

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAGNEZYUM VE BOR BİLEŞİKLERİ KATKISI İLE ÜRETİLEN ORTA
YOĞUNLUKTA LİF LEVHALARIN (MDF) TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abbas Atahan AY

MART 2025
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MAGNEZYUM VE BOR BİLEŞİKLERİ KATKISI İLE ÜRETİLEN ORTA
YOĞUNLUKTA LİF LEVHALARIN (MDF) TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Abbas Atahan AY

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“ORMAN ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14/ 02 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 14/ 03/ 2025

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Derya USTAÖMER

Trabzon 2025

ÖNSÖZ

“Magnezyum ve Bor Bileşikleri Katkısı ile Üretilen Orta Yoğunlukta Lif Levhaların (MDF) Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tezimin gerçekleştirilmesinde önemli katkıları bulunan, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım danışman hocam Doç. Dr. Derya USTAÖMER’e tüm destek ve yardımlarından dolayı minnetimi ifade etmek isterim.

Bu çalışmada test ve analizlerinin gerçekleştirilmesinde bilgi, destek ve birikimlerinden faydalandığım Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA’ya, Doç. Dr. İbrahim YILDIRIM’a, Doç. Dr. Elif TOPALOĞLU’na, Doç.Dr. Samet DEMİREL’e, Doç. Dr. Mustafa ASLAN’a, Doç.Dr. Dr. Uğur ARAS’a, Arş. Gör. Dr. Abdullah Uğur BİRİNCİ’ye, ve Arş.Gör. Özgenur ERDENER’e de çok teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmam esnasında benden desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Nurgül AY’a, laboratuvar olanaklarını kullanmamı sağlayan Prof. Dr. İsmail AYDIN’a ve Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na da şükranlarımı sunarım.

Çalışmada her zaman desteğini hissettiğim, akademik ve sosyal hayatımda örnek aldığım değerli arkadaşım Dr. Ceyhun KILIÇ’a da teşekkürü bir borç bilirim.

Her anımda koşulsuz sevgi ve desteğini gösteren, sabrıyla, sevgisiyle, güveniyle bugüne kadar çalışmalarına destek veren değerli eşim Tuğçe AY’a, canımdan çok sevdiğim oğlum Tuğhan AY’a ve yeni doğan kızım Tuana AY’a teşekkür eder, sonsuz minnet duygularımı ifade etmek isterim.

Abbas Atahan AY

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Magnezyum ve Bor Bileşikleri İlavesi ile Üretilen Orta Yoğunlukta Lif Levhaların (MDF) Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım 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. 14.03.2025

Abbas Atahan AY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Odun Esaslı Kompozit	2
1.3. Lif Levhalar ve Özellikleri	3
1.3.1. Lif Levha Üretim Süreci	4
1.4. Kalite Özellikleri Açısından Odun Esaslı Levha Ürünleri	7
1.5. Odun ve Odun Esaslı Levhaların Özellikleri ve Koruma Amaçlı Uygulamalar	7
1.5.1. Kimyasal Maddeler ve Levhalarda Uygulanma Yöntemleri	8
1.6. Literatür Çalışmaları.....	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	17
2.1. Materyal.....	17
2.1.1. Hammadde, Tutkal ve Sertleştirici.....	17
2.1.2. Kimyasal Maddeler	17
2.2. Metot.....	20
2.2.1. Levha Üretimi için Tasarım Planı	20
2.2.2. Levhaların Üretimi	21
2.3. Üretilen MDF Levhalarının Özellikleri	22
2.3.1. Fiziksel Özellikler	22
2.3.2. Mekanik Özellikler.....	24
2.3.3. Termal -Yanma Özellikleri	25

2.3.4. Yüzey Özellikleri	27
2.3.5. İstatistiksel Analiz	27
3. BULGULAR	28
3.1. Fiziksel Özellikler.....	28
3.1.1. Yoğunluk	28
3.1.2. Kalınlığına Şişme Oranı	29
3.1.3. Su Alma Oranı.....	30
3.2. Mekanik Özellikler	31
3.2.1. Eğilme Direnci Değerleri	31
3.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	33
3.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci	34
3.3. Termal-Yanma Özellikleri.....	35
3.3.1. Isıl İletkenlik	35
3.3.2. Alev Testi	36
3.3.3. Limit Oksijen İndeksi (LOI)	37
3.4. Yüzey Özellikleri.....	37
3.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü.....	37
3.4.2. Yüzey Sertliği.....	40
4. TARTIŞMA.....	42
4.1. Fiziksel Özellikler.....	42
4.1.1. Yoğunluk	42
4.1.2. Kalınlığına Şişme Oranları.....	43
4.1.3. Su Alma Oranları	43
4.2. Mekanik Özellikler	44
4.2.1. Eğilme Direnci	44
4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	45
4.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci	46
4.3. Termal-Yanma Özellikleri	48
4.3.1. Isıl İletkenlik	48
4.3.2. Alev Testi (UL-94).....	49
4.3.3. Limit Oksijen İndeksi (LOI)	51
4.4. Yüzey Özellikleri.....	52
4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü.....	52

4.4.2. Yüzey Sertliği:.....	55
5. SONUÇLAR.....	56
5.1. Fiziksel Özellikler.....	56
5.1.1. Yoğunluk.....	56
5.1.2. Kalınlığına Şişme Oranları.....	56
5.1.3. Su Alma Oranları	56
5.2. Mekanik Özellikler	56
5.2.1. Eğilme Direnci	56
5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	57
5.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci	57
5.3. Termal-Yanma Özellikleri.....	57
5.3.1. Isıl İletkenlik	57
5.3.2. UL-94	57
5.3.3. Limit Oksijen İndeksi (LOI)	58
5.4. Yüzey Özellikleri.....	58
5.4.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	58
5.4.2. Yüzey Sertliği.....	58
6. ÖNERİLER	59
7. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

MAGNEZYUM VE BOR BİLEŞİKLERİ KATKISI İLE ÜRETİLEN ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHALARIN (MDF) TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Abbas Atahan AY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Derya USTAÖMER
2025, 66 Sayfa

Bu çalışmada, magnezyum ve bor içerikli bileşiklerin tutkala ilave edilmesiyle orta yoğunlukta lif levhalar (MDF) üretilmiş ve bu levhaların bazı özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir. Magnezyum bileşikleri hem tek olarak hem de çinko borat, borik asit ve sodyum perborat tetrahidrat ile karışım halinde hazırlanarak üre formaldehit (ÜF) tutkalına karıştırılmış ve MDF levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında hazırlanan MDF levha örneklerinin bazı mekanik, fiziksel, yanma-termal ve yüzey özellikleri üzerinde bu maddelerin etkisi test edilerek araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; MDF levha örneklerinin araştırılan özellikleri üzerinde, kullanılan kimyasal madde türünün ve karışımların etkisi olduğu bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, magnezyumlu bileşiklerin tek başına veya bor ile birlikte uygulanmasının MDF levhalarının incelenen özellikleri üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Bu maddelerin tutkala ilavesiyle levha örneklerinin mekanik, fiziksel ve yüzey özelliklerinde iyileşmeler gözlemlenirken, yanmaya karşı dayanımları artmış ve termal iletkenlik değerleri değişim göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: MDF, magnezyum bileşikleri, bor bileşikleri, teknolojik özellikler

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MEDIUM DENSITY
FIBERBOARDS (MDF) PRODUCED WITH ADDITION OF MAGNESIUM AND
BORON COMPOUNDS

Abbas Atahan AY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Fiber and Paper Technology Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Derya USTAÖMER
2025, 66 Pages

In this study, Medium Density Fiberboard (MDF) panels were produced by incorporating magnesium- and boron-containing compounds into the resin, and changes in the properties of these panels were determined. Magnesium compounds were prepared both individually and in combination with zinc borate, boric acid, and sodium perborate tetrahydrate, then mixed into urea-formaldehyde (UF) adhesive for MDF production. After production, the effects of these chemicals on certain mechanical, physical, combustion-thermal, and surface properties of the MDF samples were tested and analyzed. The results indicated that the type of chemical compound and mixtures used had an impact on the investigated properties of the MDF samples. As a result of this study, the application of magnesium compounds either alone or in combination with boron positively influenced the studied properties of the MDF panels. With the addition of these chemicals to the resin, improvements were observed in the mechanical, physical, and surface properties of the board samples, while their fire resistance increased and thermal conductivity values varied.

Key Words: MDF, magnesium compounds, boron compounds, technological properties

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Tek katlı sıcak pres	22
Şekil 2. Alev testi.....	26
Şekil 3. LOI Cihazı.....	27
Şekil 4. Levha gruplarının yoğunluk değerleri	42
Şekil 5. Levha gruplarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerleri	43
Şekil 6. Levha gruplarının 24 saat süre ile su alma değerleri	44
Şekil 7. Levhaların eğilme direnci değerleri.....	45
Şekil 8. Levha gruplarının elastikiyet modülü değerleri.....	46
Şekil 9. Levha gruplarının yüzeye dik çekme direnci değerleri	47
Şekil 10. Levha gruplarının ısı iletkenlik değerleri	48
Şekil 11. Levha gruplarının ağırlık kaybı	49
Şekil 12. Levha gruplarının örnek kalan kısım oranları	50
Şekil 13. Levha gruplarının LOI değerleri.....	51
Şekil 14. Levha gruplarının Ra değerleri.....	53
Şekil 15. Levha gruplarının Rq değerleri.....	53
Şekil 16. Levha gruplarının Rz değerleri.....	54
Şekil 17. Levha gruplarının yüzey sertlik değerleri.....	55

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Levhaların adlandırması ve kimyasal içerikleri.....	21
Tablo 2. Levha testleri	21
Tablo 3. Yoğunluk değerleri	28
Tablo 4. Yoğunluk değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları	29
Tablo 5. 24 saat süre için kalınlığa şişme değerleri	29
Tablo 6. 24 saat kalınlığına şişme oranlarına ait BVA ve Duncan testi sonuçları.....	30
Tablo 7. 24 saat süre için su alma değerleri.....	30
Tablo 8. 24 saat su alma oranlarına ait BVA ve Duncan testi sonuçları	31
Tablo 9. Eğilme direnci değerleri	32
Tablo 10. Eğilme direnci değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları.....	32
Tablo 11. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri	33
Tablo 12. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçlar	33
Tablo 13. Yüzeye dik çekme direnci değerleri	34
Tablo 14. Yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları	35
Tablo 15. Isıl iletkenlik değerleri.....	36
Tablo 16. UL-94 testi levha ağırlık kaybı değerleri.....	36
Tablo 17. UL-94 gözlemsel sonuçları	37
Tablo 18. LOI değerleri	37
Tablo 19. Ra, Rq ve Rz değerleri.....	38
Tablo 20. Ra değerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları	38
Tablo 21. Rq değerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları	39
Tablo 22. Rz değerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları	39
Tablo 23. Yüzey sertlik değerleri.....	40
Tablo 24. Yüzey sertlik değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları.....	41

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BA	: Borik Asit
BVA	: Basit Varyans Analizi
ÇB	: Çinko Borat
EN	: Avrupa Standartları
HDF	: High Density Fiberboard (Yüksek Yoğunlukta Lif Levha)
İYA	: İğne Yapraklı Ağaç
KŞ	: Kalınlığına Şişme
LDF	: Light Density Fiberboard (Düşük Yoğunlukta Lif Levha)
LOI	: Limiting Oxygen Index (Limit Oksijen İndeksi)
MDF	: Medium Density Fiberboard (Orta Yoğunlukta Lif Levha)
MH	: Magnezyum Hidroksit
MKH	: Magnezyum Klorür Hekzahidrat
MÜF:	: Melamin Üre Formaldehit Tutkalı
OSB	: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga levha)
SA	: Su Alma
SPT	: Sodyum Perborat Tetrahidrat
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ÜF	: Üre Formaldehit Tutkalı
YA	: Yapraklı Ağaç

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Orman endüstrisi, giderek büyüyen üretim kapasitesi ile dünyada ve ülkemizde diğer endüstri grupları arasında önemli bir konuma ulaşmıştır. Mobilya, kâğıt ve levha sektörleri öncelikli olmak üzere gerçekleşen bu büyüme oranı çeşitli sosyolojik etmenlerin de etkisiyle ivme kazanmıştır. Bu bağlamda, levha sektörü geniş kullanım alanı ve üretim esnekliği sayesinde öne çıkan endüstri dallarından biri olarak dikkat çekmektedir. Mobilya ve diğer endüstrilere yönelik ürün çeşitliliği sunabilmesi, istenilen nitelikte ürün üretebilme kolaylığına sahip olabilmesi bu sektörün stratejik önemini artırmaktadır. Odun esaslı levha endüstrisini bu anlamda üst sıralara taşıyan temel alan ise lif levha sektörüdür.

Odun esaslı levha sektörü, büyük ölçüde odun hammaddesine bağımlı bir yapıya sahip olmakla birlikte, artan talebi karşılamak amacıyla alternatif hammadde kaynaklarının kullanımına yönelme eğilimindedir. Bu bağlamda, odun esaslı kompozit levha kavramı çerçevesinde, çeşitli atık malzemelerin değerlendirilmesi sürdürülebilir bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte, yapılan araştırmaların büyük bir bölümü, istenen niteliklere sahip levhalar üretmek için üretim süreçlerine müdahale ederek ürünlerin performansını artırmaya odaklanmıştır.

Orta yoğunlukta liflevhalar(MDF) lignoselülozik liflerden üretilen endüstriyel bir üründür. Liflevhalar masif odunla kıyaslandığında kolay işlenebilirlikleri, levha boyunca olan direnç özelliklerinin homojenliği gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Deus vd., 2018). Ayrıca, levha özelliklerinin çeşitli işlemlerle istenilen düzeye getirilebilmesi bu levha grubunu, diğer odun esaslı levhalara kıyasla daha avantajlı hale getirmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Ancak tüm odun esaslı levha gruplarında olduğu gibi lif levhaların da çeşitli dezavantajlı özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Liflevhalar, odun ve diğer odun esaslı levhalarda olduğu gibi yanmaya uygun ortam oluştuğunda kolayca tutuşup hızlıca yanabilmekte, gerekli koruma işlemleri uygulanmadığında can ve mal güvenliğini tehdit edebilmekte dolayısıyla da kullanım yerleri açısından risk oluşturabilmektedir. Yapı ve iç mekân malzemelerinin kullanımı açısından bakıldığında yanma oldukça önem verilmesi gereken hayati bir konudur. Bu nedenle, lignoselülozik yapıdaki malzemelerin yapılarda

kullanılabilmesi için özellikle yanma dayanımlarının alev geciktirici kimyasallarla ve uygulamalarla güçlendirilmesi gerekmektedir (Ustaömer, 2008).

Bu çalışmada, özellikle yanmayı geciktirici özellikleriyle öne çıkan magnezyum ve bor bileşiklerinin birlikte kullanımının etkisi incelenmiştir. Bu kimyasal bileşikler, tek veya karışım halinde hazırlanarak tutkal içerisine karıştırılmış ve bu yöntemle üretilen MDF levhalarının mekanik, fiziksel, yüzey ve yanma-termal özelliklerindeki değişimler ayrıntılı bir şekilde araştırılarak değerlendirilmiştir.

1.2. Odun Esaslı Kompozitler

Kompozit grubu içerisinde sınıflandırılan ve lignoselülozik yapıdaki çeşitli hammaddelerin (odundan elde edilen yongalar, lifler ve çeşitli parçacıkların vb.) tutkallama yapılarak ve ilave koruyucu kimyasallar kullanılarak bir araya getirilmesiyle üretilen ürünler odun esaslı kompozitler olarak adlandırılmaktadır. Giderek değişen ve gelişme gösteren teknolojik süreç ile birlikte kompozit malzeme kullanım alanları ve buna bağlı olarak da malzeme çeşitliliği artış göstermiştir. Bu kompozitler genel olarak üretim sürecine göre şekillendirilebilen malzemelerdir. Özellikle odun esaslı kompozitlerde süreçte uygulanan değişikliklerle negatif özelliklerin iyileştirilmesi önemli bir avantaj sağlayan bir durumdur. Odun esaslı kompozitler, özelliklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır (Güller, 2001).

LDF, MDF, HDF, izolasyon amaçlı levhalar, MDF-lam, etiket ve şerit yonga levhalar, OSB, kontrplak, kontrtabla odun esaslı kompozit levha ürünleri arasında en çok bilinen ve tercihen en çok kullanılan ürünlerdir. Yapısal özelliklerine göre adlandırılan kompozit ürünler arasında glulam, CLT, PSL, LVL, LSL ve OSL gibi mühendislik ürünleri yer almaktadır. Ayrıca, çimentolu yonga levhalar, odun plastik kompozitleri, polimer bağlayıcılı kompozitler, nano kompozitler ve biyokompozitler gibi farklı esaslara göre sınıflandırılan kompozit türleri de bulunmaktadır (Güller, 2001).

1.3. Lif Levhalar ve Özellikleri

Lif levhalar, odun esaslı levha ürünleri içerisinde büyük bir öneme sahip levha grubudur. Lif levhanın genel tanımlaması, odun ve/veya diğer lignoselülozik yapı gösteren lifli materyallerin yapışma ve keçeleşme özelliklerinden yararlanılarak, farklı ilave yapıştırıcıların da kullanılması ile oluşturulmuş levha taslaklarının preslenerek ve/veya kurutularak son ürün levha haline dönüştürülmesini kapsamaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000).

Lif levhalar için standartlarda farklı sınıflandırmalar olsa da genel olarak, bu levhalar özgül ağırlıklarına göre ifade edilmektedir ve buna göre şu üç ana gruba ayrılmaktadır;

- 0.80 g/cm³'den büyük olanlar yüksek yoğunlukta lif levhalar (HDF) olarak adlandırılır.
- 0.35 g/cm³-0.80 g/cm³ arası olanlar orta yoğunlukta lif levhalar (MDF) olarak adlandırılır.
- 0.35 g/cm³'den daha düşük olanlar, düşük yoğunlukta lif levhalar (LDF) olarak adlandırılır (Eroğlu ve Usta, 2000).
- Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF)

Orta yoğunlukta lif levha (MDF), homojen yapısı, her iki yüzünün de düzgün olması, kullanım yeri çeşitliliği ve uygunluğu, kolay işlenebilmesi, zımpara istememesi, doğal oduna kıyasla daha geniş mobilya dizayn imkânı vermesi ve doğal masif malzemenin sahip olduğu üstün özellikleri de göstermesi sebebiyle giderek artan üretim kapasitesi ile masif malzemenin yerine kullanılmaktadır. Mobilya sektöründen iç dekorasyona, inşaat ve yapı ambalaj sektörüne kadar çeşitli alanlarda hem işlevselliği yönüyle hem de estetik görünümü sebebiyle tercih edilmektedir. Bu levha grubunun özellikle mobilya aksamaları, binaların iç bölmeleri, taban ve tavan döşemeleri, mutfak dolaplarının parçaları olarak kullanılmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000; Güller, 2001). MDF, geniş yüzey işleme seçenekleri ve kaplama malzemeleri ile kaplanabilme özelliğiyle dikkat çeker. Bu özellikler sayesinde MDF, mobilya ve iç dekorasyon alanında kullanıldığı gibi, çeşitli endüstriyel uygulamalarda da tercih edilmektedir. Ayrıca, yüksek vida tutma kabiliyetine sahiptir ve bu yönüyle montaj işlemleri açısından uygundur (Ayrılmış, 1999).

1.3.1. Lif Levha Üretim Süreci

Lif levha üretimi için uygulanan yöntemler; kuru, yarı kuru ve yaş yöntemler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Levha endüstrisi açısından bakıldığında bu üç yöntemden kuru yöntem ve yaş yöntem tercihen daha yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu iki yöntem kıyaslandığında, yaş yöntemin daha yüksek üretim maliyetlerine sahip olması, atık suların arıtılması için daha fazla yatırıma gereksinim duyulması, uzun presleme süresi ve daha fazla enerji tüketimi gibi çeşitli nedenlerden dolayı levha üretiminde genellikle kuru yöntem tercih edilmekte ve üretimler bu yöntemle gerçekleşmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Hammadde

İğne yapraklı ve yapraklı ağaçlardan elde edilen odunlar, lif levha üretiminin temel hammaddeleri arasında yer almaktadır. YA odun hammaddesi, düşük maliyeti ve temin kolaylığının yanı sıra; yüksek yoğunluğa sahip yapısı sayesinde birim hacime göre daha fazla lif elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, yüzeyi daha düzgün levhaların üretilmesi açısından da avantaj sunmaktadır. İYA odun hammaddesi ise uzun lif yapısının etkisi ile yüksek direnç özelliklerine sahip levhaların üretiminde kritik bir rol oynamaktadır. Lif levha üretim açısından kullanılan hammadde kaynakları genel olarak kâğıt için ayrılan odun, kalitesi daha düşük odun (orman bakım/aralama kesimi sonucu) ve endüstriyel atıklardan oluşmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Kabuk Soyma

Düşük yoğunluğu ve kısa lif yapısı nedeniyle hammadde olarak, kabuğun kullanımı lif levhaların direnç özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, kabuk varlığı pH seviyelerini bozarak pH kontrolünü zorlaştırır. Kabuklar, levhaların yüzey kalitesini düşürür ve içerisinde bulunabilecek yabancı maddeler (kum, taş parçaları vb.) yongalama bıçaklarını aşındırarak üretim sürecini olumsuz etkiler. Bu nedenlerle, kabuklar genel olarak lif levha üretiminde istenmeyen bir malzeme olarak kabul edilmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Yongalama ve Yonga eleme

Hammadde olarak kullanılacak odunun buharlama ve liflendirme işlemlerini kolaylaştırmak ve etkinleştirmek amacıyla yongalama işlemi yapılır.

