları (Çs) belirlenerek ağırlık kayıpları %’de olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{\text{Ç}_ö - \text{Ç}_s}{\text{Ç}_ö} \times 100 \quad (9)$$

Çö: Çürüklük öncesi ağırlık (g)

Çs: Çürüklük sonrası ağırlık (g)



Şekil 12. Mantar Çürüklük testi

2.3.8. İstatistiksel Analiz

Levha örneklerinin yapılan testler sonucunda elde edilen verilerinin istatistiksel değerlendirmesi “SPSS 22 for Windows” paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Bu istatistiksel değerlendirmede, levha özellikleri üzerinde kimyasal madde türünün, kimyasal madde konsantrasyon oranlarının ve bu iki varyasyon kaynağının etkileşimini belirlemek amacıyla, çoğul varyans analizi (ÇVA) yapılmıştır.

Deneme levhalarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerleri arasında; kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin birlikte etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı ÇVA yapılarak test edilmiştir. Test sonuçları aşağıda Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların 24 saat süre ile kalınlığına şişme oranlarına ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal(A)	838,977	3	279,659	14,197	,000
Konsantrasyon (B)	637,791	5	127,558	6,476	,000
A*B(Etkileşim)	1574,898	15	104,993	5,330	,000
Hata	1969,782	100	19,698		
Toplam	74423,903	125			

Yapılan ÇVA sonucuna göre, deneme levhalarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($P<0,05$).

3. 2. Renk Değişimi

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların yüzeylerinde meydana gelen renk değişimlerini belirlemek amacıyla; yapılan ΔE^* ölçümüne ait değerler Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların ΔE^* değerleri

	ΔE^* (%)											
	X	S		X	S		X	S		X	S	
A2	2,52	0,02	B2	1,88	0,21	C2	1,79	1,32	D2	5,62	0,21	
A4	2,29	0,91	B4	3,37	0,00	C4	4,91	0,77	D4	1,61	0,36	
A6	2,19	0,42	B6	5,54	1,42	C6	5,44	0,02	D6	6,02	0,46	
A8	2,62	0,50	B8	2,42	0,34	C8	6,71	0,26	D8	5,42	0,03	
A10	2,44	1,71	B10	3,03	0,39	C10	6,74	0,01	D10	6,07	0,47	
A12	5,55	0,83	B12	5,28	0,57	C12	4,64	1,44	D12	6,09	0,12	

ΔE^* renk değişim değerleri kontrol grupları referans alınarak belirlenmiştir.

Deneme levhalarının renk değişim değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin birlikte etkileşimi açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı ÇVA yapılarak test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen ÇVA sonuçları aşağıdaki Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların ΔE^* değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal(A)	42,695	3	14,232	26,776	,000
Konsantrasyon(B)	38,444	5	7,689	14,466	,000
A * B(Etkileşim)	64,604	15	4,307	8,103	,000
Hata	12,756	24	,532		
Toplam	995,838	48			

Tablo 14’te verilen ÇVA sonucuna göre, deneme levhalarının renk değişim değerlerinde kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($P < 0,05$).

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen deneme levhaların yüzeylerinde, kimyasal madde türüne ve kimyasal madde konsantrasyonuna bağlı olarak meydana gelen pürüzlülükleri belirlemek amacıyla; yapılan yüzey pürüzlülüğü testi ölçüm değerleri R_a (μm), R_y (μm), R_z (μm) Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların yüzey pürüzlülüğü parametreleri (Ra, Ry ve Rz) değerleri

	Ra (μm)											
	X	S		X	S		X	S		X	S	
A2	8,25	1,86	B2	5,76	1,38	C2	5,16	1,12	D2	5,48	0,37	
A4	7,22	2,05	B4	6,00	1,04	C4	4,79	0,42	D4	7,03	0,66	
A6	6,61	1,84	B6	5,84	1,25	C6	5,06	1,46	D6	5,63	1,48	
A8	6,05	1,01	B8	4,82	0,08	C8	4,77	0,72	D8	6,03	0,26	
A10	7,43	1,25	B10	7,46	0,24	C10	5,69	1,69	D10	6,97	0,31	
A12	5,25	0,55	B12	6,45	0,72	C12	8,17	0,34	D12	5,60	0,63	
Kontrol	5,56	0,93										
	Ry (μm)											
	X	S		X	S		X	S		X	S	
A2	68,97	5,57	B2	53,02	6,97	C2	43,29	5,94	D2	47,39	9,03	
A4	66,94	18,93	B4	51,59	16,79	C4	47,23	7,94	D4	52,53	8,98	
A6	53,06	24,77	B6	44,64	6,96	C6	39,42	6,08	D6	47,38	19,57	
A8	44,22	13,40	B8	39,66	5,98	C8	40,78	10,54	D8	48,62	3,43	
A10	53,26	4,56	B10	50,64	2,37	C10	50,44	18,81	D10	58,73	2,59	
A12	44,18	6,84	B12	58,85	14,17	C12	61,87	4,48	D12	47,36	10,75	
Kontrol	44,44	5,92										
	Rz (μm)											
	X	S		X	S		X	S		X	S	
A2	56,27	8,51	B2	42,47	6,88	C2	34,72	4,08	D2	38,21	4,76	
A4	49,81	14,65	B4	41,06	6,32	C4	35,88	1,55	D4	46,36	7,90	
A6	44,03	12,33	B6	38,16	5,67	C6	34,80	5,62	D6	39,20	9,45	
A8	39,14	10,11	B8	34,38	5,34	C8	35,36	6,56	D8	41,60	1,80	
A10	46,52	4,87	B10	48,07	1,51	C10	39,61	12,63	D10	48,51	0,84	
A12	37,25	5,54	B12	45,66	7,25	C12	54,48	5,93	D12	40,13	5,23	
Kontrol	38,16	4,69										

Deneme levhalarının yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında; kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin birlikte etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı ÇVA yapılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Tablo 16, Tablo 17 ve Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 16. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların Ra değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal(A)	13,152	3	4,384	3,510	,022
Konsantrasyon(B)	15,292	5	3,058	2,449	,046
A * B(Etkileşim)	45,872	15	3,058	2,449	,009
Hata	62,445	50	1,249		
Toplam	2953,314	75			

Ra değerleri için yapılan ve Tablo 16'da verilen ÇVA sonuçlarına göre; deneme levhalarının Ra değerleri arasında kimyasal madde türünün ve kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($P < 0,05$).

Tablo 17. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların Ry değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal(A)	591,245	3	197,082	1,536	,217
Konsantrasyon(B)	1303,333	5	260,667	2,032	,090
A * B(Etkileşim)	2448,113	15	163,208	1,272	,255
Hata	6415,116	50	128,302		
Toplam	200946,504	75			

Ry değerleri için yapılan ve Tablo 17'de verilen ÇVA sonuçlarına göre; deneme levhalarının Ry değerleri arasında kimyasal madde türünün, kimyasal madde konsantrasyonunun ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmamıştır. ($P < 0,05$).

Tablo 18. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların Rz değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal(A)	370,886	3	123,629	2,348	,084
Konsantrasyon(B)	592,925	5	118,585	2,253	,063
A * B(Etkileşim)	1673,165	15	111,544	2,119	,024
Hata	2632,148	50	52,643		
Toplam	137591,432	75			

Rz değerleri için yapılan ve Tablo 18'de verilen ÇVA sonuçlarına göre; deneme levhaların Rz değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu anlamlı farklılıklar bulunmazken bu iki değişkenin etkileşimi bakımından ise istatistiksel anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($P < 0,05$).

3.4. Mekanik Özellikler

Farklı konsantrasyonlarda yanmayı geciktirici mineral esaslı kimyasal maddeler ile üretilen levhaların ve kontrol levhalarının mekanik özellikleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

3.4.1. Eğilme Direnci

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci değerleri

	Eğilme Direnci (N/mm ²)										
	X	S		X	S		X	S		X	S
A2	24,15	6,64	B2	32,15	6,92	C2	18,45	8,06	D2	23,65	4,04
A4	33,55	7,20	B4	23,08	2,35	C4	29,00	5,53	D4	31,70	5,14
A6	36,00	3,98	B6	35,03	5,59	C6	27,58	6,62	D6	18,70	3,32
A8	28,58	3,09	B8	26,05	3,97	C8	30,23	2,99	D8	23,18	7,25
A10	22,30	3,23	B10	39,63	12,04	C10	33,00	4,24	D10	15,01	6,68
A12	16,58	5,41	B12	26,78	6,50	C12	21,55	4,70	D12	25,63	9,13
Kontrol	24,15	8,19									

Deneme levhalarının eğilme direnci testi sonucunda elde edilen değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı ÇVA ile test edilmiştir. Bu değerlendirme sonuçları aşağıdaki Tablo 20’de verilmektedir.

Tablo 20. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal(A)	670,770	3	223,590	5,723	,001
Konsantrasyon(B)	567,806	5	113,561	2,907	,019
A*B(Etkileşim)	2546,376	15	169,758	4,345	,000
Hata	2930,351	75	39,071		
Toplam	78214,551	100			

Tablo 20’de verilen ÇVA sonucuna göre; deneme levhalarının eğilme direnci değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($P<0,05$).

3.4.2. Yüze Dik Çekme Direnci

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların yüze dik çekme direnci değerleri Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların çekme direnci değerleri

	Çekme Direnci (N/mm ²)											
	X	S		X	S		X	S		X	S	
A2	0,67	0,21	B2	0,62	0,16	C2	0,18	0,06	D2	0,95	0,41	
A4	0,49	0,24	B4	0,18	0,16	C4	0,68	0,03	D4	0,83	0,13	
A6	0,47	0,21	B6	0,20	0,09	C6	0,21	0,04	D6	0,36	0,12	
A8	0,42	0,02	B8	0,22	0,04	C8	0,12	0,08	D8	0,73	0,46	
A10	0,17	0,02	B10	0,55	0,14	C10	0,40	0,26	D10	0,38	0,07	
A12	0,14	0,12	B12	0,56	0,22	C12	0,44	0,35	D12	0,26	0,06	
Kontrol	0,83	0,39										

Deneme levhalarının çekme direnci testi sonucunda elde edilen değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı ÇVA ile test edilmiştir. Bu değerlendirme sonuçları aşağıdaki Tablo 22’de verilmektedir.

Tablo 22. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların çekme direnci değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Konsantrasyon	1,159	5	,232	5,305	,000
Kimyasal	,860	3	,287	6,564	,001
A*B(Etkileşim)	3,088	15	,206	4,713	,000
Hata	3,276	75	,044		
Toplam	28,957	100			

Tablo 22’de verilen ÇVA sonucuna göre, elde edilen levhaların çekme değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($P<0,05$).

3.5. Yanma Özellikleri

Mineral esaslı kimyasal maddeler ile üretilen levhaların ve kontrol levhalarının yanma özellikleri belirlemek amacıyla yapılan termogravimetrik analiz (TGA) ve limit oksijen indeksi (LOI) testlerine ait bulgular aşağıda sırasıyla verilmiştir.

3.5.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak, üretilen levhalara ait TGA sonuçları aşağıda Tablo 23’te verilmiştir. Ön denemelerde, yakın konsantrasyonlarda kimyasal kullanılarak üretilen levha örneklerinin benzer etkinlik göstermesi sebebiyle kimyasal madde performansını daha iyi gözlemleyebilmek amacıyla, bu test için ara konsantrasyon değerleri olan %4, %8 ve %12 seçilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 23. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların TGA sonucu elde edilen değerler

	Onset (°C)	Endset (°C)	Bozunma Sıcaklıkları (°C)	800 ⁰ C'deki Kalıntı Kütle Miktarı (%)
A4	310,19	381,98	360,46	23,61
A8	278,01	338,88	291,3	21,23
A12	296,99	381,63	362,53	21,3
B4	296,82	386,39	360,95	23,02
B8	297,82	385,62	364,48	22,55
B12	286,81	386,30	359,23	21,95
C4	289,69	387,07	362,79	22,77
C8	290,16	387,85	363,18	21,34
C12	292,10	386,60	363,36	22,74
D4	289,57	388,15	362,09	20,3
D8	290,86	387,26	361,51	20,89
D12	293,61	387,74	363,66	21,8
Kontrol	266,54	285,90	269,52	12,09

3.5.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların yanmaya karşı etkinlik performansını test etmek amacıyla gerçekleştirilen limit oksijen indeks (LOI) testi sonuçları Tablo 24'te verilmiştir.

