

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

LİF VE KAĞIT TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

**NANOKİL VE DİĞER BAZI KİMYASAL MADDELER İLE ÜRETİLEN LİFLEVHALARIN
YANMA VE DİĞER ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞÜKRÜ BEYAZLI

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalında
Şükrü BEYAZLI Tarafından Hazırlanan**

**NANOKİL VE DİĞER BAZI KİMYASAL MADDELER İLE ÜRETİLEN LİFLEVHALARIN
YANMA VE DİĞER ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof.Dr.Esat GÜMÜŞKAYA

Üye : Doç.Dr. Emrah PEŞMAN

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Derya USTAÖMER


.....

.....

.....

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

“Nanokil ve Diğer Bazı Kimyasal Maddeler ile Üretilen Liflevhaların Yanma ve Diğer Özelliklerindeki Değişimler” adlı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konumun seçimi, araştırılması, planlanması ve gerçekleştirilmesinde her türlü bilgi, tecrübe ve desteğinden yararlandığım danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Derya USTAÖMER’e, her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA’ya, yine manevi destek ve katkılarından dolayı sayın hocalarım Prof.Dr.Mustafa USTA’ya, Prof.Dr. Hüseyin KIRCI’ya, Prof.Dr.Sedat ONDARAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda ilgili testlerin ve analizlerin yapılmasında katkı ve desteklerini esirgemeyen, bilgilerinden faydalandığım Prof.Dr. Ali TEMİZ’e, Doç.Dr. Emrah PEŞMAN’a, Doç. Dr. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR’a, Dr.Öğr.Üyesi İbrahim YILDIRIM’a, Dr.Öğr.Üyesi Hüsnü YEL’e, Öğr.Gör. Uğur ARAS’a, Arş.Gör. Ayşenur GÜRGEN’e de çok teşekkür ederim. Ayrıca, labaratuvar imkanlarından faydalanmamızı sağlayan Prof.Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na teşekkür ederim.

Bu çalışmanın bütün aşamalarında yardım ve katkıda bulunan, desteklerini esirgemeyen İbrahim NEMLİ’ye, Basri Oktay KOÇ’a ve yine katkılarından dolayı ÇAMSAN Ordu Ağaç San.ve Tic. A.Ş.’ye, Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş’ye teşekkür ederim.

Bu çalışma; KTÜ, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “FLY-2017-6715” kodlu yüksek lisans tezi projesi (BAP06) olarak desteklenmiş olup, çalışmamıza katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan annem Hülya BEYAZLI’ya, babam Zeki BEYAZLI’ya kardeşlerim Duygu BEYAZLI ve Nazlı BEYAZLI’ya şükranlarımı sunarım. Ayrıca manevi destekleri için dostlarım Alper UZUNALİ’ye, İbrahim ATEŞ’e, Buğra TAVŞAN’a, Eren TAŞ’a, Kerem ALP’e, Mertcan BOSTAN’a, Ünal UZUN’a, Furkan ÖZTÜRK’e, Hakan ÖNEL’e, Mevlüt ÖNEL’e ve Cihan ÜNAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Şükrü BEYAZLI
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Nanokil ve Diğer Bazı Kimyasal Maddeler ile Üretilen Liflevhaların Yanma ve Diğer Özelliklerindeki Değişimler” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr.Öğr.Üyesi 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. 14/06/2019

Şükrü BEYAZLI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Odun Esaslı Kompozit Levhalar	2
1.2.1. Liflevha	3
1.2.1.1. Liflevha Üretim Prosesi	4
1.2.1.2. MDF (Medium Density Fiberboard – Orta Yoğunlukta Liflevha)	7
1.3. Yanma	8
1.4. Ağaç Malzemenin Yanma Özellikleri	8
1.4.1. Ağaç Malzemenin Yanma Mekanizması	9
1.4.1.1. Termal Bozunma.....	9
1.4.1.2. Tutuşma.....	10
1.4.1.3. Kor Haline Gelme	10
1.4.1.4. Duman ve Gaz Oluşumu	11
1.4.2. Ağaç Malzemede Yanmayı Geciktirici İşlemler.....	11
1.4.3. Alev Geciktirici Kimyasal Maddelerde Bulunması Gereken Özellikler	12
1.4.4. Alev Geciktirici Kimyasal Maddeler	12
1.4.4.1. Pasif Alev Geciktirici Kimyasallar	13
1.4.4.2. Aktif Alev Geciktirici Kimyasallar.....	13
1.4.4.2.1. Halojen Esaslı Alev Geciktiriciler	13
1.4.4.2.2. Halojen İçermeyen Kimyasal Maddeler	14
1.4.4.2.2.1. Metal Hidroksitler	14
1.4.4.2.2.2. Bor Esaslı Kimyasal Maddeler	14
1.4.4.2.2.3. Diğer Alev Geciktiriciler	15

1.4.5.	Alev Geciktirici Kimyasal Maddelerin Ağaç Malzeme Özelliklerine Etkileri.....	16
1.5.	Literatür Özeti	17
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	23
2.1.	Materyal	23
2.1.1.	Hammadde	23
2.1.2.	Kimyasal Maddeler	23
2.1.2.1.	Nanokil.....	23
2.1.2.2.	Çinko Borat	24
2.1.2.3.	Magnezyum Hidroksit.....	25
2.1.2.4.	Kitosan	25
2.1.2.5.	Alüminyum Hidroksit	26
2.1.3.	Tutkal	26
2.1.3.1.	Üre Formaldehit	26
2.1.4.	Sertleştirici Madde	26
2.2.	Metot	27
2.2.1.	Deneme Levhalarının Üretim Şablonunun Belirlenmesi	27
2.2.2.	Deneme Levhalarının Üretimi	29
2.3.	Deneme Levhalarının Özelliklerinin Belirlenmesi	30
2.3.1.	Fiziksel Özellikler	30
2.3.1.1.	Yoğunluk.....	30
2.3.1.2.	Su Alma Oranı	30
2.3.1.3.	Kalınlığına Şişme Oranı	31
2.3.2.	Mekanik Özellikler	32
2.3.2.1.	Eğilme Direnci	32
2.3.2.2.	Elastikiyet Modülü	32
2.3.2.3.	Yüze Dik Çekme Direnci	33
2.3.3.	Termal-Yanma Özellikleri	33
2.3.3.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	33
2.3.3.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi	34
2.3.3.3.	Alev Testi, UL-94	35
2.3.4.	Yüzey ve Morfolojik Özellikler	36
2.3.4.1.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	36
2.3.4.2.	SEM Analizi.....	36
2.3.5.	Biyolojik Özellikler.....	36

2.3.5.1.	Mantar Çürüklük Testi	36
2.3.6.	İstatistiksel Analiz.....	38
3.	BULGULAR.....	39
3.1.	Fiziksel Özellikler	39
3.1.1.	Yoğunluk.....	39
3.1.2.	Su Alma Oranı	41
3.1.3.	Kalınlığına Şişme Oranı.....	43
3.2.	Mekanik Özellikler	45
3.2.1.	Eğilme Direnci	45
3.2.2.	Elastikiyet Modülü.....	47
3.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	49
3.3.	Termal-Yanma Özellikleri	51
3.3.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	51
3.3.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI)	52
3.3.3.	Alev Testi, UL-94	53
3.4.	Yüzey ve Morfolojik Özellikler	54
3.4.1.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	54
3.4.2.	SEM Analizi.....	60
3.5.	Biyolojik Özellikler.....	63
3.5.1.	Mantar Çürüklük Testi	63
4.	TARTIŞMA	66
4.1.	Fiziksel Özellikler	66
4.1.1.	Yoğunluk.....	66
4.1.2.	Su Alma Oranları	66
4.1.3.	Kalınlığına Şişme Oranları.....	67
4.2.	Mekanik Özellikler	69
4.2.1.	Eğilme Direnci	69
4.2.2.	Elastikiyet Modülü.....	70
4.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci	71
4.3.	Termal-Yanma Özellikleri	73
4.3.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	73
4.3.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI)	80
4.3.3.	Alev Testi, UL94.....	81
4.4.	Yüzey ve Morfolojik Özellikler	83
4.4.1.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	83

4.4.2.	SEM Analizi.....	84
4.5.	Biyolojik Özellikler.....	85
4.5.1.	Mantar Çürüklük Testi	85
5.	SONUÇLAR	88
5.1.	Fiziksel Özellikler	88
5.1.1.	Yoğunluk.....	88
5.1.2.	Su Alma.....	88
5.1.3.	Kalınlığına Şişme	89
5.2.	Mekanik Özellikler	89
5.2.1.	Eğilme Direnci	89
5.2.2.	Elastikiyet Modülü.....	90
5.2.3.	Yüze Dik Çekme Direnci	90
5.3.	Termal-Yanma Özellikleri	90
5.3.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA).....	90
5.3.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI)	91
5.3.3.	Alev Testi, UL-94	91
5.4.	Yüzey ve Morfolojik Özellikler.....	92
5.4.1.	Yüzey Pürüzlülüğü.....	92
5.4.2.	SEM Analizi.....	92
5.5.	Biyolojik Özellikler.....	93
5.5.1.	Mantar Çürüklük Testi	93
6.	ÖNERİLER.....	94
7.	KAYNAKLAR	96

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

NANOKİL VE DİĞER BAZI KİMYASAL MADDELER İLE ÜRETİLEN LİFLEVHALARIN
YANMA VE DİĞER ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLER

Şükrü BEYAZLI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalı
Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Derya USTAÖMER
2019, 102 Sayfa

Bu çalışmada, montmorillonite nanokilinin; yanma geciktirici kimyasal maddeler alüminyum hidroksit/alüminyum trihidrat (ATH), magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$), çinko borat (ÇB) ve doğal bir polimer olan kitosan ile kullanılmasıyla üretilen orta yoğunlukta liflevhaların (MDF) performans özellikleri incelenmiştir. İki farklı içerikte montmorillonit nanokili, tek ve diğer kimyasal maddeler ile karışım halinde %2 ve %4 oranında kullanılarak MDF levhaları üretilmiştir. Üretilen bu levhaların fiziksel, mekanik, termal-yanma, yüzey-morfolojik ve biyolojik özellikleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; nanokil türü, kimyasal maddeler ve bu maddelerin uygulanma oranlarının, üretilen levhaların araştırılan özellikleri üzerindeki etkilerinin genel olarak olumlu yönde olduğu bulunmuştur. Nanokil, diğer kimyasal maddeler ile sinerjik etki göstermiş ve bu etkilerin özellikle karışımdaki kimyasal maddelerin türüne bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. İçeriği farklı iki montmorillonit nanokilinin levhaların özellikleri üzerindeki etkileri ise çeşitlilik göstermiştir. Yanma-termal testler (TGA, LOI ve UL-94) sonucunda, nanokil ve diğer kimyasal maddeler ile üretilen liflevhaların yanmaya karşı dayanımlarının arttığı belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde de iyileşmeler görülmüş ve standartların üzerinde değerler elde edilmiştir. Fiziksel özellikler ise deney varyasyonlarına bağlı olarak farklı eğilim göstermiştir. Ayrıca, kimyasal madde varyasyonlarının mantar çürüklük testi sonucunda olumlu sonuçlar vererek levha örneklerinin biyolojik dayanımını iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nanokil, Alev geciktirici kimyasal maddeler, Kitosan, Liflevha, LOI, TGA

SUMMARY

THE CHANGES ON THE FIRE AND OTHER PROPERTIES OF FIBERBOARD PRODUCED USING NANOCLAY AND VARIOUS CHEMICALS

Şükrü BEYAZLI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Fiber and Paper Technology Graduate Program
Supervisor: Asst.Prof. Derya USTAÖMER
2019, 102 Pages

In this study, the performance properties of medium density fiberboard (MDF) produced using montmorillonite nanoclay with some fire retardant chemicals (aluminium hydroxide/aluminium trihydrate (ATH), magnesium hydroxide ($Mg(OH)_2$), zinc borate (ZB) and chitosan, which is a natural polymer, were determined. Montmorillonite nanoclays, which have two different contents, were used as single and mixture with other chemicals at 2-4% rates in the MDF production. The physical, mechanical, thermal-fire, surface-morphological and biological properties of produced MDF panels were investigated.