Liflendirme işleminde kaliteli lif üretimi ve lif veriminin yüksek olabilmesi için bu aşamanın düzenli ve iyi bir şekilde tamamlanması gerekir. Bu amaçla yongalamada, lif

ezilmesi, zedelenmesi gibi durumlar olmamalı ve düzenli yonga kalınlığı sağlanmalıdır. Ancak, yongaların kalınlık ve boyutlarının artması, kırıntı liflerin artmasına ve liflendirme sürecinin zorlaşmasına neden olur. Bu aşamada çeşitli yongalama makineleri kullanılır. Bu makinelerin çalışma prensipleri itme, kesme ve kırma etkilerine dayanmaktadır. Yongalama işlemi tamamlandıktan sonra, yongalar depolanır ardından eğimli ve sallantılı elekler veya düz silindirik elekler kullanılarak elenir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Liflendirme

Kuru yöntemle üretilecek lif levha üretim aşamalarında, liflendirme işlemi defibratörler kullanılarak gerçekleştirilir. Lif kalitesinin artışı sağlamak ve belirli standartları karşılamak için yongaların, dönen, ters yönde yerleşmiş iki disk arasından geçirilmesi gerekmektedir. Yongalar, defibratörün diskleri arasına düzenli şekilde verilmelidir. Böylece, lif kalitesi ve lif kapasitesinde dalgalanmaların olması önlenir. Liflendirme, Bauer liflendiricisinde buhar basıncı olmadan uygulanırken, defibratörün liflendirme kısmında ise buhar basıncı uygulanarak diskli rafinörle yapılmaktadır. Yonganın defibratöre giriş rutubeti %100 iken defibratörden liflerin çıkış oranı %55'tir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Tutkallama

Liflendirme aşaması sonrası odun lifleri, tutkallama için ilgili üniteye yönlendirilir. Üretim sürecinin gerekliliklerine bağlı olarak, iki farklı tutkallama yöntemi uygulanabilir. Bu iki yöntemden biri; püskürtme yöntemine dayalı, kurutma işlemine geçmeden önce yapılan tutkallama yöntemidir. İkinci yöntem ise, kurutma ardından yapılan püskürtme yöntemidir. Lif levhanın kuru yöntemle üretilmesinde; odun liflerinde bulunan doğal bağların gücünü artırmak için, genellikle %8-11 oranları aralığında çeşitli tutkallar ilave edilmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Lif kurutma

Tutkal, sertleştirici, hidrofobik madde ve diğer katkı maddelerin ilavesinin ardından hazırlanan lifler kurutucu kısmına yönlendirilir. Lifler kurutulurken, eklenen tutkalın kurutma sürecinde kondenzasyona sebep olmaması için kurutma süresi titizlikle belirlenmelidir. Lifler kurutucuya yaklaşık %50 rutubetle girerler ve genellikle %6-12 rutubet aralığına kadar kurutulmaları gereklidir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Serme ünitesi

Kurutmada istenilen rutubete gelen lifler serme kısmına gönderilir. Bu kısım lif levha üretiminin homojen bir formasyona sahip olması açısından önemli bir ünite. Pnömatik

taşınan lifler serme başlıkları yardımıyla serme makinesinde serilirler. Üzerinde serme yapılan elek altında aynı zamanda vakumda uygulanır ve bu durum taslakta formasyonun daha düzgün olmasına katkıda bulunur. Levha taslak oluşumu, formasyon bandında liflerin homojen yapılı keçe oluşturması ile gerçekleşir (Eroğlu ve Usta, 2000). Sermenin düzgün ve homojen olması lif levhaların başta yoğunluk olmak üzere fiziksel, mekanik özelliklerinde değişmelere neden olmaktadır (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Liflerin serme işlemi üç yöntem ile yapılabilmektedir. Bu yöntemler; mekanik serme, hava ile pnömatik serme, hava ve mekanik kombine yöntemlerdir.

- Ön presleme

Bu presleme işlemi, levha taslağını istenilen kalınlığa indirerek sıcak pres kapanma süresini azaltmak, presin kapanması esnasında meydana gelen hava akımının taslak yüzeyini bozmasını önlemek ve yan alma işlemleri sırasında oluşan kayıp miktarlarını minimum düzeyde tutmak amacıyla yarı kuru ve kuru yöntemle levha üretiminde yapılan bir ön işlemdir. Bu işlem üretim sürecini daha verimli hale getirir. Bu sayede levha üretiminde daha tutarlı ve kaliteli sonuçlar elde edilir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Sıcak presleme

Üretim sürecinin bu aşamasında, levha taslağı yapışma için gerekli olan basınç sağlanarak, istenen kalınlığa kadar sıkıştırma işlemi yapılarak sıcaklık altında şekillendirilir. Bu aşamada taslak tutkalın sertleşmesi için gereken sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Kuru sistem ile üretilen levhalar için levha rutubeti %6-12 arasındadır. Bu işlem, genellikle katlı veya sonsuz presler gibi özel ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilir (Eroğlu ve Usta, 2000). Levha malzemesinin türü, presin sıcaklık ve basınç değerleri, presleme süresi, pres makinesinin kapanma hızı ve malzemenin rutubet oranı gibi çeşitli faktörler levha kalitesini etkilemektedir. Sıcak presleme esnasında, dayanıklı ve kaliteli levhaların üretimi için birçok parametrenin kontrol edilmesi ve ayarlanması gerekmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Soğutma işlemi

Lif levhaların üretim sürecinde, levhaların yüksek sıcaklıklardan dolayı soğutulması işlemi büyük önem taşır. Bu işlem genellikle levhaların üretim sonunda, hala yüksek sıcaklıklarda oldukları için gerçekleştirilir. Yüksek sıcaklık, levhaların istenmeyen şekilde deformasyona uğramasına veya çarpılmasına neden olabilir. Bu nedenle, yıldız soğutucular gibi özel ekipmanlar kullanılarak levhaların hızla soğutulması sağlanır. Soğutma işlemi,

levhaların son kalitesini ve düzgünlüğünü sağlamak için önemli bir adımdır (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Zımparalama ve depolama

Bu aşamada, lif levhalar soğutuculardan çıkarılmakta ve dinlenmeleri için depolanmaktadır. Ardından, kalınlık farklılıklarının giderilmesi, yüzey pürüzlülüklerinin düzeltilmesi için zımparalanır. Bu aşama aynı zamanda levhaları kalite sınıflarına göre sınıflandırılmasını da içerir. Levhalar, kalite sınıfı ve özelliklerine göre gruplandırılır ve istiflenirler. Bu aşama, lif levhaların nihai kalite ve düzgünlüğünü sağlayarak ürünlerin hazır hale gelmesine katkıda bulunan gerekli bir aşamadır (Eroğlu ve Usta, 2000).

1.4. Kalite Özellikleri Açısından Odun Esaslı Levha Ürünleri

Odun esaslı levhaların(liflevha, yongalevha) üretim sürecinde levhanın kalitesi lif ve yonga türlerinin morfolojik özelliklerinden direkt etkilenmektedir. Bu bakımdan, farklı hammadde kaynaklarından elde edilen yonga ve liflerin morfolojik özelliklerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Odun hammaddesinden elde edilen lifler, diğer lignoselülozik liflere göre daha uzun ve geniş olduklarından, bu liflerle üretilen levhaların kalite standartları genellikle diğer levhalara kıyasla daha üstündür. Ayrıca, üretim sürecinde kullanılacak tutkalın miktarı ve türü de levhanın kalite performansını etkileyen önemli faktörlerdir (Arslan vd., 2007).

Odun esaslı levha üretiminde yoğunluk da önemli bir parametredir ve levha kalitesini etkilemektedir. Kullanım amacı ve yerine göre uygun yoğunluk seçimi yapılabilir. Lifler, hidrofobik özellik taşıyan parafin waks gibi çeşitli maddelerle işleme tabi tutulmaktadır. Lif levhaların su alma ve kalınlığına şişme oranları; kullanılan odun türü, tutkal tipi, lif boyutları, yoğunluk, kabuk oranı, katkı maddesi türü ve katkı maddesinin miktarı, üretim parametreleri (pres basıncı, sıcaklık ve süresi) gibi çeşitli faktörler ile değişmektedir (Göker vd., 2004).

1.5. Odun ve Odun Esaslı Levhaların Özellikleri ve Koruma Amaçlı Uygulamalar

Odun hammaddesi, kolay işlenebilmesi, çevre dostu özellikleri ve estetik yapısı sebebiyle birçok yapısal uygulamada tercih edilmekte olan çok yönlü bir malzemedir.

Ancak bu malzemenin dezavantajlı özelliklerinden biri, açık hava koşullarında çeşitli çevresel faktörlerin (güneş ışığı, rüzgar, nem, sıcak-soğuk, çeşitli kimyasallar vb.) ve biyolojik faktörlerin etkisiyle bozunmalarıdır (Ozgenç vd., 2013). Odun esaslı levha ürünleri de dış ortamda kullanılmaları durumunda bu ortamlarda oluşabilecek nemin ve biyolojik zararlıların olası etkilerine karşı uygun koruyucu önlemlerle dayanıklı hale getirilmelidir. Bu amaçla uygulanan tüm koruyucu işlemler, malzemelerin mekanik ve diğer özelliklerini de doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla bu işlemler, malzemelerin dayanıklılığını artırmak ve uzun ömürlü olmalarını sağlamak amacıyla özenle uygulanmalıdır. Bu kompozit ürünlerde yapılan koruyucu müdahaleler ile kullanım amacına uygun olarak bu levhaların kalite özellikleri iyileştirilmektedir (Gardner vd., 2003).

Odun esaslı malzemelerin bir diğer dezavantajlı özelliği ise yüksek sıcaklık ve alev maruz kaldıklarında tutuşarak kolaylıkla yanabilmeleridir (Çolak vd., 2002). Yüksek sıcaklık ve ortamın uygun olduğu durumda başlayan yanma, odunun yapısında kalıcı bozunmalara neden olabilir. Odunun yapısındaki ana hücre çeperi bileşenleri odun esaslı malzemenin yanmaya karşı gösterdiği direnci etkilemektedir (Ellis ve Rowell, 1989; Grexa, 2000; Ustaömer, 2008)

Yanmayı geciktirici amaçla uygulanan işlemler, alevlerin odun esaslı malzemenin yüzeyi boyunca yayılma hızını ve ortaya çıkan ısı miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak bazı alev geciktirici (FR) işlemlerin, uygulandıkları malzemedeki olumlu yanma direnci etkilerinin yanı sıra diğer kalite özellikleri üzerinde de bazı istenmeyen etkileri oluşabilmektedir. Bu etkilerden bazıları; nem içeriğindeki artış, mukavemet değerlerinde azalma ve metal bağlantı elemanlarında korozyon riskinin artması şeklinde olabilir. Bu etkilerin büyüklüğü, kullanılan alev geciktirici kimyasalların türüne bağlıdır ve ürünün kullanım amacına göre bu kimyasalların malzemedeki etkilerinin önemi değişiklik gösterir (LeVan ve Winandy, 1990).

1.5.1. Kimyasal Maddeler ve Levhalarda Uygulanma Yöntemleri

Odun esaslı kompozit levhalarda levha özelliklerini iyileştirebilmek ve bu malzemelerde karşılaşılan problemleri en aza indirebilmek amacıyla çeşitli ilave kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu koruyucu maddeler farklı etki mekanizmalarıyla farklı

malzemelerin suya, rutubete, biyolojik etkilere ve yanmaya karşı dayanımlarını iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bu bağlamda koruyucu maddeler grubu içerisinde yer alan ve özellikle malzemelerin yanma davranışını iyileştirmek amacıyla kullanılan bazı yanma geciktirici kimyasal maddeler, genel özellikleriyle aşağıda kısaca ele alınmıştır.

Bilindiği üzere, polimerler ve odun lifleri organik yapıda oldukları için aleve karşı hassastır ve bu kompozit ürünlerde alev geciktiriciliğin artırılması güvenlik açısından oldukça önemlidir. Yanma süreci; ısınma, bozunma, tutuşma, yanma ve yayılma olmak üzere beş temel aşamadan oluşmaktadır. Alev geciktirici özellik, bu aşamaların herhangi birinde yanma sürecinin kesintiye uğratılmasıyla sağlanabilir. Bu amaca yönelik uygulanan en kolay ve bilinen yöntem yanmanın belirli bir aşamasında müdahale edilmesine olanak sağlayan alev geciktirici maddeleri kullanmaktır. Bu amaçla; inorganik bileşikler, halojenli ve fosforlu bileşikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca borik asit, amonyum fosfatlar, boratlar, çinko klorür ve antimon oksit gibi maddeler de alev geciktirici olarak uygulanmaktadır. Kullanılan yanma geciktiricilerin etkisi katı, sıvı veya gaz fazlarında fiziksel veya kimyasal yollarla gerçekleşir (Sain vd., 2004)

Alev geciktirici bir kimyasal ile işleme tabi tutulmuş ahşap, kimyasalın etkisiyle yanmayı önlemeye yardımcı olur. Halojenli alev geciktiriciler etkili FR'ler olmakla birlikte, çevre üzerindeki etkileri sebebiyle kullanımları giderek kısıtlanmaktadır. Ahşap malzemeyi koruma amacıyla kullanılan alev geciktiriciler genellikle azot, fosfor veya bor içermektedir. Aleve dayanım kazandırılmış ahşap malzemeler; amonyum fosfat, melamin-fosforik asit, diğer fosforik amin bileşikler uygulanarak hazırlanmakta ve böylece yangın esnasında ahşap yüzeyinde kömür tabakası oluşumu hızlandırılmaktadır (Guo vd., 2018).

Genel olarak yangına dayanıklı odun esaslı panellerde, çinko borat, amonyum polifosfat, amonyum dihidrojen fosfat, diamonyum fosfat, borik asit, boraks, alüminyum sülfat, alüminyum trihidrat, magnezyum hidroksit, amonyum sülfat, amonyum borat, üre, guanidin fosfat ve guanil üre fosfat gibi fosfor, azot, çinko, bor ve/veya alüminyum içeren çeşitli bileşiklerle yapılan işlemlerle hazırlanmaktadır (Mantanis vd., 2018). Borik asit ve boraks gibi bor bileşikler, ahşap/selülozik ürünler ve kaplamalar için iyi bilinen yangın geciktiricilerdir. Ancak, çinko boratlar, amonyum pentaborat, melamin borat, bor fosfat ve diğer bor türevlerinin polimerlerde kullanımı ancak 1990'ların başından itibaren belirgin hale gelmiştir. Son yıllarda, bor nitrür ve borik asit türevleri yangın geciktirici olarak

önemli ölçüde ilgi görmüştür. Bor bazlı alev geciktiriciler, özellikle son yıllarda kapsamlı bir şekilde incelenmeye başlanmıştır (Shen vd., 2021).

Metal hidroksitler, genellikle alüminyum veya magnezyum bazlıdır. Özellikle alümina trihidrat ile magnezyum hidroksit yanma sırasında oluşan dumanı bastırmak için alev/yanma geciktirici (FR) sistemlerde kullanılmaktadır (Liang vd., 2017). Hem alüminyum hem de magnezyum, hidratlı bileşikler şeklinde kullanıldığında daha etkilidir (Stark vd., 2010).

Tüm alev geciktiriciler arasında, inorganik kimyasal maddeler özellikle düşük toksisite, yanma sırasında düşük duman emisyon ve düşük maliyet gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Bu kimyasallar içerisinde ise doğada bol miktarda bulunan magnezyum klorür bileşikler ($MgCl_2 \cdot xH_2O$) özellikle güçlü alev geciktirici özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir (Wu vd., 2014).

Sözkonusu kimyasal maddeler ve diğer tüm koruyucu kimyasal maddeler farklı malzemelere çeşitli yöntemlerle uygulanabilmektedir. Genel olarak, odun esaslı kompozitlerin (liflevha, yongalevha, vb.) üretimi esnasında kullanılan koruyucu maddelerin uygulanma yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Lif veya yongaların üretim aşaması öncesinde kimyasallar ile muamele edilmesi,
2. Levhaların üretim prosesinden sonra ilave kimyasal maddeler ile muamelesi,
3. Kimyasalların tutkallama esnasında ilave edilmesi,
4. İlave kimyasalları levha taslak yüzeylerine püskürtme (Gezer vd., 2003; Ustaömer, 2008).

Odun esaslı kompozit levhaların üretim öncesi çeşitli koruyucu maddelerle muamelesinin bazı avantajları söz konusudur. Buna göre malzemeye bu ön koruyucu işlemin yapılması nihai ürün maliyetlerinde azalmaya sebep olur. Ayrıca, özellikle masif malzemede yüzey uygulamalarında karşılaşılan malzeme yüzeyinde kimyasal kalıntılarının kalması problemi olmadığından levha bünyesinde kimyasal uygulama daha etkin gerçekleşir ve ürün kalitesi yükselir (Gezer vd., 2003). Kimyasal madde uygulanmasında, en fazla tercih edilen yöntemin bu maddelerin tutkal veya vaksa karıştırılması olduğu, ancak bu yönteminde tutkal bağlanması açısından bazı sorunlara sebep olduğu ve bundan dolayı kimyasalın etkinliğini azaltabileceği bildirilmiştir (Laks ve Palardy, 1993).

1.6. Literatür Çalışmaları

Farklı selülozik hammaddeler, odun, odun esaslı kompozitler ve diğer kompozit türlerinin çeşitli kimyasal maddelerle yanma özelliklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda diğer teknolojik özelliklerinde de bu maddelerin etkilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Chiu ve Wang (1998), bir çalışmalarında FR (yanma geciktirici) bir kimyasal madde olan magnezyum hidroksit ile polipropilenin yanma özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla gerilme mukavemeti, limit oksijen indeksi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, amonyum polifosfat katkısı içeren polipropilenin etkili bir alev geciktirici performans sergilediğini ve bununla birlikte daha yüksek düzeyde CO₂ konsantrasyonu ile duman yoğunluğu oluşturduğunu ortaya koymuştur. Buna karşın, magnezyum hidroksitin polipropilene eklenmesiyle oluşan duman yoğunluğu ile CO₂ oranı azalmış ve alev geciktirici etkinlik artmıştır. Sonuç olarak, magnezyum hidroksit katkısının, polipropilenin tutuşma özelliğini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Baysal vd. (2005), yaptıkları çalışmada yanmayı geciktirici özelliklere sahip çeşitli bileşenlerle gerçekleştirdiği çalışmalarında, sarıçam odununu farklı ticari kimyasal emprenye maddeleriyle işleyerek higroskopik özelliklerini karşılaştırmıştır. Diamonyum fosfat, amonyum sülfat, boraks ve borik asit karışımı ile yaptıkları denemelerde higroskopisiteyi en fazla alüminyum sülfatın ve diamonyum fosfatın artırdığını, buna karşılık parafin ilaveli borik asit/boraks karışımı ile en düşük artış oranının elde edildiğini belirtmiştir.

Kılınç ve Bayram (2006), yaptıkları çalışmada, yanma direnci sağlamak amacıyla, propilen (PP)'e farklı oranlarda magnezyum hidroksit, dekabromodifenil oksit, antimon trioksit, çinko borat ile metal karışımları ilavesiyle kompozit üretimi gerçekleştirmiş ve bu kompozit levhaların yanma ve dayanım özelliklerini belirlemiştir. Çalışmaları sonucunda, %40 oranında kimyasal madde ilavesinin kompozit örneklerin mekanik değerlerinde çok belirgin bir düşmeye sebep olmadığını ve bu maddelerin PP'nin yanma özelliklerini iyileştirdiklerini rapor etmiştir.