Madde türünün ve madde konsantrasyonunun etkinliğini daha iyi gözlemlemek için bu yanma testinde de ara konsantrasyon değerleri olan %4, %8 ve %12 seçilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 24. Farklı konsantrasyonda mineral esaslı kimyasal madde kullanılarak üretilen levhaların LOI değerleri ve gözlemsel değerlendirme

Levha Türü	LOI (%)	Gözlem
A4	31,50	Yüzey beyaz renkte yandı, duman az
A8	32,25	Kömürleşerek yandı, duman çok az
A12	33,75	Tamamen kömürleşti, beyaz renkte, duman yok
B4	32,50	Yavaş alevli, düzgün yanıyor, duman az
B8	34,10	Kömürleşerek yandı, duman yok
B12	35,25	Kömürleşerek yandı, duman yok
C4	32,50	Yavaş alevli, Düz hatlarla yandı, duman çok az
C8	33,15	Düz hatlarla yandı, yavaş düzenli, duman yok
C12	34,25	Düz hatlarla yandı, düzenli yandı, duman yok
D4	33,25	Düz hatlarla yandı, kömürleşme var, duman yok
D8	34,25	Düz hatlarla yandı, kömürleşme var, duman yok
D12	35,00	Düz hatlarla yandı, kömürleşme var, duman yok
Kontrol	29,75	Duman var, hızlı yandı

3.6. Isıl İletkenlik Değerleri

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların yüzeylerinde meydana gelen ısı iletkenlik değışimlerini belirlemek amacıyla; yapılan ölçüm değeri Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. Farklı konsantrasyonda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların ısı iletkenlik katsayısı değeri

Levha türü	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)		
	Üst sınır	Alt sınır	Ortalama
A4	0,1147	0,1075	0,1111
A8	0,1094	0,1026	0,1060
A12	0,1155	0,1082	0,1119
B4	0,1147	0,1075	0,1111
B	0,1125	0,1109	0,1117
B12	0,1125	0,1054	0,1089
C4	0,1045	0,0979	0,1012
C8	0,1105	0,1035	0,1070
C12	0,1122	0,1051	0,1086
D4	0,1058	0,9912	0,1024
D8	0,1206	0,1130	0,1168
D12	0,1193	0,1118	0,1156
Kontrol	0,1113	0,1043	0,1078

3.7. Biyolojik Özellikler

3.7.1. Mantar Çürüklük Testi

Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen deneme levhalarının biyolojik özelliklerinde kimyasal madde türünün ve kimyasal madde konsantrasyonunun etkilerini belirlemek için yapılan mantar çürüklük testi sonuçları Tablo 26'da verilmiştir. Bu test için %4 ve %8 konsantrasyon değeri kullanılarak üretilen levha örnekleri seçilmiştir.

Tablo 26. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri

	Ağırlık Kaybı (%)											
	X	S		X	S		X	S		X	S	
A4	11,60	5,16	B4	2,82	1,23	C4	3,09	1,28	D4	4,59	1,36	
A8	4,36	1,90	B8	3,44	1,21	C8	2,16	0,94	D8	1,71	0,47	
Kontrol	34,4	8,49										

Deneme levhalarının mantar çürüklük testi sonucunda elde edilen değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı ÇVA ile test edilmiştir. Bu değerlendirme sonuçları aşağıdaki Tablo 27’de verilmektedir.

Tablo 27. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların mantar çürüklük testi değerlerine ait ÇVA sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kimyasal (A)	376,201	3	125,400	25,952	,000
Konsantrasyon(B)	132,207	1	132,207	27,361	,000
A*B (Etkileşim)	170,622	3	56,874	11,770	,000
Hata	338,237	70	4,832		
Toplam	2435,750	78			

Tablo 27’den görüleceği üzere; yapılan ÇVA sonucuna göre, levhaların mantar çürüklük testinden elde edilen değerleri arasında kimyasal madde türü, kimyasal madde konsantrasyonu ve bu iki değişkenin etkileşimi bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($P < 0,05$).

4. TARTIŞMA

4.1. Fiziksel Özellikler

4.1.1. Rutubet

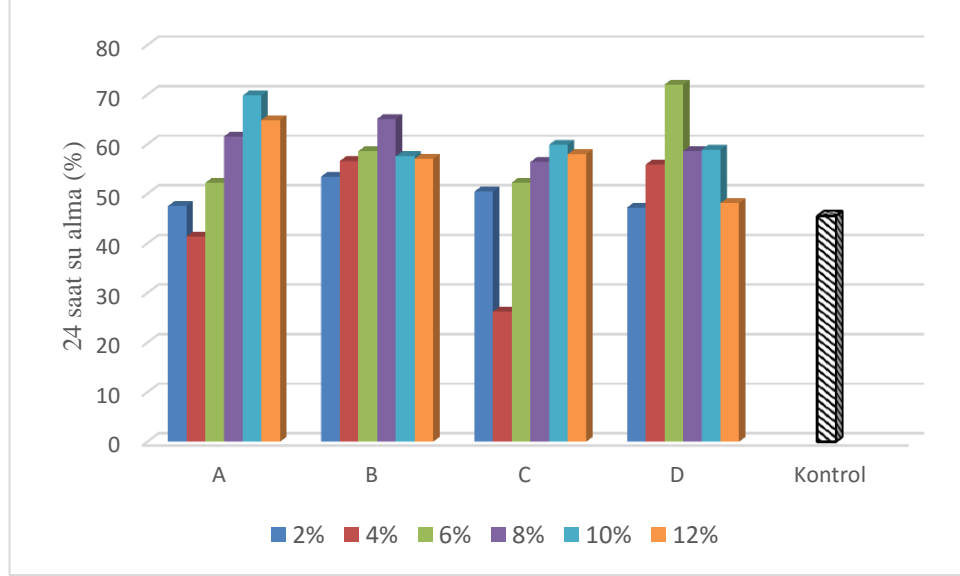
Mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen levhaların ortalama rutubet değerleri, genel olarak kontrol grubunun rutubet değerlerinden daha yüksek olarak bulunmuş ve bu değerlerin mineral madde grupları ile konsantrasyonlarına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle kullanılan maddelerin inorganik yapıları sebebiyle, kimyasal ilaveli levha gruplarının rutubetlerinin kontrol grubundan yüksek olduğu ve madde yapısına bağlı olarak çeşitlilik gösterdiği düşünülmektedir.

4.1.2. Yoğunluk

Mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen deneme levhalarının yoğunluk değerleri 798-835 kg/m³ arasında değişmektedir. Yoğunluk değerleri, kimyasal madde türüne ve kimyasal madde konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermiş ve kontrol değerinden daha yüksek olarak bulunmuştur. En yüksek yoğunluk değerleri C ve D grubu levhalarından elde edilmiştir. Bu durumun bu grupta karışım olarak ilave edilen çinko borat sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

4.1.3. Su Alma Oranları

Mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen levhaların ve kontrol levhalarının 24 saat su alma oranları üzerinde kimyasal madde türünün ve kimyasal madde konsantrasyonunun etkileri Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların su alma değerlerindeki değişim

Şekil 13'ten görüldüğü üzere; mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonları ile üretilen levha grubu örneklerinin 24 saat süredeki su alma değerlerinin kontrol grubunun değerinden (%45,49) yüksek ya da bu değere yakın olduğu ve konsantrasyon artışına bağlı olarakta değişkenlik gösterdiği bulunmuştur.

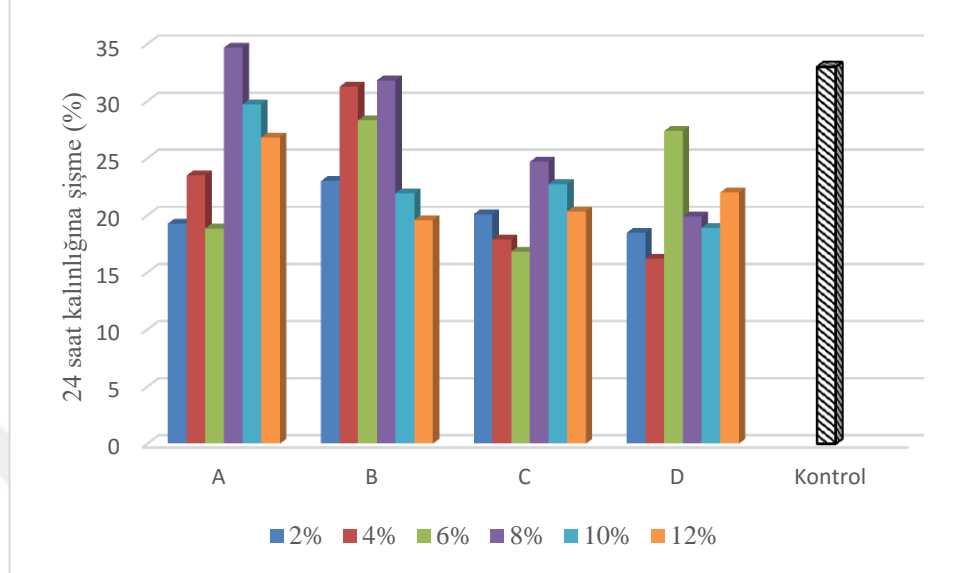
Sonuçlar genel itibariyle değerlendirildiğinde; en yüksek su alma değeri D6 grubundaki levhalarda, en düşük su alma değeri ise C4 grubundaki levhalarda gözlenmiştir.

Kimyasal madde ilaveli levhalardaki su alma oranının yüksek olması beklenen bir durumdur. Bunun nedeninin kullanılan mineral kimyasal maddelerin yapısal özelliklerinden kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Tutkalla karıştırılarak kullanılan bu maddelerin yapısal özellikleri sebebiyle, tutkalla uyum noktasında sorun çıkartmış olabileceği, tam çözünemeyip lif yüzeyinde kalarak lifler ile bağlanmada problem oluşturmuş olabileceği düşünülmektedir.

4.1.4. Kalınlığına Şişme Oranları

Mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen levhaların ve kontrol levhalarının 24 saat kalınlığına şişme oranları üzerinde

kimyasal madde türünün ve kimyasal madde konsantrasyonunun etkileri Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların kalınlığına şişme değerlerindeki değişim

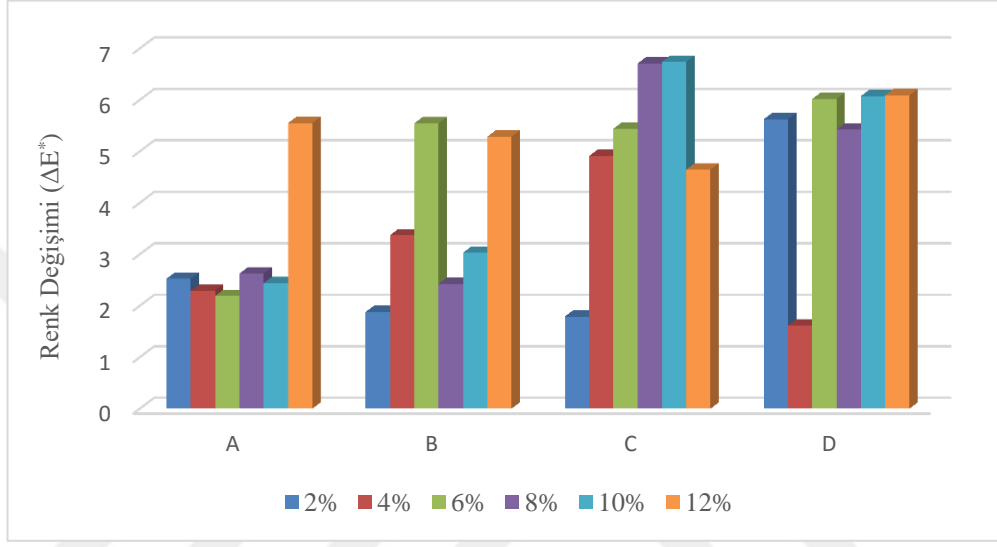
Levhaların 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerlerindeki değişim Şekil 14'te görüldüğü gibidir. Şekil 14 incelendiğinde; genel olarak tüm kimyasal maddeli grupların kalınlığına şişme değerlerinin kontrol grubundan daha düşük olduğu görülmektedir. Su alma değerlerinin aksine, kalınlığına şişme değerlerinde meydana gelen bu farklı seyrin levha örneklerindeki yoğunluk profilinin kalınlık yönünde homojen bir şekilde dağılım sergilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Elde edilen tüm kalınlığına şişme değerleri incelendiğinde; en yüksek kalınlığına şişme değeri A8 grubunda, en düşük kalınlığına şişme değeri ise C6 grubu levha gruplarında elde edilmiştir.

Genel anlamda bu değişimin nedeninin, kullanılan kimyasal maddelerin inorganik yapılarından ve tutkal ile uyum probleminden kaynaklı olarak lif-lif bağlanmasının etkilenmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Bunların yanı sıra, levha üretimi sırasında homojen bir tutkallama işlemi gerçekleşmemiş olabileceğinden dolayı kalınlığa şişme değerlerinin değişkenlik gösterebileceği düşünülmektedir.

4.2. Renk Değişimi

Mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen levhaların ve kontrol levhalarının yüzeyinde bu maddelerin meydana getirdikleri renk değişimleri Şekil 15'te verilmiştir.



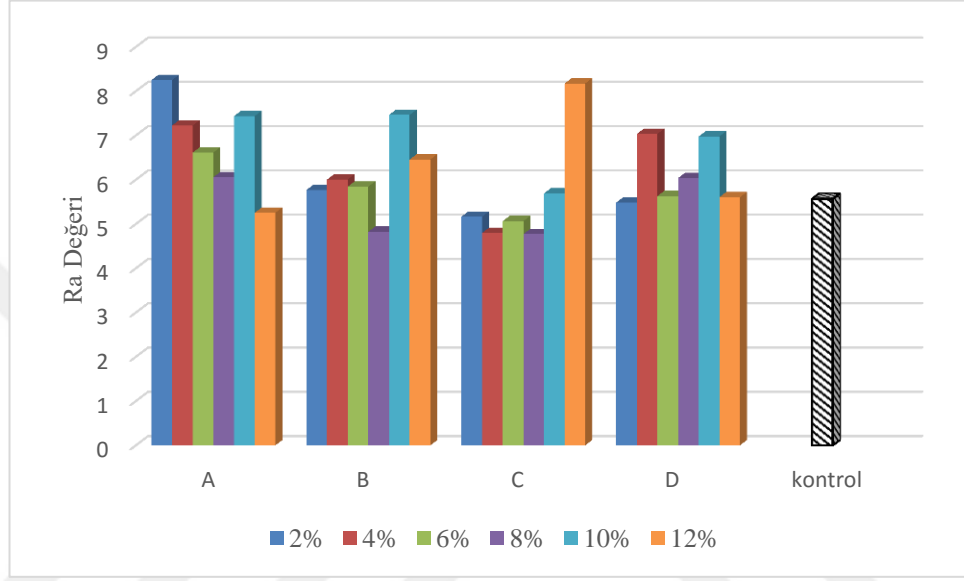
Şekil 15. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların renk değerlerindeki değişim

Şekil 15 incelendiğinde; ΔE^* değerlerinin kimyasal madde türüne ve kimyasal madde konsantrasyonuna bağlı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Tüm kimyasal madde ve konsantrasyon gruplarına toplu olarak bakıldığında, referans grubu olan kontrole göre en düşük ΔE^* değerleri A ve B grubunda bulunan levha örneklerinde elde edilirken, en yüksek ΔE^* değerleri sırasıyla C ve D grubundaki levha örneklerinde tespit edilmiştir.