According to the obtained results; the effects of nanoclay type, chemicals and their application rates on the properties of produced fiberboard were generally found to be positive. It was determined that the use of nanoclay with other chemicals had a synergistic effect and these effects varied depending on the type of chemicals in the mixtures. The effects of two montmorillonite nanoclays with different contents on the properties of the fiberboard varied. As a result of thermal-fire tests, it was determined the fire resistance properties of MDF panels produced with this chemical combinations increased. Furthermore, notable improvements were seen on the mechanical properties and generally, good results were obtained above the test's standards. Physical properties resulted with different trend depending on experimental parameters. Additionally, it was found that, the chemical parameters gave positive results at the end of fungus decay test and improved biological resistance of fiberboard.

Key Words: Nanoclay, Fire retardant chemicals, Chitosan, Fiberboard, LOI, TGA

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Liflevha üretimi iş akışı	4
Şekil 2. Levha üretiminde kullanılan tek katlı pres	29
Şekil 3. TGA cihazı	34
Şekil 4. Dynisco marka LOI cihazı	34
Şekil 5. Test örneği ve deney düzeneği	35
Şekil 6. Mitutoyo Surftest SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazı.....	36
Şekil 7. Mantar çürüklük testi örnekleri.....	37
Şekil 8. A ve B grubu levha örneklerinin su alma değerlerindeki değişim	66
Şekil 9. A ve B grubu levha örneklerinin kalınlığına şişme değerlerindeki değişim ..	68
Şekil 10. A ve B grubu levha örneklerinin eğilme direnci değerlerindeki değişim.....	69
Şekil 11. A ve B grubu levha örneklerinin elastikiyet modülü değerlerindeki değişim	71
Şekil 12. A ve B grubu levha örneklerinin çekme direnci değerlerindeki değişim	72
Şekil 13. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	74
Şekil 14. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının DTGA grafiği	74
Şekil 15. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	75
Şekil 16. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının DTGA grafiği	76
Şekil 17. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	77
Şekil 18. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının DTGA grafiği	77
Şekil 19. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim	78
Şekil 20. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının DTGA grafiği	78
Şekil 21. A ve B grubu levha örneklerinin LOI değerlerinde meydana gelen değişim	80

Şekil 22.	A ve B grubu levha örneklerinin Ra değerlerindeki değişim	83
Şekil 23.	A ve B grubu levha örneklerinin Rq değerlerindeki değişim	83
Şekil 24.	A ve B grubu levha örneklerinin Rz değerlerindeki değişim	84
Şekil 25.	A ve B grubu levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası(“ <i>Coniophera puteana</i> ” mantarı için) ağırlık kaybı değerleri.....	85
Şekil 26.	B5 levha grubu örneği	87



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Levha gruplarının içerikleri	27
Tablo 2.	Deney şablonu ve örneklere uygulanan testler.....	28
Tablo 3.	Levha örneklerinin yoğunluk değerleri	39
Tablo 4.	Yoğunluk değerleri için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları	40
Tablo 5.	Levha örneklerinin 24 saat süre ile su alma değerleri	41
Tablo 6.	24 saat su alma değerleri için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları..	42
Tablo 7.	Levha örneklerinin 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerleri	43
Tablo 8.	24 saat kalınlığına şişme için BVA sonuçları,Duncan homojenlik grupları ..	44
Tablo 9.	Levha örneklerinin eğilme direnci değerleri	45
Tablo 10.	Eğilme direnci için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları	46
Tablo 11.	Levha örneklerinin elastikiyet modülü değerleri	47
Tablo 12.	Elastikiyet modülü için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları.....	48
Tablo 13.	Levha örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerleri.....	49
Tablo 14.	Yüzeye dik çekme direnci için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları	50
Tablo 15.	Levha örneklerine uygulanan TGA testi sonucunda elde edilen değerler	52
Tablo 16.	Levha örneklerinin LOI değerleri	52
Tablo 17.	A grubu levhalar için alev testi sonuçları	53
Tablo 18.	B grubu levhalar için alev testi sonuçları.....	54
Tablo 19.	Levha örneklerinin yüzey pürüzlülüğü parametreleri (Ra,Rq ve Rz)	55
Tablo 20.	Ra (μm) için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları	56
Tablo 21.	Rq (μm) için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları.....	58
Tablo 22.	Rz (μm) için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları	59
Tablo 23.	%4 konsantrasyon A grubu örneklerinin SEM analiz görüntüleri	61
Tablo 24.	%4 konsantrasyon B grubu örneklerinin SEM analiz görüntüleri.....	62
Tablo 25.	Levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri	63
Tablo 26.	Mantar çürüklük testi ağırlık kaybı değerleri için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları	64

SEMBOLLER DİZİNİ

ASTM	: Amerikan Society of Testing Materials
ATH	: Alüminyum Trihidroksit
BVA	: Basit Varyans Analizi
ÇB(ZB)	: Çinko Borat
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
EN	: Avrupa Standartları
FR	: Fire Retardants (Yangın geciktirici)
HDF	: High Density Fiberboard (Yüksek Yoğunlukta Liflevha)
KŞ	: Kalınlığına Şişme
K	: Kitosan
LDF	: Light Density Fiberboard (Düşük Yoğunlukta Liflevha)
LOI	: Limit Oksijen İndeksi
MDF	: Medium Denstiy Fiberboard (Orta Yoğunlukta Liflevha)
Mg(OH) ₂	: Magnezyum Hidroksit
MMT	: Montmorillonit Kili
MÜF	: Melamin Üre Formaldehit Tutkalı
OSB	: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yongalevha)
SA	: Su Alma
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ÜF	: Üre Formaldehit Tutkalı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Eski tarihlerden bu yana insanlar yaşadıkları döneme uygun olarak giderek artan ihtiyaçlarını daha kolay karşılamak amacıyla yenilikçi yaklaşımlarla teknolojik gelişimlere gerek duymuştur. Bu teknolojik ve endüstriyel gelişimler sadece mevcut insan ihtiyaçlarını karşılamamanın ve mevcut sorunları çözenin yanısıra ileride oluşabilecek tüm talepleri de karşılamak için çabalamaktadır.

Bilindiği üzere; teknolojik gelişmelerle birlikte, odun hammaddesine alternatif olarak odun esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiş ve bu malzemeler son dönemlerde dikkat çekici oranda kullanım yeri bulmuş ve artan bir talep ile karşı karşıya kalmıştır. Odun esaslı kompozit malzemeler üzerinde farklı uygulama ve yöntemlerle birtakım değişiklikler yapmak ve kullanım yerine uygun olacak nitelikte ürünler elde edilebilmek mümkündür.

Odun esaslı kompozit malzemelerin en önemlilerinden birisi de son dönemlerde kullanım alanı oldukça artış gösteren ve yüksek rağbet gören lif levhadır. Bu levhaların ana hammaddesini odun ya da diğer lignoselülozik lifli materyallerden elde edilen lifler oluşturmaktadır.

Liflevhalar, üretimlerinde kullanılan yüksek oranda bitkisel lif sayesinde ağaç malzemenin gösterdiği gibi yüksek mekanik ve teknolojik değerlere sahiptir. Liflevhaların, her yerinde aynı direnç özelliklerini göstermesi, kolay işlenebilmesi ve istenilen teknolojik özelliklerde üretilmesi sebebiyle diğer odun esaslı kompozit malzemeler ve masif malzemeler ile karşılaştırıldığında daha avantajlı olduğu görülmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Tüm bu avantajlı özelliklerin yanında liflevhalar da diğer odun esaslı malzemelerde olduğu gibi yapısal özelliklerinden kaynaklanan biyolojik zararlılara karşı düşük dayanım, rutubetli ortamlarda şişme, kolay tutuşabilme gibi bazı olumsuz özelliklere de sahiptir. Liflevhanın sahip olduğu bu düşük yanma dayanımı ise onun birçok alanda kullanımını sınırlı bir hale getirmektedir (Özdemir, 2016).

Yangın, özellikle toplu yaşam alanları için can ve mal kaybına sebebiyet verebilen ciddi bir tehdittir. Bu anlamda, bina malzemelerinin yangına karşı belirli ölçüde güçlendirilmiş olması hayati kazanımlar açısından son derece önemlidir. Malzemelere

yanmaya karşı dayanım kazandırmak amacıyla, tercih edilen yöntemlerden bir tanesi de kimyasal madde kullanımınıdır. Bu sebeple, levhaların kalite özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli koruyucu kimyasal maddeler kullanılmaktadır.

Bazı koruyucu kimyasalların çevreye ve insan sağlığına zararlı oldukları bilinmektedir. Dolayısıyla, günümüzde kullanılan koruyucu kimyasal maddelerin öncelikle insan sağlığına ve çevreye olan zararlarının en düşük seviyede olması, kullanım yerinde tercih edilmesi açısından en önemli etkidir. Bu, koruyucu kimyasal maddeler içeriklerine ve kullanım oranlarına bağlı olarak farklı etkinlik göstermektedir.

Yanma geciktirici kimyasallar göz önüne alındığında; günümüzde çevre ve sağlık açısından yaygın olarak halojen içermeyen koruyucu kimyasallar tercih edilmektedir. Dünyada kullanımı en yaygın olan halojensiz alev geciktirici alüminyum hidroksit (ATH) olup bunu bromlu ve organofosforlu yanma geciktirici kimyasallar takip etmektedir (Kaya ve Öz, 1999).

Bilindiği üzere, son yılların popüler araştırma konularından birisi nano teknolojik ürünlerdir. Birçok alanda güçlü özellikleri nedeniyle kullanılan nano malzemeleri konu alan bu çalışmaların sayısı dikkate değer ölçüde yüksektir. Özellikle nano kimyasal maddeler ile çeşitli uygulamalar yapılabilmekte, istenilen nitelikte sağlam malzemeler üretilmektedir.

Montmorillonit (MMT) insan ve hayvan sağlığında olumsuz etkiler göstermeyen organik mineral kilidir. Yanma direnci sebebiyle kompozitlerle ilgili birçok çalışmada kullanılmaktadır (Gao vd., 2015).

Bu çalışmanın amacı; yanma geciktirici özelliği sebebiyle daha çok plastik vb. alanlarda değerlendirilen nanokil (montmorillonit) ile birlikte alüminyum trihidrat/alüminyum hidroksit (ATH), magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$), çinko borat ve kitosan kullanarak üretilen orta yoğunluktaki liflevhaların (MDF) yanma ve diğer teknolojik özelliklerindeki değişimleri belirlemek ve bu maddelerin gösterdikleri etkinliği test ederek ürün kalitesini iyileştirmeye yönelik bir çalışma yapmaktır.