Mostashari ve Moafi (2008), bir çalışmasında magnezyum klorür heksahidratın (MgCl₂·6H₂O) pamuklu kumaşlarda alev geciktirici olarak kullanım etkilerini araştırmış ve bu madde ile alev geciktirici olarak olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Nagieb vd. (2011), yaptıkları çalışma ile hammadde olarak testere atıkları kullanmış ve bu atıklardan elde edilen lifleri, ÜF tutkalı ve üç konsantrasyonda (%0,5, %1, %5) yanma geciktirici maddeler (boraks ve borik asit) ile birlikte levha üretiminde kullanmıştır. Çalışma sonucunda, levhaların su alma kapasitesinde ve eğilme direncinde azalma gözlemlenirken, yanma direnç performanslarının arttığı belirlenmiştir. En yüksek yangın dayanımı ise borik asit ve boraksın yüksek oranda kullanıldığı kombinasyon ile elde etmiştir.

Esmail vd. (2001), yaptıkları çalışmada selülozik liflere yangın geciktirici olarak magnezyum klorür heksahidrat eklenmesinin etkisini araştırmıştır. İlk olarak, selülozik malzemenin ayrışma kinetiği incelenmiştir. Daha sonra tekstil kumaşlar, farklı konsantrasyonlardaki magnezyum klorür heksahidrat tuz çözeltilerine daldırılmış ve bu örneklerde kütle kaybı termal analizle belirlenmiştir. Kütledeki kayıp farklı sıcaklıklarda saf selülozik kumaş ile karşılaştırılmıştır. Minimum %35 oranında magnezyum klorür heksahidrat eklenmesi ile yangın geciktirici etkide kayda değer bir iyileşme olduğu bulunmuştur.

Wang vd. (2004), ıhlamur ağacı odun örneklerini boraks, borik asit, guanil üre fosfat (GUP) ile GUP-BA karışımlarını işleme tabi tutmuş ve bu numuneler üzerinde TG/DTG, DTA, CONE ve GC-FTIR analizleri gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler sonucunda, borik asitin, sıcaklığın düşük olduğu aralıkta (100-300 C°) odunun oksijen uzaklaştırma ve dehidrasyon reaksiyonlarını hızlandırdığı, aynı zamanda aromatik bileşiklerin oluşumunu teşvik ederek yeni polimerik yapıların izomerizasyonunu desteklediği tespit edilmiştir. Ayrıca, GUP ve BA kombinasyonunun güçlü bir sinerjik etki gösterdiği ve genel olarak en belirgin sinerjik etkinin borik asit kullanımıyla sağlandığı belirlenmiştir.

Sain vd. (2004), bir çalışmada, pirinç kabuğu/talaş ilaveli polipropilen kompozit malzemelerde magnezyum hidroksitin yanma özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Ayrıca, magnezyum hidroksit ile borik asit, çinko boratın birlikte kombinasyonlarının da etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, magnezyum hidroksitin polipropilen kompozitlerde yanıcılık özelliğini önemli şekilde azalttığı belirlenmiştir. Magnezyum hidroksit ile çinko borat, borik asit arasındaki sinerjik etkiler gözlenmiştir. Ayrıca, alev geciktiren kimyasalların ilavesinin kompozit levhalarda mekanik özellikleri azalttığı raporlanmıştır.

Ustaömer vd. (2008), %3 ve %5 oranlarında boraks, borik asit, çinko borat, sodyum perborat tetrahidrat ile borik asit+boraks muameleli liflerle MDF üretmiş ve bu

kimyasalların yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma bulgularına göre, kimyasal madde türü ve konsantrasyonunun artışıyla birlikte, kontrol örneklerine kıyasla yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı ve en yüksek pürüzlülüğün çinko borat kullanılan levha örneklerinde elde edildiği belirlenmiştir.

Ustaömer ve Usta (2017), yaptıkları bir çalışmada, farklı borlu bileşiklerin iki ayrı konsantrasyonda üre formaldehit tutkalına katılmasıyla üretilen MDF levhaların ısı iletkenlik özelliklerini incelemiştir. Yapılan ısı iletkenlik testi sonucunda, kimyasal katkıların ısı iletkenlik değerlerini artırdığı, bu değerlerin kullanılan kimyasalın türüne ve oranına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada, en yüksek değerler çinko borat katkılı levhalarda, en düşük değerler ise boraks katkılı levhalarda ölçülmüştür.

Başer (2016), yaptığı çalışmasında yanma geciktirici özelliğe sahip bazı mineral esaslı maddeleri çinko borat ile birlikte (%2, %4, %6, %8, %10, %12) MDF üretiminde kullanmış ve bu levhaların kalite özelliklerindeki değişimi araştırmıştır. Buna göre, üretilen MDF'lerin yanma ve biyolojik dayanımlarının özellikle madde konsantrasyonu arttıkça iyileştiği, diğer teknolojik özelliklerinin de bu parametrelere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bulunmuştur.

Pilar vd. (2012), yaptıkları çalışmada magnezyum klorür heksahidratın enerji depolama materyali olarak kullanım potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, magnezyum klorür heksahidratın çimentolu malzemelerde kullanımı incelenmiş ve bileşiğin beton ve harçların mekanik dayanımına ve diğer fiziksel özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

Pedieu vd. (2012), bir çalışmada, %8-%12- %16 konsantrasyonlarda borik asit ile işleme tabi tutulmuş yonga levhaların alev/yanma performanslarını değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, %16 borik asit ile yonga levhaların yanma özelliklerinde en yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca, borik asit kullanımının levhaların iç yapışma kuvvetini artırdığı ve kalınlığına şişme değerlerini iyileştirdiği belirlenmiştir.

Wang vd. (2017), çalışmasında alüminyum hidroksit (ATH) ve monoamonyum polifosfat (APP) kimyasallarını, toplamı %30 olacak şekilde farklı oranlarda odun unu/polipropilen kompozitlerine (WPC) ilave etmiştir. Su alma testleri ATH'nin daha düşük higroskopikliğe sahip olduğunu göstermiştir. ATH oranı arttıkça eğilme direnci özellikleri önemli ölçüde değişmezken, darbe dayanım değerleri yükselmiştir. Konik kalorimetre testlerinde, %20 APP ve %10 ATH içeren formülasyon, en düşük ısı salınım hızını ve en iyi yangın performansını en kompakt karbon kalıntısı ve en yüksek grafitleşme derecesine ulaşmıştır.

Martinka vd. (2021), alüminyum hidroksit ve boratları, ayrı ayrı veya amonyum polifosfat (APP) ile birlikte kullanılarak MDF'nin teknolojik ve yangın özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. MUF ile üretilen bu MDF örneklerine uygulanan testler sonucunda su alma ve kalınlığına şişme özelliklerinde iyileşmeler gözlenirken, iç yapışma direncinin azaldığı bulunmuştur. Yanma dayanım testleri sonucunda ise ilave maddelerin örneklerin yanmaya karşı direncini iyileştirdiği bulunmuş; özellikle de alüminyum hidroksit ve APP kombinasyonu ile bu değerlerde önemli bir iyileşme sağlanmıştır.

Akdoğan vd. (2015), kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde alev geciktirici özellikte kimyasalların kullanımının etkisini araştırdıkları çalışmada, %5 magnezyum hidroksit, alüminyum trihidroksit ve amonyum polifosfat (APP) ilavesi ile termoplastik poliüretan malzemelerle kompozit üretmişler ve bu kompozitlerin yırtılma, çekme, sertlik gibi mekanik özelliklerini test etmişlerdir. Sonuç olarak, ATH ilavesi ile çekme ve yırtılma dayanımında azalma, $Mg(OH)_2$ ilavesi ile ise bu özellikler için az bir artış olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, iki katkı maddesinin Izod darbe testi ile sertlik testi sonuçlarında negatif etki göstermedikleri tespit edilmiştir.

Akbulut vd. (2004), farklı oranlarda boraks ve borik asit, N-N-(1,8-Naphthyl) hydroxylamine (NHA-Na) ile üretilmiş lif levhaların mekanik performansını, çürüme ve termite karşı dayanımını belirlemeye yönelik bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, boraks ve NHA-Na ile işlem görmüş levhaların eğilme direnci (MOR) değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş saptanmamıştır. Kimyasal işlemler, termit ve çürümeye neden olan mantarlara karşı yüksek direnç sağlamıştır. Özellikle boraks ve borik asit kombinasyonunun, tek başına NHA-Na'ya kıyasla daha düşük ağırlık kaybına yol açtığı; boraks ve NHA-Na'nın birlikte kullanımının ise su alma, MOE ve biyolojik dayanım açısından sinerjik etki oluşturduğu belirtilmiştir.

Aydın ve Çolakoğlu (2005), yaptıkları çalışmada ladin kaplama levhalarında fenol formaldehit (FF), üre formaldehit (ÜF) tutkalları ile üretim gerçekleştirmiş ve levhaları %5'lik borik asit ve boraksın sulu çözeltileri ile muamele etmiştir. Çalışma sonucunda borlu bileşik empenyesinin, levhalarda yüzey pürüzlülük değerlerini artırdığını bulmuştur. Ayrıca, çalışma sonucunda bu bileşiklerin üretilen kaplamalarda mekanik özelliklerden makaslama, çekme değerleri ile ıslanabilme özelliklerini az da olsa negatif yönde etkilediği, FF kullanımının levhaların yapışma direncini azalttığını belirtilmiştir.

Garba (1999), bir çalışmada bazı tropik ağaç odunlarını HCl varlığında, çinko borat ile muamele etmiş ve termal karakteristiklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda,

çinko boratın HCl ile birlikte asitleşmeyi de artırarak yanma etkinlik performansını artırdığını, alev yayılım oranı ve alev sıcaklığını azalttığını, LOI oranları ile kömürleşme oranlarını artırdığını bulmuştur.

Grexa vd. (1999), magnezyum hidroksit, polifosfat ve diamonyum fosfat gibi kimyasal bileşenleri tutkal karışımına ilave ederek ya da kaplamaları bu maddelerle muamele ederek ürettikleri kontrplakların yanma direncini incelemiştir. Çalışma sonucunda, diamonyum fosfatla muamele edilen kaplamalar ve tutkalda magnezyum hidroksit bulunan levhaların ısı yayılımı ve ağırlık kaybının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Grexa ve Lubke (2001), magnezyum hidroksitin üç farklı oranda (%8, %15 ve %24) kullanıldığı ve monoamonyum fosfat/borik asit karışımının (20:5) eklendiği yongalarla ürettikleri yonga levhalarda, magnezyum hidroksit oranının artışıyla birlikte levhanın tutuşma süresinin 33 saniyeden 43 saniyeye çıktığını ve ısı yayılma miktarının 200 kW/m²'den 45 kW/m²'ye kadar düştüğünü gözlemlemiştir. Ayrıca, çalışma sonucunda artan magnezyum hidroksit oranı ile levhalardan ayrılan karbonmonoksit miktarının azaldığı bulunmuştur. Monoamonyum fosfat/borik asit karışımına sahip levhaların, magnezyum hidroksit içeren levhalara kıyasla daha fazla yanıcı gaz çıkışını engellediği, ancak ortama salınan karbonmonoksit gazı nedeniyle duman miktarının magnezyum hidroksit içeren levhalara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Gao vd. (2006), çalışmasında odun örneklerini guanil üre fosfat (GUP) ve borik asit (BA) içeren alev geciktirici ile muamele etmiş ve bu örneklerle konik kalorimetre testi uygulamıştır. Bu uygulama sonucunda, toplam ısı salınımı, ısı salınım hızı, duman oluşum hızı gibi çeşitli yanma parametrelerinde önemli azalmalar sağlandığı bulunmuştur. Borik asit ile GUP'un birlikte sinerjik etki sağlayarak alev geciktirici ve duman bastırıcı etki gösterdiği raporlanmıştır.

Wu vd. (2014), yaptıkları çalışmada MgCl₂·6H₂O kimyasalının okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) odunu için uygulanmasının malzemenin alev direnci ve ısıl bozunma davranışı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Araştırmacılar, çalışma sonucunda, MgCl₂·6H₂O'nun örneklerde ısı salınım hızı ve alev şiddetini düşürdüğünü, duman yoğunluğunu azalttığını bulmuştur.

Guo vd. (2018), yaptıkları çalışmada, disodyum oktaborat tetrahidrat (DOT) ve guanil üre fosfat (GUP) kimyasalları ile sarıçam odununu işleme tabi tutmuş ve çalışma sonucunda bu odun örneklerine alev geciktirici özellik kazandırmıştır. DOT/GUP

kimyasallarının %10–15 oranında hazırlanan çözeltileriyle yapılan işlem sonucunda, sarıçam odununun termal stabilitesini artırmış, ağırlık kaybı azalmış, kömür oranı artmış ve yanma direnci özellikleri iyileşmiştir.

Terzi (2018), çalışmasında kolemanit ve çinko borat, borik asit-boraks karışımıyla yongalevha üreterek bu levhaların yangına karşı direncini ve termal bozunma özellikleri değerlendirmiştir. Yapılan testler sonucunda, üretilen levhaların en düşük ısı salınımı ve en yüksek aktivasyon enerjisine sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, genel sonuç olarak, kolemanitin yangın direnci performansının daha yaygın olarak kullanılan diğer bor esaslı yanma geciktirici kimyasallara göre daha düşük olduğu bulunmuştur. En düşük tepe ısı salınım hızı ve en yüksek aktivasyon enerjisi değerleri ise %10 borik asit:boraks içeren yongalevhalarla kaydedilmiştir.

Lin vd. (2021), yaptıkları bu çalışmada, kavak yongaları, genişletilmiş perlit (EP) ve magnezyum bileşikleri (MgO , $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ile izolasyon malzemesi olarak kullanılabilecek EPWMC kompozitleri üretmiş ve bu kompozitlerin mekanik özellikleri, ısı yalıtım performansı, alev geciktiricilik ve duman bastırma gibi bazı özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda 60–70 mesh boyutundaki EP ile doldurulmuş EPWMC kompozitlerinde kırılma ve elastikiyet modülü ile yumuşama katsayısının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu malzemelerin kalınlık şişmesinde önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Çalışma ile iyi bir alev geciktirici etkinlik ve duman bastırıcı performans elde edilmiş ve bu kompozitlerin duvarlar için ideal yapı yalıtım malzemeleri olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu çalışmada, MDF levhalarının üretiminde kullanılan hammadde, tutkal, sertleştirici madde, kimyasal maddeler ile üretim sonrası MDF örneklerinin özelliklerini belirlemek için yapılan tüm testler aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1. Hammadde, Tutkal ve Sertleştirici

Bu çalışmada, hammadde olarak kayın lifleri, tutkal olarak %65 oranında katı madde içerikli üre formaldehit, sertleştirici olarak ise %2 oranında amonyum sülfat kullanılmıştır.

2.1.2. Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada kimyasal maddeler olarak magnezyumlu bileşikler: magnezyum hidroksit $Mg(OH)_2$, magnezyum klorür hekzahidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), borlu bileşiklerden çinko borat (ÇB), borik asit (BA), sodyum perborat tetrahidrat (SPT) kullanılmış olup levha üretiminde bu maddeler tek veya karışım halinde kullanılmıştır.

- Magnezyum Bileşikleri
 - Magnezyum Hidroksit

Magnezyum hidroksit, $Mg(OH)_2$ formülü ile anılan beyaz renkli inorganik maddelerden biridir (Zhang vd., 2018). Magnezyum hidroksit çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Asidik atık akışlarını nötralize etmek ve baca gazlarındaki zararlı bileşenleri arıtmak için kullanımının yanı sıra; gübre katkı maddesi, alev geciktirici olarak kullanımı ve kâğıt endüstrisindeki kullanımı da bu maddenin diğer bazı önemli uygulamaları arasında yer almaktadır (Booster vd., 2003).

Hidroksit içeren inorganik maddelerden biri olan magnezyum hidroksit $Mg(OH)_2$, en yaygın olarak kullanılan yanma geciktirici kimyasal maddelerden biridir. Kolay işlenebilir ve üretimlerinin ekonomik olmaları nedeniyle kompozit malzemelerin üretiminde yanma geciktirici kimyasal maddeler arasında oldukça önemlidir. $Mg(OH)_2$

diğer inorganik alev geciktirici kimyasallar gibi yüksek ısıya maruz kaldığı zaman bünyesinde bulunan suyu açığa çıkartır ve ısıyı düşürüp soğutarak yanmayı durdurma etkisi gösterirler. Yine açığa çıkan su, yanıcı gaz ürünlerinin konsantrasyonu seyreltir ve yanma sırasında oluşan dumanın miktarını azaltıcı etki gösterir (Yiğit, 2022). Magnezyum hidroksit korozif değildir, duman bastırıcıdır. Ayrıca, özel yüzey işlemleriyle birlikte plastikler için tercih edilen alev geciktirici bir kimyasaldır (Kaya ve Oz, 1999). Magnezyum hidroksit (MH), toksik olmayan bir yapıdadır ve alüminyum hidroksitten daha yüksek bir termal kararlılığa sahiptir (Kang vd., 2023).

- Magnezyum Klorür Hekzahidrat

Magnezyum klorür hekzahidrat, magnezyum ve klor elementlerinden oluşan, altı su molekülü içeren bir bileşiktir. Genellikle beyaz veya renksiz kristal formda bulunan bu bileşik, suda yüksek oranda çözünür. Magnezyum klorür hekzahidrat birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yangın söndürücüler, seramik, tekstil ve kâğıt üretimi gibi alanlarda kullanılan bir bileşiktir (URL-1, 2025).

Magnezyum klorür hekzahidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) genellikle susuz magnezyum klorür, magnezyum klorür hidroksit, magnezyum oksit gibi bileşiklerin üretiminde kullanılan önemli bir kimyasal maddedir. $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 'nın termal bozunma süreci; dehidrasyon, hidroliz, termal ayrışma gibi aşamaları içerir ve sırasıyla $MgCl_2 \cdot nH_2O$, $Mg_x(OH)_yCl_z \cdot mH_2O$, MgO gibi ürünler oluşur (Huang vd., 2011).

Magnezyum klorür hekzahidrat aynı zamanda enerji depolama özelliği sebebiyle de kullanılan bir kimyasal maddedir ve faz değiştirici materyal olarak kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur (Li vd., 2011, Pilar vd., 2012, Xu vd., 2021, Zhang ve Zhang, 2020).

- Bor Bileşikleri

Bor elementi periyodik tabloda beşinci sırada yer almakta olup doğada elementel halde bulunmaz. Bunun yerine, doğada genellikle borik asidin esterleri veya tuzları şeklinde oksijenle bir bileşik oluşturmuş olarak yer alır (Briggs, 2000). Bor bileşikleri cam, seramik, metalürji ve deterjan endüstrileri başta olmak üzere, alev geciktirici olarak; ayrıca tarımsal, tıbbi uygulamalarda ve diğer birçok farklı alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Ediz ve Özdağ, 2001). Başlıca endüstriyel borat ürünleri arasında borik asit, boraks pentahidrat, boraks dekahidrat, susuz boraks ve borik oksit yer almaktadır. Zenginleştirilmiş kolemanit ve üleksit cevherleri de bazı uygulamalarda kullanılmaktadır (Schubert, 2000).

Bor bileşikleri ayrıca, odun koruma amacıyla bilinen en etkili koruyucu kimyasallar grubunda yer almaktadır. Bu bileşikler ucuz, uygulanması kolay, biyolojik olarak aktif bileşiklerdir. Özellikle çevre dostu olmaları ve alev geciktirici özellikleri sebebiyle odun koruma açısından 20.yy başlarından günümüze kadar yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu bileşiklerin uygulamaları açısından çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin seçimi ise uygulama gereksinimlerine ve teknik koşullara bağlı olarak yapılabilir (Baysal ve Yalınkılıç, 2005). Bor esaslı koruyucular; mineraller, saf bileşikler veya bunların kombinasyonları gibi çeşitli türlerde bulunmaktadır (Terzi vd., 2017).