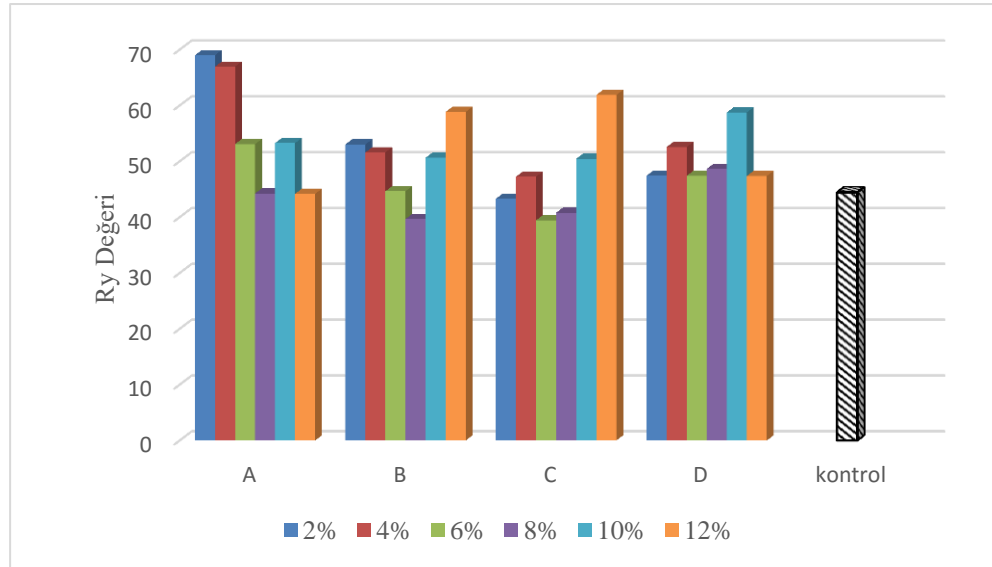
C ve D grubunda bulunan levha örneklerinin diğer levha örneklerine göre yüksek ΔE^* değeri vermesinin sebebinin; bu levha örneklerinin çinko borat içermesinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Çünkü, çinko borat yapısında açık gri renkte metalik bir madde olan çinko ihtiva etmektedir (URL-10, 2016).

4.3. Yüzey Pürüzlülüğü

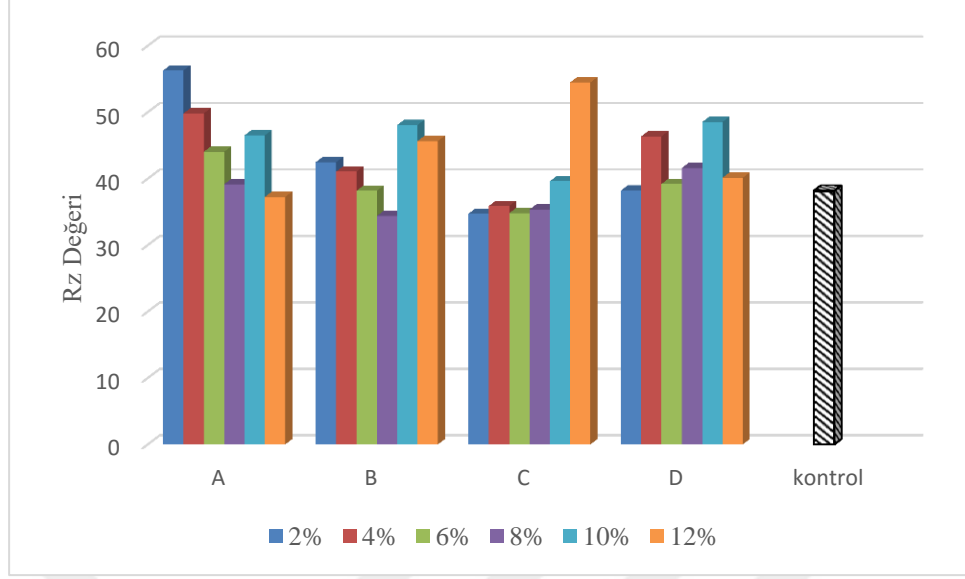
Mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen levhaların ve kontrol levhalarının yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki (R_a , R_y , R_z) değişimler sırasıyla Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 16. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların R_a değerlerindeki değişim



Şekil 17. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların R_y değerlerindeki değişim



Şekil 18. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların Rz değerlerindeki değişim

Levha örneklerinin yüzey özelliklerinde meydana gelen değişimler 3 yüzey pürüzlülük parametresi ölçülerek belirlenmiştir. Bu parametreler Ra, Ry, Rz olup, bu değerlerdeki değişimler Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18'den de görüleceği üzere; kimyasal madde türüne ve konsantrasyon miktarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Buna göre konsantrasyon artışına ve kimyasal madde türüne göre levhaların bazılarının yüzey pürüzlülük değerleri kontrol grubundan yüksek, bazılarının değerleri ise düşük bulunmuştur. Özellikle 10 noktanın ortalama pürüzlülük değeri olan Rz değerleri incelendiğinde, bu değerlerin kontrol grubu değerlerine yakın ya da daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

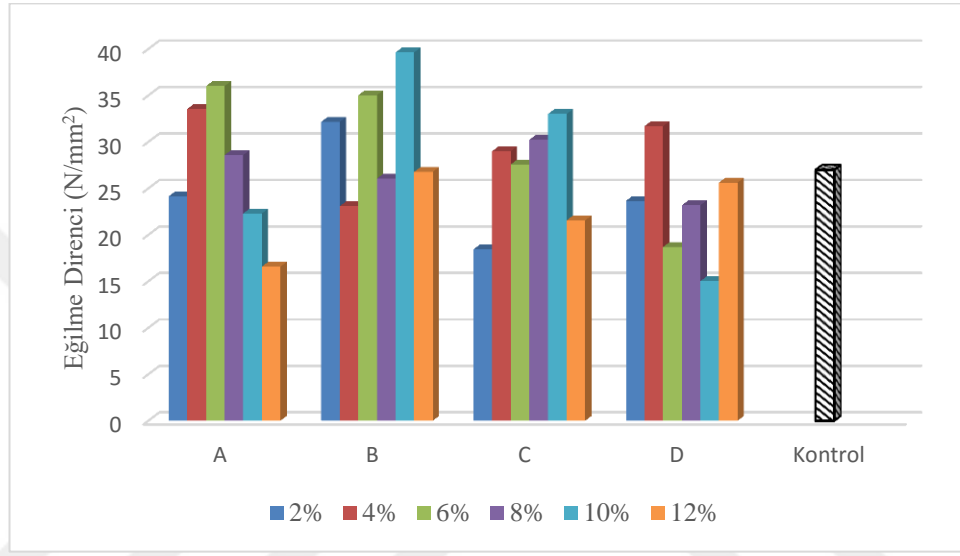
Genel olarak elde edilen değerlere bakıldığında; en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin A grubunda bulunan levha örneklerinde olduğu, en düşük değerlerin ise C grubunda bulunan levha örneklerinde olduğu gözlenmiştir.

Elde edilen değerlerdeki değişim ve farklılıkların nedeninin, kimyasal maddelerin tutkallama esnasında lif yüzeyinde kalmış olabileceği, bağlanmayı etkileyerek düzensizlikler oluşturabileceği ve bu levhaların zımparasız bir şekilde yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

4.4. Mekanik Özellikler

4.4.1. Eğilme Direnci

Kullanılan mineral esaslı kimyasal maddelerin türü ve konsantrasyon miktarına göre levhaların eğilme direnci değerlerinde görülen değişimler Şekil 19’da verilmiştir.



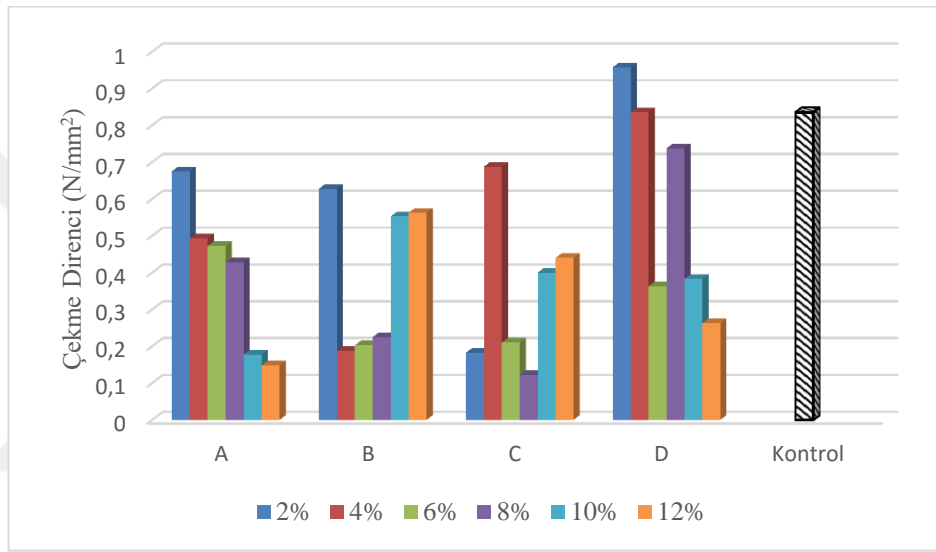
Şekil 19. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci değerlerindeki değişim

Şekil 19’a göre tüm kimyasal maddeli grupların eğilme direnci değerlerinin konsantrasyon artışına bağlı olarak farklılık gösterdiği izlenmektedir. Buna göre; bazı kimyasal maddeli gruplar ile kontrol grubunun değerlerinden daha düşük değerler elde edilirken, bazı kimyasal maddeli gruplarla kontrole yakın ya da daha yüksek değerler elde edilmiştir. Kimyasal maddelerin yapısal özellikleri, tanecik boyutları, tutkalla uyumları ve çözünürlükleri gibi birçok farklı faktörün mekanik özelliklerdeki azalmanın üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir. Özellikle tutkal içerisinde tam olarak çözünemeyen, Ultracarb-1250, UltraCarb-LH15 ve çinko boratın, tutkalın yapısını etkilediği ve bunun da liflerin bağlanmasını etkilediği düşünülmektedir. Sonuç olarak, tüm kimyasal maddeler eğilme direnci üzerinde farklı etkiler göstermiştir. Ustaömer (2008) yaptığı çalışmada, yangın geciktirici kimyasal kullanarak ürettiği levhaların eğilme direnci değerlerinde de benzer sonuçlar elde etmiştir. Tüm levha gruplarının eğilme direnci değerleri incelendiğinde A12,

C2, D6 ve D10 grubundaki levhaların eğilme direnci değerleri hariç diğer levha gruplarının değerleri EN standart değerinden (min. 22 N/mm²) yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.4.2. Yüze Dik Çekme Direnci

Kullanılan mineral esaslı kimyasal maddelerin türü ve konsantrasyon miktarına göre levhaların çekme direnci değerlerinde görülen değişimler Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların çekme direnci değerlerinde görülen değişim

Şekil 20 incelendiğinde; tüm kimyasal maddeli levha gruplarının çekme direnci değerlerinin; kimyasal madde türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak çeşitlilik gösterdiği görülmektedir. Buna göre sonuçlara genel olarak bakıldığında; tüm kimyasal maddeli levha gruplarının çekme direnci değerlerinin kontrol grubunun değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal maddeli levha grupları kendi içinde incelendiğinde; A grubunda bulunan levhaların çekme direnci değerlerinin konsantrasyon artışına bağlı olarak azaldığı, diğer levha gruplarının da ise çeşitlilik gösterdiği görülmüştür.

Elde edilen değerler EN standardı değerine ($0.60 \text{ N/mm}^2 \pm 0,05$) göre incelendiğinde; A2 (0.67 N/mm^2), B2 (0.62 N/mm^2), B10 ($0,55 \text{ N/mm}^2$), B12 (0.56 N/mm^2), C4 (0.68 N/mm^2), D2 (0.95 N/mm^2), D4 (0.83 N/mm^2) ve D8 (0.73 N/mm^2) grubundaki örneklerin çekme direnci değerleri standardın üzerinde olduğu gözlenmiştir.