1.2. Odun Esaslı Kompozit Levhalar

Odun esaslı kompozitler, odunsu bir materyalin yine odunsu bir materyal veya başka materyallerle kullanılmasıyla; yapıştırıcılar, su iticiler, koruyucu maddeler ve sertleştirici maddeler yardımıyla biraraya getirilmesi ile oluşan malzemedir. Kompozit malzemeler

sadece levha ürünleri ile sınırlı olmayıp günümüzde ilerleyen teknoloji sayesinde çeşitliliği ve kullanım alanları gittikçe artmaktadır (Güller, 2001).

Kompozit malzemelerin üretimi sırasında sürece müdahale edilerek özelliklerinin değiştirilebilmesi bakımından bu malzemeler, masif malzemeye göre daha avantajlıdır. Oysaki masif malzemenin özellikleri ağaç türüne göre değişmekte hatta aynı tür ağacın farklı kısımlarında da değişiklikler gösterebilmektedir (Güller, 2001).

Odun esaslı kompozit malzemelerin direnç özelliklerini, kullanılacak koruyucu kimyasallar ile birlikte arttırmak mümkündür. Böylece odun esaslı kompozit malzemelerin iç ve dış mekanlarda yaygın kullanım alanları bulunmaktadır (Maloney, 1996).

Çeşitli ağaç malzeme kaynakları odun kompozitlerinin üretimi için uygundur. Bu odun ve odun esaslı bir çok malzemenin değerlendirilmesiyle üretilen odun esaslı kompozitler farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Genel olarak bir sınıflandırma ise aşağıdaki gibi verilmiştir.

Levha ürünleri: Yongalevha, OSB, etiket yongalevha, şerit yongalı levha, liflevha(MDF, HDF, izolasyon levhası), kontrplak, kontrtabla, en yaygın bilinen levha ürünleridir.

Yapısal kompozitler: Bu kompozit grubu içerisinde yapısal kompozit keresteler (LSL, PSL, LVL, OSL, GLULAM yapısal levha ürünleri, yapısal levha ürünleri(yapısal kontrplaklar, yapısal flakebordlar, kirişler, COM-PLY keresteler yer almaktadır.

- Kaplanmış Ürünler,
- Mekanik Olarak Lamine Edilmiş Elemanlar

Odun-odun dışı ürün kompozitleri grubunda ise, inorganik maddelerin bağlayıcı olarak kullanıldığı kompozit grubu (magnezyum- çimentolu levhalar, portland -çimentolu levhalar, alçılı levhalar), odun lifi-termoplastik kompozitleri, dokunmamış tekstil tipi kompozitler (Güller, 2001).

1.2.1. Liflevha

Liflevhanın farklı tanımlamaları mevcuttur. Bunlar içerisinde genel bir tanımlama olarak liflevhayı şu şekilde ifade etmek mümkündür. Odun hammaddesi veya farklı lignoselülozik esaslı lifsel materyallerden elde edilmiş olan liflerin kendi doğal yapışma ve keçeleşme özelliklerinden faydalanmak suretiyle ya da farklı yapıştırıcı maddeler ilave

edilerek oluşturulmuş levha taslağının preslenmesi ya da kurutulması ile üretilmiş olan kompozit bir levha türüdür (Eroğlu ve Usta, 2000).

Liflevhaları farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmalar arasında en yaygın olanı yoğunluklarına göre sınıflandırmaktır. Buna göre; (Eroğlu ve Usta, 2000).

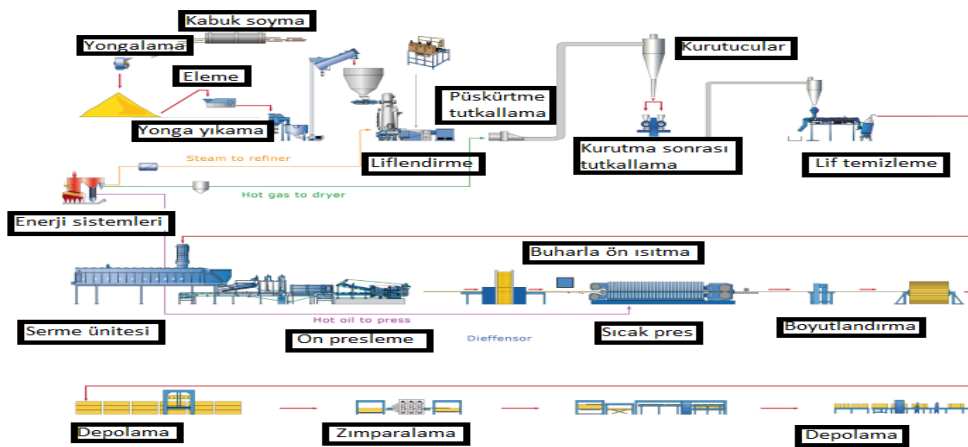
- Düşük yoğunlukta liflevhalar (LDF): Bu gruptaki levhaların özgül ağırlığı 0.35 g/cm^3 den daha düşüktür.

- Orta yoğunlukta liflevhalar (MDF): Bu gruptaki levhaların özgül ağırlığı $0.35 - 0.80 \text{ g/cm}^3$ arasında yer almaktadır.

- Yüksek yoğunlukta liflevhalar (HDF): Bu grupta levhaların özgül ağırlığı 0.80 g/cm^3 ten yüksektir (Eroğlu ve Usta, 2000).

1.2.1.1. Liflevha Üretim Prosesi

Liflevha üretiminde yaş ve kuru yöntem olmak üzere iki farklı üretim teknolojisi söz konusudur. Ancak yaş yöntem ile kuru yöntem karşılaştırıldığında kuru yöntem teknolojisinde buhar ve elektrik tüketiminin daha az olması, kısa presleme süresine sahip olması, yaş yöntemine göre daha düşük yatırım maliyeti gerektirmesi, atık suların temizlenmesi için ekstra yatırıma ihtiyaç duymaması gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlı yönleri sebebiyle dünyada kuru yöntem ile liflevha üretimi daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Günümüzde kuru yöntem ile liflevha üretiminde iş akışı aşağıdaki gibidir (Eroğlu ve Usta, 2000).



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

- Hammadde

Kuru yöntemde hammadde olarak her tür ve kalite sınıfında odun ve lignoselülozik materyal kullanılabilir. Liflevhanın yaklaşık %80-90'ı odun veya lignoselülozik malzemelerden meydana geldiği için hammaddenin türü kalite özelliklerini etkileyen bir faktör olmaktadır. Liflevha üretiminde hammadde olarak iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunları kullanılmaktadır. Yapraklı ağaç odunları kolay bulunabilmesi, yüksek yoğunluk değerlerine sahip olması ve yüzey düzgünlüğü bakımından olumlu sonuçlar vermesi gibi avantajlı yönlere sahipken iğne yapraklı ağaç odunları ise sahip oldukları uzun lif yapıları sayesinde levhalara yüksek direnç özellikleri katabilmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Kabuk Soyma

Liflevhada direnç özelliklerini olumsuz yönde etkileyen kabuk kısa lif yapısına sahiptir ve yoğunluğu düşüktür. Direnç özelliklerini azaltmasının yanında liflevhanın yüzey kalitesini azaltmakta, pH kontrolünü güç hale getirmekte ve içerisinde bulunabilecek kum, taş parçaları gibi maddelerle yongalama bıçaklarını aşındırmaktadır. Bütün bu olumsuz özellikleri ile liflevha üretiminde genel olarak tercih edilmez (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Yongalama ve yonga yıkama

Kullanılan hammaddenin kabukları soyulduktan sonra buharlama ve liflendirmeyi kolaylaştırmak için yongalama işlemi uygulanır. Uygun yonga boyutları 20x20x5 mm kadar olup yonga kalınlığı artışı oluşacak kırıntı lif oranını arttırırken yonga boyutundaki artış ise liflendirmeyi güç hale getirmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000). Yongalamada dikkat edilmesi gereken durumlardan bir diğeri ise yongaların eşit boyutlarda olmasıdır. Farklı boyutlardaki yongalar pişirme sırasında farklı pişirme derecelerine sahip olduğundan ufak olanlar erken liflenirken, büyük boyuttakiler ise liflenme karşısında direnç gösterecektir. Yongalama işlemi bittikten sonra yonga elekleri yardımıyla kaba yongalar elenir ve elenen yongaları içinde bulunabilecek taş parçaları, kum gibi maddelerden arındırmak için yıkama işlemi gerçekleştirilir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Liflendirme

Kuru yöntem ile liflevha üretiminde liflendirme işlemi defibratörler yardımıyla yapılır. Defibratörler birbirine ters yönde dönen iki adet diskten oluşmaktadır. Liflerin kalitesini belli bir standartta tutmak için yongalar defibratör diskleri arasına düzenli bir şekilde verilmelidir (Eroğlu ve Usta, 2000). Liflerin kalitesi; kullanılan ağacın türüne,

uygulanan sıcaklığa, diskler arasındaki boşluk miktarına, disklerin devir hızına, yonga boyutlarına göre değişkenlik göstermektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Tutkallama

Liflendirme aşamasından sonra elde edilen lifler tutkallama ünitesine gönderilir. Lifler arasındaki doğal bağlar kuru yöntem ile levha üretim teknolojisinde yeterli miktarda olmadığı için %8-11 oranında tutkal ilave edilir. Yaygın olarak üre formaldehit tutkalı kullanılmaktadır. Tutkallama işlemi liflerin kurutulmasından sonra ya da kurutma işleminden hemen önce püskürtme yoluyla yapılır (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Lif kurutma

Tutkal ve diğer katkı maddeleri katılarak liflevha yapımı için hazır hale gelen lifler kurutulmak üzere kurutucuya gönderilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus liflerin belli bir rutubet değerine (%6-12) kadar kurutulması gerekirken kurutma süresinin de liflere kurutmadan önce eklenen tutkalın kondenzasyonuna sebep olmayacak kadar kısa tutulmasıdır (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Serme ünitesi

Levha taslağının oluşturulduğu bölümdür. Liflevha üretiminde taslağın tekdüze bir şekilde serilmesi ve preslenmeye hazır hale getirilmesi dikkat edilmesi gereken en önemli kısımlardan birisidir. Bu aşamada oluşacak sorunlar beraberinde şekil değişimleri, mekanik ve fiziksel özelliklerde değişim ve yoğunluk değişmesine sebep olabilmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

- Ön Presleme

Levha taslağı oluşturulduktan sonra yapılan ön presleme işlemi taslağı belli bir kalınlığa indirmek ve yan alma işlemi sırasında oluşacak kayıpları azaltmak için yapılır.

- Sıcak presleme

Sıcak presleme aşamasında levha taslağında yapışmanın sağlanması için gerekli basınç ve sıcaklık sağlanarak taslak istenilen kalınlığa getirilir. Presin sıcaklık ve basıncı kullanılan hammaddenin fiziksel ve kimyasal yapılarına göre değişiklikler gösterir. Presin sıcaklığı, basıncı, kapanma süresi, presleme süresi ve taslağın rutubet miktarı üretilen levhanın kalite özelliklerini etkileyen en önemli unsurlardır (Eroğlu ve Usta, 2000).