Bor bileşikleri, ayrıca renksiz, kokusuz, korozif olmayan bileşiklerdir (Kartal vd., 2004). Bu bileşikler, memeliler için düşük toksisiteye sahip olmalarına rağmen, **oduna** zarar veren biyolojik zararlılara (böcekler ve mantarlara) karşı toksik etki göstermektedir. Bor ile işlem görmüş odun işlenebilir, yapıştırılabilir, boyanabilir veya cilalanabilir özelliktedir. Bor ile koruyucu işlemler odunda daldırma, püskürtme, bekletme, basınçla emprenye gibi çeşitli yöntemlerle yoğunlaştırılmış çözeltiler halinde uygulanabilir. Ayrıca, boratlar buhar formunda da kuru oduna basınçlı emprenye yöntemiyle de uygulanabilmektedir. Bunun yanı sıra, üretim sürecinde boratlar; çeşitli odun esaslı ürünlere, plastik ürünlere ve sert köpük yalıtım malzemelerine entegre edilebilmektedir (Williams, 1996). Bu bileşikler bazı diğer alev geciktirici kimyasallara kıyasla mekanik özellikler üzerinde daha az olumsuz etkiye sahiptir (LeVan ve Tran, 1990). Boratların olumlu özelliklerine rağmen uygulandıkları odundan yüksek oranda yıkanabilir olmaları dezavantajlı özellikleri olarak kabul edilmektedir (Caldeira vd. 2004, Caldeira, 2010).

- Borik Asit

Borik asit (H_3BO_3) önemli bor bileşiklerinden biridir ve çok sayıda bor türevinin sentezlenmesindeki ana bileşiktir. Birçok organik çözücüde kolayca çözünen borik asidin sıcaklık artışıyla suda ki çözünürlüğü hızlıca artmaktadır. Borik asidin büyük bir bölümü, sülfürik asitin sulu ortamda inorganik boratlarla reaksiyonu sonucunda üretilmektedir. Bor fosfat, floroboratlar, sentetik inorganik borat tuzları ve borat esterleri borik asitten doğrudan sentezlenebilen bazı bor bileşikleridir. Borik asit mantarları öldürücü etki gösterdiği ve bakteri çoğalmasını önlediği için çeşitli doğal ürünler için koruyucu olarak kullanılmaktadır (Smith ve McBroom, 2000).

Borik asitin odunda kullanımı, odunun selüloz bileşeninde dehidrasyon reaksiyonunu artırmakta; böylece daha fazla kömür oluşumuna ve daha az uçucu organik bileşik

salınımına neden olmaktadır. Ayrıca, borik asit örneklerde içten yanmayı azaltmakta olup alev yayılımı üzerinde çok az etkisi bulunmaktadır (Popescu ve Pfriem, 2020).

- Çinko Borat

Çinko borat, dünya genelinde üretim ve kullanım açısından en önemli bor içeren 10 kimyasal arasında yer almaktadır. Bilinen birkaç çinko borat fazı arasında, oksit formülü $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3H_2O$ olarak bilinen $ZnB_3O_4(OH)_3$, diğer bor bileşikleri arasında ticari önemi en yüksek olanıdır. Bu bileşikten her yıl on binlerce ton endüstriyel uygulamalar için kullanılmaktadır. Çinko borat, suda az çözünür. Bu yönüyle hem düşük çözünürlük hem de yüksek dehidrasyon başlangıç sıcaklığı (yaklaşık 290 °C) sergileyerek birçok üretim sürecinde kullanım için uygun hale gelmektedir (Schubert, 2022). Farklı kimyasal bileşim ve yapılaraya sahip çeşitli çinko borat türleri bulunmakta olup, bu bileşik polimerler, ahşap uygulamaları ve tekstil ürünlerinde yaygın olarak yangın geciktirici katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Gürhan vd., 2009).

- Sodyum Perborat Tetrahidrat

Sodyum perborat tetrahidrat, formülü $NaBO_3 \cdot 4H_2O$ olan ve özellikle dış beyazlatma ürünlerinde, çamaşır deterjanlarındaki temizlik malzemelerinde kullanılan kimyasal bir bileşiktir. Su ile çözünebilir olup hidrojen peroksit ve borik asit oluşturmaktadır ve aynı zamanda bu bileşikler sebebiyle etkili bir ağartma ve dezenfektan olarak kullanılmaktadır. "Tetrahidrat" terimi, bileşiğin yapısında dört su molekülü bulunduğunu ve bu nedenle özel bir hidrat yapısına sahip olduğunu ifade eder (Ustaömer ve Başer, 2020).

2.2. Metot

2.2.1. Levha Üretimi İçin Tasarım Planı

Magnezyumlu bileşikler magnezyum hidroksit ve magnezyum klorür heksahidrat %1 oranında tek olarak ve/veya borlu bileşikler ile karışım halinde üre formaldehit tutkalına ilave edilerek ve lif üzerine püskürtülerek MDF üretimleri yapılmıştır. Çalışmada üretimi gerçekleştirilen levhaların adlandırması ve kimyasal içerikleri Tablo 1’de verilirken, üretim sonrasında MDF levha örneklerinin özelliklerine olan etkileri araştırmak için yapılan testler ise Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 1. Levhaların adlandırması ve kimyasal içerikleri

Grup	Grup İçeriği
A1	%1 MKH
A2	%0,5 MKH+%0,5 ÇB
A3	%0,5 MKH +% 0,5 BA
A4	%0,5 MKH+%0,5 SPT
B1	%1 MH
B2	%0,5 MH+%0,5 ÇB
B3	%0,5 MH+%0,5 BA
B4	%0,5 MH+%0,5 SPT
K	Kontrol grubu
MKH: Magnezyum klorür heksahidrat, MH: Magnezyum hidroksit, ÇB:Çinko borat, BA:Borik asit, SPT:Sodyum perborat tetrahidrat,	

Tablo 2. Levha testleri

Testler	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	K
Yoğunluk ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kalınlığına şişme oranı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Su alma oranı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eğilme direnci ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eğilmede elastikiyet modülü ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Çekme direnci ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Isıl iletkenlik ölçümleri	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Alev testi(UL-94) ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LOI ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yüzey sertliği ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2.2.2. Levhaların Üretimi

Levhaların üretim aşaması için öncelikle, ticari olarak temin edilen kayın lifleri istenilen rutubet derecesine gelinceye kadar kurutma fırını yardımıyla kurutulmuş ve üretime hazır hale getirilmiştir. Magnezyumlu bileşiklerin magnezyum hidroksit ve magnezyum klorür heksahidrat %1 oranında tek ve/veya borlu bileşikler ile karışımları hazırlanmış ve bu karışımlar %13 oranında üre formaldehit tutkalı içerisine karıştırılarak bu işlemi hemen takiben liflerin üzerine püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır. Tutkallama işleminin ardından tutkallı lifler için serme ve ön presleme ile levha taslakları hazırlanmıştır. Bu işlemlerin ardından bu taslaklar 180 C⁰ sıcaklık ve 8 dk. süre

uygulanarak sıcak pres (Şekil 3) yardımıyla preslenmiş ve levha üretimleri yapılmıştır. Üretim sonrasında, levha örnekleri klimatize işlemine bırakılmış ve bu işlemin ardından testler için istenilen boyutlarda kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 1. Tek katlı sıcak pres

2.3. Üretilen MDF Levhalarının Özellikleri

MDF levhalarının fiziksel, mekanik, yanma-termal, yüzey özelliklerinde bor ve magnezyum bileşiklerinin etkilerini belirlemek üzere yapılan testler ve uygulanan yöntemler sırasıyla açıklanmıştır.

2.3.1. Fiziksel Özellikler

- Yoğunluk Değerleri

Üretimi gerçekleştirilen MDF levhalardan 50x50xkalınlık (mm) ölçülerinde kesilen örneklerin genişlik, kalınlık, ağırlık ölçümleri sonrası belirlenen bu değerler aşağıda verilmiş olan formüle yerleştirilmiş ve levhalar için yoğunluklar hesaplanmıştır (EN 323, 1993).

$$\rho = \frac{m}{a_1 \times a_2 \times t} \times 10^3 \quad (1)$$

Bu formülde;

δ : Yoğunluk (gr/cm^3)

m: Hava kurusu ağırlık (gr)

t: Örnek için kalınlık (mm)

a_1, a_2 : Örnek için genişlik (mm)

- Kalınlığına Şişme Oranı

Üretimi gerçekleştirilen MDF levhalardan 50x50 mm ölçülerinde hazırlanan örneklerin kalınlıkları, kalınlığına şişme oranı dijital kumpas yardımıyla belirlenmiştir. Kalınlıkları ölçülen örnekler 24 saat süre için su ile dolu kabın içinde bırakılmış ve bu sürenin bitiminde örnekler alınarak kalınlıkları aynı noktalardan yeniden ölçülmüştür. Ölçüm sonrası bu değerler aşağıda ifade edildiği şekilde formülde yerine yerleştirilmiş ve kalınlığına şişme oranları hesaplanmıştır (EN 317, 1993).

$$KS = \frac{e_s - e_i}{e_s} \times 100 \quad (2)$$

KS: Kalınlığına şişme oranı (%)

e_i : Örneğe ait ilk kalınlık (mm)

e_s : Örneğe ait son kalınlık (mm)

- Su Alma Oranı

Üretimi gerçekleştirilen MDF levhalardan 50x50 mm ölçülerinde örnekler hazırlanmış ve hassas terazide tartım işlemi yapılmıştır. Tartılan örnekler, 24 saat süre boyunca 20 ± 2 °C'de su içerisinde bekletilecek şekilde bir kabın içine konulmuştur. Süre bitiminde örnekler alınarak hafifçe kurulanmış ve son ağırlık için tekrar tartım yapılmıştır. Tartım sonrası bu örneklerin belirlenen ağırlıkları formülde yerleştirilmiş ve su alma oranları hesaplanmıştır (EN 317, 1993).

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

SA: Su alma oranı (%)

m_0 : Örneğe ait ilk ağırlık (g)

m: Örneğe ait son ağırlık (g)

2.3.2. Mekanik Özellikler

- Eğilme Direnci

Üretimi gerçekleştirilen MDF levhalarının eğilme direnci değerleri EN 310 standardına göre hesaplanmıştır. Test örneklerinden ölçüm sonrasında elde edilen değerleri aşağıdaki formülde yerleştirilerek eğilme direnci değerleri hesaplanmıştır (EN 310, 1993).

$$E = \frac{3 \times F_{\max} \times l}{2 \times b \times t} \times 100 \quad (4)$$

E: Eğilme direnci (N/mm²)

F_{max}: Kırılma anında uygulanan maksimum kuvvet (N)

l: Dayanak açıklığı (mm)

b: Test örneğine ait genişlik (mm)

t: Test örneğine ait kalınlık (mm)

- Eğilmede Elastikiyet Modülü

Levha örnekleri hazırlanarak ölçümler yapılmış ve örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri, bu ölçümler sonucu elde edilen değerlerin aşağıdaki formüle yerleştirilmesi ile EN 310 standardına göre belirlenmiştir (EN 310, 1993).

$$E = \frac{1}{4} \times \frac{F \times Ls^3}{\Delta \times b \times d^3} \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

E: Eğilmede elastiklik modülü (N/mm²)

F: Deformasyon sağlayan kuvvet (N)

Ls: Mesnet açıklığı (mm)

Δ: Eğilmenin miktarı (mm)

b: Test örneğinin genişliği (mm)

d: Test örneğinin kalınlığı (mm)

- Yüzeye Dik Çekme Direnci

Üretimi gerçekleştirilen MDF levhalarından 50x50mmxkalınlık boyutlarında hazırlanan test örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerlerini belirlemek için testler EN 319 standardına göre gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki formül yardımıyla değerler hesaplanmıştır (EN 319, 1993).

$$F_t = \frac{F_{\max}}{a \times b} \quad (6)$$

f_t : Yüzeye dik çekme direnci (N/mm²)

$f_{\max}$: Kopma anındaki kuvvet (N)

a ve b : Örnek için boyutlar (uzunluk-genişlik) (mm)

2.3.3. Termal -Yanma Özellikleri

İlave maddelerin üretim sonrasında MDF levhaların termal-yanma özelliklerinde gösterdikleri etkileri tespit etmek için ısı iletkenlik, LOI ve UL-94 testleri gerçekleştirilmiş olup bu testler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

- Isıl İletkenlik

MDF levha gruplarının ısı iletkenlik değerleri; KTÜ, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünün tutkal analiz laboratuvarındaki FOX-314 markalı ısı iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak ASTM C518 standardına göre belirlenmiştir.

- Alev Testi

Malzemelerin yanma sırasında aleve karşı gösterdiği dayanımın performansını belirlemek için birçok yanma testleri mevcut olup bu malzemelerin yanma dirençleri hem gözlemsel olarak ve hem de sayısal veriler yardımıyla ölçümlendirilmektedir. Tutuşma süresi, sönme süresi, duman varlığı, alev boyu, kömürleşme oranı, ağırlık kaybı, gibi birçok ölçümsel ve gözlemsel değerin tespiti ile yanabilir bir malzeme için yanma direnç performansı hakkında ayrıntılı yorum yapılması mümkündür.

MDF gruplarının yanmaya karşı dayanımını belirlemek için, yaygın olarak plastik esaslı malzemelerde kullanılan UL-94 testi modifiye edilmiş ve ASTM D3801-10 standardına uygun olarak levha örneklerinde uygulanmıştır. Örnekler, test öncesi 1,3x12,5x1 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Test ile ölçümsel ve gözlemsel olarak veriler

elde edilerek değerlendirilmiştir. Test için hazırlanan örnekler, alev testi tertibatının üst kısmına düzgün bir şekilde sabitlenmiş ve bunsen bekinin ayarlanmış alevine belirli süreler boyunca belirli bir mesafede tutulmuştur. Örnekler ilk 10 saniye süre ile alevle yaklaştırılmış ve kronometre yardımıyla süre kontrol edilerek örneğin alev alıp almadığı belirlenmiştir. Eğer örnek alev almadıysa özellikle ilk 30 sn. esas olacak şekilde tekrarlı 10 sn şeklinde alev uygulaması gerçekleştirilmiştir. Örnek alev alıp yanma başlayıncaya kadar birkaç kez daha tekrarlanmıştır. Eğer örnek alev aldıysa sönme süresi, ağırlık kaybı gibi ölçümsel değerlendirmeler ile kül oluşumu, duman, alev durumu vb. gibi gözlemsel değerlendirilmeler yapılmıştır.



Şekil 2. Alev testi

- Limit Oksijen İndeksi (LOI) Ölçümleri

İlave maddelerle üretilmiş levhalarda yanmaya karşı direnç etkilerini belirlemek amacıyla Dynisco marka limit oksijen indeksi (LOI) cihazı kullanılarak LOI testi yapılmıştır. Bu analiz için ASTM D2863 standardı referans alınmıştır. LOI yöntemi, deneysel koşullar altında alevli yanmayı sürdürmek için gereken minimum oksijen miktarını ölçer. LOI testinin değerlendirmesinde, LOI değeri düşük yanıcılığa sahip malzemeler için daha yüksek değer elde edilirken, yüksek yanıcılığa sahip malzemeler için ise LOI değeri daha düşük elde edilmektedir (Ustaömer ve Başer, 2020).



Şekil 3. LOI Cihazı (Dynisco)

2.3.4. Yüzey Özellikleri

- Yüzey Pürüzlülüğü

MDF örneklerinin yüzey pürüzlülük parametreleri R_a , R_q ve R_z , Mitutoyo Surftest SJ-210 cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin yüzey pürüzlülüğünü belirlemek için ISO 4287 (1997) standardına göre ölçüm yapılmıştır.

- Yüzey Sertliği Ölçümleri

MDF test örneklerinin yüzey sertliği değerlerini ölçmek için Shore-Durometre Shore-D sertlik cihazı kullanılmıştır. Bu örneklerin ölçümleri yapılırken shore sertlik test yöntemi uygulanmıştır.

2.3.5. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada elde edilen sonuçların istatistik analizleri “SPSS 22 for Windows” programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen levhaların özelliklerinde seçilen madde türü ve bu maddelerin uygulanma oranlarının etkisini belirlemek için, çalışmadaki tüm test varyasyonları basit varyans analizi testiyle ayrı ayrı değerlendirilmiş ve bulunan tüm istatistiksel farklılıkların tespiti için varyasyonlara Duncan testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Fiziksel Özellikler

3.1.1. Yoğunluk

Magnezyum ve bor bileşikleri katkısı ile üretilen levhalar ve kontrol levhalarının yoğunluk değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Yoğunluk değerleri(kg/m³)

Levhalar	X	S
A1	740	3,647
A2	749	7,950
A3	741	8,735
A4	735	7,396
B1	731	6,458
B2	746	9,711
B3	733	9,566
B4	737	7,823
Kontrol	729	8,204

MDF örneklerinin yoğunluk değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığının tespiti amacıyla basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Değerlendirme sonuçları ise Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Yoğunluk değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/Yoğunluk Değerleri		Kareler Topl.	Serb. Der.	Kareler Ortal.	F-Hesap	Önem Düzeyi.	Duncan Testi- Homojenlik Grp.
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara	1134,800	4	283,700	5,162	0,005	K ^a , A4 ^{ab} , A1 ^{bc} A3 ^{bc} A2 ^c
	Gr. içi	1099,200	20	54,960			
	Toplam	2234,000	24				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara	927,040	4	231,760	3,255	0,033	K ^a , B1 ^a , B3 ^a , B4 ^{ab} , B2 ^b
	Gr. içi	1424,000	20	71,200			
	Toplam	2351,040	24				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3, B4- K)	Gr. ara	1861,200	8	232,650	3,716	0,003	K ^a , B1 ^{ab} , B3 ^{ab} , A4 ^{abc} B4 ^{abc} , A1 ^{abcd} , A3 ^{bcd} , B2 ^{cd} , A2 ^d
	Gr. içi	2254,000	36	62,611			
	Toplam	4115,200	44				

Tablo 4'te sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının yoğunluk değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bu levha grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen farklılıklar ($P<0,05$) belirlenmiştir.

3.1.2. Kalınlığına Şişme Oranı

Magnezyum ve bor bileşikleri katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının 24 saat süre için kalınlığına şişme değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. 24 saat süre için kalınlığa şişme değerleri (%)

Levha Grupları	X	S
A1	24,68	2,473
A2	28,35	2,406
A3	23,45	2,757
A4	25,75	3,093
B1	27,31	1,033
B2	23,03	1,364
B3	26,55	1,649
B4	25,56	2,731
Kontrol	29,63	2,678

MDF örneklerinin kalınlığına şişme değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığının tespiti amacıyla basit varyans

analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmenin sonuçları ise Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. 24 saat kalınlığına şişme oranlarına ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/24 s. Kalınl. şişme		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Düz.	Duncan Testi Homojenlik Grp.
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara	131,327	4	32,832	4,529	0,009	A3 ^a , A1 ^{ab} , A4 ^{ab} , A2 ^{bc} , K ^c
	Gr.İçi	144,976	20	7,249			
	Toplam	276,302	24				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara	116,576	4	29,144	7,187	0,001	B2 ^a , B4 ^{ab} , B3 ^b , B1 ^{bc} , K ^c
	Gr.İçi	81,106	20	4,055			
	Toplam	197,682	24				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3, B4- K)	Gr. ara	189,896	8	23,737	4,329	0,001	B2 ^a , A3 ^{ab} , A1 ^{abc} , B4 ^{abcd} , A4 ^{abcd} , B3 ^{bcde} , B1 ^{cde} , A2 ^{de} , K ^e
	Gr.İçi	197,394	36	5,483			
	Toplam	387,290	44				

Tablo 6’da sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının kalınlığına şişme değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bu levha grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen farklılıklar ($P<0,05$) belirlenmiştir.

3.1.3. Su Alma Oranı

Magnezyum ve bor bileşikler katkısı ile üretilen levhalar ve kontrol levhalarının 24 saat süre için su alma değerleri oranları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. 24 saat süre için su alma değerleri (%)

Levhalar	X	S
A1	78,71	3,472
A2	87,74	5,151
A3	73,69	3,631
A4	70,83	9,734
B1	82,37	3,614
B2	77,19	7,195
B3	80,76	2,179
B4	75,65	14,284
Kontrol	85,99	6,696

MDF örneklerinin su alma değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığının tespiti amacıyla basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmenin sonuçları ise Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. 24 saat su alma oranlarına ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/24s. Su Alma Değerleri		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Düz.	Duncan Testi Homojenlik Grp.
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara	1097,687	4	274,422	7,170	0,001	A4 ^a , A3 ^a , A1 ^{ab} , K ^{bc} , A2 ^c
	Gr.İçi	765,436	20	38,272			
	Toplam	1863,123	24				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	G. Ara	Gr. ara	4	85,153	1,337	0,291	K ^a , B1 ^a , B2 ^a , B3 ^a , B4 ^a
	G.İçi	Gr. içi	20	63,687			
	Toplam	Toplam	24				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3, B4- K)	G. Ara	Gr. ara	8	155,491	3,010	0,011	A4 ^a , A3 ^{ab} , B4 ^{abc} , B2 ^{abc} , A1 ^{abcd} , B3 ^{abcd} , B1 ^{bcd} , K ^{cd} , A2 ^d
	G.İçi	Gr. içi	36	51,662			
	Toplam	Toplam	44				

Tablo 8’de sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, B grubunun tek başına incelendiği levha gruplarında su alma değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamış ($P>0,05$), yalnızca A ve yalnızca B grubunun değerlendirildiği varyasyonlarda ise anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

3.2. Mekanik Özellikler

3.2.1. Eğilme Direnci Değerleri

Magnezyum ve bor bileşikler katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının eğilme direnci değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Eğilme direnci değerleri

Levhalar	X	S
A1	28,76	1,483
A2	29,11	1,489
A3	30,31	1,863
A4	24,65	1,209
B1	34,89	2,156
B2	44,12	5,839
B3	32,03	2,869
B4	27,04	1,579
Kontrol	20,15	1,412

MDF örneklerinin eğilme direnci değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığının tespiti amacıyla basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmenin sonuçları ise Tablo 10’da sunulmuştur.