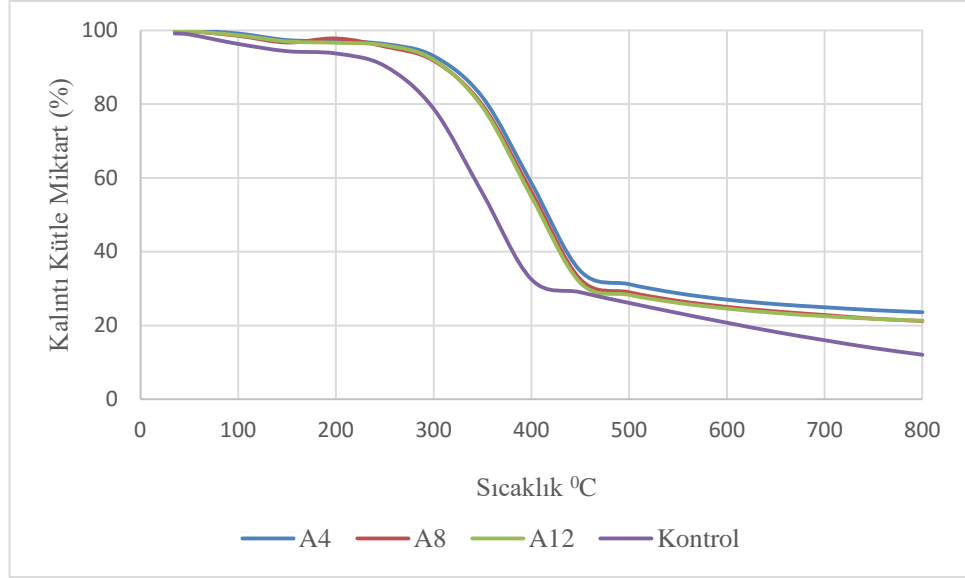
Kimyasal maddeli gruplardaki levhaların çekme direnci değerlerinin kontrol grubundan düşük çıkması beklenen bir durumdur. Genel olarak yanma geciktiricilerin (FR) tutkallamayı olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu durumun, tutkallamada karıştırılan kimyasal maddelerin yapısal özellikleri, pH'ı, tutkallama koşulları ve tutkal türü gibi birçok parametreden kaynaklanabileceği belirtilmektedir (Eickner, 1966; Ellis ve Rowell, 1989). Yine, literatür çalışmalarında; mineral esaslı yangın geciktirici kimyasal maddelerin malzemelerin direnç özelliklerine olumsuz etki yaptığı belirtilmiştir. (Rowell vd., 1984; LeVan, 1984; Denizli, 1997; Lebow ve Winandy, 1999). Ayrıca alkali yapıdaki kimyasal maddelerin lifleri hidratlandırma ve şişirme özelliğinin, lif esnekliğini artırmış olabileceği ve bu duruma bağlı olarak da çekme direnci değerlerinin olumsuz etkilenmiş olabileceği düşünülmektedir. Bunların yanı sıra, lif yapısında meydana gelen değişimler nedeniyle örnek yüzeyinde pürüzlülük ve düzensizliklerin olması ve bu düzensizlikleri azaltmak için zımparalama işleminin yapılmamış olması da çekme direnci örneklerinin yüzeyden kolayca kopmasına sebebiyet vermiş ve değerlerde düşüslere neden olmuş olabilir.

4.5. Yanma Özellikleri

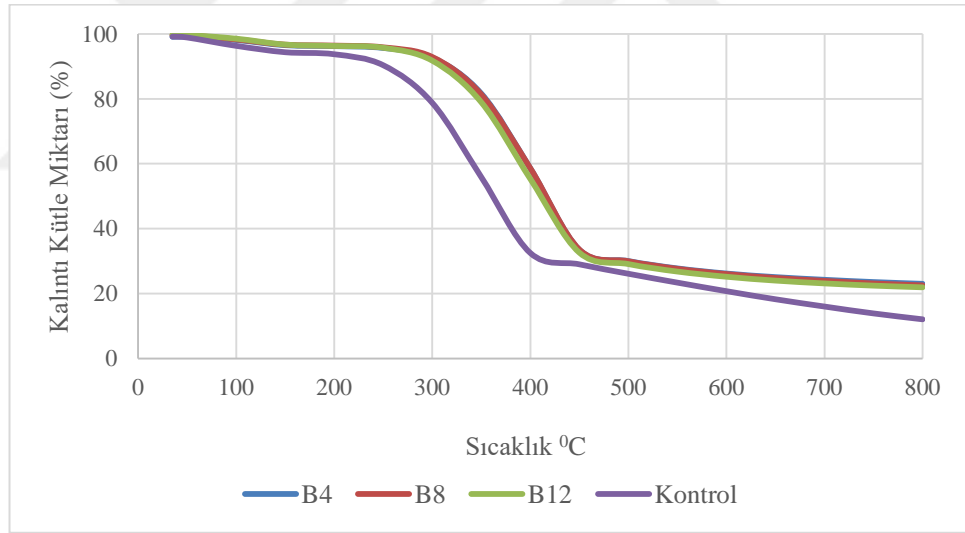
Mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların yanmaya karşı direnç özelliklerini belirlemek için termogravimetrik analiz (TGA) ve limit oksijen indeksi (LOI) yöntemleri kullanılmıştır.

4.5.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

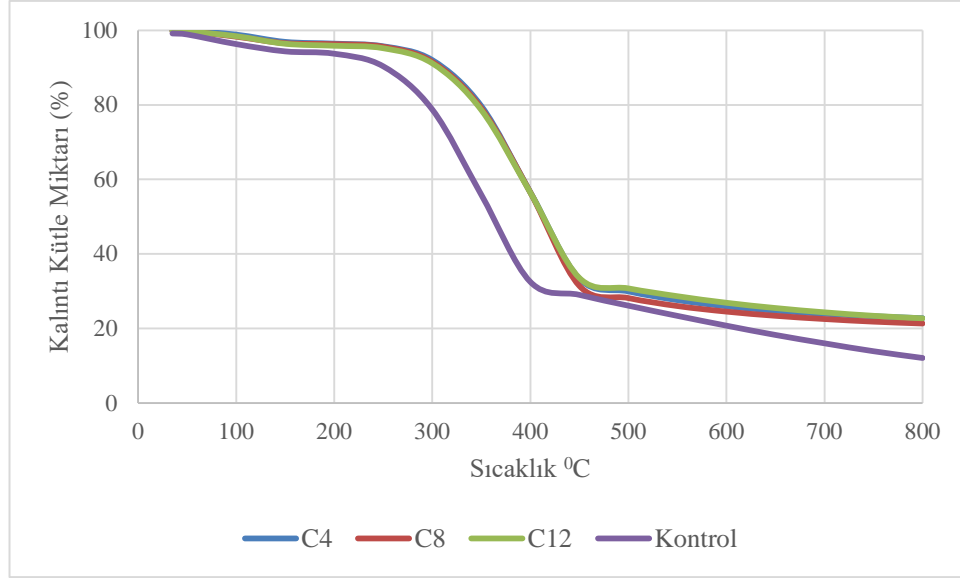
Levhalarının yanmaya karşı direnç özelliklerini belirlemek için enstrümental analiz yöntemlerinden biri olan termogravimetrik analiz uygulanmış ve levha örneklerinin kimyasal madde türüne ve konsantrasyon artışına bağlı olarak TGA sonuçları Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24'te verilmiştir.



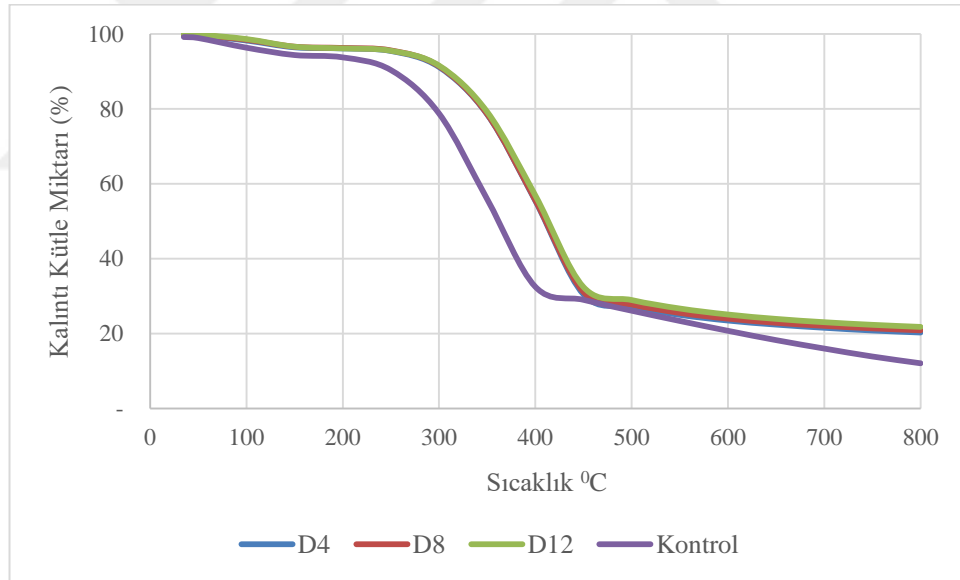
Şekil 21. A kimyasal maddesinin farklı konsantrasyonları ile üretilen levhaların TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



Şekil 22. B kimyasal maddesinin farklı konsantrasyonları ile üretilen levhaların TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



Şekil 23. C kimyasal maddesinin farklı konsantrasyonları ile üretilen levhaların TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim

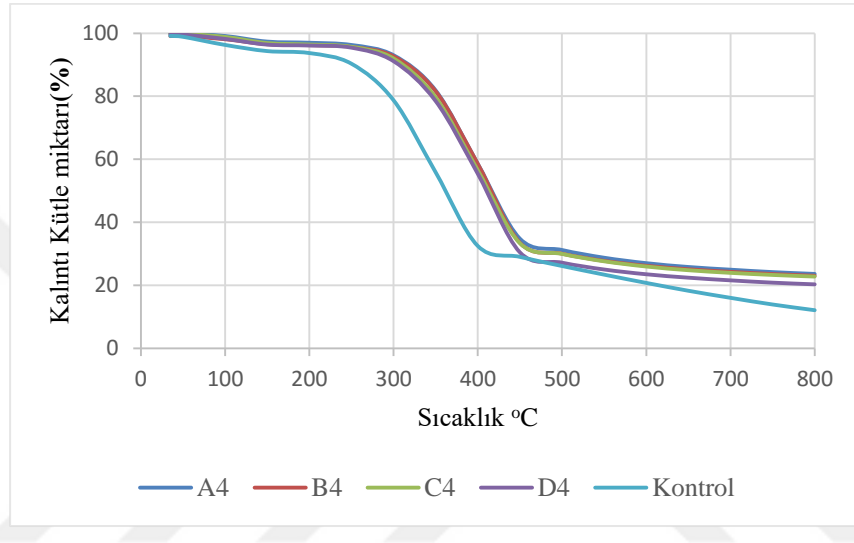


Şekil 24. D kimyasal maddesinin farklı konsantrasyonları ile üretilen TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim

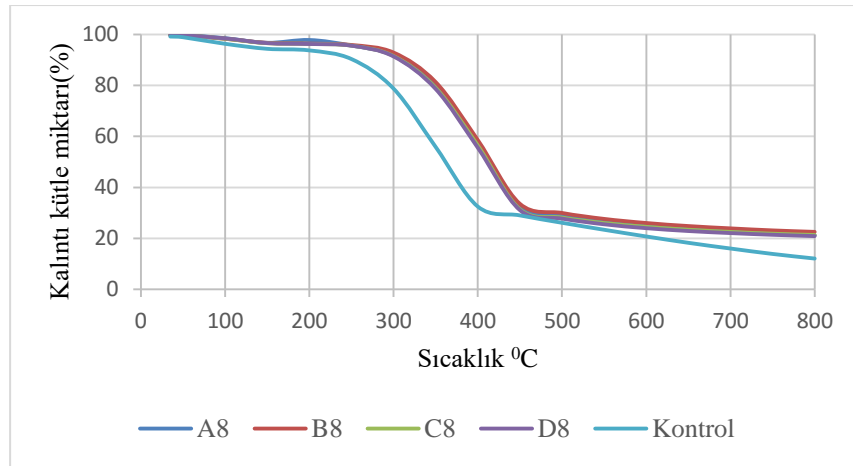
Yukarıda verilen Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24 incelendiğinde; her bir kimyasal madde ile üretilen levha örneklerinin ağırlık kaybı değerlerinin konsantrasyona bağlı olarak değişim gösterdiği, ve genel olarak konsantrasyon artışı ile belirgin olmamakla birlikte azaldığı görülmektedir. Analizin başlangıcında düşük sıcaklıklarda meydana gelen ağırlık kayıplarının TGA örneklerindeki suyun uzaklaşmasından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Grafiklere göre en belirgin ani ağırlık kayıplarının 250 °C – 400 °C arasında gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum odunda bulunan karbonhidratların bu sıcaklıklarda bozunmasından kaynaklanmaktadır. (Tomak vd., 2011).