- Soğutma işlemi

Üretilen levhaların soğutma işlemleri yıldız soğutucular yardımıyla yapılır. Soğutma işlemi, üretimden çıkan levhaların sıcaklıklarının ortamın sıcaklığından fazla olması sebebiyle levhalar üzerinde meydana gelebilecek çarpılma ve deformasyon gibi problemleri engellemek için önemlidir.

- Zımparalama ve depolama

Soğutma işlemi bittikten sonra levhalar belirli bir süre dinlendirilmek üzere depolanır. Dinlendirilen levhalara kalınlık hatalarını gidermek, düzgün ve pürüzsüz bir yüzey elde etmek için zımparalama işlemi uygulanır. Zımparalama ve yan alma işlemlerinden sonra levhalar kalite sınıflarına göre istiflenir.

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

Endüstriyel olarak MDF üretimine ilk olarak 1965’de başlanmıştır ve yıllar geçtikçe hızlı gelişmeler kaydedilmiştir. MDF üretiminde meydana gelen hızlı gelişmelerde, ağaç işleyen diğer endüstriyel kuruluşların atıklarının hammadde olarak değerlendirilebilmesi ve üstün teknolojik özelliklere sahip olması etkili olmuştur (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Kuru yöntem ile üretilmiş levhalar arasında en önemlisi MDF’dir. Üretiminde iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunları kullanılabilirdiği gibi ağaç işleyen diğer endüstriyel işletmelerin artıkları ve gerekli lif uzunluğuna sahip bitkisel artıklar da kullanılabilir. Özgül ağırlıkları genel olarak 0.35-0.80 gr/cm³ değerleri arasında değişmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

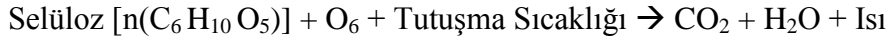
MDF her noktasında aynı özelliği göstermesi, kullanım yerine uygun kalınlık, yoğunluk ve özelliklerde üretilmesi, kolay işlenebilmesi, düzgün yüzeylere sahip olması, yüksek vida tutma kabiliyeti gibi önemli özellikleri ile bugün dünyada ahşap kullanılan birçok yerde masif malzemenin yerini almış durumdadır (Güller, 2001).

MDF günümüzde mobilya sektöründe mobilya aksamaları, kapı, okul sıraları, masa, sandalye, bina iç bölmelerinde, tavan ve taban döşemeleri, mutfak dolapları gibi birçok yerde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe prefabrik yapılarda kullanıldığı gibi kalıp ve parke olarak kullanımı da mevcuttur (Eroğlu ve Usta, 2000; Güller, 2001).

1.3. Yanma

Yüksek sıcaklık değerlerinde meydana gelen yanma kimyasal bir reaksiyondur. Yanma olayının gerçekleşebilmesi için uygun bir ortamda hangi çeşit olursa olsun yanıcı bir madde, tutuşma sıcaklığı ve oksijen üçlüsü bulunmalıdır. Bu üçlüden herhangi bir tanesinin eksikliğinde yanma olayı gerçekleşmez. Yanma olayı gerçekleştiğinde, kimyasal reaksiyon sonucu ısı enerjisi oluşmaktadır.

Yanma :



Ortamda bulunan yanıcı maddenin türü ve miktarı, oksijen ve sıcaklık gibi parametrelerin oranları ise oluşan yangının şiddetini belirlemektedir (Göker ve Ayrılmış, 2003).

Yangın durumunda gerçekleşen aşamalar ise şu şekildedir.

- Başlangıç aşaması: Bu safhada, yangının gerçekleşmesi için gerekli olan ısıya ulaşamadığından yanma olayı tamamen gerçekleşmez. Fakat bol miktarda duman çıkışı gözlemlenir.

- Yayılma aşaması: Bu safhada ortamda bulunması gereken unsurlar yeterli miktarda ise yanma olayı ideale yakın şekilde gerçekleşir. Bu safhada ayrıca duman oluşumu düşük seviyede olup, sıcaklık ise hızlı bir şekilde yükselmektedir.

- Korlaşma aşaması: Bu safha yangın esnasında gerçekleşen son safhadır. Korlaşma aşamasında ortamdaki oksijenin tamamı tükenir ve oksijen yetersizliğinden kaynaklanan yoğun duman çıkışı meydana gelir (Troitzsch, 1998; Ustaömer, 2008).

1.4. Ağaç Malzemenin Yanma Özellikleri

Ağaç malzemenin üstün direnç özelliklerine sahip olması, işlenme maliyetinin düşük olması, kolay işlenebilmesi, estetik olması, çevre dostu olması gibi önemli özellikleri bulunmaktadır. Bütün bu avantajlı özellikler yanında ağaç malzemenin en önemli dezavantajı, yüksek sıcaklıklara ve aleve maruz kaldığında tutuşması ve yanabilmesidir (Çolak vd., 2002). Yüksek sıcaklık ve uygun ortamda hızla başlayan yanma, ağaç malzemenin yapısında kalıcı bozunmalar meydana getirir. Ağaç malzemenin hücre çeper bileşenleri odunun yanmaya karşı gösterdiği direnci etkileyen önemli faktörlerdendir (Grexa, 2000; Ellis ve Rowell, 1989; Ustaömer, 2008).

Ağaç malzemenin tutuşma kabiliyeti, basınca karşı dayanıklılığı, yoğunluğu, tadı, kokusu bünyesinde bulunan ekstraktif madde miktarına göre değişimler göstermektedir. Ağaç malzemenin içinde bulundurduğu ekstraktif madde, lignin ve inorganik madde miktarı arttıkça yanma özelliği de artış gösterir (Tutuş vd., 2010).

Ağaç malzemenin doğal halde yanabiliyor olmasına rağmen diğer yapısal malzemeler ile karşılaştırıldığında, yangının ilk aşamalarında önemli derecede direnç göstermesi ve yangına olan katkısının düşük seviyede olması gibi üstünlükleri mevcuttur. Yapı malzemelerinin arasında yanma direnci en yüksek olan materyal beton bloklar olup diğer materyaller aynı yanma direncini gösterememektedir. Yapılarda sıklıkla kullanılan demir ve çelik malzemeleri yanmayan malzemeler olarak düşünülmesine rağmen, bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda erime noktasına ulaşıldığında aniden çökmesi yüksek tehlike arz etmektedir. Termal genişleme katsayısı ahşabın üç katı olan çelik çökme anında beton bloklarda çatlamaya sebebiyet verir (Berkel, 1972; Lie, 1972; Ustaömer, 2008).

Ağaç malzeme, yapılarda yeterli kalınlıkta kullanıldığında yüksek sıcaklıklarda yüzeylerinde oluşan kömür tabakası sayesinde yangının ilerlemesini önemli ölçüde yavaşlatıp oluşabilecek her türlü kaybı en aza indirmek açısından olası bir müdahale için zaman kazandırmaktadır (Lie, 1972).

1.4.1. Ağaç Malzemenin Yanma Mekanizması

1.4.1.1. Termal Bozunma

Ağaç malzemenin ısınmaya başlamasından itibaren hücre boşluklarındaki rutubet sıcaklığın etkisiyle dışarı çıkmaya başlar. Isı artarak 100°C nin üzerine çıktığında hücre çeperi içerisindeki su buharlaşarak dışarıya çıkmaya devam eder. Bu sırada gerçekleşen kuruma olayı ağaç malzemenin direnç özelliklerini artırır. Ancak sıcaklığın 117-127°C aralığına gelmesi ile selülozun bozunması başlamaktadır (İlhan, 1988).

Odunun bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve lignin farklı sıcaklıklarda bozunmalara uğrarlar. Selüloz yapılan termogravimetrik analiz sonuçlarına göre; 100°C de kütle kaybına uğramaya başlar ve bu kayıp 100-300°C arasında ise yavaş olarak ilerler. Sıcaklık 400°C seviyesine ulaştığında ise başlangıçtaki sahip olduğu kütleye oranla %80'den daha fazla kütle kaybına uğrar (Kotalainen, 2000).

Selülozlar ile karşılaştırıldığında hemiselülozların termal stabiliteleri daha azdır. Hemiselülozların degradasyonu 200-260°C arasındadır. Termal degradasyonun ilk safhalarında direnç değerlerinde meydana gelen kayıplara hemiselülozların yapısının bozulması sebep olmaktadır (Göker ve Ayrılmış, 2003).

Ligninin pirolizi sonucunda eter ve karbon-karbon bağları koparak fenoller meydana gelir ve ortaya selülozun pirolizinde oluşan kömür tabakasından daha fazla kömürleşmiş tabaka çıkar. Ligninin termal degradasyonu yaklaşık 200°C de başlar ve 370-400°C arasında en son kırılacak bağlar olan karbon-karbon bağları birbirinden ayrılır. Sıcaklık 720°C ye ulaştığında ise geriye başlangıçtaki mevcut lignin kütlesinin yaklaşık yarısı kalır (LeVan, 1989; Ustaömer, 2008).

1.4.1.2. Tutuşma

Tüm organik malzemelerde olduğu gibi ağaç malzemedede yüksek derecede sıcaklıklara maruz bırakıldığında kimyasal yapısında meydana gelen değişimlerle kömür ve gaz oluşturur. Ortaya çıkan bu gazlar hava ile karşılaştığında, uygun sıcaklıkta bir alev yardımıyla ya da alev olmadan tutuşabilir. Tutuşma sıcaklığı; ağaç malzemenin türüne ve bulunduğu çevrenin şartlarına bağlı olarak birçok faktöre bağlıdır. Ağacın türüne bağlı olan faktörler yoğunluk, kalınlık, yüzey alanı, rutubet miktarı, ısı iletkenliği, ekstraktif içeriği ve yüzeyin absorbe etme özelliği olarak sıralanabilir. Odunun tutuşma sıcaklığı genel olarak 200°C olarak belirtilmektedir. Çevresel etkenler ise oksijen varlığı, sıcaklık ve mevcut ısı enerjisi miktarı, ısıtma oranı, ısıya maruz kalma süresi, hava sirkülasyonu ve havalandırma, açığıdaki odun elemanlarını çevreleyen boşluk geometrisi ya da doluluk oranı olarak sıralanabilir (Holmes, 1974; Holmes, 1977; Çolak vd., 2002).

1.4.1.3. Kor Haline Gelme

Odun ve odun esaslı malzemeler, yüksek derecede sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra uğradığı degradasyonu geciktirmek için bir kömür tabakası oluşturur. Bu kömür tabakası, oksijen gazının yanmakta olan odun esaslı malzemenin içerisine nüfuz etmesine engel olmaktadır. Kömürleşme oranı odunun yoğunluğu, anatomisi, permeabilitesi, kimyasal oluşumu ve rutubeti gibi özelliklere bağlıdır. Buna ek olarak yanmayı geciktirici

bazı kimyasal maddeler odun malzemedede kömürleşmiş kısmın derinliğini arttırmada etkilidir (Göker ve Ayrılmış, 2003).

1.4.1.4. Duman ve Gaz Oluşumu

Ağaç malzemenin yanması tamamlandıktan sonra ortamda ısı ve ışık haricinde renksiz gazlar olan su buharı ve karbondioksit açığa çıkar. Tam yanmanın gerçekleşmediği durumlarda karbonmonoksit, formik asit, metan ve asetik asit gibi diğer zehirli gazlarda açığa çıkmaktadır. Muhtemel bir yangın durumunda meydana gelen duman oluşumu insan hayatı için tehlikelerin en büyüğünü oluşturmaktadır. Bu sebeple, yanmayı geciktirmek için odun malzemeye uygulanan işlemler yangın tehlikesinde duman oluşumunu arttırmamalıdır (İlhan, 1988; Holmes, 1977; Ustaömer, 2008).