Tablo 10. Eğilme direnci değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/ Eğilme Diren.Değerleri		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Düz.	Duncan Testi - Homojenlik Grp.
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara	350,865	4	87,716	38,668	0,000	K ^a , A4 ^b , A1 ^c , A2 ^c , A3 ^c
	Gr.içi	45,368	20	2,268			
	Toplam	396,233	24				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara	1598,067	4	399,517	38,819	0,000	K ^a ,B4 ^b ,B3 ^c ,B1 ^c ,B2 ^d
	Gr.içi	205,835	20	10,292			
	Toplam	1803,902	24				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3, B4- K	Gr. ara	1820,627	8	227,578	33,684	0,000	K ^a , A4 ^b , B4 ^{bc} , A1 ^{cd} A2 ^{cd} ,A3 ^{cd} ,B3 ^{de} , B1 ^e , B2 ^f
	Gr.içi	243,225	36	6,756			
	Toplam	2063,852	44				

Tablo 10’da sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının eğilme direnci değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bu levha grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen farklılıklar ($P<0,05$) belirlenmiştir.

3.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Magnezyum ve bor bileşikleri katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri (N/mm²)

Levhalar	X	S
A1	3705	110,902
A2	3833	391,989
A3	3999	250,406
A4	3427	590,642
B1	4195	164,503
B2	4610	244,379
B3	3656	362,315
B4	3028	130,120
Kontrol	2649	172,864

MDF örneklerinin elastikiyet modülü değerleri değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığının tespiti amacıyla basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmenin sonuçları ise Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/ Eğilmede elastikiyet mod.		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F- Hesap	Önem Düz.	Duncan Testi Homojenlik Grp.
Grup A (A1- A2- A3- A4-K)	Gr. ara	5639974,41	4	1409993,60	11,607	0,000	K ^a , A4 ^b , A1 ^{bc} , A2 ^{bc} , A3 ^c
	Gr.içi	2429590,35	20	121479,518			
	Toplam	8069564,76	24				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara	13023152,03	4	3255788,00	61,461	0,000	K ^a , B4 ^b , B3 ^c , B1 ^d , B2 ^e
	Gr.İçi	1059468,78	20	52973,43			
	Toplam	14082620,81	24				
Grup A ile B (A1- A2-A3- A4- B1- B2- B3, B4- K)	Gr. Ara	14038781,18	8	1754847,64	18,749	0,000	K ^a , B4 ^a , A4 ^b , B3 ^{bc} , A1 ^{bc} , A2 ^{bcd} , A3 ^{cd} , B1 ^d , B2 ^e
	Gr.İçi	3369531,37	36	93598,094			
	Toplam	17408312,56	44				

Tablo 12’de sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bu levha grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen farklılıklar ($P<0,05$) belirlenmiştir.

3.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Magnezyum ve bor bileşikleri katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerleri Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Yüzeye dik çekme direnci değerleri (N/mm^2)

Levhalar	X	S
A1	0,50	0,058
A2	0,81	0,159
A3	0,56	0,132
A4	0,57	0,131
B1	0,72	0,172
B2	0,97	0,083
B3	0,67	0,086
B4	0,56	0,073
Kontrol	0,38	0,024

MDF örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığının tespiti amacıyla basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmenin sonuçları ise Tablo 14’te sunulmuştur.

Tablo 14. Yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/ Yüzeye Dik Çekme Dir. Değ		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Düz.	Duncan Testi Homojenlik Grp.
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara	0,494	4	0,123	9,699	0,000	K ^a , A1 ^{ab} , A3 ^b , A4 ^b , A2 ^c
	Gr.içi	0,255	20	0,013			
	Toplam	0,748	24				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara	0,921	4	0,230	23,137	0,000	K ^a ,B4 ^b ,B3 ^{bc} ,B1 ^c , B2 ^d
	Gr.içi	0,199	20	0,010			
	Toplam	1,120	24				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3, B4- K)	Gr. ara	1,227	8	0,153	12,235	0,000	K ^a , A1 ^{ab} , B4 ^{bc} , A3 ^{bc} , A4 ^{bc} ,B3 ^{cd} ,B1 ^{cd} , A2 ^d , B2 ^e
	Gr.içi	0,451	36	0,013			
	Toplam	1,678	44				

Tablo 14’te sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının kalınlığına şişme değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bu levha grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen farklılıklar ($P<0,05$) belirlenmiştir.

3.3. Termal-Yanma Özellikleri

Magnezyum ve bor bileşikler katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının termal-yanma özelliklerindeki değişimleri araştırmak amacıyla yapılan ısı iletkenlik, limit oksijen indeksi (LOI) ve UL-94 testlerinin sonuçları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

3.3.1. Isıl İletkenlik

Magnezyum ve bor bileşikler katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının ısı iletkenlik değerleri Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 15. Isıl iletkenlik değerleri

Levhalar	Isıl iletkenlik değerleri (kW/h)
A1	0,08542
A2	0,1155
A3	0,1154
A4	0,1092
B1	0,1152
B2	0,1146
B3	0,1169
B4	0,1157
Kontrol	0,1153

3.3.2. Alev Testi

Magnezyum ve bor bileşikleri katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının yanmaya karşı gösterdiği dayanımı belirlemek için uygulanan UL-94 alev testine ait ilk 40 sn için ölçümsel ağırlık kaybı değerleri ile gözlemsel olarak kaydedilen sonuçları sırasıyla Tablo 16 ve Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 16. UL-94 testi levha ağırlık kaybı değerleri

Levhalar	10. sn	10. sn	10. sn	10. sn
A1	0,1603	0,2653	0,4073	0,5158
A2	0,2636	0,4862	1,6475	2,4491
A3	0,1971	0,5471	0,7599	1,1489
A4	0,1580	0,3544	0,5926	1,1245
B1	0,1342	0,5281	0,7529	1,3032
B2	0,2010	0,4973	1,0782	1,7531
B3	0,1858	0,3778	0,8791	1,2110
B4	0,2478	0,6175	0,9989	1,2056
K	0,4289	0,8361	12,5270	15,2630

Tablo 17. UL-94 gözlemsel sonuçları

Levhalar	Tutuşma (ilk 30 sn)	Duman Oluşumu
A1	-	-
A2	-	-
A3	-	-
A4	-	az
B1	-	-
B2	-	-
B3	-	-
B4	-	az
Kontrol	Tutuşma var	var

3.3.3. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

Magnezyum ve bor bileşikleri katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının limit oksijen indeksi (LOI) testi sonucunda elde edilen değerleri Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. LOI değerleri

Levhalar	LOI(%)
A1	34,00
A2	32,00
A3	33,50
A4	33,75
B1	33,50
B2	32,75
B3	33,00
B4	33,25
K	30,00

3.4. Yüzey Özellikleri

3.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Magnezyum ve bor bileşikleri katkısı ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının yüzey pürüzlülük testi ile ölçülen yüzey pürüzlülük parametrelerinin (Ra,Rq,Rz) sonuçları Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Ra, Rq ve Rz değerleri(μm)

Levhalar	Ra(μm)		Rq(μm)		Rz(μm)	
	X	S	X	S	X	S
A1	5,63	1,208	7,11	1,504	35,13	5,810
A2	5,75	0,366	7,40	0,348	36,42	2,334
A3	5,66	1,090	7,13	1,239	36,31	2,724
A4	5,77	0,921	6,49	0,760	33,57	1,452
B1	4,38	0,747	6,11	0,666	33,61	2,967
B2	4,92	0,533	6,39	0,635	33,03	1,423
B3	6,54	1,899	7,26	0,597	39,06	5,213
B4	6,15	0,368	7,59	0,507	35,60	1,723
K	7,89	1,792	9,09	2,344	49,86	12,411

MDF örneklerinin Ra, Rq, Rz değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığını belirlemek amacıyla basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmenin sonuçları ise Tablo 20, Tablo 21 ve Tablo 22’de sunulmuştur.

Tablo 20. Ra değerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/ Ra (μm) değerleri		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan testi homojenlik grupları
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara	15,430	4	3,858	2,818	0,063	A1 ^a , A3 ^a , A2 ^a , A4 ^a , K ^b
	Gr.içi	20,531	15	1,369			
	Toplam	35,962	19				
Grup B (B1- B2-B3- B4- K)	Gr. ara	30,757	4	7,689	4,931	0,010	B1 ^a , B2 ^{ab} , B4 ^{abc} , B3 ^{bc} , K ^c
	Gr.içi	23,389	15	1,559			
	Toplam	54,145	19				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3- B4- K)	Gr. arası	31,491	8	3,936	3,100	0,013	B1 ^a , B2 ^{ab} , A1 ^{ab} , A3 ^{ab} , A2 ^{ab} , A4 ^{ab} , B4 ^{ab} , B3 ^{bc} , K ^c
	Gr.içi	34,283	27	1,270			
	Toplam	65,774	35				

Tablo 20’de sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının Ra değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, A grubunun tek başına incelendiği levha gruplarında Ra değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamış ($P>0,05$) B grubunun ve A ile B gruplarının birlikte değerlendirildiği varyasyonlarda ise anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

Tablo 21. Rq değerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/ Rq (µm) değerleri		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F- hesap	Önem düz.	Duncan testi homojenlik grupları
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara	15,271	4	3,818	1,911	0,161	A4 ^a , A1 ^{ab} , A3 ^{ab} , A2 ^{ab} , K ^b
	Gr.içi	29,973	15	1,998			
	Toplam	45,244	19				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara	22,062	4	5,516	3,965	0,022	B1 ^a ,B2 ^a ,B3 ^{ab} ,B4 ^{ab} , K ^b
	Gr.içi	20,867	15	1,391			
	Toplam	42,929	19				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3, B4- K)	Gr. ara	24,403	8	3,050	2,397	0,043	B1 ^a , B2 ^a , A4 ^a , A1 ^a ,A3 ^a ,B3 ^a ,A2 ^{ab} , B4 ^{ab} , K ^b
	Gr.içi	34,355	27	1,272			
	Toplam	58,758	35				

Tablo 21’de sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının Rq değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, A grubunun tek başına incelendiği levha gruplarında Rq değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamış ($P>0,05$), B grubunun ve A ile B gruplarının birlikte değerlendirildiği varyasyonlarda ise anlamlı farklılıklar ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

Tablo 22. Rz değerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/ Rz (µm) değerleri		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan testi homojenlik grupları
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara.	694,382	4	173,595	4,281	0,017	A4 ^a , A1 ^a , A3 ^a , A2 ^a , K ^b
	Gr.içi	608,259	15	40,551			
	Toplam	1302,640	19				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara.	765,162	4	191,290	4,905	0,010	B2 ^a ,B1 ^a ,B4 ^a ,B3 ^a , K ^b
	Gr.içi	584,992	15	38,999			
	Toplam	1350,154	19				
Grup A ile B (A1-A2- A3- A4- B1- B2- B3, B4- K	Gr. ara.	859,800	8	107,475	3,969	0,003	B2 ^a , A4 ^a , B1 ^a , A1 ^a , B4 ^a ,A3 ^a ,A2 ^a , B3 ^a , K ^b
	Gr.içi	731,186	27	27,081			
	Toplam	1590,986	35				

Tablo 22’de sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının Rz değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bu levha grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen farklılıklar ($P<0,05$) belirlenmiştir.

3.4.2. Yüzey Sertliği

Magnezyum ve bor bileşikleri ilavesi ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının Shore-D yüzey sertlik değerleri Tablo 23’te verilmiştir.

Tablo 23. Yüzey sertlik değerleri

Levhalar	X	S
A1	74,40	2,881
A2	76,40	2,074
A3	73,80	1,789
A4	75,40	2,074
B1	79,00	1,581
B2	77,40	2,608
B3	76,80	1,789
B4	77,20	1,924
Kontrol	70,00	1,581

MDF rneklerinin yüzey sertlik değerlerine yönelik istatistiksel değerlendirmede, anlamlı farklılıkların olup olmadığını belirlemek amacıyla basit varyans analizi (BVA) kullanılmıştır. Yapılan BVA sonucunda belirlenen anlamlı farklılıklar, Duncan testi ile analiz edilmiş ve tüm varyasyonlara ait homojenlik grupları oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmenin sonuçları ise Tablo 24’te sunulmuştur.

Tablo 24. Yüzey sertlik değerlerine ait BVA ve Duncan testi sonuçları

BVA/ Yüzey sertlik değerleri		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Düz.	Duncan Testi- Homojenlik Grp.
Grup A (A1- A2-A3- A4-K)	Gr. ara.	119,600	4	29,900	6,615	0,001	K ^a , A1 ^b A3 ^b , A4 ^b , A2 ^b
	Gr.içi	90,400	20	4,520			
	Toplam	210,000	24				
Grup B (B1- B2-B3, B4- K)	Gr. ara.	245,040	4	61,260	16,380	0,000	K ^a ,B3 ^b ,B4 ⁴ ,B2 ^b , B1 ^b
	Gr.içi	74,800	20	3,740			
	Toplam	319,840	24				
Grup A- B (A1-A2-A3- A4- B1- B2- B3, B4- K)	Gr. ara.	277,600	8	34,700	8,049	0,000	K ^a , A3 ^b , A1 ^{bc} , A4 ^{bc} , A2 ^{bcd} , B3 ^{cd} , B4 ^{cd} , B2 ^{cd} , B1 ^d
	Gr.içi	155,200	36	4,311			
	Toplam	432,800	44				

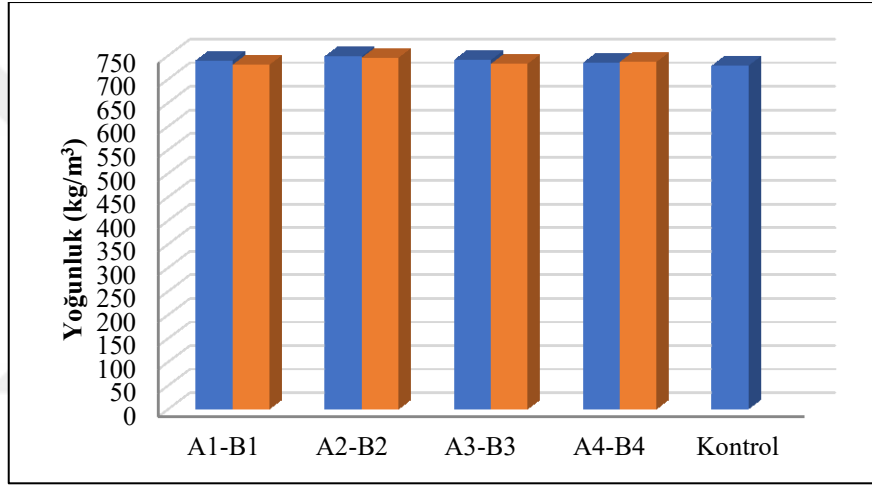
Tablo 24'te sunulan BVA değerlendirmesine göre, levha gruplarının yüzey sertlik değerleri test varyasyonlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. A ve B gruplarının hem ayrı ayrı hem de birlikte değerlendirilmesi sonucunda, bu levha grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen farklılıklar ($P<0,05$) belirlenmiştir.

4. TARTIŞMA

4.1. Fiziksel Özellikler

4.1.1. Yoğunluk

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının yoğunluk değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

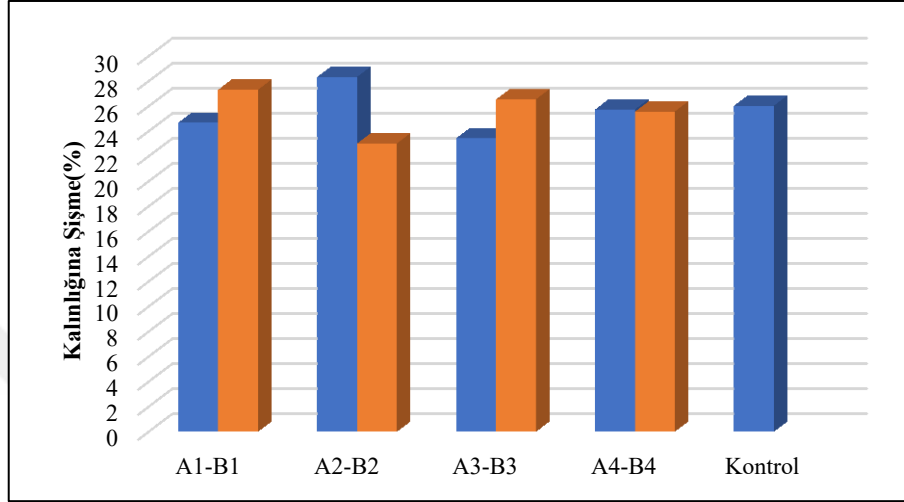


Şekil 4. Levha gruplarının yoğunluk değerleri

Şekil 4'ten görüleceği üzere; A ve B gruplarına ait levha örneklerinin yoğunluk değerleri; magnezyumlu ve borlu katkı maddelerinin kullanımına bağlı olarak değişim göstermiştir. Tüm levha grupları içerisinde A2 grubunun yoğunluğunun en yüksek olduğu görülmektedir. Levha gruplarının yoğunluk değerleri 729 - 749 kg/m³ arasında değişim göstermiştir.

4.1.2. Kalınlığına Şişme Oranları

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının kalınlığına şişme oranlarındaki değişim Şekil 5’te verilmiştir.

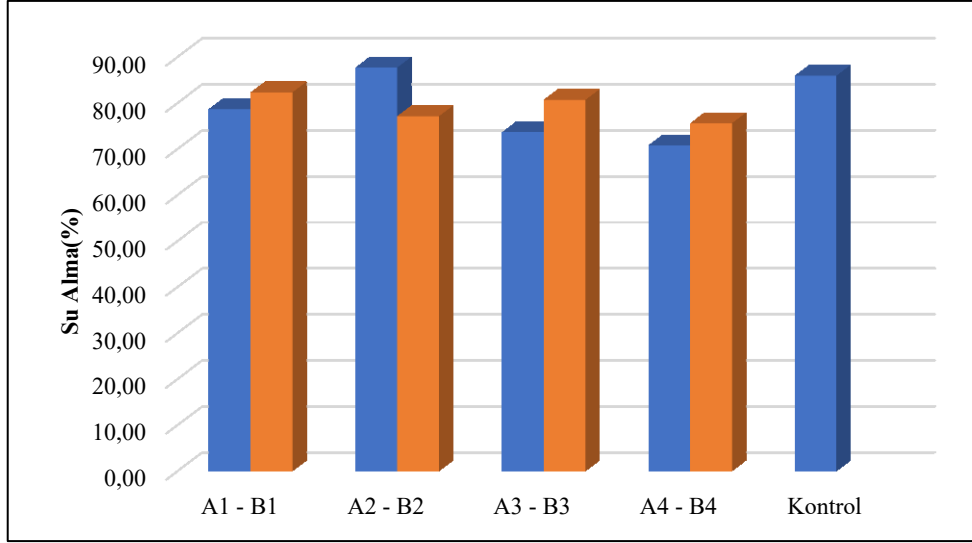


Şekil 5. Levha gruplarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme oranları

Levha gruplarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme oranlarında meydana gelen değişimler Şekil 5’te görüldüğü gibidir. Buna göre, A2, B1, B3 hariç katkı maddeleri ilaveli A ve B levha gruplarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme (KŞ) oranlarının kontrol grubuna ait kalınlığına şişme(KŞ) oranına yakın ya da düşük olduğu görülmektedir. Kontrol grubu için bu değer % 26,03 olarak bulunmuştur. Magnezyum klorür hekzahidrat içeren A grupları arasında A3 (% 0,5 MKH +% 0,5 BA) grubu ile en düşük, A2 (% 0,5 MKH +% 0,5 ÇB) grubu ile en yüksek değerler elde edilirken; Magnezyum hidroksit içeren B grupları arasında sırasıyla en düşük ve en yüksek değerler B2(% 0,5 MH+% 0,5 ÇB) ve B1(%1 MH) grupları ile elde edilmiştir.