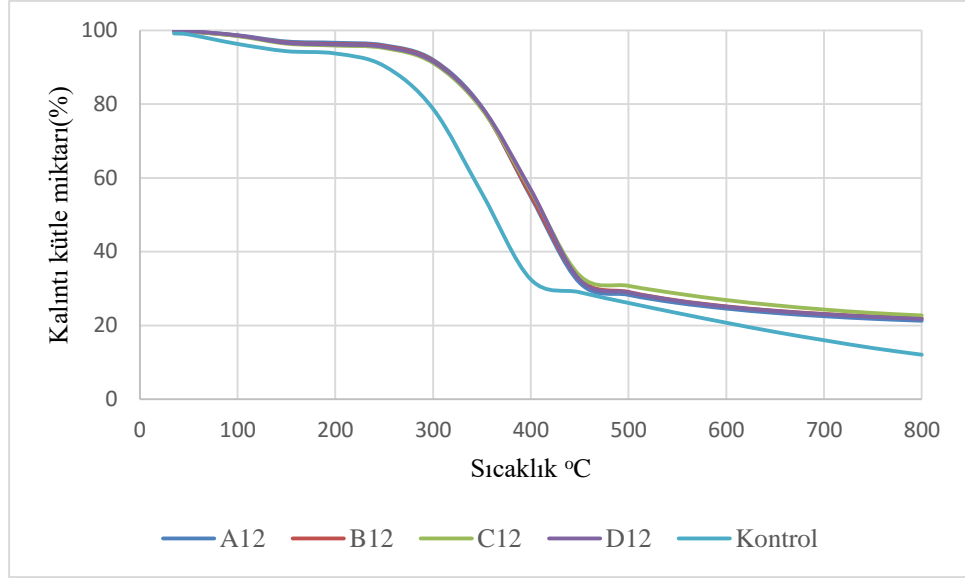
Yine levha örneklerinin aynı kimyasal madde türüne göre, TGA sonucunda elde edilen değerlerinin konsantrasyona bağlı olarak değişimleri ise sırasıyla Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27’de verilmiştir.



Şekil 25. Farklı kimyasal maddelerin %4 konsantrasyonları ile üretilen levha gruplarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



Şekil 26. Farklı kimyasal maddelerin %8 konsantrasyonları ile üretilen levha gruplarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



Şekil 27. Farklı kimyasal maddelerin %12 konsantrasyonları ile üretilen levha gruplarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim

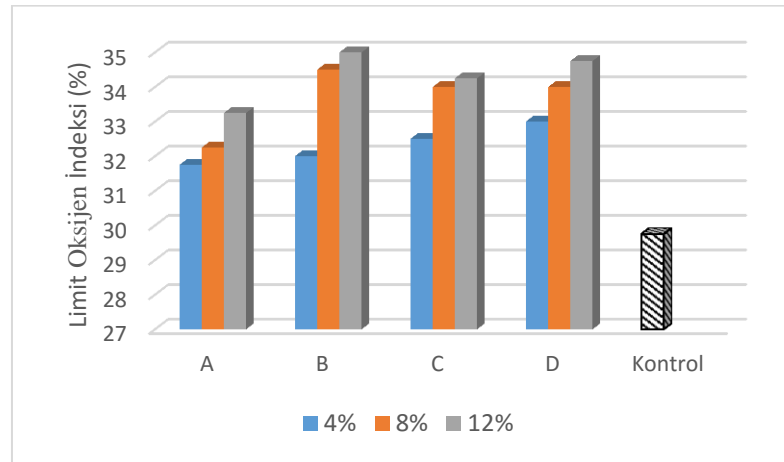
Şekil 25, Şekil 26 ve Şekil 27 incelendiğinde; A, B, C, D kimyasal maddelerinin %4, %8, %12 konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin TGA değerlerinin, kimyasal türüne göre farklılıklar gösterdiği ve tüm kimyasallarla elde edilen kalıntı kütle miktarının kontrol değerleriyle elde edilen kalıntı kütle miktarından daha yüksek bulunduğu dolayısıyla da ağırlık kaybında azalma olduğu görülmektedir.

Genel olarak Tablo 23'teki değerlere bakıldığında; analiz sonucunda, 800 °C'de elde edilen tüm kalıntı madde miktarı değerlerinin kontrol grubunun değerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Buna göre; kullanılan bütün mineral esaslı kimyasal maddeler, yüksek sıcaklıklar altında örneklerin ağırlık kayıplarını azaltmış ve dolayısıyla yanmaya karşı dayanımını artırmış ve iyi bir etkinlik sağlamıştır. Bu durum; tüm yangın geciktirici kimyasal maddelerin odun ve odun esaslı maddelerin termal bozunma mekanizmasına müdahale ederek bozunma sıcaklıklarını etkilemesi ve düşük sıcaklıklarda dehidrasyon vb. reaksiyonları katalize ederek kömür tabakası oluşumunu artırmasının doğal bir sonucudur (Grexa ve Lübke, 2001; Stevens, 2006; Liu vd., 2004; Wang vd.,2004). Literatürde yapılan TGA çalışmaları sonucunda bozunma mekanizmasında ağırlık kayıplarının 350 °C–500 °C arasında bir seyir izlediği ve kimyasal ilavesine bağlı olarak iyileşme gösterdiği, 500 °C'den sonra ise meydana gelen değişimlerin daha yavaş olduğu bulunmuştur (Spirckel vd., 2002). Bu çalışmada, bozunma sıcaklıkları ve en fazla kütle kaybının olduğu sıcaklık aralıkları literatür ile benzerlik göstermektedir.

Genel olarak tüm TGA grafikleri incelendiğinde ise; kullanılan kimyasal madde türü ve tüm konsantrasyon oranları ile ağırlık kaybı için kontrol değerlerinden düşük olumlu sonuçlar elde edilmesine rağmen; bu değerlerin kendi içerisinde birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin, kimyasal madde miktarının kullanılan tutkal miktarına göre hesaplanması sonucu düşük konsantrasyonlarda çalışılması ve levha üretim şartlarının değişkenlik göstermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.5.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

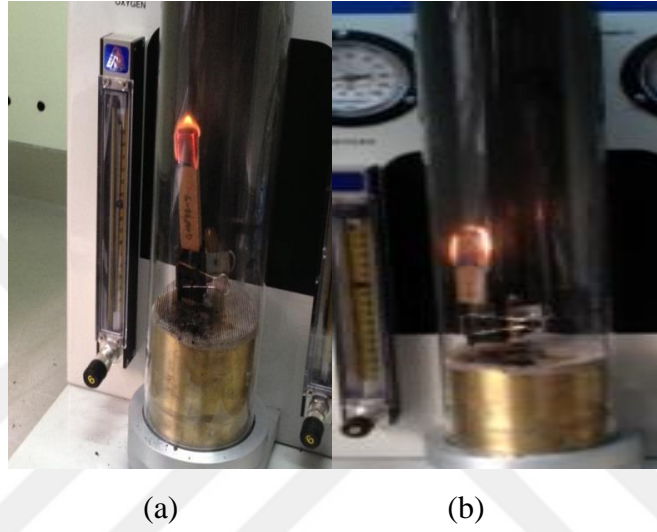
Levhaların yanmaya karşı etkinlik performansını test etmek amacıyla limit oksijen indeks testi (LOI)'de uygulanmıştır. LOI değerleri malzemenin yanabilirliği hakkında bilgi vermektedir. Herhangi bir malzemenin LOI değerinin yüksek olması normal şartlardaki atmosferik ortamda yanıcı olma özelliğinin zor olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle LOI değeri %25'ten küçük olan malzemeler havada çok kolay yanabilmekte iken LOI değeri %25'ten büyük olanlar ise havada kendiliğinden sönebilmektedir (Kayan, 2004). Şekil 28'de mineral esaslı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levhaların LOI değerleri verilmiştir.



Şekil 28. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların LOI değerlerinde meydana gelen değişim

Şekil 28 incelendiğinde, mineral esaslı kimyasal maddelerin artan konsantrasyonlarına bağlı olarak deneme levhalarının LOI değerleri artış göstermiştir. En

düşük LOI değerleri kontrol grubu örneklerinde tespit edilmiştir. Mineral esaslı kimyasal madde kullanılarak üretilen levhalarda en düşük LOI değeri % 4 konsantrasyonda elde edilirken en yüksek LOI değerleri % 12 konsantrasyonda elde edilmiştir. Kontrol grubu hariç diğer levha grupları arasındaki en yüksek etkinliği %12 konsantrasyonda B kimyasalının sağladığı, en düşük etkinliği ise %4 konsantrasyonda A kimyasalının sağladığı görülmüştür.



Şekil 29. LOI testine bir örnek, (a) C12 grubu ve (b) kontrol grubu görüntüleri

Şekil 29'da C grubu (%12) levha örneği ile kontrol levha örneğinin LOI sırasındaki görüntüsü örnek olarak verilmiştir. Test sırasında Şekil 29 (a)'da verilen %12 mineral madde ilaveli örneklerde yanmanın düzenli bir şekilde, dumansız, kor halinde ve kömürleşerek gerçekleştiği, Şekil 29 (b)'de verilen kontrol örneğinde yanmanın ise kömürleşmeden daha kısa sürede meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Liodakis vd. (2009); Atay ve Çelik (2010b) yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Yangın geciktirici kimyasal madde kullanılarak yapılan bir diğer çalışma da Sain vd. (2004) yangın geciktiricili kompozit örneklerinin kontrol örneğine göre LOI değerinin arttığını ve %50 daha fazla yanmaya karşı dayanıklı olduklarını belirtmişlerdir.

Tablo 28'de limit oksijen indekslerine göre malzemelerin sınıflandırılması verilmiştir.

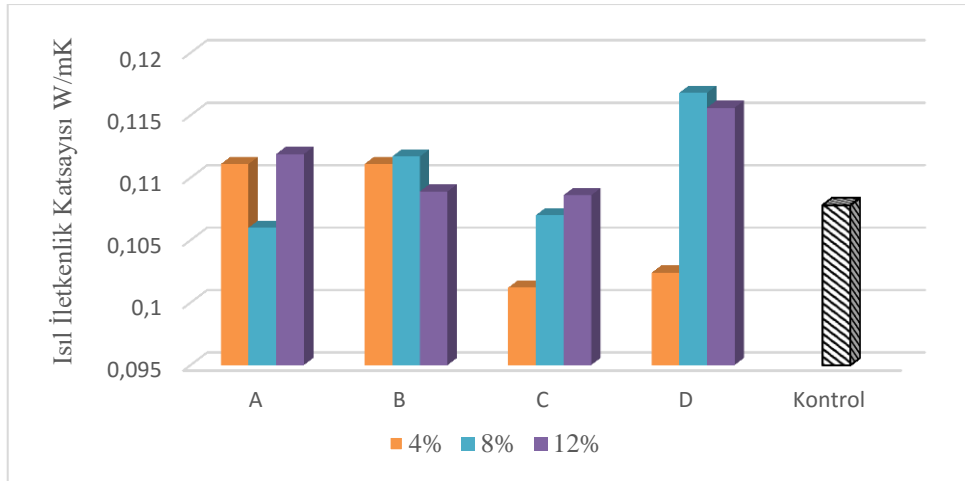
Tablo 28. LOI değerlerine göre malzemelerin sınıflandırılması (Xanthos, 2004).

Oksijen İndeksi	Yanma Sınıfı
<24	Yanıcı
24 – 28	Sınırlı alev geciktirici
29 – 34	Alev geciktirici
>34	Ekstra alev geciktirici

Yapılan bu sınıflandırmaya göre üretilen tüm levhaların LOI değerleri alev geciktirici ve ekstra alev geciktirici sınıfına girmektedir.

4.6. Isıl İletkenlik Değeri

Mineral madde kullanılarak üretilen MDF levhalarının ısı iletkenlik değerlerindeki değişimler Şekil 30'da verilmiştir. Buna göre, kullanılan madde türü ve kimyasal madde konsantrasyonuna bağlı olarak değerler kendi aralarında değişiklik göstermektedir.



Şekil 30. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların ısı iletim katsayısı değerlerindeki değişim

Şekil 30'a göre A kimyasalı için üretilen levhaların ısı iletkenlik katsayı değerleri %12 konsantrasyonda yüksek iken, %8 konsantrasyonda düşük bulunmuştur.

B kimyasalı için üretilen levhaların ısı iletkenlik katsayı değerleri %8 konsantrasyonda yüksek iken, %4 konsantrasyonda düşük olduğu görölmüştür.

C kimyasalı için üretilen levhaların ısı iletkenlik katsayı değerleri %12 konsantrasyonda yüksek iken, %4 konsantrasyonda düşük bulunmuştur.

D kimyasalı için üretilen levhaların ısı iletkenlik katsayı değerleri %8 konsantrasyonda yüksek iken, %4 konsantrasyonda düşük bulunmuştur.

Kontrol dahil tüm test grupları ele alındığında en yüksek ısı iletkenlik katsayı değerleri %8 konsantrasyonda D kimyasalı ile üretilen levhalarda, en düşük ısı iletkenlik katsayı değeri ise %4 konsantrasyonda C kimyasalı ile üretilen levhalarda olduğu görölmüştür.

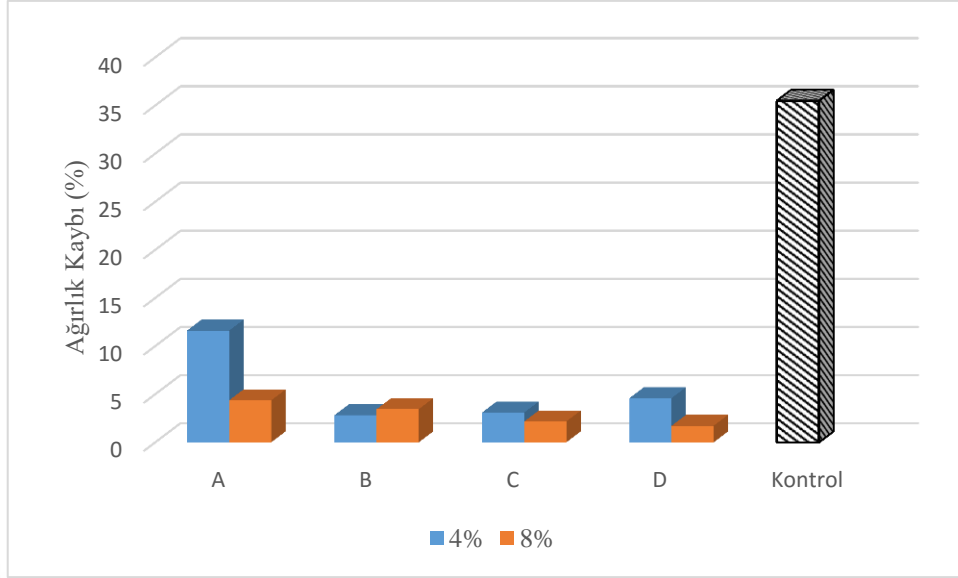
Yapılan bu çalışmada mineral esaslı kimyasal kullanılarak üretilen levha örneklerinin ısı iletkenlik katsayısının kontrol örneklerine kıyasla bir miktar daha yüksek olmasının sebebinin kullanılan kimyasal maddenin lifler arasındaki boşluğu doldurması olduğu düşünölmektedir. Literatürde de bu doğrultuda bilgiler mevcuttur. (Lewis, 1967; Kamke ve Zylkowski 1989).