1.4.2. Ağaç Malzemedede Yanmayı Geciktirici İşlemler

Ağaç malzemedede yanmayı geciktirici işlemler; çeşitli koruyucu kimyasal madde kullanarak mevcut yanma özelliklerinin değiştirilmesi ve yanmaya karşı direncinin artırılması olarak tanımlanmaktadır. Ağaç malzemedede alev geciktirici olarak kullanılan kimyasal maddelerin uygulanma metodları genel olarak aşağıdaki gibidir.

1. Odun kompozitlerin üretildikten sonra koruyucu maddeler ile empenye edilmesi,
2. Lif ve yonganın, levha üretiminden hemen önce koruyucu maddeler ile empenye edilmesi,
3. Koruyucu maddelerin tutkal hattına ilave edilmesi,
4. Koruyucu maddelerin levha yüzeylerine uygulanması (Ustaömer, 2008).

1.4.3. Alev Geciktirici Kimyasal Maddelerde Bulunması Gereken Özellikler

Yanmayı geciktiren koruyucu maddeler odun malzemeyi tamamen yanmaz duruma getirmezler. Bu maddelerin görevi; tutuşmayı zor hale getirmek ve yanma olayı başladıktan sonra alevin yayılmasını geciktirmektir. Ağaç malzemenin yanmaya karşı

dirençli hale getirilmesinde kullanılacak emprenye metodu ve koruyucu madde seçiminin etkisi büyüktür. Yanmayı geciktirmek amacıyla kullanılacak koruyucu maddede aranılan özellikler şunlardır;

- Ağaç malzemenin yanmaya karşı direncini arttırmalı ve alevin yayılmasını yavaşlatmalı,
- Kullanılan alev geciktirici kimyasal madde odun ile etkin biçimde birleşmeli ve içerisinde yayılmalı,
- Ağaç malzemenin yanma dayanımını arttırırken başta rutubet ve direnç gibi diğer özelliklerinde olumsuz etkiler göstermemeli,
- Isı etkisi ile birlikte insan sağlığına zararlı olan zehirli gazlar meydana getirmemeli,
- Kullanım yerinde kokusuz halde olmalıdır,
- Çözünürlüğü yüksek olmalı, kolay hazırlanabilmeli ve ucuz olmalı,
- Bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı koruyucu olmalıdır (Uysal, 1997).

1.4.4. Alev Geciktirici Kimyasal Maddeler

Lignoselülozik bir malzeme olan odunu tamamen yanmaz hale getirmek mümkün değildir. Fakat bazı koruyucu kimyasallar yardımıyla odunun tutuşmasını ve yanmasını geciktirmek mümkündür. Günümüzde ağaç malzemenin yanma dayanımını geliştirmek amacıyla kullanılan çok sayıda alev geciktirici kimyasal madde vardır (Ustaömer, 2008).

Ahşap ve plastik esaslı malzemeler yanabilir niteliktedir (Çavdar, 2011). Yangın sırasında oluşabilecek kayıpları azaltmak için bu malzemelerin yanma dayanımını arttırmak amacı ile kullanılan alev geciktirici ve duman bastırıcı özellikteki koruyucu maddelerin kullanımı sürekli artmaktadır (Kaya ve Öz, 1999).

Alev geciktirici kimyasallar, üretilen malzemelere üretim sırasında veya sonrasında eklenen maddelerdir. Bu koruyucu maddeler yapılarına ve bileşimlerine göre katı, sıvı ve gaz fazda bulunabilirler. Kullanılan alev geciktirici maddelerin endotermik reaksiyonları, yanmakta olan malzemenin sıcaklığını düşürerek soğutucu bir etki gösterir (Rakotomalala vd., 2010).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve etkileri kabul edilen bu koruyucu kimyasal maddeler pasif ve aktif alev geciktirici olarak sınıflandırılabilir (Kylosov, 2007).

1.4.4.1. Pasif Alev Geciktirici Kimyasallar

Bu gruptaki alev geciktirici kimyasal maddeler, yangın sırasında ısınmayı yavaşlatıp kömürleşmeye yardımcı olarak ve alevin yayılmasını engeller. Ancak bu maddeler, malzemenin tutuşma sıcaklık değerinin üzerinde etkinlik gösterememektedir. En yaygın kullanılan pasif yangın geciktiricilere talk, silika, cam yünü, kil ve kalsiyum karbonat örnek olarak gösterilebilir (Çavdar, 2011; Kylosov, 2007).

1.4.4.2. Aktif Alev Geciktirici Kimyasallar

1.4.4.2.1. Halojen Esaslı Alev Geciktiriciler

Halojen esaslı alev geciktiriciler, alev geciktirici katkı maddeleri arasında önemli bir yere sahiptir. Bu gruptaki alev geciktirici kimyasalların etkinlik derecesi $F < Cl < Br < I$ şeklinde sıralanmaktadır (Troitzsch, 1998). Bu sıralamada iyotlu bileşikler kararlılık dereceleri düşük olduğu için fazla tercih edilmezler. Florlü bileşiklerde ise sahip oldukları güçlü kovalent bağlar çok kararlı olduğundan, gaz fazında gösterdiği etkinliği düşürmektedir. Bu sebeple klor ve brom esaslı bileşiklerin kullanımı daha yaygındır (Bocchini ve Camino, 2010).

- Brom esaslı alev geciktiriciler: Bu maddeler kimyasal reaksiyonlar ile birlikte yanmayı sonlandırıcı veya yanma olayının yönünü değiştiren olarak görev yaparlar. Kullanımı en yaygın olan brom içerikli alev geciktirici deka bromobifenil oksittir (Stark vd, 2010; Çavdar, 2011).

- Klor esaslı alev geciktiriciler: Bu kimyasallar alifatik, sikloalifatik ve aromatik olarak üç gruba ayrılırlar. Alev geciktirici olarak etkin olan bu kimyasallar diğer yandan kullanıldıkları kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde düşüşe sebep olmaktadır. Klorlü bileşikler, sahip olduğu düşük ısıl direnç ve 180°C sıcaklıkta klorün uzaklaşmaya başlaması sebebiyle polietilen ve PVC için kullanımları sınırlandırılmıştır (Kylosov, 2007).

Yanmayı geciktirme üzerine önemli etkileri olmasına rağmen, halojen içerikli kimyasalların son yıllarda çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı kullanımı sınırlandırılmıştır. Bu maddelerin yerini günümüzde halojen içermeyen bor, fosfor ve mineral esaslı maddeler almıştır (Ustaömer, 2008).

1.4.4.2.2. Halojen İçermeyen Kimyasal Maddeler

1.4.4.2.2.1. Metal Hidroksitler

Metal hidroksitler; ucuz olmaları, zehirlilik derecelerinin düşük olması, kolay işlenebilmesi ve uçucu özellikte olmaması gibi avantajlı özellikleri ile alev geciktiriciler arasında kendilerine önemli bir yer bulmuştur. Metal hidroksitler arasında kullanımı en yaygın olanlar alüminyum ve magnezyum içerikli bileşiklerdir (Çavdar, 2011).

Alüminyum esaslı hidroksitler ısıl oksidasyonu engellemede daha etkili bir role sahipken duman oluşumunu azaltmakta ise magnezyum içerikli hidroksitler daha etkili bir role sahiptir. Metal hidroksitler yangın sırasında yüksek derecede endotermik reaksiyon göstererek metal oksit ve suya ayrışırlar. Bu olay sonucunda yapılarından ayrılan su moleküllerinin yardımıyla soğutma etkisi yaratarak alev kaynağından çıkan enerjiyi azaltır ve yanmayı durdurur (Rakotomalala vd, 2010).

Mineral esaslı yanma geciktiriciler içerisinde en iyi bilinenleri alüminyum hidroksit ve magnezyum hidroksit olmasına rağmen, alev geciktirici özellikleri olan birçok farklı mineral esaslı yanma geciktirici kimyasal maddeler mevcuttur (Hollingbery ve Hull, 2010; Başer, 2016).

1.4.4.2.2.2. Bor Esaslı Kimyasal Maddeler

Bor içerikli bileşikler eski tarihlerden beri birçok sanayi alanında malzemelere yanmazlık katmak amacıyla kullanılmıştır. Günümüzde hala yaygın olarak kullanılan borlu bileşikler ucuz olmaları, kolay bulunabilmesi, çevre dostu olmaları, renk ve kokularının olmaması gibi avantajlı niteliklere sahiptir. Alev geciktirici diğer maddeler ile karşılaştırıldığında, kullanıldığı malzemenin mekanik özelliklerinde daha az olumsuz etki göstermeleri yaygın olarak tercih edilmelerinde büyük rol oynamaktadır (Lloyd, 1998; Ustaömer, 2008).

Boratlar ve borik asit bozundukları zaman ortamda su oluştururlar ve ortaya çıkan su ile soğutucu bir blok oluştururlar. Ayrıca borik asit ve boraks, pirolizleşen ya da kömürleşen malzemenin yüzeyini kaplayarak ortamdaki ısıya karşı bir bariyer görevi görür (Levchik, 2007).

Çinko boratlar ise yanma esnasında katılaşıp yangının korlaşmasını engeller. Yüksek sıcaklıklarda çinko borat eriyerek camsı bir tabaka oluşturabilir ancak bu olay düşük seviyeli alevlenmelerde gerçekleşmez (Çavdar, 2011).

Çinko boratlar halojen içermeyen sistemlerde yaygın olarak kullanıldığı gibi halojen içerikli sistemlerde de kullanılabilir (Shen, 2001).

1.4.4.2.3. Diğer Alev Geciktiriciler

Diğer önemli alev geciktiriciler fosfor içerikli, silikon içerikli, melamin içerikli, azot içerikli, amidler ve hidroksi karbonatlar olarak sıralanabilir (Çavdar, 2011).

Bunların arasında fosfor içerikli olanların kullanımı daha yaygındır. Fosfor içerikli alev geciktiriciler arasında en yaygın kullanılanları ise mono amonyum fosfat, diamonyum fosfat ve fosforik asittir. Bu kimyasallar hem iyi bir alev geciktirici hem de düşük toksik gaz emisyonuna sahiptirler (Ustaömer, 2008). Genelde yüzey kısımlarda yanmayan bir tabaka oluşturarak yanma olayını geciktirirler. Bu tabaka yüzeydeki yanma bölgesine oksijenin iletilmesini önleyerek ve oluşan ısıyı absorplayarak yanma olayının gerilemesine katkıda bulunur. Malzemenin yanma esnasında kömürleşen tabakada şişme ve kabarma özelliği gösterdiği için bu bileşiklere olan talep artmıştır (Kahraman, 2014).

Son yıllarda meydana gelen nanoteknolojik gelişmeler sonucunda, nanokilleri kullanarak üretilen kompozit malzemelerin alev geciktirici özellikleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Nanokillerin, polimer malzemelerin yanabilme özelliğini önemli miktarda azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca diğer yangın geciktirici kimyasallar ile karşılaştırıldığında, daha düşük oranlarda kullanıldığında da yüksek performans gösterebilmektedir (Innes ve Innes, 2004; Wilkie, 2005; Mouritz ve Gibson, 2006; Levchick, 2007; Çavdar, 2011).