4.1.3. Su Alma Oranları

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilmiş levhalar ile kontrol levhalarının su alma oranları Şekil 6’da verilmiştir.



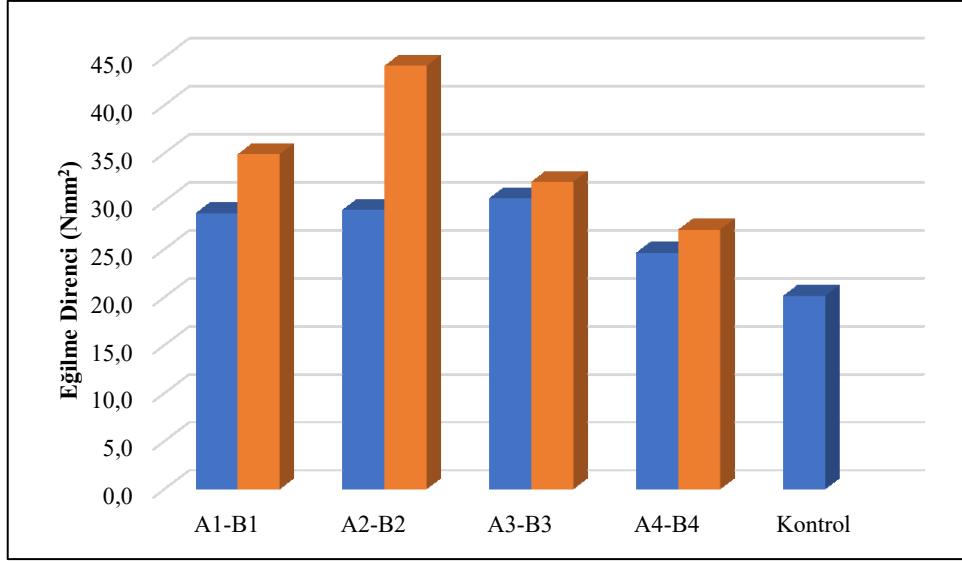
Şekil 6.Levha gruplarının 24 saat süre ile su alma oranları

Şekil 6 incelendiğinde magnezyum ve bor bileşik katkıları olarak üretilen A -B levha gruplarının 24 saat sürede su alma değerlerinin ilave edilen katkı maddelerine ve bu maddelerin karışımlarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. A grubu levhalarda en yüksek su alma oranı A2 (%0,5 MKH +%0,5 ÇB) grubunda, en düşük SA oranı ise A4 (%0,5 MKH+%0,5 SPT) grubunda elde edilirken, B grubu levhalarda ise en yüksek SA oranı B1(%1 MH) en düşük SA oranı ise B4 (%0,5 MH+%0,5 SPT) grubundan elde edilmiştir. Genel olarak tüm grupların SA değerleri, A2 grubu dışında kontrol grubunun değerinden daha düşük olarak bulunmuştur. Magnezyum klorür heksahidrat ve bor bileşikler içeren A grubunda, magnezyum hidroksit ve bor bileşikler içeren B grubuna oranla daha düşük değerler elde edilmiştir.

4.2. Mekanik Özellikler

4.2.1. Eğilme Direnci

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 7’de verilmiştir.

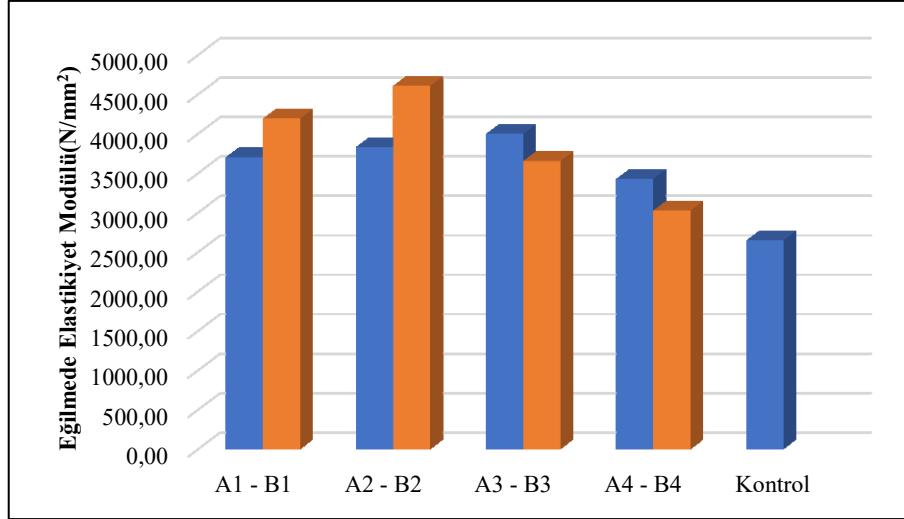


Şekil 7. Levha gruplarının eğilme direnci değerleri

Şekil 7’de sunulan eğilme direnci değerlerinin karşılaştırılması sonucunda bu gruplar arasında en yüksek eğilme direnci değerinin 44,1 N/mm² ile B2 grubunda olduğu görülmektedir. Buna karşılık, en düşük eğilme direnci değeri ise 20,2 N/mm² ile A ve B gruplarındaki maddeler ilave edilmeden üretilen kontrol grubunda kaydedilmiştir. A grubu kendi içerisinde karşılaştırıldığında en yüksek değer A3(%0,5 MKH+%0,5 BA) grubunda, en düşük değer ise kontrol grubunun değerinin ardından A4(%0,5 MKH+%0,5 SPT) grubunda elde edilmiştir. B grubunda ise A grubuna benzer şekilde B4 grubu ile kendi içerisinde en düşük değer elde edilmiştir. Buna göre, magnezyum ve bor katkısı ile üretilen tüm levhaların eğilme değerlerinin kontrol değerinden daha yüksek olduğu ve ilave madde uygulamasının eğilme direnci üzerinde pozitif bir etki sağladığı görülmektedir. Sonuçlar, genel olarak değerlendirildiğinde; magnezyum hidroksit ve magnezyum klorür hekzahidratın borlu bileşikler ile karışım halinde uygulanmasının sinerjik bir etki sağladığını söylemek mümkündür.

4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilmiş levhalar ile kontrol levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri için ölçülen sonuçlar Şekil 8’de verilmiştir.

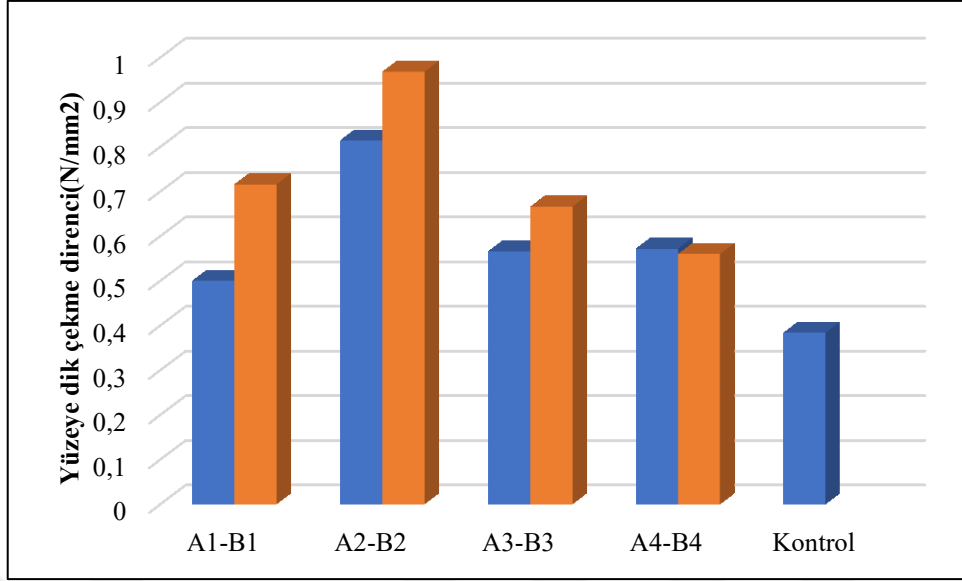


Şekil 8.Levha gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri

Şekil 8 incelendiğinde, eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin A ve B grupları için kontrol grubunun değerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu değerler, örneklerin eğilme direnci değerlerindeki artışa benzer bir eğilim göstermiştir. Şekil 8’den de görüleceği üzere, en yüksek ve en düşük değerler A grubu levhalar için sırasıyla, A3 ve A4 grubundan, B grubu levhalar için ise B2 ve B4 grubundan elde edilmiştir.

4.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerlerindeki değişim Şekil 9’da verilmiştir.



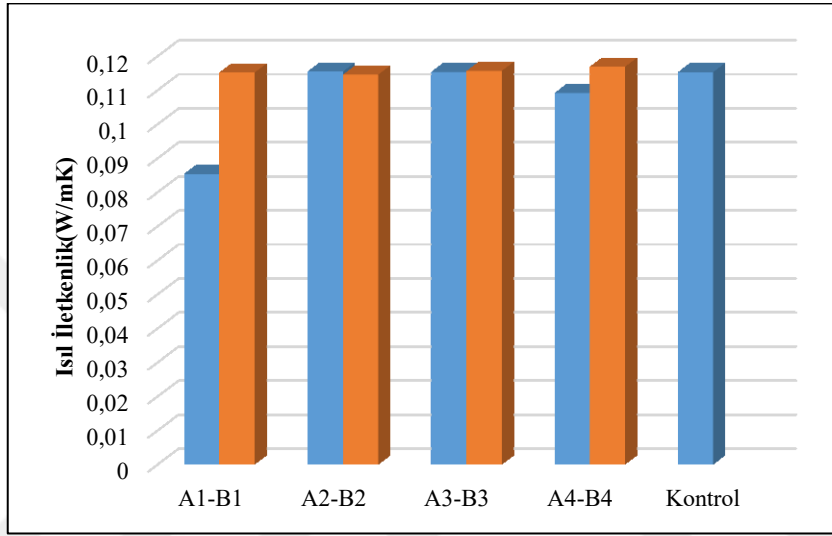
Şekil 9. Levha gruplarının yüzeye dik çekme direnci değerleri

Şekil 9 incelendiğinde, magnezyum ve bor içerikli A ve B gruplarının yüzeye dik çekme direncine ait değerlerin kontrol grubu değerinden yüksek olduğu ve bu değerlerin Mg ve bor katkı maddelerinin tek ve/veya karışım halinde kullanılmasına bağlı olarak olumlu yönde değiştiği görülmektedir. Özellikle MKH ve MH'ın BA, ÇB ve SPT ile karışım halinde uygulandıkları levha gruplarında direnç bakımından daha sağlam örnekler elde edilmiş ve daha yüksek çekme direnci değerleri kaydedilmiştir. Bu maddelerin tek başlarına kullanıldıkları A1 ve B1 gruplarında da kontrol grubuna oranla daha yüksek değerler ölçülürken; karışım halinde kullanıldıkları levha gruplarında ise sinerjik etki göstermeleri nedeniyle daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. A grubu kendi arasında değerlendirildiğinde, yalnızca %1 magnezyum klorür hekzahidrat katkılı A1 grubunun en düşük çekme direnci değerini, % 0,5 magnezyum klorür hekzahidrat + %0,5 çinko borat katkılı A2 grubunun ise en yüksek çekme direnci değerini verdiği Şekil 9'da görülmektedir. B grubu kendi içinde değerlendirildiğinde; A grubuna benzer şekilde en düşük değer B4'te, en yüksek değer ise %0,5 magnezyum hidroksit + %0,5 çinko borat içeren B2 grubunda elde edilmiştir. İki grup karşılaştırıldığında ise MH içeren B grubunun MKH içeren A grubuna kıyasla daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. Aynı oranlarda kullanılan $Mg(OH)_2$ tutkalla kullanımda daha iyi bir etkinlik göstermiş ve daha dirençli levhalar üretilmiştir.

4.3. Termal-Yanma Özellikleri

4.3.1. Isıl İletkenlik

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının ısı iletkenlik değışim Şekil 10’ da verilmiştir.



Şekil 10. Levha gruplarının ısı iletkenlik değışim

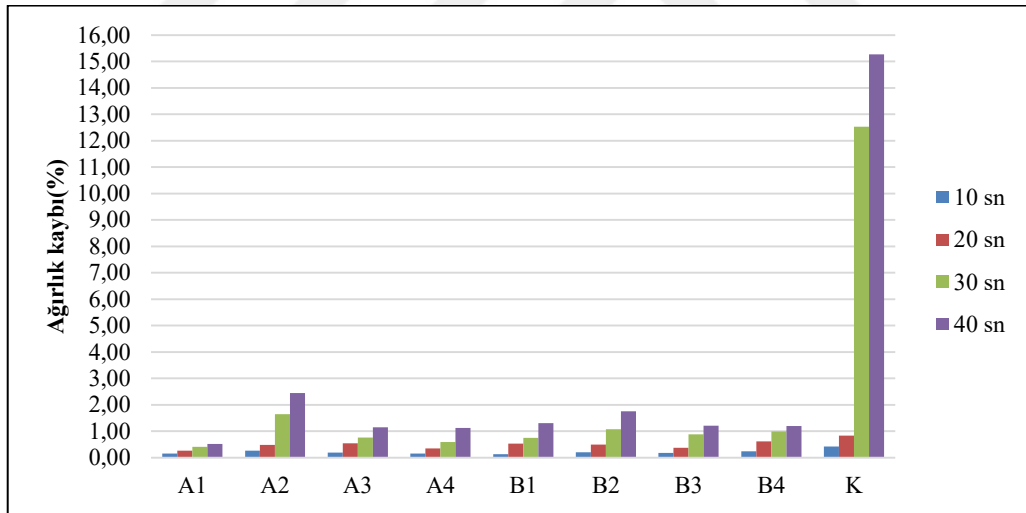
Şekil 10’dan görüleceğı üzere genel olarak ısı iletkenlik değışim kontrol grubunun değışimne yakın olarak ölçölmüş, ancak özellikle A1 ve A4 gruplarının değışimleri ise daha düşük olarak bulunmuştur. Magnezyum klorür hekzahidrat içeren A grubu için en düşük değışim A1 grubunda, en yüksek değışim ise A2 grubunda belirlenmiştir. Magnezyum hidroksit içeren B grubunda ise en düşük değışim B2 grubunda, en yüksek değışim ise B3 grubunda elde edilmiştir. B grubu ile A grubuna oranla biraz daha yüksek ısı iletkenlik değışimleri elde edilmiş olup, bu durum B grubu örneklerin ısıyı daha fazla iletteğı ve dolayısıyla daha iyi bir iletken olduğı anlamına gelmektedir. Lif levha üretimlerinde katkı maddeleri kullanımı MDF levhalarının ısı iletkenlik değışimlerini değışimtirmekte ve genel olarak iletkenlik değışimleri çok az da olsa artış eğilimi göstermektedir. Bu artışın çoğunlukla ilave kimyasalların özelliklerine ve lif yapısındaki değışimlere bağılı olarak gerçekleşteğı düşünölmektedir.

Termal iletkenlik değışim ölçümü, bir malzeme boyunca sıcaklığın ne kadar kolay iletildiğini gösteren bir ölçüdür (Hollaway, 2010). Isı iletkenlik, odun malzemesi için;

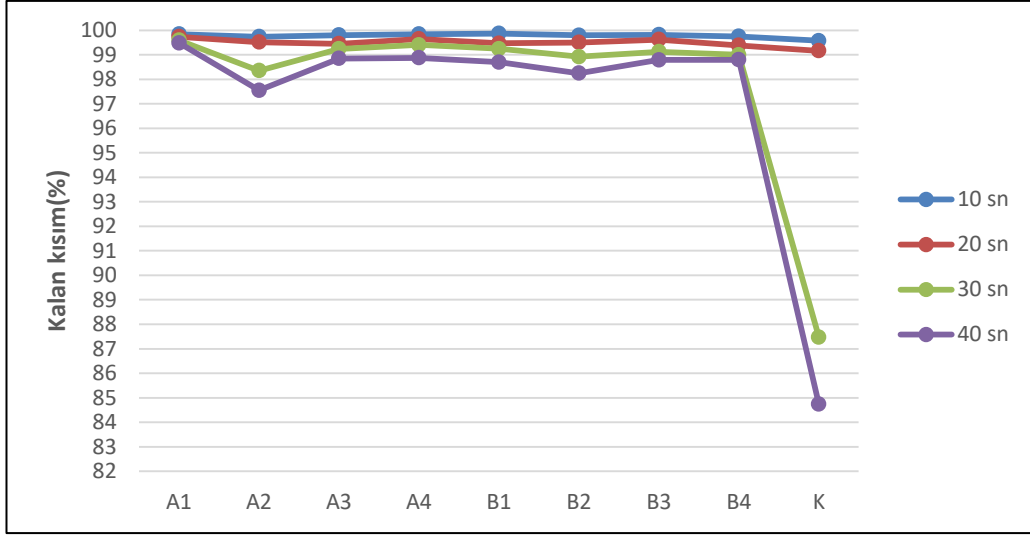
odun türü ve ekstraktif madde, yoğunluk; ortam koşulları (sıcaklık, rutubet, vb.) gibi farklı parametrelere bağlı olarak değişmekte ve bu değerler genellikle artış göstermektedir (Uysal ve ark., 2008). Kompozit esaslı levhalarda ise ısı iletkenlik değerleri, üretim için kullanılan lifin yapısal özellik ve türü, üretim koşulları, tutkal, dolgu maddeleri ile diğer katkı maddeleri gibi birçok parametreye bağlıdır (Mutnuri, 2006). Ustaömer ve Usta (2017) yaptıkları bir çalışmada MDF levhalarının ısı iletkenlik değerlerinin liflevha üretiminde kullanılan yanmayı geciktirici kimyasal maddelere ve artan kullanım oranlarına bağlı olarak kontrol grubu değerlerinden yüksek olduğunu belirlemiştir.

4.3.2. Alev Testi (UL-94)

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının UL-94 testi sonucu elde edilen ağırlık kaybı ve kalan kısım oranlarındaki değişim Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 11. Levha gruplarının ağırlık kaybı



Şekil 12. Levha gruplarının örnek kalan kısım oranları

Şekil 11 ve 12 incelendiğinde, kimyasal ilave edilmiş grupların örneklerinin kontrol levha grup örneklerine oranla ağırlık kaybı değerlerinin daha düşük, buna bağlı olarak da bozunmadan kalan kısım oranlarının ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Örnekte bozunmadan kalan kısmın yüksek olması yanma sonucunda ağırlık kaybının az olduğu ve örneğin bütünlüğünün daha fazla korunduğunu ifade etmektedir. Bu test için 10'ar sn periyotlarda yapılan alev uygulamaları sonucunda tüm kimyasal madde uygulanan gruplarda ağırlık kaybı sonuçlarının belirgin düzeyde daha düşük olduğu ve kimyasal maddelerin etkisinin olduğu görülmektedir. Özellikle ilk 20 sn sonunda tüm gruplarda %1'in altında ağırlık kaybı gözlenirken, ilk 40 sn tamamlandığında örneklerin ağırlık kaybı değerleri bu oranın üzerine yükselmiştir. Kontrol grubu için ağırlık kaybı değerleri ise belirgin derecede yüksek olarak kaydedilmiştir. Özellikle kontrol grubunda 20. sn sonrasında alev hızı artışı ile birlikte örneğin yanması daha hızlı olmuş ve bunun sonucunda 30 sn'de %12,5270 oranında, 40. sn' de ise %15,263 oranında ağırlık kaybı değerleri tespit edilmiştir. Kontrol grubunun 40. sn sonundaki değeri, bu süre sonunda en düşük ağırlık kaybı değerine sahip olan A1 grubunun değerine kıyasla yaklaşık 29,59 kat daha fazla ağırlık kaybı değeri vermiştir. Ayrıca, Şekil 12'den kimyasal katkılı grup örneklerinin kalan kısımlarına ait oranlar incelendiğinde, kontrol grubu değeri ile aralarında oldukça belirgin farklar olduğu görülmektedir.