Genel olarak, yapılan çalışmada levhaların ısı iletkenlik katsayı değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin düşük konsantrasyonda çalışılmasından kaynaklanabileceği düşünölmektedir.

4.7. Biyolojik Özellikler

4.7.1. Mantar Çürüklük Testi

Mineral esaslı kimyasal maddelerin farklı konsantrasyonlarda kullanılmasıyla üretilen levhaların mantar çürüklük değerleri üzerinde kimyasal maddelerin ve konsantrasyonlarının etkinliğini görmek için mantar çürüklük testi yapılmış ve levha örnekleri “*Coniophora puteana*” ve *Trametes versicolor*” mantarlarına maruz bırakılmıştır. *Trametes versicolor* mantar türüne maruz bırakılan kimyasal maddeli örnek gruplarının ağırlık kaybı değerleri kontrol örneğinin ağırlık kaybı değerlerinden az olmasına rağmen, deney için beklenen ağırlık kaybı değerlerine ulaşılmadığından dolayı değerlendirilmeye alınmamıştır. “*Coniophora puteana*” mantar türüne maruz bırakılan örneklerin ağırlık kaybı değerlerindeki değişim Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31. Farklı konsantrasyonlarda mineral esaslı maddeler kullanılarak üretilen levhaların “*Coniophora puteana*” mantarına maruz kaldıktan sonraki ağırlık kaybı değerlerindeki değişim

Şekil 31’den görüleceği üzere; “*Coniophora puteana*” mantarına maruz bırakılan levha örneklerinin ağırlık kaybı değerleri, mineral madde türüne ve konsantrasyonuna bağlı olarak kontrol grubu değerinden (%34,4) oldukça düşük olarak bulunmuştur. Tüm ağırlık kaybı değerleri konsantrasyon artışıyla birlikte genel olarak azalma göstermiş; en düşük değerler D, C ve B grubu elde edilirken; en yüksek ağırlık kaybı değerleri ise A grubu (%11,6) örneklerinde tespit edilmiştir. Deneyde kontrol grubu örneklerinin(%34,4); EN 113 standardında belirtilen deneyin başarılı olması için kontrol örneklerinde en az %15 oranında ağırlık kaybı şartını sağladığı görülmüştür. Yine aynı şekilde deneydeki çoğu kimyasal maddeli gruplara ait örneklerinde test örnekleri için geçerli olan %3 ten düşük ağırlık kaybı şartını karşıladığı ya da yakın değerler verdiği bulunmuştur.

Ağırlık kaybı değerleri en düşük değerden en yüksek değere doğru D8 (1,71) ; C8 (2,16); B4 (2,81); C4 (3,09); B8 (3,44); A8 (4,36); D4 (4,59); A4 (11,6); kontrol (35,47) şeklinde sıralanmaktadır. Özellikle, çinko borat karışımı içeren C ve D grubu ile iyi bir etkinlik sağlanmıştır. Zaten çinko boratın odun ve odun esaslı levha ürünlerinde koruyucu etkisi olduğu bilinmektedir. Bor iyonları biyolojik olarak hücre çeperine kolayca nüfuz edebilmekte ve oluşturduğu komplekslerle organizmalarda toksik etki yapmaktadır (Yamaguchi 2003, Grace vd.1992). Usta vd. (2009), yaptıkları bir çalışmada, farklı borlu bileşikler ve çinko borat ile muamele ettikleri MDF örneklerini biyolojik özelliklerden

termit testine tabi tutmuşlar ve bu maddelerin etkili sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Yine Ustaömer (2008), çalışmasında çinko borat ile muamele edilmiş MDF örneklerinin mantar çürüklük testi sonucunda ağırlık kaybı değerlerini kontrole kıyasla çok daha düşük bulmuş ve olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Şekil 31 incelendiğinde; C ve D grubunda kullanılan çinko borat ilavesinin etkinliği artırdığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, huntit-hidromanyezit içerikli “UltraCarb 1250 ve UltraCarb-LH15” kimyasal maddelerinin tek başlarına kullanılarak üretildiği A ve B levha grubu örneklerinin de değerlerinin kontrol değerleriyle kıyaslandığında çok daha düşük oldukları ve konsantrasyon artışıyla azaldıkları görülmektedir. Şekil 32’de mantar testi örneklerinden D grubu (%8) ve kontrol grubuna ait bir örnek verilmiştir.



Şekil 32. UltraCarb-LH15 + çinko borat karışımı içeren D grubu (%8) ve kontrol örneği

Şekil 32’den kontrol grubu örneğinin üzerinin mantar miselleri tarafından tamamen sarıldığı, kimyasal madde ilaveli örneğin (UltraCarb-LH15 + çinko borat) üzerinin ise mantar miselleri tarafından çok fazla sarılmadığı görülmektedir. Deney sonrasında hemen hemen tüm grup örneklerinde oluşan bu gözlemsel tespit, bir ölçüde kimyasal maddelerin etkisini kanıtlamaktadır.

5. SONUÇLAR

Deneysel çalışmalardan elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

5.1. Fiziksel Özellikler

5.1.1. Rutubet

Farklı konsantrasyonlarda yanma geciktirici mineral kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levha örneklerinin rutubet değerleri kontrol grubunun rutubet değerlerinden daha yüksek olarak bulunmuş ve bu değerlerin mineral madde grupları ile konsantrasyonlarına bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Levha rutubet değerleri kontrol grubu için %7,91 olarak diğer levha grupları için ise %7,78 ile %8,32 arasında bulunmuştur.

5.1.2. Yoğunluk

Kimyasal maddeler kullanılarak üretilen deneme levhalarının yoğunluk değerleri 778-835 kg/m³ arasında değişiklik göstermektedir. Kontrol grubu ile kıyaslanıldığında; kimyasal madde türünün ve kimyasal madde konsantrasyonunun artışına bağlı olarak bu değerlerin artış gösterdiği belirlenmiştir.

5.1.3. Su Alma

1. Kimyasal madde kullanılarak üretilen levha gruplarının 24 saat süredeki su alma değerleri üzerinde; kimyasal madde türünün ve kimyasal madde konsantrasyonunun etkisi olduğu görülmüştür.

2. Kullanılan kimyasal maddelerin türüne bağlı olarak çoğu levha grubunun 24 saat süre ile su alma değerlerinin arttığı bulunmuştur. Sonuçlara genel olarak bakıldığında ise; B>D>A>C>Kontrol şeklinde bir sıralama tespit edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

3. Elde edilen sonuçlar, kimyasal madde konsantrasyonuna göre incelendiğinde; her bir konsantrasyon oranının levha örneklerinin su alma oranını farklı şekillerde etkilediği belirlenmiştir. Aynı zamanda bulunan değerlerin genel itibarı ile kontrol örneklerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir.

5.1.4. Kalınlığına Şişme

1. Yapılan deney sonucunda tüm levha gruplarından elde edilen 24 saat kalınlığına şişme değerlerinin kontrol grubu değerlerinden daha düşük olduğu ve tüm kimyasal maddelerin levha örneklerinin kalınlığına şişme değerlerine etkisi olduğu tespit edilmiştir.

2. Kimyasal madde türü ve kimyasal madde konsantrasyonunun kalınlığına şişme değerleri üzerine etkisi her bir madde türü ve konsantrasyona bağlı olarak çeşitlilik göstermiştir.

3. Genel olarak sonuçlara bakıldığında; Kontrol > A,B > C,D şeklinde bir sıralama oluşturulmuştur.

5.2. Renk Değişimi

1. Kullanılan kimyasal maddelere bağlı olarak levha örneklerinde belirgin şekilde renk değişimleri meydana geldiği gözlenmiştir.

2. En yüksek ΔE^* değerleri; C ve D grubunda bulunan çinko borat ilaveli levha gruplarında elde edilmiştir. Çinko boratlı levha örneklerinde kontrole kıyasla daha fazla renk değişimi gözlenmiştir.

3. En düşük ΔE^* değerleri ise A ve B gruplarında bulunan levha örneklerinde tespit edilmiştir.

5.3. Yüzey Pürüzlülüğü

1. Farklı kimyasal madde ve konsantrasyonlar kullanılarak üretilen levha örneklerinin yüzey pürüzlülük değerlerinin (R_a , R_y ve R_z), kimyasal madde türü ve konsantrasyon oranlarına göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

2. Genel olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde; en yüksek pürüzlülük değerinin A grubunda bulunan levha örneklerinde olduğu, en düşük değerlerin ise C grubunda bulunan levha örneklerinde olduğu gözlenmiştir.

3. Özellikle 10 nokta ortalama pürüzlülük değeri olan Rz değeri incelendiğinde; kimyasal maddeli levha gruplarının Rz değerlerinin, kimyasal madde türü ve konsantrasyonu ile değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

5.4. Mekanik Özellikler

5.4.1. Eğilme Direnci

1. Farklı kimyasal maddeler ve konsantrasyonlar kullanılarak üretilen tüm levhaların eğilme direnci değerlerinin; kimyasal madde türü ve kimyasal madde konsantrasyonuna bağlı olarak 16,57-39,62 N/mm² arasında değiştiği bulunmuştur. Elde edilen değerlerin çoğunun EN standardında belirtilen değerlere uygun olduğu tespit edilmiştir.

2. Kimyasal madde türlerinin eğilme direnci üzerindeki etkisi çeşitlilik göstermiştir. Buna göre konsantrasyon artışıyla beraber üretilen levhaların bazılarının eğilme direnci değerleri kontrol grubundan daha yüksek, bazılarının değerleri ise daha düşük bulunmuştur.

3. Sonuçlara genel olarak bakıldığında; B ve C grubunda bulunan levhaların en yüksek eğilme direnci değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

5.4.2. Yüze Dik Çekme Direnci

1. Farklı konsantrasyonlarda kimyasal madde kullanılan gruplarda çekme direnci değerleri, kimyasal madde türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermiştir.

2. D2 hariç diğer levha gruplarının çekme direnci değerleri kontrol grubundan daha düşük bulunmuştur.

3. Kimyasal madde gruplarına bakıldığında en iyi sonuçların D2, D4 ve D8 grubunda bulunan levhalarda olduğu tespit edilmiştir.

5.5. Yanma Özellikleri

5.5.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

1. Kimyasal madde türüne ve konsantrasyonuna bağlı olarak TGA değerleri değişim göstermiştir.
2. Kimyasal madde kullanılarak üretilen levhaların TGA sonucu elde edilen tüm değerlerinin kontrol grubu değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
3. Kullanılan tüm kimyasal maddeler ile üretilen levhaların bozunma sıcaklıkları kontrol levhalarından daha yüksek bulunmuştur. Bu maddeler, termal bozunma mekanizmasına müdahale etmek suretiyle ağırlık kayıplarını azaltmış ve örneklerin daha yüksek sıcaklıklara dayanımını artırmıştır.

5.5.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

1. Kimyasal madde kullanılarak üretilen levhaların LOI testi sonucu elde edilen tüm değerlerinin kontrol grubu değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
2. Kullanılan tüm kimyasal madde türlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak levhaların LOI değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek değer %12 konsantrasyonda B grubunda bulunan levhalarda, en düşük değer ise %4 konsantrasyonda A grubunda bulunan levhalarda tespit edilmiştir.
3. Üretilen tüm levhaların LOI'ye göre yapılan sınıflandırmada alev geciktirici ve ekstra alev geciktirici sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.

5.6. Isıl İletkenlik

1. Isıl iletkenlik testi sonucunda; kimyasal madde türünün ve konsantrasyon miktarının levhalar üzerindeki etkisinin çeşitlilik gösterdiği, aynı zamanda elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.
2. Kontrol grubuna kıyasla kimyasal madde kullanılarak üretilen levhaların ısıl iletim katsayısının genel olarak biraz daha yüksek olduğu bulunmuştur.

5.7. Biyolojik Özellikler

5.7.1. Mantar Çürüklük Testi

1. *Coniophora puteana* mantarına maruz bırakılan levha örneklerinin ağırlık kaybı değerleri, kimyasal madde türüne ve konsantrasyonuna bağlı olarak kontrol grubu değerinden (%34,4) daha düşük olarak bulunmuştur.

2. Mineral esaslı kimyasal maddelerin konsantrasyonlarının artışına bağlı olarak tüm ağırlık kaybı değerleri genel olarak azalma göstermiştir. Tüm kimyasal maddeler ile olumlu sonuçlar elde edilmiş ve özellikle D8 (%1,71); C8 (%2,16); B4 (%2,82); C4 (%3,09) ile EN113 standartında istenilen değerlere ulaşılmıştır.

3. Özellikle, çinko borat karışımı içeren C ve D grubu ile iyi bir etkinlik sağlanmıştır.