1.4.5. Alev Geciktirici Kimyasal Maddelerin Ağaç Malzeme Özelliklerine Etkileri

Ağaç malzemedeki yanma olayının geciktirilmesi, alev geciktirici kimyasalların kullanımı ile sağlanabilir. Fakat bu kimyasallar kullanılırken uygulanan işlemler ağaç malzemenin direnç, tutkallanabilme, işlenme, boyanabilirlik ve higroskopik özelliklerine etki edebilir. Ayrıca metal bağlantı noktalarında korozyon oluşumuna sebep olabilir. Ağaç

malzemede kullanılan alev geciktirici maddelerin bu özelliklere etkileri aşağıdaki gibidir (Çolak vd., 2002).

1. Direnç üzerine olan etkisi: Alev geciktirici kimyasallardan asitlik özelliği fazla olanlarının yüksek oranlarda kullanıldığında ağaç malzemede hidroliz olayı gerçekleşir. Asitlik derecesi arttıkça ağaç malzemenin direnç özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Eğer ağaç malzeme yapı elemanı olarak kullanılacak ise alev geciktirici kimyasalların ağaç malzeme direncinde meydana getirdiği düşüş göz önüne alınarak birim yükün alev geciktirici kullanılmayan ağaç malzemeye oran ile daha az olması önerilmektedir (Ustaömer, 2008).

2. Higroskopik özelliklere etkisi: Alev geciktirici kimyasalların çoğu ağaç malzemenin rutubet miktarını da arttırmaktadır. Emprenye edilmiş ağaç malzemenin denge rutubeti kullanılan alev geciktirici kimyasalın cinsine, konsantrasyon oranına, ağaç malzemenin cinsi ve boyutlarına göre değişkenlik gösterir (Çolak vd., 2002).

3. Tutkallamaya olan etkisi: Yanma geciktirici kimyasallar odunun tutkallanma özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuz etkiler, kullanılan kimyasalın yapısına, pH'ına, hangi oranda kullanıldığına, tutkallama koşullarına ve birlikte kullanıldığı tutkalın cinsine bağlıdır (Ustaömer, 2008; Çolak vd., 2002).

4. Koroziyona olan etkisi: Koroziyon; ortamın bağıl nem şartlarına, kullanılan metalin cinsine, kullanılan alev geciktirici kimyasal maddenin özelliklerine ve kullanım miktarına göre değişmektedir. Yanma geciktirici kimyasalların tamamına yakını koroziyon etkiye sahip olmasına rağmen, koroziyon önleyici maddeler yardımıyla bu etki azaltılabilmektedir (Ellis ve Rowell, 1989; Ustaömer, 2008).

5. İşlenebilmeye olan etkisi: Alev geciktirici kimyasallar ağaç malzemenin işlenmesini olumsuz yönde etkileyip, özellikle inorganik tuzlar ağaç malzemenin işlenmesi sırasında kullanılan aletleri aşındırarak ömürlerini azaltmaktadır (Holmes, 1974; Çolak vd., 2002).

6. Boyanabilirlik üzerine olan etkisi: Diğer özellikler ile karşılaştırıldığında bu özellik üzerinde çok önemli bir sorun oluşturmamakla beraber, kullanılan kimyasalın yüzeye uygulanan boyanın rengini koyulaştırabilme ya da lekelenmelere yol açabilmesi mümkündür (Holmes, 1974).

1.5. Literatür Özeti

Literatürde, liflevha ve odun esaslı levha ürünlerinin özellikleri üzerinde, çeşitli yanmayı geciktirici özelliğe sahip kimyasal maddelerin etkinlikleri ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışma kapsamında kullanılan kimyasal maddeler ile ilgili olarak farklı alanlarda yapılan çok sayıda çalışma olup bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. Bunun yanısıra, genellikle nanokillerin ve de özellikle montmorillonitin plastik, diğer kompozitler vb. alanlarda kullanımıyla ilgili çalışmalar ise oldukça fazladır. Ancak, bu maddelerin odun ve odun esaslı levha ürünlerinde kullanımı ile ilgili çalışmalar biraz daha sınırlıdır.

Zahedsheijani ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada, Na⁺ montmorillonite (NaMMT) nanokilini MDF üretiminde üre formaldehit tutkalına karıştırarak levha üretimi gerçekleştirmiştir. MDF'nin yapısındaki değişimleri XRD, SEM ölçümleri ile belirlemiş, ve TGA, DTA, ısı iletkenlik ve yanma testi ile bu maddenin termal özelliklerdeki etkilerini tespit etmiştir. Termal testlerin sonucunda Na⁺ montmorillonitin termal-oksidatif kararlılık ve MDF'nin termal iletkenliği üzerinde olumlu etkiler gösterdiği belirlenmiştir.

Ashori ve Nourbakhsh (2009) yaptıkları çalışmada % 2,4,6,8 oranlarında nanokil ilavesi ile MDF levha üretimi yapmışlar ve bu maddelerin ürettikleri levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde etkilerini belirlemişlerdir. Genel olarak, mekanik özelliklerin nanokil oranı artışıyla arttığı ve ayrıca fiziksel özelliklerinde iyileştiği belirlenmiştir. Levhalara %6 nanokil ilavesi yapıldığında ise optimum mekanik özellikler elde edilmiştir.

Mousavi Hosseini ve arkadaşları (2012) çalışmalarında UF ve MDI tutkallarına tam kuru tutkala göre 0, 3, 6% oranla ilave edilen nanokilin MDF özelliklerindeki etkilerini araştırmıştır. Sonuçlara göre, UF ve MDI tutkallarında nanokil ilavesinin artışı MOR ve MOE değerlerini artırmıştır. Sonuçlar tutkal türüne ve nanokil oranına göre değişiklik göstermiştir.

Hosseyini ve arkadaşları (2014) çalışmalarında yonga levhaların özelliklerinde tutkala Na-montmorillonite(Na+MMT) ilavesinin etkisini araştırmıştır. İzosiyonat, üre formaldehit tutkallarına 0-3% ve %6 oranında Na-montmorillonite(Na+MMT) ilave edilerek MOR, MOE, IB, kalınlığına şişme, su alma değerlerini ölçülmüştür. Deney sonucunda eklenen nanokil oranı arttıkça örneklerin MOR ve MOE değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir.

Faruk ve Matuana (2008) yaptıkları çalışmada odun plastik kompozitinin (WPCs) mekanik özelliklerini artırmak için iki farklı yöntemle nanokil katkısının etkilerini

araştırmıştır. Deney sonuçlarında nanokil türüne de bağlı olarak bu özelliklerin iyileştiği bulunmuştur.

Gao ve arkadaşları (2015) bir çalışmada montmorillonite (MMT) kullanılarak pamuk liflerinin yanma özellikleri TGA, vertikal alev-yanma testi, LOI ile test etmiştir. Buna göre MMT ilaveli liflerin yanma dayanımları artış göstermiştir. Diğer fiziksel, mekanik özelliklerinde ki değişimler de belirlenmiştir.

Saraeian ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada polistiren-nanokil kompozitlerin yanma direnci ve çekme direncinde nanokil (4, 5 ve %6 oranında) parçalarının etkilerini değerlendirmiştir. Deney sonuçlarına göre %5'e varan oranlarda nanokil ilavesi gerilme direncini ve elastikiyet modülünü artırırken %6 oranında kullanıldığında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca alev geciktirme testlerinin sonucuna göre nanokil oranındaki artışın tutuşma sırasında açığa çıkan ısıyı azalttığı tespit edilmiştir.

Samariha ve arkadaşları (2015) bagasse tozu/yeniden işlenmiş yüksek yoğunluklu polietilen/nanokil kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinde nanokil içeriğinin etkilerini araştırmıştır. Çekme ve eğilme dirençleri değerleri %2 nanokil ilavesi ile birlikte artmıştır. %4 ilave oranında ise bu özelliklerde azalma görülmüştür. Su alma değerleri ise nanokil içeriğindeki artışla azalmıştır.

Doosthoseini ve Zarea-Hosseinabadi (2010) yaptıkları çalışmada UF ve MUF tutkalları için 4 farklı sodyum montmorillonite(Na^+MMT) oranı kullanmıştır. Kayın kontrplaklarında yapılan çalışmada % 0, 2.5, 5 ve 7.5 oranlarında nanokil dolgu maddesi olarak tutkalda kullanılmış ve tutkallı levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. En yüksek kopma direnci değeri MUF tutkalı ve %5 nanokil ilavesinde ölçülmüştür. Ayrıca örneklerin 2 ve 24 saat soğuk suda bekletildikten sonra su alma ve kalınlığına şişme değerleri MUF tutkalında UF tutkalına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiş ve her iki tutkal türünde de %5 nanokil ilavesinde en iyi su alma ve kalınlığına şişme değerlerine ulaşılmıştır.

Aydoğan ve Usta (2015) yaptıkları çalışmada % 15'e varan oranda nanokil ve amonyum polifosfat/pentaeritritolden oluşan alev geciktiriciyi köpük malzemelere ilave etmiştir. Nanokil ve kabaran alev geciktirici ilavesinin, köpük malzemelerin ısı iletim katsayısına, ısı bozunma ve yanmaya karşı direncine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, nanokilin % 15 oranında ilavesi ile köpük malzemenin ısı kararlılığının ve yanma direncinin iyileştirilebileceğini bulunmuştur. Ayrıca nanokil ve kabaran alev geciktiricinin

birlikte ilavesinin köpük malzemenin ısıl bozunma ve yanmaya karşı direncini daha da iyileştirdiği belirlenmiştir.

Liu ve arkadaşları (2011) Organik montmorillonite(OMMT) ve polistiren reçine ile hazırlanan organik kil modifiyeli polistiren kompozitlerin yanma dayanımında OMMT nin etkisini TGA, horizontal yanma, oksijen indeks ve cone kalorimetre yöntemleri ile araştırmıştır. Sonuçlara göre; saf polistiren ile karşılaştırıldığında az miktarda organokil eklenmesi, organokil/polistiren kompozitlerinin alev geciktirici etkisini belirgin şekilde arttırabileceği belirtilmiştir.

Lei ve arkadaşları (2008) çalışmada düşük oranlardaki Na- montmorillonite (NaMMT) nanokilinin yongalevha ve kontrplaklar için kullanılan UF tutkalının performansını iyileştirdiğini bildirmiştir.

Mamatha ve Jagadish (2013) kavaktan nanokil ilaveli yonga levhalar üretmiştir. Nanokiller üre formaldehit tutkalında güçlendirici dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Su alma ve kalınlığına şişme değerleri reçineye nanomer (1.44p) ilavesi ile azalma gösterirken nanomer PGV ilavesi ile bu değerlerde azaltıcı bir etki göstermemiştir.

Xian ve arkadaşları (2013) üre formaldehit ve melamin formaldehit tutkallarına 6% ya kadar nanokil ilave etmiş ve tutkalları sertleşme ve karışım uygunluğu açısından X-ray, DSC, yongalevha testleri ile değerlendirmiştir. Nanokil olarak organik modifiye CloisiteW30B, modifiyesiz NanofilW 116 kullanılmıştır. Nanokiller MF'nin bağlanma direncini UF'den daha fazla iyileştirmiştir.