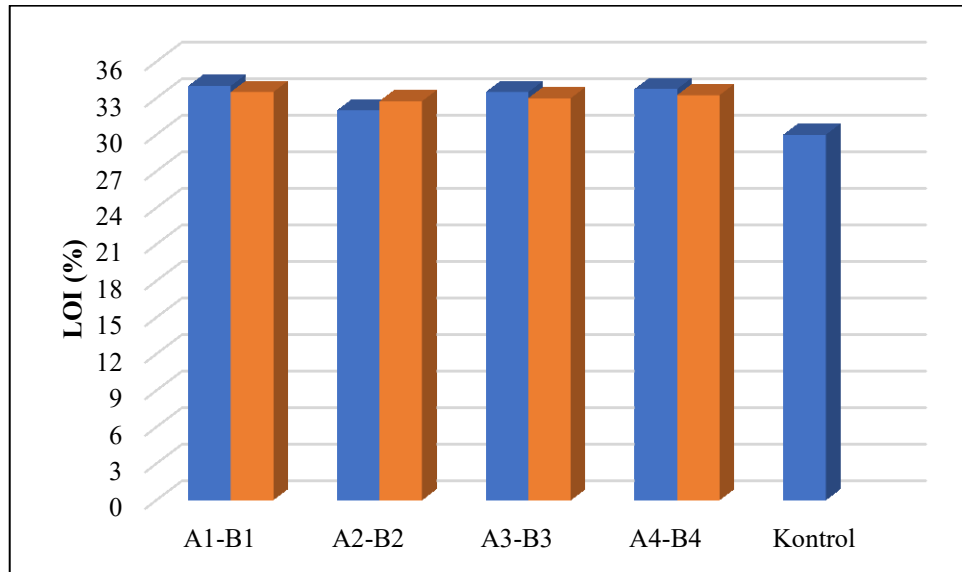
Tüm gruplar arasında, A1 grubu için en düşük ağırlık kaybı elde edilmiştir. A2 grubu dışında genel olarak A grubu örnekleri B grubu örneklerine göre daha iyi değerler vermiştir. A ve B grupları birlikte değerlendirildiğinde, iki grubun kimyasallarının alev

testi ağırlık kaybı ve gözlemsel sonuçlar üzerinde etkilerinin önemli olduğu ve kontrol örneğine kıyasla daha iyi sonuçlar verdikleri görülmektedir. Bu testin sonucunda da LOI testi sonuçlarına benzer şekilde eğilim gözlenmiş olup, buna göre magnezyum klorür hekzahidrat içeren gruplarda daha iyi yanma etkinliği elde edilmiş ve yanma sonrası daha düşük ağırlık kaybı değerleri tespit edilmiştir.

Tablo 18'deki gözlemsel değerlerde belirtildiği üzere, kimyasal katkı ile üretilen MDF örneklerinde, örneğin test alev kaynağına yaklaştırıldığı ilk 10 sn ve ardından takip eden 20 sn içerisinde herhangi bir tutuşma olayı gözlenmemiştir. Bu test açısından ilk 30 sn önemli olup bu deney tekrarlı olarak ilk 50 sn'ye kadar devam ettirilmiştir. Fakat bu süre içerisindeki tekrarlı ölçümlerde kontrol levha grubu örnekleri daha kolay tutuşmuş ve diğer gruplara göre daha geç sönmüştür. Kontrol grubu örneklerinde tutuşma ilk 20 sn içinde de başlamış, yavaş da olsa sönmekten daha uzun süre için devam etmiştir. Bu süre içinde, kontrol örneklerinde daha fazla duman ve kül oluşumu gözlenirken, kimyasal katkı örneklerinde ise daha fazla kömürleşme ve daha az duman oluşumu tespit edilmiştir.

4.3.3. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının LOI oranlarına ait değişimler Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 13. Levha gruplarının LOI değerleri

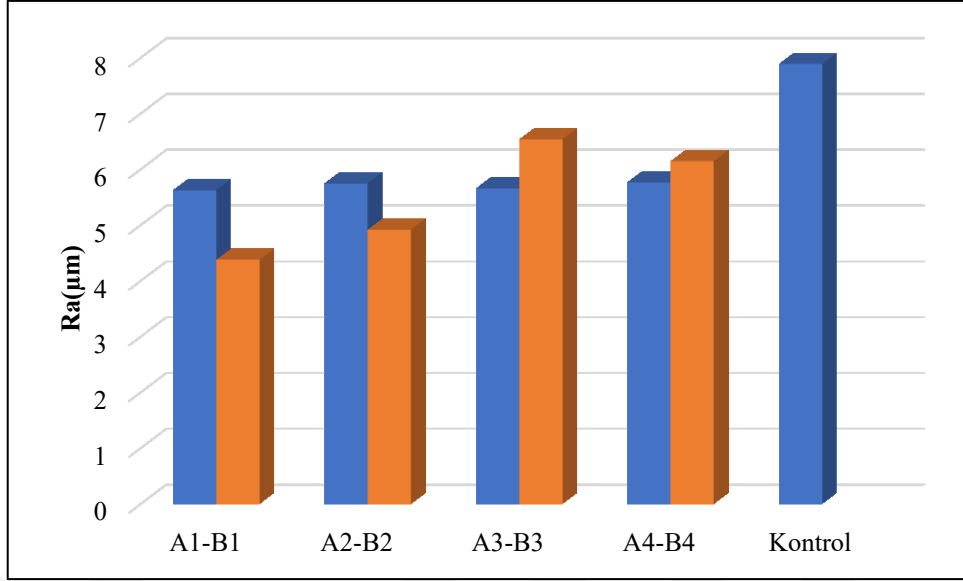
Şekil 13'ten görüleceği üzere; magnezyum ve borlu bileşikler içeren A ve B grubu levha örneklerine ait LOI değerleri, bu maddelerin tek ve/veya karışım halinde uygulanmalarına bağlı olarak değişim göstermiştir. A ve B grubu levha örneklerinin LOI değerleri % 32,00 -34,25 arasında, kontrol grubunun değeri ise % 30,00 olarak bulunmuştur. LOI testi sonucunda, en yüksek LOI değeri %34,10 ile A1 levha grubunda bulunurken, en düşük LOI değeri % 30,00 ile kontrol grubunda tespit edilmiştir. En yüksek LOI değerine sahip A1 grubu diğer gruplara kıyasla daha fazla yanmaya karşı direnç göstermiştir. A4 (33,75), A3 (33,50) ve B1 (33,50) grupları ise değer olarak birbirine daha yakındır. Bu gruplar, tüm gruplar arasında A1 grubunun ardından kontrole kıyasla daha yüksek yanma direncine sahip diğer gruplar olarak kaydedilmiştir. A ve B grubu değerleri karşılaştırıldığında, genel olarak içeriğinde magnezyum klorür heksahidratın bulunduğu A grubu değerleri, içeriğinde magnezyum hidroksit bulunan B grubu değerlerinden biraz daha yüksek olarak bulunmuştur. Magnezyum hidroksit, magnezyum klorür heksahidrata göre yanma geciktirme özelliği açısından daha yaygın olarak kullanılan bir kimyasal olmasına rağmen MKH ile biraz daha yüksek değerler elde edilmiştir.

LOI değerlendirmesi sonucunda, magnezyum klorür heksahidrat'ın etkisinin biraz daha fazla bulunmuş olması; hidratlı yapısı sebebiyle ısıya maruz kaldığında su açığa çıkması, endotermik dehidrasyon tepkimesi ile yanma gerçekleşen malzemenin yüzeyini soğutması ve alevi azaltmasından kaynaklı olabilir. Bu madde, bor bileşikleriyle sinerjik etki göstererek kömürleşmeyi daha fazla artırmış olabilir. Magnezyum klorür heksahidrat ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) ısıtıldığında önce suyunu kaybeder ve $MgCl_2$ 'ye dönüşür. HCl salınımı nedeniyle kömürleşme mekanizması artabilir. Bilindiği üzere, tüm yanma geciktiriciler farklı mekanizmalarla yanmayı geciktirme etkinliği sağlamaktadır. Özellikle kimyasalların farklı maddelerle karışım halinde uygulanmaları sinerjik etkinliği artırmaktadır (Holmes, 1977)

4.4. Yüzey Özellikleri

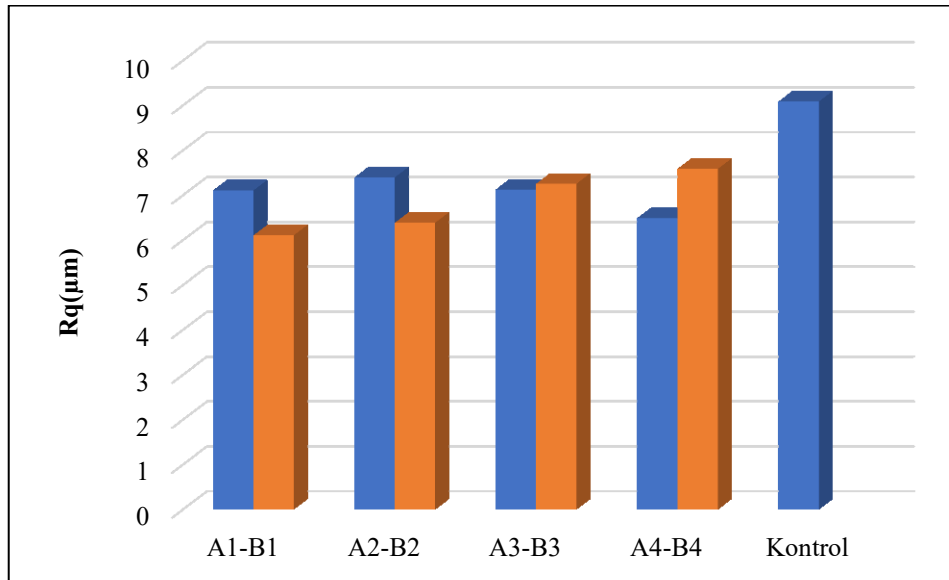
4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının yüzey pürüzlülük parametrelerindeki değişimler Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.



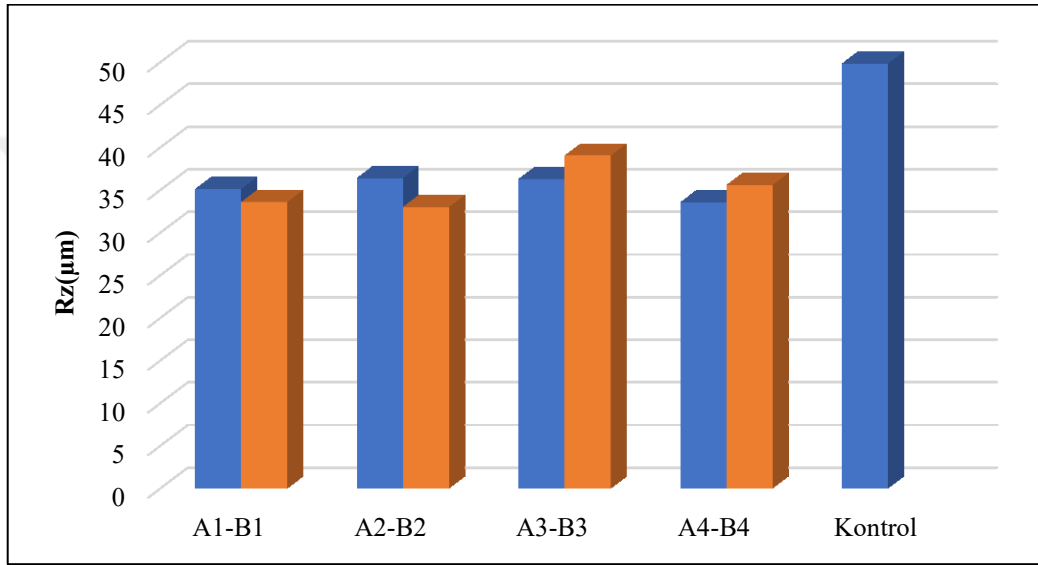
Şekil 14. Levha gruplarının Ra değerleri

Şekil 14’te verilen Ra değerleri incelendiğinde, bu değerlerin kontrol grubuna oranla daha düşük olduğu görülmektedir. A grubu için en düşük Ra değeri A1 grubunda en yüksek Ra değeri ise A4 grubunda; B grubu için en düşük Ra değeri B1 grubunda en yüksek Ra değeri ise B3 grubunda ölçülmüştür. İki grup karşılaştırıldığında ise en düşük Ra değeri magnezyum hidroksit içeren B1 grubu örneğinde tespit edilmiştir.



Şekil 15. Levha gruplarının Rq değerleri

Şekil 15'te Rq değerlerindeki değişimler verilmiştir. Buna göre, Rq değerlerinin kimyasal madde katkısı ile belirgin şekilde değiştiği, A ve B grubu levha örneklerinin değerlerinin kontrol grubunun değerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. A grubu için en düşük Rq değeri A4 grubunda, en yüksek Rq değeri A2 grubunda bulunurken; B grubu için en düşük Rq değeri B1 grubunda, en yüksek Rq değeri ise B4 grubunda ölçülmüştür. İki grup arasında en düşük Rq değeri magnezyum hidroksit içeren B grubu örnekleri arasında tespit edilmiştir

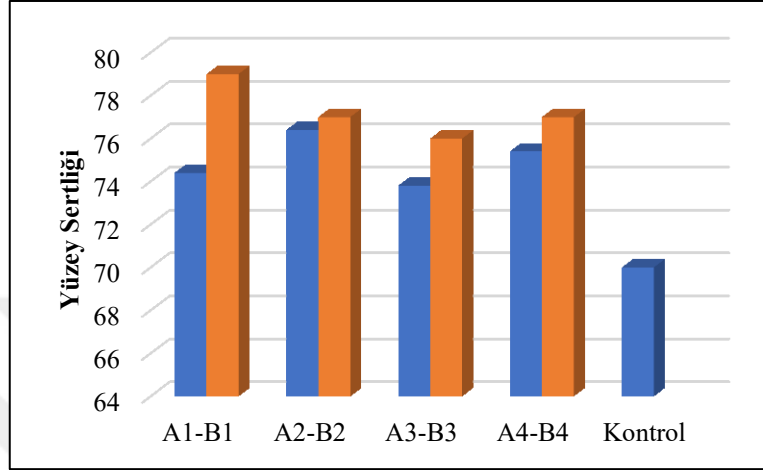


Şekil 16. Levha gruplarının Rz değerleri

Şekil 16'da Rz değerlerindeki değişimler verilmiştir. Şekil 16 incelendiğinde, Rz değerlerinin kimyasal madde katkısı ile önemli ölçüde azalttığı, A ve B grubu levha örneklerinin değerlerinin Ra, Rq değerlerine benzer şekilde kontrol grubunun değerine oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Kimyasal madde ilavesi ile levha örneklerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmış ve yüzeyleri daha düzgün örnekler elde edilmiştir. A grubu için en düşük Rz değeri A4 grubunda en yüksek Rz değeri ise A2 grubunda tespit edilirken, B grubu için en düşük Rz değeri B2 grubunda en yüksek Rz değeri ise B3 grubunda ölçülmüştür. A ve B grupları arasında en düşük Rz değeri magnezyum hidroksit içeren B2 grubu örneği için belirlenmiştir.

4.4.2. Yüzey Sertliği:

Magnezyumlu ve borlu bileşikler ile üretilen levhalar ile kontrol levhalarının yüzey pürüzlülük parametrelerindeki değişimler Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Levha gruplarının yüzey sertlik değerleri

Şekil 17 incelendiğinde, yüzey sertlik değerlerinin magnezyumlu ve bor maddelerinin tek veya birlikte karışım halinde uygulanması ile arttığı ve tüm değerlerin kontrol grubunun değerinden yüksek olduğu görülmektedir. A grubu için en yüksek değer, MKH ve ÇB’nin karışımıyla üretilmiş olan A2 grubunda elde edilirken B grubu için en yüksek değer ise %1 magnezyum hidroksit katkısı ile üretilen B1 grubunda elde edilmiştir. Magnezyum hidroksit içeren B grubu ile magnezyum klorür heksahidrat içeren A grubuna kıyasla daha yüksek yüzey sertliği değerleri bulunmuştur.

5. SONUÇLAR

5.1. Fiziksel Özellikler

5.1.1. Yoğunluk

Magnezyum ve bor ilaveli grupların yoğunluk değerleri kontrol grubundan daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu değerler 729-749 kg/m³ arasında bulunmuştur.

5.1.2. Kalınlığına Şişme Oranları

A, B grubu levhaların kalınlığına şişme değerleri, kontrol grubunun değerlerine yakın veya daha düşük olarak bulunmuştur. A grubuna ait en yüksek KŞ değeri A3 grubunda, en düşük A2 grubunda bulunmuştur. B grubuna ait en yüksek KŞ değeri B1 grubunda, en düşük değer ise B2 grubunda elde edilmiştir.

5.1.3. Su Alma Oranları

A, B levha gruplarının 24 saat su alma değerleri kontrol grubunun değerlerine yakın veya daha düşük olarak bulunmuştur. A grubu levhalardan en yüksek su alma oranı A2 grubunda, en düşük SA oranı ise A4 grubunda tespit edilmiştir. B grubu levhalar için ise en yüksek SA oranı B1 grubunda, en düşük SA oranı B4 grubunda elde edilmiştir. A grubu ile B grubuna kıyasla daha düşük değerler elde edilmiştir.

5.2. Mekanik Özellikler

5.2.1. Eğilme Direnci

Eğilme direnci testi sonuçlarına göre, en yüksek değer 44,1 N/mm² ile B2 grubunda, en düşük değer ise 20,2 N/mm² ile kontrol grubunda kaydedilmiştir. Magnezyum ve bor katkısı, tüm levhaların eğilme direncini artırmış ve kimyasal madde ilavesinin eğilme

direnci üzerinde sinerjik etkisi gözlemlenmiştir. B grubu ile A grubuna kıyasla daha yüksek değerler elde edilmiştir.

5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

A, B gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur. En yüksek değerler A3 ve B3 gruplarında, en düşük değerler ise A4 ve B4 gruplarında elde edilmiştir.

5.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Magnezyum ve bor bileşikleri içeren A ile B gruplarının yüzeye dik çekme direnci değerleri kontrol grubundan oldukça yüksek bulunmuş ve bu değerler, katkı maddelerinin tek ya da karışım halinde kullanılmasına bağlı olarak artış göstermiştir. Özellikle MKH ve MH'ın BA, BX ve SPT ile karışım halinde uygulandığı levhalarda daha yüksek direnç değerleri elde edilmiş ve sinerjik etki gözlenmiştir. Genel olarak B grubu ile daha yüksek değerler bulunmuştur.

5.3. Termal-Yanma Özellikleri

5.3.1. Isıl İletkenlik

Genel olarak A ve B gruplarının ısı iletkenlik değerleri kontrol grubunun ısı iletkenlik değerine yakın bulunmuş olup, A1 ve A4 grupları için daha düşük değerler ölçülmüştür. A grubu levhalarda en düşük değer A1'de, en yüksek değer A2'de; B grubu levhalarda en düşük değer B1'de, en yüksek değer B3'te kaydedilmiştir. B grubunun ısı iletkenlik değerleri A grubuna kıyasla biraz daha yüksek bulunmuştur.

5.3.2. UL-94

Alev testinin özellikle ilk 30 sn'lik süresi boyunca A ile B grubunun örneklerinde herhangi bir tutuşma olmamıştır. Kimyasal katkılı levha gruplarının ağırlık kaybı değerleri

kontrol grubuna göre daha düşük, bozunmadan kalan kısım oranları ise daha yüksek bulunmuştur. En düşük ağırlık kaybı A1 grubunda, en yüksek ağırlık kaybı kontrol grubunda tespit edilmiştir. A grubu genel olarak B grubuna göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Kontrol grubu, daha kolay tutuşmuş, daha uzun süre yanmış, daha fazla duman ve kül oluştururken, kimyasal katkılı gruplar daha fazla kömürleşme ve daha az duman göstermiştir. Magnezyum ve bor bileşikleri örneklerin yanma direncini artırmıştır.

5.3.3. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

LOI testi ile A ve B grubu levha örneklerinde LOI değerleri %32,00-34,25 arasında bulunmuştur. Kontrol grubunun LOI değeri %30,00 olarak tespit edilmiştir. En yüksek değer A1 grubunda bulunmuş olup test genelinde A grubu örnekleri ile B grubu örneklerine kıyasla daha yüksek değerler elde edilmiştir. Magnezyum ve bor bileşikleri katkısının örneklerin yanma direncini artırdığı görülmüştür.

5.4. Yüzey Özellikleri

5.4.1. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

A ve B grubu levha örneklerinin Ra, Rq, Rz değerlerinin kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğu ve bu levha gruplarının yüzeylerinin daha düzgün olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak B grubu ile daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ra, Rq için en düşük değerleri B1 grubunda Rz için en düşük değer is B2 grubunda tespit edilmiştir.