4. Yine, huntit-hidromanyezit içerikli UltraCarb-1250 ve UltraCarb-LH15 kimyasallarının tek başlarına kullanıldığı A ve B grubu levha örneklerinin de kontrol grubu ile kıyaslandığında çok daha düşük ağırlık kaybı değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Mineral esaslı kimyasal maddeler olan ve içeriklerinde Huntit-hidromanyezit bulunan UltraCarb-1250, UltraCarb-LH15 ile çinko borat karışımı kullanılarak üretilen liflevhaların bazı özelliklerindeki değişimlerin belirlendiği bu çalışma sonucunda aşağıdaki öneriler ve hususlar tespit edilmiştir.

Yanmaya karşı dayanım, özellikle toplu yaşam alanlarında kullanılan malzemeler için istenilen son derece hayati bir özelliktir. Bu amaçla malzemelere yanmaya karşı direnç kazandırmak için çeşitli uygulamalar yapılması gerekmektedir. Yaygın olarak yapılan uygulama kimyasal maddelerin kullanımınıdır. Bu amaçla kullanılabilir çok sayıda yanmayı geciktirici kimyasal madde olmasına rağmen; bunlardan bazılarının çevre ve sağlık açısından olumsuz yanlarının olduğunun tespit edilmesi ve kullanımlarına sınırlandırma getirilmesi daha çevreci ve daha az zararlı yeni maddelerin gündeme gelmesine sebebiyet vermiştir. Dolayısıyla, alternatif kimyasal maddelerin bulunması ve kullanılma potansiyellerinin olması yeni araştırmaların ve çalışmaların hız kazanmasına katkıda bulunabilir.

Bu çalışma sonucunda; yanma geciktirici özelliği ile daha çok plastik esaslı malzemelerde kullanım yeri bulan huntit ve hidromanyezit içerikli kimyasal maddelerin, odun esaslı levha ürünlerinin de yanmaya karşı direnç özelliklerini iyileştirdiği bulunmuş, dolayısıyla bu maddelerin odun esaslı malzemeler için de başarıyla kullanılacağı kanaatine varılmıştır. Bu sonuçlar, aynı zamanda farklı mineral maddelerinde araştırılabilirliğini ve bu maddelerin odun ve odun esaslı levha sanayileri için koruyucu kimyasal maddeler olarak değerlendirilebilme potansiyellerinin olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışmamızda kullanılan huntit-hidromanyezit içerikli mineral maddeler, gerek tek başlarına gerekse çinko borat ile yanma direnci açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Bu mineral maddelerin, farklı yanma geciktiriciler ve özellikle de çevre dostu, ekonomik diğer borlu bileşikler ile farklı formülasyonlarının denenmesiyle birlikte levha özellikleri üzerindeki sinerjik etkileri araştırılabilir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar açısından; bu mineral maddelerin etkinliklerini artırmak ve araştırmak için daha yüksek konsantrasyonlar ya da farklı uygulama yöntemleri (daldırma-batırma, yüzeye sürme, lifle muamele) denenebilir. Özellikle çeşitli oranlarda hazırlanan bu

kimyasal maddelerin lifle muamele edilmesiyle daha kuvvetli tutunum ve homojen bir etkileşim olacağı için yanmaya karşı direnç performansları artırılabilir.

FR kimyasallarının muamele edildikleri örneklerin direnç değerleri üzerinde etki yaptığı ve bu etkinin çoğunlukla olumsuz olduğu bilinmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında; mekanik ve diğer özelliklerde meydana gelen bazı azalma ve farklı eğilimlerin üretim esnasındaki parametrelerden ve tutkalla uyum probleminden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu durum; üretim prosesi parametrelerindeki değişimler, tutkalla uyum için yapılan iyileştirmeler ve farklı uygulama yöntemleri ile azaltılabilir. Özellikle, yanma performans etkinliğini artırmak, fiziksel ve mekanik özelliklerde iyileştirmeler sağlamak amacıyla, üre formaldehit tutkalının yanısıra melamin üre formaldehit (MÜF) tutkalının denenmesi önerilebilir.

Çalışmada elde edilen olumlu sonuçlara bakıldığında; bu mineral maddelerin, odun ve odun esaslı levha ürünlerinde aynı anda hem biyolojik hem de yanma dayanımını artırdıkları için koruma amaçlı etkili kimyasal maddeler olarak diğer kimyasal maddelere alternatif olabilecekleri düşünülmektedir.

Ayrıca, mineral maddelerin lif yapısında meydana getirdiği değişimleri gözlemlemek ve tanecik boyutunun etkinliğini anlamak için ilave analizler yapılabilir.

Dünyada, Yunanistan'la beraber miktar olarak en çok Türkiye'de bulunan huntit-hidromanyezit madeni, ülkemiz açısından ihraç kapasitesi olan bir üründür. Dolayısıyla, bu ürünün etkili değerlendirilmesi son derece önemlidir. Yapısal özellikleri ile yüzey uygulamalarında; alev geciktirici özellikleri ile de kauçuk, plastik vd. birçok alanda kullanılan bu mineral maddelerin farklı sektörler açısından da alternatif hammadde olarak uygulanabilirliğinin belirlenmesi, yeni yaklaşımlar ve sanayi uygulamaları açısından ışık tutucu nitelikte olacaktır.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmamızın yanma ve diğer test sonuçları ışığında, bu mineral maddelerin odun esaslı levha ürünlerinde de yanma geciktirici etkinliklerinin olduğu ve koruyucu kimyasal madde olarak değerlendirilebileceği, çeşitli iyileştirmeler ve ilave çalışmalar neticesinde de odun ve odun esaslı levha sanayine yönelik uygulamalar bulabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Akbulut, T., Hiziroglu, S. ve Ayrilmis, N., 2000. Surface Absorption, Surface Roughness, and Formaldehyde Emission of Turkish Medium Density Fiberboard, Forest Product Journal, 50, 6, 45-48.
- Alongi, J., Carosio, F., Frache, A. ve Malucelli, G., 2013. Layer by Layer Coatings Assembled Through Dipping, Vertical or Horizontal Spray for Cotton Flame Retardancy, Carbohydrate Polymers, 92, 114–119.
- Anonim, 2003. Commission Decision 2003/43/EC, Official Journal of the European Union 13, 35-36.
- Aslan, S., 1994. Ağaç Dendrolojisi, Odun Anatomisi, H.Ü. Beytepe, Ankara.
- Aslan, S. ve Özkaya, K., 2004. Farklı Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Ahşap Esaslı Levhaların Yanma Mukavemetinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2, 122-140.
- ASTM C 518, 2004. Methods of Measuring Thermal Conductivity, Absolute and Reference Method, ASTM International: West Conshohochen, USA.
- Atay, H.Y. ve Çelik E., 2010a. Huntit/Hidromanyezit Mineralinin Plastiklerde Ateş Önleyici Olarak Kullanılması ve Boyut Dağılımının Alev Geciktirici Etkisinin İncelenmesi, Mehmet Kemal Dedeman Araştırma ve Geliştirme Proje Yarışması.
- Atay, H.Y. ve Çelik, E., 2010b. Use of Turkish Huntite/Hydromagnesite Mineral in Plastic Materials as a Flame Retardant, Polymer Composite, 31, 10, 1692- 1700.
- Atay, H.Y. ve Çelik, E., 2012. Electrical Behaviors of Flame Retardant Huntite and Hydromagnesite Reinforced Polymer Composites, ISRN Polymer Science, Article ID 359034, 1-9.
- Atay, H.Y. ve Çelik, E., 2013. Mechanical Properties of Flame-Retardant Huntite and Hydromagnesite-Reinforced Polymer Composites, Polymer-Plastics Technology and Engineering, 52, 2, 182-188.
- Aydın, İ. ve Çolakoğlu, G., 2003. Odun Yüzeylerinde Pürüzlülük ve Pürüzlülük Ölçüm Yöntemleri, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 4, 92-102.
- Ayrılmış, N., 1999. MDF Üretim Teknolojisi, Laminart.
- Barnes, H.M. ve Murphy, J.R., 2006. Effect of Vapor Boron Treatment on Some Properties of Wood Strand and Fiber Composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 37, 1402-1405.

- Berkel, A., 1972. Ağaç Malzemenin Korunması ve Emprenye Tekniđi, II.Cilt, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakóltesi, İ.Ü. Yayın no:1745, Fakólte Yayın No:183.
- Bilici, S.M., 2003. Eti Holding A.Ş. Tarafından Sürdürölen Bor ile İlgili Ar-Ge Faaliyetleri, Teknoloji, Madencilik Bülteni, Mart sayısı, 32-35.
- Boardman, B.E., Senft, J.F., McCabe, G.P. ve Ladisch, C.M., 1992. Colorimetric Analysis in Grading Black Walnut Veneer, Wood Fiber Science, 24,1, 99-107.
- Burchill, J.P., Mathys, Z. ve Gardiner, P.C., 2005. An Analysis of the Burning of Polyester and Vinylester Fibre Glass Composites, Fire and Materials, 29, 249-264.
- Carosio, F., Laufer, G., Alongi, J., Camino, G. ve Grunlan, J.C., 2011. Layer-by-Layer Assembly of Silica-Based Flame Retardant Thin Film on PET Fabric, Polymer Degradation and Stability, 96, 745–750.
- Demir, A., 2014. Yangın Geciktirici Emprenye Maddelerinin Çeşitli Ağaç Türlerinden Üretilen Kontrplakların Isıl İletkenliğine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Denizli, N., 1997. Physical and Mechanical Properties of Laminated Strand Lumber Treated with Fire Retardant, Master of Science Degree, State University of New York College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York, UMI, 48130.
- Dietenberger, A.M. ve White, H.R., 2001. Reaction-to-Fire Testing and Modeling for Wood Products, Twelfth Annual BCC Conference on Flame Retardancy, May 2001, Stamford, 54-69.
- Eickner, H.W., 1966. Fire Retardant-Treated Wood, Journal of Materials, 1, 3, 625-644.
- Ellis, D.W. ve Rowell, M.R., 1989. Flame-Retardant Treatment of Wood with a Diocynate and an Oligomer Phosphonate, Wood and Fiber Science, 21, 4, 367-375.
- EN 113, 1997. Methods of the Test for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Rotting Basidiomycetes, Determination of Toxic Values, Brussels.
- EN 310, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Modulus Elasticity in Bending and Bending Strength, CEN, Brussels.
- EN 317, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Swelling in Thickness After Immersion in Water, CEN, Brussels.
- EN 319, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of the Board, CEN, Brussels.
- EN 323, 1997. Wood Based Panels, Determination of Density, Brussels.

- Eroğlu, H. ve Usta, M., 2000. Liflevha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü Basımevi, Trabzon.
- Garba, B., 1999. Effect of Zinc Borate as Flame Retardant Formulation on Some Tropical Woods, Polymer Degradation and Stability, 64, 517-522.
- Giudice, C.A. ve Pereyra, A.M., 2010. Silica Nanoparticles in High Silica/Alkali Molar Ratio Solutions as Fire Fetardant Impregnants For Woods, Fire and Materials 34, 177-187.
- Goldstein, I.S., 1973. Degradation and Protection of Wood from Thermal Attack, in: Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments, Syracuse Univ., New York , Press, I, 307-339.
- Göker, Y. ve Ayrılmış, N., 2003. Odun ve Odun Esaslı Ürünlerin Performans Karakteristikleri ve Termal Degredasyonu, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 52, 2, 1-22.
- Grace, J.K., Yamamoto, R.T. ve Tamashiro, M., 1992. Resistance of Borate-Treated Douglas-fir to the Formosan Subterranean Termite, Forest Product Journal, 42, 2, 61-65.
- Grexa, O., 2000. Flame Retardant Treated Wood Products, Wood and Fire Safety 4th International Scientific Conference, May, Zvolen, Proceedings, 101-110.
- Grexa, O. ve Lübke, H. 2001, Flammability Parameters of Tested on Cone Calorimeter, Polymer Degradation and Stability, 74, 427-432.
- Güller, B. 2001. Odun Kompozitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2, 135-160.
- Hashim, R., Murphy, R.J., Dickinson, D.J. ve Dinwoodie, J.M., 1994. The Mechanical Properties of Boards Treated With Vapor Boron, Forest Products Journal, 44, 73-79.
- Hollingbery, L.A. ve Hull, T.R., 2010. The Fire Retardant Behaviour of Huntite and Hydromagnesite -A Review, Polymer Degradation and Stability, 90, 2213-2225.
- Hollingbery, L.A. ve Hull, T.R., 2012. The Fire Retardant Effects of Huntite in Natural Mixtures with Hydromagnesite, Polymer Degradation and Stability, 97, 504-512.
- Holmes, C.A., 1974. The Fire Performance of Wood and Its Improvement by Fire Retardant Treatments, American Wood Preservers' Association, 95-102.
- Hull, T.R., Quinn E.R., Areri, G.I. ve Purse, A.D., 2002. Combustion Toxicity of Fire Retarded EVA, Polymer Degradation and Stability, 77, 235-242.
- İlhan, R., 1988. Prefabrik Konut Yapımında Yangına Karşı Alınması Gereken Önlemler, Aşşap Malzemenin Korunması, Milli Prodükktivite Merkezi Yayınları, 338.