Akdoğan ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada; alev geciktirici özelliklere sahip kimyasalların, kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla termoplastik poliüretan malzemelere kütlece %5 oranında alüminyum tri hidroksit (ATH, $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), magnezyum hidroksit ($MgOH$, $Mg(OH)_2$) ve amonyum polifosfat(APP) ilave ederek üretilen kompozitlerde çekme, yırtılma, sertlik gibi deneyleri yaparak karşılaştırmıştır. Deneyler sonucunda, ATH ilavesinin çekme dayanımı ve yırtılma dayanımında düşüşe sebep olmasına rağmen, $MgOH$ ilavesinin bir miktar arttırdığı görülmüştür. Her iki katkı maddesinde de sertlik ve Izod darbe deneyleri sonucunda olumsuz bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir.

Kaynak ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada fosforlu bileşikler ile nanokillerin poliamid-6 lı kompozitlerde sinerjik etkilerini araştırmıştır. Özellikle LOI ve UL94 testleri ile yanma performansında dikkate değer etkinlik gösterdiklerini belirlemiştir.

Değirmenci (2011) yaptığı çalışmada, flexible PVC için çinko borat, ATH ve hidro talsit gibi maddeler kullanarak yanma özelliklerini araştırmıştır. Yanmazlık değerleriyle ilgili en iyi sonuçları karışımında çinko boratın %18 ve ATH'nin de %18 oranında kullanılması durumunda elde etmiştir.

Hashim ve arkadaşları (2005) yaptıkları çalışmada kauçuk elyaf liflerinden ve geri dönüştürülmüş eski oluklu mukavvadan yapılan liflevhanın alev geciktirme özellikleri incelemiştir. Üretimde fenol formaldehit tutkalı tam kuru lif ağırlığına göre %2 oran ile kullanılmıştır. Yangın geciktirici katkı maddesi olarak ise ATH %0, %10, %15 ve %20 oranında eklenerek liflevha üretimi yaş yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Alev geciktirici test, sınırlayıcı oksijen indeksi(LOI) kullanarak yapılmış ve buna ek olarak iç bağlanma mukavemeti, kalınlık artışı ve su alma gibi diğer testler uygulanmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına göre ATH yükleme oranı arttıkça MDF'nin LOI değeri artmıştır. Buna göre ATH nin yeterli miktarda kullanıldığında yangın geciktirme özelliğini geliştirdiği gözlemlenmiştir.

Chiu ve Wang (1998) yaptıkları çalışmada yangın geciktirici madde olan polipropilen ile magnezyum hidroksitin yanıcılık özelliklerini incelemiştir. Materyalin yanıcılığını değerlendirmek amacıyla limit oksijen indeksi, duman emisyonu, gerilme mukavemeti testleri uygulanmıştır. Sonuçlara göre; amonyum polifosfat katkılı polipropilen üstün alev geciktirici özelliği göstermesinin yanısıra daha yüksek CO₂ konsantrasyonu ve duman yoğunluğu meydana getirmiştir. Polipropilene eklenen magnezyum hidroksit ise oluşan duman yoğunluğunu ve CO₂ konsantrasyonunu azaltmış ayrıca bileşik üstün alev geciktirici özellik göstermiştir. Bu gözlemler sonucunda, magnezyum hidroksit ilavesinin polipropilenin tutuşma özelliklerini geliştirdiği gözlemlenmiştir.

Stark ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada odun unu ve polietilen kullanılarak üretilen kompozitlerin yangın performansını belirlemek için oksijen indeksi ve koni kalorimetre testlerini kullanıp sonuçları doldurulmamış polietilen ve masif ahşap ile karşılaştırmışlardır. Daha sonra beş farklı alev geciktirici özelliği bulunan katkı maddesinin yangın üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Genel olarak, magnezyum hidroksit ve amonyum polifosfat odun plastik kompozitlerin yangın performansını yüksek oranda artırırken brom bazlı yangın geciktirici ve çinko borat ise yangın performansını bu magnezyum hidroksit ve amonyum polifosfata göre daha az artırdığı gözlemlenmiştir.

Ji ve Guo (2018) yaptıkları çalışmada hammadde olarak kitosan ve amonyum lignosülfonatın kullanılması ile elde edilen yapıştırıcıların performansını orta yoğunluklu liflevha üretiminde değerlendirmişlerdir. Elde edilen yapıştırıcının etkileri ve lignin/kitosan ağırlık oranının MDF'nin mekanik ve fiziksel özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Kitosan-lignin yapışkan içeriği %6 ve lignin/kitosan ağırlık oranı 1:2 olarak kullanıldığında, kitosan-lignin yapıştırıcısının performansı artırdığı ayrıca kitosanın bağlanma gücü ve suya karşı direnç özellikleri üzerinde önemli bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Madhoushi ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada odun liflerine alternatif olarak atık zımpara tozları ve nanokil kullanarak ürettikleri odun plastik kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre zımpara tozunun, çekme ve eğilme özelliklerini önemli ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir. Nanokil ise karışıma göre %2 oran ile kullanıldığında eğilme ve çekme özelliklerini orta derecede artırdığı gözlemlenmiştir. Nanokil ilavesi arttıkça kompozitlerin kalınlığına şişme ve su alma özelliklerinde önemli ölçüde azalma tespit edilmiştir.

Yen ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada, metal hidroksit ve nanokil ile kombine edilen etilen-vinil kopolimerinin alev geciktirici özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin yanma özelliklerini belirlemek için oksijen indeksi(LOI), UL-94, koni kalorimetre ve duman yoğunluğu odası kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre karışıma ağırlıkça %1 ya da %2 nanokil eklendiğinde, hem alüminyum hidroksit(ATH) hem de magnezyum hidroksit kullanarak üretilen kompozitlerin oksijen indeksi değerinin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. TGA sonuçlarına göre nanokil ilavesinin malzemenin termal stabilitesini artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca duman yoğunluğu verileri, oluşan duman yoğunluğunun %16-25 arasında bir azalma gösterdiğini tespit etmiştir.

Guo ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada odun plastik kompozitlerin alev geciktirici özellikleri üzerine nanokilin etkilerini araştırmışlardır. Yapılan araştırma sonucunda nanokompozitlerin yapısının ve kullanılan kil içeriğinin, odun plastik kompozitlerin yanma özellikleri üzerine büyük bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sain ve arkadaşları (2004) yaptıkları çalışmada talaş/pirinç kabuğu dolu polipropilen kompozitlerin yanma özellikleri üzerine magnezyum hidroksitin etkilerini incelemişlerdir. Magnezyum hidroksitin çinko borat ve borik asit ile kombinasyonunda ayrıca incelenmiştir. Oluşturulan kompozitlerin yanma özellikleri oksijen indeksi ve UL-94 testlerine göre belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre magnezyum hidroksitin polipropilen kompozitlerin

yanıcılığını etkili bir şekilde azaltabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca magnezyum hidroksitin, çinko borat ve borik asit ile sinerjik bir etkisi gözlemlenmemiştir. Fakat alev geciktiricilerin eklenmesiyle kompozitlerin mekanik özelliklerinde azalmalar tespit edilmiştir.

Salari ve arkadaşları (2012) yaptıkları bir çalışmada; nanokilin, düşük kaliteli Pavlonya odunundan yapılan OSB nin özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Üretim sırasında üre formaldehit tutkalına dört farklı oranda (0, 1, 3 ve 5%) organo modifiye montmorillonit eklenmiş ve OSB' nin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. ÜF reçinesine %5 nanokil ilavesi ile üretilen levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştiği ve formaldehit emisyonunun azaldığı tespit edilmiştir. Ancak su alma ve kalınlık artışı özelliklerinde tatmin edici sonuçlar elde edilememiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan hammadde, kimyasal maddeler, tutkal, sertleştirici madde ve üretilen levhalara uygulanan testlere ait bilgiler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Hammadde

Bu çalışmada, hammadde olarak Çamsan Ordu Ağaç San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen kayın-çam karışımı lif kullanılmıştır. Lifler tesiste tutkallama işleminden önce alınıp, kurutulduktan sonra deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

2.1.2. Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada, deneme levhalarının üretiminde iki farklı içeriğe sahip nanokil kullanılmıştır. Sigma-Aldrich marka montmorillonit kili yüzey modifiyeli, %25-30 trimetil stearil amonyum içerikli olup; grafen kimyasaldan temin edilen diğer montmorillonit kili ise dimetil dialkil amin içeriklidir. Bu iki nanokile ilave olarak çinko borat, magnezyum hidroksit, alüminyum hidroksit ve kitosan maddeleri kullanılmıştır. Nanokil hem tek olarak hem de çinko borat, magnezyum hidroksit, alüminyum hidroksit ve kitosan maddeleri ile birlikte belirli oranlarda karışım halinde kullanılmıştır.

2.1.2.1. Nanokil

Kil genel tanımıyla; küçük parçacık boyutlu, su ile temas ettiğinde plastik özelliğe sahip olan malzemeler olarak adlandırılabilir. Parçacık boyutu açısından ise, 2 µm çapından daha küçük tane içerikli mikroskopla tanımlama sınırları dışındaki malzemeler olarak nitelendirilirler (Çankaya ve Sökmen, 2016).

Yapılan kimyasal analizler ile kil minerallerinin yapısal özelliklerinin belirlenmesi ile yapılarında farklı maddeler tespit edilmiştir. Buna göre; ağırlıklı olarak silika,

alüminyum, su ve belirli oranlarda alkali metallerin bulunduğu tespit edilmiştir. Ancak kil mineralleri türüne bağlı olarak farklı özellikler gösterebilir (Çankaya ve Sökmen, 2016).

Killer nanoteknolojide meydana gelen gelişmeler ile birlikte en önemli endüstriyel malzemelerden birisi haline gelmiştir. Çok yönlü uygulamalara sahip olan nanokilin, ucuz ve çevre dostu olması sebebiyle son yıllarda üzerine geniş araştırmalar yapılmıştır (Nazir vd., 2016). Polimerlerde gösterdiği olumlu, ümit verici sonuçlar ile birlikte en uygun maliyetli malzemelerden birisi olan nanokil, montmorillonit minerallerinden meydana gelir. Ortalama olarak 1 nanometre boyutlarında ve 70-150 nanometre genişliğe sahiptirler (Bhat vd., 2008).

Montmorillonit ismini Fransa'nın "Montmorillon" bölgesinden alan ve iki Si tetrahedral tabakasının arasına bir Al oktahedral tabakası girmesiyle oluşan üç tabakalı, smektit grubu bir kil türüdür. Genel formülü $Al_{1,67}Mg_{0,33}(Na_{0,33})Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$ şeklindedir. Tabakaların arasındaki boşluklara galeri adı verilir ve bu boşluklarda Van der Waals kuvvetleri etkilidir. Beyaz, yeşilimsi sarı ve kahverengi renklerde bulunabilen montmorillonitin yoğunluğu ortalama olarak $2,35 \text{ gr/cm}^3$ tür (Çankaya ve Sökmen, 2016). Doğal bir malzeme olan nanokil, çevre dostu olması, yüksek yüzey alanına sahip oluşu, yüksek mekanik özellikleri, termal stabilitesi ve yanma geciktirici özelliklerinden dolayı polimer nanokompozitlerde, kaplamalarda ve seramik gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Gao vd., 2015).