5.4.2. Yüzey Sertliği

Yüzey sertlik değerleri magnezyumlu ve bor maddelerinin tek veya birlikte karışım halinde uygulanması ile artış göstermiştir. En düşük değer kontrol grubu levhalarında en yüksek değer ise %1 magnezyum hidroksit katkısı ile üretilen B1 grubunda elde edilmiştir. B grubu ile A grubuna kıyasla daha yüksek yüzey sertlik değerleri bulunmuştur.

6. ÖNERİLER

Günümüzde, diğer endüstriler arasında artan üretim kapasitesi ile üst sıralarda yerini alan lif levha endüstrisi, geniş ürün çeşitliliği ile piyasalarda rekabet gücünü oldukça artırmıştır. Buna bağlı olarak da işletmeler mevcut ürettikleri ürünlerinin kalitesini artırmaya yönelik sürekli iyileştirme ve inovatif yaklaşımlar geliştirmektedir. Bilindiği üzere, levha üretim aşamalarında çeşitli işlemlerle üretilen ürünlere istenilen müdahaleler yapılabilmektedir. Böylece, müşterilerin beklentilerini karşılayacak, sektörde rekabet gücünü artıracak istenilen nitelikte yenilikçi ürünler geliştirilebilmektedir. Bu durum aynı zamanda nihai levha ürünlerinin kullanım alanlarını da genişletmektedir. Levha ürünlerinin kullanım alanları dikkate alındığında; su ve rutubete dayanıklı olması, özellikle yangına dayanımının artırılması, mekanik özelliklerinin iyi olması oldukça gereklidir. Yine yüzey özelliklerinin de iyileştirilmesi kullanım yeri açısından önemlidir.

Bu çalışma kapsamında borlu ve magnezyumlu bileşiklerin katkısıyla lif levha üretimi gerçekleştirilmiş ve levhalar için uygulanan ilgili test sonuçları yorumlanarak aşağıdaki değerlendirme ve önerilere ulaşılmıştır.

Çalışma sonucunda, magnezyum klorür heksahidrat ve magnezyum hidroksitin borlu bileşikler ile birlikte üre formaldehit tutkalına ilavesi ile üretilen MDF levhalarının araştırılan özellikleri üzerinde bu maddelerin etkisinin olumlu olduğu bulunmuştur. Magnezyum ve bor içerikli katkı maddelerinin lif levha özelliklerini iyileştirmede sinerjik etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bu deney varyasyonları, üretilen levhaların mekanik, fiziksel, yüzey özelliklerini iyileştirmiş olup, özellikle de yanmaya karşı direnç performanslarını artırmıştır. Buna göre, levhaların özellikle yanma direnç performansının daha fazla artırılması için bu maddelerin farklı kimyasal maddelerle farklı varyasyonlarla uygulanması çalışmaları yapılabilir. Ayrıca, yanma geciktirici performansın ve suya dayanıklılığın artırılması amacıyla bu varyasyonlar MUF tutkalıyla birlikte artan konsantrasyon oranlarıyla denenebilir. Diğer bir alternatif olarak ise, kullanılan kimyasal maddelerin levha üretimi için uygulama yöntemi değiştirilerek yöntemlerin etkisi karşılaştırılabilir.

Bu çalışma ile; genel olarak olumlu sonuçlara ulaşılmış olup bu sonuçların endüstriyel anlamda uygulanabilirliği olan alternatif ürün geliştirme araştırmalarına ve literatüre katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Akbulut, T., & Ayrılmış, N. (2001). MDF Üretiminde Dikkate Alınması Gereken Hususlar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 51(2), 25-42.
- Akbulut, T., Kartal S.N. & Green, F. (2004). Fiberboards Treated with N'-N-(1,8 Naphthalyl) Hydroxylamine(NHA-Na), Borax, and Boric Acid. *Forest Products Journal*, 54(10), 59-64.
- Akdoğan, E., Tarakçılar, A.R., Topçu, M. & Yurtseven, R. (2015). Alüminyum Hidroksit ve Magnezyum Hidroksit Katkısının Termoplastik Poliüretan Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı*, 21(8), 376-380.
- Arslan, M.B., Karakuş, B. & Güntekin, E. (2007). Tarımsal Atıklardan Lif ve Yonga Levha Üretimi. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9(12), 54-62.
- ASTM C518 (2017) Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- ASTM D2863 (2000). Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index).
- ASTM D3801 (2010). Standard Test Method for Measuring the Comparative Burning Characteristics of Solid Plastics in a Vertical Position.
- Atalay, Ö. (2012). Magnezyum Borat Sentezi ve Alev Geciktirici Pigment Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aydın, İ. & Çolakoğlu, G. (2005). Borlu Bileşikler ile Emprenye İşleminin Ağaç Malzemenin Yüzey Pürüzlülüğü, Islanabilme Yeteneği ve Yapışma Direnci Üzerine Etkileri. *I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı*. Ankara.
- Ayrılmış, N. (1999). MDF Üretim Teknolojisi. *Laminart*, İstanbul.
- Başer, U. E. (2016). Yanma Geciktirici Özelliğe Sahip Bazı Mineral Esaslı Maddeler ile Üretilen Orta Yoğunluktaki Liflevhaların (MDF) Teknolojik Özellikleri. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Baysal, E., & Yalinkilic, M.K. (2005). A New Boron Impregnation Technique of Wood by Vapor Boron of Boric Acid to Reduce Leaching Boron from Wood. *Wood Sci Technol*, 39, 187–198.
- Baysal, E., Peker, H., & Çolak, M. (2005). Çeşitli Emprenye Maddeleri ile Muamele Edilen Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) Odununda Retensiyon ve Higroskopisite Miktarları. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 21(1), 166-179.

- Booster, J. L., Van Sandwijk, A., & Reuter, M. A. (2003). Conversion of magnesium fluoride to magnesium hydroxide. *Minerals engineering*, 16(3), 273-281.
- Briggs, M. (2000). Boron oxides, boric acid, and borates. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*.
- Caldeira, F., Nunes, L., & Botelho, C. (2004). Boron in Wood Preservation: Problems, Challenges and Proposed Solutions-An Overview on Recent Research.
- Caldeira, F. (2010). Boron in Wood Preservation. A Review in Its Physico-chemical Aspects. *Silva Lusitana*, 18(2), 179-196.
- Chiu, S. & Wang, W. K. (1998). The Dynamic Flammability and Toxicity of Magnesium Hydroxide Filled Intumescent Fire Retardant Polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 67(6), 989-995.
- Çamlıbel, O., & Akgül, M. (2021). Kalsit Mineral Katkılı Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF)'nin Yanma Performansının Araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 29-37.
- Çolak, S., Çolakoğlu, G., & As, N. (2002). Ağaç Malzemenin Yanması ve Yangında Diğer Yapı Elemanlarıyla Karşılaştırılması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 52(1), 15-26.
- Deus, P.R., Alves, M.C., Vieira, F.H. & Bilesky, L.R. (2018). Analysis of the Cutting Parameters in Front Milling for Medium Density Fiberboard, *BioResources*, 13(2), 3404-3410.
- EN 310. (1993). Wood Based Panels, Determination of Modulus of Elasticity in Bending and Bending strength. European Committee for Standardization, Brussels-Belgium.
- EN 317. (1993). Wood Based Panels, Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water. European Committee for Standardization, Brussels-Belgium.
- EN 319, (1993). Wood Based Panels,, Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of the Board, European Committee for Standardization, Brussels-Belgium.
- EN 323, (1993). Wood Based Panels, Determination of Density, European Committee for Standardization, Brussels-Belgium.
- Ediz, N., & Özdağ, H. (2001). Bor Mineralleri ve Ekonomisi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*(002), 133-15
- Eroğlu, H. & Usta, M. (2000). Liflevha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü Basımevi, Trabzon.
- Esmail, W., Darwish, A., Ibrahim, O., & Abadir, M. (2001). The Effect of Magnesium Chloride Hydrate on The Fire Retardation of Cellulosic Fibers. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 63(3), 831-838.

- Gao, M., Yang, S., & Yang, R. (2006). Flame Retardant Synergism of GUP and Boric Acid by Cone Calorimetry. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(6), 5522-5527.
- Garba, B. (1999). Effect of Zinc Borate as Flame Retardant Formulation on Some Tropical Woods, *Polymer Degredation and Stability*, 64(3), 517-552.
- Gardner, D. J., Tascioglu, C., & Wålinder, M. E. (2003). Wood Composite Protection. In Book: Wood Deterioration and Preservation: Advances in Our Changing World. B. Goodell, D.D. Nicholas, and T.P. Schultz, eds; American Chemical Society, Washington D.C., pp. 399-419.
- Gezer, E.D., Yıldız, Ü.C., Temiz, A. & Yıldız, S. (2003). Odun Kompozitlerinin Koruyucu Maddelerle Emprenye Edilebilme Olanakları, *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 1-2 (1-7).
- Göker, Y., Akbulut, T. & Ayrılmış, N. (2004). Türkiye’de Üretilen MDF Levhaların Teknolojik Özellikleri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 54(1), 14-36.
- Grexa, O., Horvathova, E., Besinova, O., & Lehocky, P. (1999). Flame Retardant Treated Plywood, *Polymer Degradation and Stability*, 64, 529-533.
- Grexa, O., & Lubke, H. (2001), Flammability Parameters of Wood Tested on a Cone Calorimeter. *Polymer Degradation and Stability*, 74, 427-432.
- Guo, C., Wang, S., & Wang, Q. (2018). Synergistic Effect of Treatment with Disodium Octaborate Tetrahydrate and Guanyl Urea Phosphate on Flammability of Pine Wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76, 213-220.
- Güller, B. (2001). Odun Kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 135-160.
- Gürhan, D., Çakal, G. Ö., Eroğlu, İ., & Özkar, S. (2009). Improved Synthesis of Fine Zinc Borate Particles Using Seed Crystals. *Journal of Crystal Growth*, 311(6), 1545-1552.
- Hollaway, L.C. (2010). A Review of The Present and Future Utilisation of FRP Composites in The Civil Infrastructure with Reference to Their Important In-Service Properties, *Construction and Building Materials*, 24(12), 2419-2445.
- Holmes, C.A. (1977). Effect of Fire-Retardant Treatments on Performance Properties of Wood. Wood Technology: Chemical Aspects Effect of Fire-Retardant Treatments on Performance Properties of Wood, Edited by Irving S. Goldstein, 82-106.
- Huang, Q., Lu, G., Wang, J., & Yu, J. (2011). Thermal decomposition mechanisms of $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ and $MgCl_2 \cdot H_2O$. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 91(1), 159-164.

- ISO 4287, 1997. Geometrical Product Specifications (GPS) Surface Texture Profile Method Terms, Definitions and Surface Texture Parameters, International Standart Organization.
- Kang, M., Wang, G., Liu, W., Yu, D., Li, G., Song, Z., & Wang, H. (2023). Fabrication of Highly Flame-Retardant Paper by in Situ Loading of Magnesium Hydroxide/Basic Magnesium Chloride onto Cellulose Fibers. *Cellulose*, 30(11), 7295-7312.
- Kartal, S. N., Yoshimura, T., & Imamura, Y. (2004). Decay and Termite Resistance of Boron-Treated and Chemically Modified Wood by in Situ Co-Polymerization of Allyl Glycidyl Ether (AGE) with Methyl Methacrylate (MMA). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53(2), 111-117.
- Kaya, M. & Oz, D. (1999). Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastırıcı Katkı Maddeleri, 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, Ekim, İzmir, Türkiye, 14-15.
- Kılınç., M. & Bayram, G. (2006). Çinko Borat Katkılı Polipropilen Bazlı Kompozitlerin Yanma Davranışları ve Mekanik Özellikleri, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, Ankara, 238-243.
- Laks, P.E. & Palardy, D.R. (1993). Properties and Process Considerations For Preservative Containing Waferboards. In Proc. Wood Adhesives In IUFRO Symp. on the Protection of Wood-Based Composite Product, Forest Products Res. Soc., Madison, WI., pp. 12-17.
- LeVan, S.L., & Winandy J.E. (1990). Effects of Fire Retardant Treatments on Wood Strength: A Review. *Wood and Fiber Science*, 22(1), 113-131.
- LeVan, S.L., & Tran, C.H. (1990). The Role of Boron in Flame Retardants, 1.st International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives:Proceedings, Madison, pp. 39-41.
- Li, Y. T., Yan, D. J., Guo, Y. F., Wang, S. Q., & Deng, T. L. (2011). Studies on Magnesium Chloride Hexahydrate As Phase Change Materials. *Applied Mechanics and Materials*, 71, 2598-2601.
- Liang, S., Zhang, L., Chen, Z., & Fu, F. (2017). Flame Retardant Efficiency of Melamine Pyrophosphate with Added Mg-Al-layered Double Hydroxide in Medium Density Fiberboards. *BioResources*, 12(1), 533-545.
- Lin, Y., Li, X., & Huang, Q. (2021). Preparation and Characterization of Expanded Perlite/Wood-Magnesium Composites as Building Insulation Materials. *Energy and Buildings*, 231, 110637.
- Mantanis, G. I., Martinka, J., Lykidis, C., & Ševčík, L. (2019). Technological Properties and Fire Performance of Medium Density Fibreboard (MDF) Treated with Selected Polyphosphate-Based Fire Retardants. *Wood Material Science & Engineering*, 15(5), 303–311.

- Martinka, J., Mantanis, G. I., Lykidis, C., Antov, P., & Rantuch, P. (2021). The Effect of Partial Substitution of Polyphosphates by Aluminium Hydroxide and Borates on the Technological and Fire Properties of Medium Density Fibreboard. *Wood Material Science & Engineering*, 17(6), 720–726.
- Mostashari, S. M., & Moafi, H. F. (2008). Thermal Decomposition Pathway of a Cellulosic Fabric Impregnated by Magnesium Chloride Hexahydrate As A Flame-Retardant. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 93, 589-594.
- Mutnuri, B. (2006). Thermal Conductivity Characterization of Composite Materials. *Thesis for the Master of Science in Mechanical Engineering*, West Virginia University, Virginia, <https://researchrepository.wvu.edu/etd/1715>.
- Nagieb, Z. A., Nassar, M. A., & 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*, 2011(1), 146763.
- Obanda, D. N., Shupe, T. F., & Barnes, H. M. (2008). Reducing Leaching of Boron-based Wood Preservatives—A Review of Research. *Bioresource technology*, 99(15), 7312-7322.
- Ozgenç, O., Yıldız, Ü., & Yıldız, S. (2013). Odun yüzeylerinin bazı yeni nesil emprenye maddeleri ve üst yüzey işlemleri ile açık hava etkilerine karşı korunması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 203-215.
- Pedieu, R., Koubaa, A., Riedl, B., Wang XiaMing, W. X., & Deng, J. (2012). Fire-Retardant Properties of Wood Particleboards Treated with Boric Acid. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1/3), 191-197.
- Pilar, R., Svoboda, L., Honcova, P., & Oravova, L. (2012). Study of Magnesium Chloride Hexahydrate as Heat Storage Material. *Thermochimica acta*, 546, 81-86.
- Pizzi, A. & Mittal, K. L. (2003). Handbook of Adhesive Technology (New York: Marcel Dekker).
- Popescu, C. M., & Pfriem, A. (2020). Treatments and Modification to Improve the Reaction to Fire of Wood and Wood Based Products—An overview. *Fire and Materials*, 44(1), 100-111.
- Sain, M., Park, S. H., Suhara, F., & Law, S. (2004). Flame retardant and Mechanical Properties of Natural fibre–PP Composites Containing Magnesium Hydroxide. *Polymer degradation and stability*, 83(2), 363-367.
- Schubert, D. (2000). Boron Oxides, Boric Acid, and Borates. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 1-68.
- Schubert, D. M. (2022). Zinc Borate Hydrolysis. *Molecules*, 27(18), 5768.
- Shen, K.K. (2021). Boron Based Flame Retardants in Non Halogen Based Polymers. *Non Halogenated Flame Retardant Handbook*. 309-336.

- Smith, R. A., & McBroom, R. B. (2000). Boron oxides, Boric acid, and Borates. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*.
- Stark, N. M., White, R. H., Mueller, S. A., & Osswald, T. A. (2010). Evaluation of Various Fire retardants for use in wood flour–polyethylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 95(9), 1903-1910.
- Terzi, E., Kartal, S. N., Gerardin, P., Ibanez, C. M., & Yoshimura, T. (2017). Biological performance of particleboard incorporated with boron minerals. *Journal of Forestry Research*, 28, 195-203.
- Terzi, E. (2018). Thermal degradation of particleboards incorporated with colemanite and common boron-based fire retardants. *BioResources*, 13(2), 4239-4251.
- Tsunoda, K., Watanabe, H., Fukuda, K. & Hagio, K. (2002). Effects of Zinc Borate on The Properties of Medium Density Fiberboard. *Forest Products Journal*, 52, 62–65.
- URL-1, <https://atamankimya.com/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=3&id=10&id2=11275>, 01.02.2025
- Ustaomer, D., Usta, M., & Hiziroglu, S. (2008). Effect of Boron Treatment on Surface Characteristics of Medium Density Fiberboard (MDF). *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), 440-444.
- Ustaömer, D. (2008). *Çeşitli Yanma Geciktirici Kimyasal Maddelerle Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunluktaki Lif Levhaların (MDF) Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi* K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Ustaömer, D., & Usta, M. (2017). Bazı Kimyasal Maddeler Kullanılarak Üretilmiş Orta Yoğunlukta Liflevhaların (MDF) Isıl İletkenliği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(4), 603-607.
- Ustaomer, D., & Başer, U. E. (2020). Thermal and Fire Properties of Medium-Density Fiberboard Prepared With Huntite/Hydromagnesite and Zinc Borate. *Bioresources*, 15(3), 5940.
- Uysal B., Kurt Ş., Kol H.Ş., Özcan C., & Yıldırım M.N. (2008). Thermal Conductivity of Poplar Impregnated with Some Fire Retardant. *Teknoloji*, 11(4), 239251.
- Wang, Q., Li, J. & Winandy, E.J. (2004). Chemical Mechanism of Fire Retardance of Boric Acid on Wood, *Wood Science Technology*, 38(5), 375–389.
- Wang, W., Peng, Y., Zammarano, M., Zhang, W., & Li, J. (2017). Effect of Ammonium Polyphosphate to Aluminum Hydroxide Mass Ratio on the Properties of Wood-Flour/Polypropylene Composites. *Polymers*, 9(11), 615.
- Williams, L. H. (1996). Borate Wood-protection Compounds: A Review of Research and Commercial Use. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 27(4), 46-51.

- Wu, Y., Yao, C., Hu, Y., Yang, S., Qing, Y., & Wu, Q. (2014). Flame Retardancy and Thermal Degradation Behavior of Red Gum Wood Treated with Hydrate Magnesium Chloride. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 3536-3542.
- Xu, J., Li, T., Yan, T., Chao, J., & Wang, R. (2021). Dehydration Kinetics and Thermodynamics of Magnesium Chloride Hexahydrate for Thermal Energy Storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 219, 110819.
- Yılmaz Aydın, D., Gürü, M., Ayar, B., & Çakanyıldırım, Ç. (2016). Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Pigment Olarak Uygulanabilirliği. *Journal of Boron*, 1(1), 33-39.
- Yiğit, N.Ç. (2022). Alev Geciktirici Polimerlerin Sentezine Yönelik Güncel Yaklaşımlar. *Journal of Innovative Engineering and Natural Science*, 2(2), 95-113.
- Zhang, H., Wang, H., & Wang, H. (2018). Flame Retardant Mechanism and Surface Modification of Magnesium Hydroxide Flame Retardant. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 170, p. 032028, IOP Publishing.
- Zhang, Y., & Zhang, X. (2020). Thermal Properties of A New Type of Calcium Chloride Hexahydrate-Magnesium Chloride Hexahydrate/Expanded Graphite Composite Phase Change Material and its Application in Photovoltaic Heat Dissipation. *Solar Energy*, 204, 683-695.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Mimar Sinan İlköğretim okulunda, lise öğrenimini ise Yunus Emre Lisesinde tamamladı. 2008 yılında Artvin Çoruh Üniversitesi, Hopa Meslek Yüksekokulu, Mobilya ve Dekorasyon bölümünü kazandı ve buradaki ön lisans eğitimini 2010 yılında tamamladı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazandı ve buradaki lisans öğrenimini 2014 yılında tamamladı. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği ana bilim dalı tezsiz yüksek lisans programını kazandı ve buradaki tezsiz yüksek lisans öğrenimini 2016 yılında tamamladı. 2022 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği ana bilim dalı yüksek lisans programı öğrenimine başlamıştır. 2018 yılında Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü 12. Bölge Müdürlüğü, Trabzon Doğa Koruma ve Milli Parklar Müdürlüğüne atanmıştır ve halen görev yapmaktadır. Orta derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.