- Kamke, A.F. ve Zylkowski, S.C., 1989. Effects of Wood-Based Panel Characteristics on Thermal Conductivity, Forest Products Journal, 39,5, 39-24.
- Kaya, M. ve Öz, D., 1999. Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastırıcı Katkı Maddeleri, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Ekim, İzmir, Bildiriler Kitabı, 150-162.
- Kayan, S., 2004. Tekstil Materyallerinin Yanma Mekanizması ve Limit Oksijen İndeks Değerleri. Marmara Üniversitesi FBE Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, Enstrümantal Analiz Dersi Notu, İstanbul.
- Khouadja, A. ve Barnes, H.M., 2001. Treatment and Redrying of Western Hemlock Plywood, Forest Product Journal, 51, 1, 74-80.
- Kılınç., M. ve Bayram, G., 2006. Çinko Borat Katkılı Polipropilen Bazlı Kompozitlerin Yanma davranışları ve Mekanik Özellikleri, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kasım, Ankara, 238-243.
- Kısakürek, D., 2003. Yanmaya Dayanıklı Polimerler, XVII Ulusal Kimya Kongresi, Eylül, İstanbul, Bildiri Kitabı, 20.
- Kollmann, F.F.P. ve Cote, W.A., 1968. Principles of Wood Science and Technology. I: Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin.
- Kolmann, F.F.P., Kuenzi, E.W. ve Stamm, A.J., 1975. Principles of Wood Science Technology II, Wood Based Materials, Springer Verlag, Berlin, 672.
- Kotalainen, R., 2000. Chemical Changes in Wood During Heating at 150-260 °C, Department of Chemistry, Academic Disertation for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Jyväskylä, Research Report No:8.
- Kurt, Ş., Uysal, B. ve Özcan C., 2009. Thermal Conductivity of Oriental Beech Impregnated with Fire Retardant, Journal of Coatings Technology and Research, 6,4, 523-530.
- Kylosov, A.A., 2007. Wood Plastic Composites, John Wiley&Sons, Inc.,NJ, USA, 698.
- Lebow, S.T. ve Winandy, J.E., 1999. Effect of Fire Retardant Treatment on Plywood pH and Relationship of pH to Strength Properties, Wood Science and Technology, 33, 285-289.
- LeVan, S.L., 1989. Thermal Degradation, Concise Encyclopedia of Wood and Wood Based Materials, Pergamon Pres.
- LeVan, S. L., 1984. Chemistry of Fire Retardancy, In R.M.Rowel, ed. The Chemistry of Solid Wood. Advances in Chemistry Series 207, American Chemical Society, Washington, D.C.

- Lewis, W.C., 1967. Thermal Conductivity of Wood-based Fiber and Particle Panel Materials' Research Paper FBL 77, USDA. Forest Service Forest Products Lab., Madison, Wis.
- Li, B. ve He, J., 2004. Investigation of Mechanical Property, Flame Retardancy and Thermal Degradation of LLDPE-Wood-Fiber Composites, Polymer Degradation and Stability, 83, 2, 241-246.
- Lie, T.T., 1972. Fire and Buildings, Applied Science Publishers Ltd., London, 73-74.
- Lioudakis, S., Antonopoulos, I., Agiovlasis, I.P. ve Kakardakis, T., 2008. Testing the Fire Retardancy of Greek Minerals Hydromagnesite and Huntite on WUI Forest Species *Phillyrea latifolia* L., Thermochemica Acta, 469, 43–51.
- Lioudakis, S., Antonopoulos, I. ve V. Tsapara, V., 2009. Forest Fire Retardancy Evaluation of Carbonate Minerals Using DTG and LOI, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 96,1, 203–209.
- Lioudakis, S., Antonopoulos, I. ve Kakardakis, T., 2010. Evaluating the Use of Minerals as Forest Fire Retardants, Fire Safety Journal, 45, 98–105.
- Liu, Q., Lv, C., Yang, Y., He, F. ve Ling L., 2004. Investigation on the Effects of Fire Retardants on the Thermal Decomposition of Wood-derived Rayon Fiber in an Inert Atmosphere by Thermogravimetry–mass spectrometry, Thermochemica Acta, 419, 205–209.
- Maloney, T.M., 1986. Terminology and Products Definitions A Suggested Approach to Uniformity Worldwide, In Proceedings, 18 th International Union of Forest Research Organization World Congress, Yugoslavia.
- Maloney, T.M., 1996. The Family of Wood Composite Materials, Forest Products Journal, 46, 2.
- Marney, D.C.O., Russell, L.J. ve Mann R., 2008. Fire Performance of Wood (*Pinus Radiata*) Treated With Fire Retardants and a Wood Preservative, Fire and Materials, 32, 357–370.
- Mureinik, R.J. 1997. Flame Retardants, Minerals' Growth in Plastics. Euromin'97 IMIL Conference, Haziran, Barcelona, Proceedings, 8-10.
- Nagieb, Z.A., Nassar, M. A., ve El-Meligy, M.G., 2011. Effect of Addition of Boric Acid and Borax on Fire-Retardant and Mechanical Properties of Urea Formaldehyde Saw Dust Composites, International Journal of Carbohydrate Chemistry, Article ID 146763.
- Östman, B., Voss, A., Hughes A., Hovde J. P. ve Grexa, O., 2001. Durability of Fire Retardant Treated Wood Products at Humid and Exterior Conditions Review of Literature, Fire and Materials, 25, 95-104.

- Özkaya, K., Ilce, C.A., Burdurlu, E. ve Aslan, S., 2007. The Effect of Potassium Carbonate Borax and Wolmanit on The Burning Characteristics of Oriented Strandboard (OSB), Construction and Building Materials, 1457-1462.
- Pedieu, R., Koubaa, A., Riedl, B., MingWang, X. ve Deng, J., 2012. Fire-retardant Properties of Wood Particleboards Treated with Boric Acid, Eur. J. Wood Prod, 70, 191-197.
- Peker, H. ve Atılğan, A., 2015. Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun: Yanma Özelliği ve Koruma Yöntemleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 1-12.
- Qu, H., Wu, W., Wu, H., Xie, J. ve Xu, J., 2011. Study on the Effects of Flame Retardants on the Thermal Decomposition of Wood by TG-MS, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry - J THERM ANAL CALORIM, 103, 3, 935-942.
- Rakotomalala, M., Wagner, S. ve Döring, M., 2010. Recent Developments in Halogen Free Flame Retardants for Epoxy Resins for Electrical and Electronic Applications, Materials, 3, 4300-4327.
- Rothon RN., 2003. Effects of Particulate Fillers on Flame Retardant Properties of Composites, Particulate Filled Polymer Composites, 263-302.
- Rowell, M.R, Susott, A.R., DeGroot F.W. ve Shafizadeh, F., 1984. Bonding Fire Retardants to Wood. Part 1. Thermal Behaviour of Chemical Bonding Agents, Wood and Fiber Science, 16, 2, 214-223.
- Sachdev, S.V.S., Kotresh, T.M. ve Vyawahare, K.M., 2004. Heat Release Characteristics of The Basic Materials Used for Flying Clothing, Ind J. Aerospace Med, 48, 1, 53-58.
- Sain, M., Park, S.H., Suhara, F. ve Law, S., 2004. Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fibre-PP Composites Containing Magnesium Hydroxide. Polymer Degradation and Stability, 83, 2, 363-367.
- Schartell, B. ve Hull, T.R., 2007. Development of Fire-Retarded Materials-Interpretation of Cone Calometer Data, Fire and Materials, 31, 327-354.
- Schubert M.D., Alam, F., Visi, Z.M. ve Knobler, B., 2003. Structurel Characterization and Chemistry of the Industrially Important Zinc Borate, Zn[BB3O4(OH)3], Chemistry of Materials, 15, 866-871.
- Siau, F. J., Campos, S.G. ve Meyer, A.J., 1975. Fire Behaviour of The Treated Wood and Wood Polymer Composites, Wood Science, 8, 1, 375-383.
- Spirckel, M., Regnier, N., Mortaigne, B., Youssef, B. ve Bunel, C., 2002. Thermal Degredation and Fire Performance of New Phosphonate Polyurethanes, Polymer Degredation and Stability, 78, 211-218.

- Stevens, R., Es, S.V. D., Bezemer, R. ve Kranenbarg, A., 2006. The Structure-Activity Relationship of Fire Retardant Phosphorus Compounds in Wood, Polymer Degredation and Stability, 91, 832-841.
- Sweet, M.S. ve Winandy, J.E., 1999. Influence of Degree of Polymerization of Cellulose and Hemicellulose on Strength Loss in Fire-Retardant-Treated Southern Pine, Holzforschung, 53, 311-317.
- Tomak, E., Hughes, M., Yıldız, Ü.C. ve Viitanen, H., 2011. The combined Effects of Boron and Oil Heat Treatment on Beech and Scots Pine Wood Properties. Part 1: Boron Leaching, Thermogravimetric Analysis and Chemical Composition, Journal of Materials Science, 46, 3, 598-607.
- Tome, B., Cuesta, C.L., Benhassaine, P.G.A. ve Crespy, A., 1996. Fire Resistance and Mechanical Properties of a Huntite, Hydromagnesite, Antimony Trioxide / Decabromodipheny Oxide Filled PP-PE Copolymer, Polymer Degradation and Stability, 53,3, 371-379.
- Troitzsch, H.J., 1998. Overview of Flame Retardants, Chimica Oggi/Chemistry Today, 16 10.
- Tutuş, A., Kurt, R., Alma, M.H., Meriç, H., 2010. Sarıçam Odununun Kimyasal Analizi ve Termal Özellikleri, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Mayıs, Artvin, Bildiriler Kitabı, 1845-1851.
- URL-1, 2016. <http://www.dieffenbacher.de/en/wood-based-panels/plants/mdf/index.html> 24.04.2016.
- URL-2, 2015. <http://www.kastamonuentegre.com.tr>. 8 Ekim 2015.
- URL-3, 2016. <http://www.flameretardants-online.com/web/en/106/7ae3d32234954e28e661e506e284da7f.htm> 26.04.2016
- URL-4, 2016. <http://www.lkabminerals.com/en/Minerals/Huntite-Hydromagnesite> 12.04.2016.
- URL-5, 2016. http://www.owa.de/docs/pdf/backup/11_900_TR_fire%20protection.pdf 13.04.2016.
- URL-6, 2015. <https://merlab.metu.edu.tr/sites/merlab.metu.edu.tr/files/dokuman/TAL-2014.pdf> 19.10.2015.
- URL-7, 2016. <http://www.lkabminerals.com/en/Products/UltraCarb/> 12.04.2016.
- URL-8, 2015. https://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space#CIELAB 03.12.2015.
- URL-9, 2015. <http://www.coatsindustrial.com/tr/information-hub/apparel-expertise/colour-by-numbers> 03.12.2015.

URL-10, 2016. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Çinko> 14.04.2016.

Ustaömer, D. 2008. Çeşitli Yanma Geciktirici Kimyasal Maddelerle Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunluktaki Liflevhaların (MDF) Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Usta, M., Ustaömer, D., Kartal, S.N. ve Ondaral, S., 2009. Termite Resistance of MDF Panels Treated with Various Boron Compounds, International Journal of Molecular Sciences, 10, 2789-2797.

Ustaömer, D., Usta, M. ve Boran, S. 2006. Bazı Borlu Bileşiklerle Muamele Edilerek Üretilmiş Liflevhaların Spektrofotometrik Yöntemle Renk Değişimlerinin Belirlenmesi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı, 321-325.

Ustaömer, D., Usta, M. ve Hızıroğlu, S., 2008. Effect of Boron Treatment on Surface Characteristics of Medium Density Fiberboard (MDF), Journal of Materials Processing Technology, 199, 1, 440-444.

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

Uysal, B. ve Özçiftçi, A., 2004. The Effects of Impregnation Chemicals on Combustion Properties of Laminated Wood Material, Combustion Science & Technology, 176 1, 117-133.

Wang, Q., Li, J. ve Winandy, E.J., 2004. Chemical Mechanism of Fire Retardance of Boric Acid on Wood, Wood Science Technology, 38, 375-389.

Weber, M., 1999. Mineral Flame Retardants, Overview & Future Trends, Euromin'99, an IMIL Conference, June, Nice, Proceedings, 8-10.

White, H.R., 1997. Fire Testing of Recycled Materials for Building Applications, Forest Products Society, Madison WI, USA.

White, H.R., 1984. Use of Coatings to Improve Fire Resistance of Wood, Reprint from Standart Technical Publication, 826, 24-39.

White, H.R. ve Dietenberger, M.A., 2002. Wood Handbook, Chapter 17: Fire Safety. USDA Forest Service, Forest Product Laboratory, Madison WI., USA.

Xanthos, M., 2004. Functional Fillers for Plastic, NY, Wiley-VCH.

Yalınkılıç, M.K. 2000. Improvement of Boron Immobility in the Borate- Treated Wood and Composite Materials, PhD Thesis.

Yalınkılıç, M.K., 1993. Ağaç Malzemenin Yanma, Higroskopisite ve Boyutsal Stabilité Özelliklerinde Çeşitli Emprenye Maddelerinin Neden Olduğu Değişiklikler ve Bu

Maddelerin Odundan Yıkanabilirlikleri, Doçentlik Tezi, K.T.Ü. Orman Fak. Trabzon.

Yamaguchi, H., 2003. Silicic Acid:Boric Acid Complex as Wood Preservatives, Wood Science Technology, 37, 287-297.

Yıldız, Ü.C., 2006. Odunun Yangından Korunması, Basılmamış Ders Notları, Trabzon.



ÖZGEÇMİŞ

14.08.1990 tarihinde Ankara'da doğdu. İlköğrenimini Manisa/Alaşehir'de, orta öğrenimini Balıkesir/Burhaniye'de tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazandı ve buradaki lisans öğrenimini 2012 yılında tamamladı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlayan Umut Emre BAŞER orta seviyede İngilizce bilmektedir.