2.1.2.2. Çinko Borat

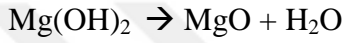
Çinko borat yaygın olarak, borik asit ve çinko içeren çinko sülfat, çinko oksit, çinko karbonat gibi hammaddelerin birbirleriyle olan reaksiyonları sonucu oluşmaktadır. Çinko borat, ince beyaz toz, nem çekmeyen ve kristal formda olup birçok formasyonda üretilmektedir (Başer, 2016).

Ticari anlamda yaygın olarak kullanılan çinko boratın en önemli özellikleri, suda çözünürlüğünün düşük olması ve sahip olduğu yüksek dehidrasyon sıcaklığı ile birlikte duman ve alev bastırıcı olmasıdır. Dehidrasyon sıcaklığı 290°C den büyük olup boratın ısıl dayanımı 400°C civarına kadar çıkabilmektedir. Bu niteliğiyle tutuşma sıcaklığına ulaşmadan kompozitteki su molekülleri uzaklaştırılır ve oluşan kömür tabakasının yüzeyini sararak ileri seviye bir yanmayı engelleyip ateşe karşı dayanıklılık sağlar. Yanma geciktirici

özelliğinde olması, duman oluşumunu azaltması ve kül oluşturucu gibi nitelikleriyle en yaygın kullanım alanı ahşap uygulamaları ve tekstil endüstrisi olan çinko borat plastik, lastik, seramik, çimento, boya, kablo, elektrik yalıtımı ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Akgül, 2010; Başer, 2016).

2.1.2.3. Magnezyum Hidroksit

Genel olarak, endüstriyel $Mg(OH)_2$ deniz suyu ya da tuzlu kuyu sularının çöktürülmesiyle elde edilir. Magnezyum hidroksit endotermik olarak bozunur ve bozunma sıcaklığı 300-320 °C arasındadır. Bozunma sonucu magnezyum oksit ve su meydana gelir.



Magnezyum hidroksit; korozif yapıda olmayan, mineral esaslı bir madde olup hem etkili bir duman bastırıcı hemde birçok alanda kullanılabilen bir alev geciktirici malzemedir. Diğer kimyasallar ile muamelesi mümkün olan magnezyum hidroksit, halojenli malzemelerin sınırlı ya da yasaklandığı yerlerde bunlara alternatif olarak halojensiz bir alev geciktirici olarak kullanılmaktadır (Kaya ve Öz, 1999).

2.1.2.4. Kitosan

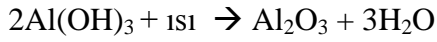
Kitosan, doğada selülozdan sonra en fazla bulunan kitinin başlıca türevidir. Kitin yapısal olarak selüloza daha çok benzemesine rağmen, kitosan kitinden daha önemlidir (Kuzgun ve İnanlı, 2013). Kitosan, kitin polimerinin kısmi deasetilasyonu sonucu asetil gruplarının uzaklaştırılmasıyla elde edilir. Kitosan kabuklu deniz ürünlerinin dış iskeletlerinde, mantarların hücre duvarlarında, kelebeklerin kanatlarında vb. bulunan doğal bir polisakkarittir. Kitosanın doğada bulunan kaynaklardan kolayca elde edilebilmesi, canlılara karşı toksik özelliğinin bulunmaması, biyoyumluluğu, kimyasal ve fiziksel özellikleri yönünden diğer biyopolimerlere oran ile üstün özellikler göstermesi ve yenilenebilir bir kaynak olması yönünden endüstri alanları için uygun bir maddedir (Çankaya ve Sökmen, 2016).

Kitine göre daha avantajlı özelliklere sahip olan ve son 50 yıl boyunca araştırmacılar için önemli bir malzeme haline gelen kitosan; gıda, ziraat, kozmetik, kağıt, tıp ve tekstil başta olmak üzere çok sayıda endüstri dalında kullanımı yaygınlaşmıştır (Kuzgun ve İnanlı, 2013).

2.1.2.5. Alüminyum Hidroksit

Halojensiz bir yanma geciktirici kimyasalı olan alüminyum hidroksit ticari olarak 1960'ların ortalarında kullanılmaya başlanmış ve kullanımı 1970'lerin ortalarında yaygın hale gelmiştir. Yüzlerce kullanım alanı olan ATH, bugün yanma geciktirici kimyasal pazarında %90 civarında bir paya sahiptir (Kaya ve Öz, 1999).

Alüminyum hidroksit endotermik bir reaksiyon sonucu bozunarak su ve oksit meydana getirir.



Bu endotermik reaksiyon sonucu polimer yüzeyinde soğuma meydana gelerek alevin yayılması bir süre engellenmiş olur. Bozunma sıcaklıkları 180-200 °C arasındadır. Mükemmel Alev geciktirici özelliği bulunması, duman oluşumunu azaltması, halojen içermemesi, ucuz olması, kolay elde edilebilmesi, bozunma sonucu korozif ve toksik etki göstermemesi gibi üstün özellikleri pazar payının yüksek olmasını etkileyen önemli faktörlerdir (Kaya ve Öz, 1999; Rakotomalala vd., 2010).

2.1.3. Tutkal

2.1.3.1. Üre Formaldehit

Bu çalışmada, levha üretiminde %65 katı madde içerikli üre formaldehit (ÜF) tutkalı kullanılmıştır.

2.1.4. Sertleştirici Madde

ÜF tutkalında sertleştirici madde olarak %20'lik amonyum klorür çözeltisi kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Deneme Levhalarının Üretim Şablonun Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında üretilecek levhaların üretim şablonu birtakım ön denemeler sonucunda oluşturulmuştur. Buna göre, iki farklı montmorillonite kili (MMT), tam kuru lif ağırlığına oranla %2 ve %4 oranlarında olacak şekilde tek ve çinko borat (ÇB), magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$), alüminyum trihidroksit (ATH), kitosan (K) ile ikili kombinasyonlar şeklinde kullanılmıştır. Ancak, kitosanın ön denemelerde uygulanma zorluğundan dolayı bu madde, nanokille birlikte sadece % 2 oranında kullanılmıştır. Kimyasal maddeler ÜF tutkalına ilave edilmiş elde edilen karışım püskürtme yöntemi kullanılarak lifler ile muamele edilmiştir. Bu çalışma için üretilen levha gruplarının adı ve içerikleri Tablo 1’de, deney şablonu ve örneklere uygulanan testler ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Levha gruplarının içerikleri

Levha grupları	İçerik	Levha grupları	İçerik
	%2 kimyasal		%2 kimyasal
A1	%2 MMT*	B1	%2 MMT **
A2	%1.5 MMT* + %0.5 ÇB	B2	%1.5 MMT ** + %0.5 ÇB
A3	%1.5 MMT* + %0.5 $Mg(OH)_2$	B3	%1.5 MMT** + %0.5 $Mg(OH)_2$
A4	%1.5 MMT* + %0.5 ATH	B4	%1.5 MMT** + %0.5 ATH
A5	%1.5 MMT* + %0.5 Kitosan	B5	%1.5 MMT** + %0.5 Kitosan
Levha grupları	%4 kimyasal	Levha grupları	%4 kimyasal
A6	% 4 MMT*	B6	%4 MMT**
A7	%2.5 MMT* + % 1.5 ÇB	B7	%2.5 MMT** + %1.5 ÇB
A8	%2.5 MMT* + %1.5 $Mg(OH)_2$	B8	%2.5 MMT** + %1.5 $Mg(OH)_2$
A9	%2.5 MMT* + % 1.5 ATH	B9	%2.5 MMT** + %1.5 ATH

*A grubunda kullanılan montmorillonite kili yüzey modifiyeli, %25-30 trimetil stearyl amonyum içeriklidir.

**B grubunda kullanılan montmorillonite kili dimetil dialkil amin içeriklidir.

Tablo 2. Deney şablonu ve örneklere uygulanan testler

Testler	LEVHA GRUPLARI																	
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Yoğunluk	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Su Alma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kalınlığına Şişme	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eğilme Direnci	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Elastikiyet Modülü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Çekme Direnci	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TGA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
LOI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
UL94	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yüzey Pürüzlülüğü	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mantar Çürüklük	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SEM	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓

2.2.2. Deneme Levhalarının Üretimi

Test levhalarının üretiminde, ilk aşama olarak tedarik edilen lifler elenerek uygun rutubet oranına kadar kurutulmuş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Farklı oranlarda kullanılan kimyasal maddeler, tutkala ilave edilip karıştırıldıktan sonra, liflerin üzerine püskürtülerek tutkallama işlemi gerçekleştirilmiştir. Levha gruplarının üretiminde kullanılan ÜF tutkalı, her bir levha için tam kuru lif ağırlığına oranla %13 oranında kullanılmıştır. Tutkallama işleminin bitmesi ile bir sonraki aşama olan serme işlemine geçilmiştir. Pres sacı zemine yerleştirildikten sonra üzerine 35x35 cm boyutlarında şekillendirme çerçevesi konulmuştur. Tutkallanmış haldeki lifler, homojen şekilde olmasına dikkat edilerek çerçeve içerisine yerleştirilerek serme işlemi tamamlanmıştır. Serme işleminden sonra levha taslağı üzerine iyice bastırılarak bir ön presleme uygulanmıştır. Ön pres sonrası, levha taslağı 180 C⁰ sıcaklıkta 8 dak. süre ile preslenerek MDF levha üretim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu üretimler, KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı laboratuvarlarında yapılmıştır.



Şekil 2. Levha üretiminde kullanılan tek katlı pres

Presleme sonrası üretilen deneme levhaları klimatize edilmiş, daha sonra ilgili deneyleri yapılmak üzere standartlara göre uygun boyutlarda kesilmiş ve test örnekleri hazırlanmıştır.

2.3. Deneme Levhalarının Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada üretilen levhaların bazı fiziksel, mekanik, termal-yanma, yüzey-morfolojik özellikleri ile biyolojik özellikleri aşağıdaki yöntemlere göre belirlenmiştir.

2.3.1. Fiziksel Özellikler

2.3.1.1. Yoğunluk

Üretilen test levhalarından 50x50xlevha kalınlığı (mm) örnek boyutlarında kesilerek hazırlanan test örneklerinin kalınlığı, ağırlığı ve iki kenarına ait genişlikleri ölçüldükten sonra yoğunluğu aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (EN 323, 1993).

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

Eşitlikte;

δ : Yoğunluk (g/cm^3)

m: Hava kurusu ağırlık (g)

a_1, a_2 : Örnek genişliği (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)

2.3.1.2. Su Alma Oranı

Su alma oranını belirlemek için örnekler 50x50 mm boyutlarında kesildikten sonra tartılmıştır. Örnekler daha sonra 24 saat süre boyunca bekletilmek üzere 20 ± 2 °C'deki su havuzunun içerisinde yerleştirilmiştir. Bekletme süresi bittikten hemen sonra sudan çıkarılan test örnekleri temiz bir bez kullanarak hafifçe silinip üzerindeki fazla su alınmıştır. Bu işlemden sonra örneklerin ağırlıkları yeniden tartılmış ve aşağıdaki formül yardımı ile su alma oranları hesaplanmıştır (EN 317, 1993).

$$SA = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

SA: Su alma oranı (%)

m_0 : Örneğin ilk ağırlığı (g)

m : Örneğin bekleme süresi sonundaki ağırlığı (g)

2.3.1.3. Kalınlığına Şişme Oranı

Kalınlığına şişme oranlarının belirlenmesi amacı ile örnekler 50x50 mm boyutlarında kesilmiştir. Deneme örneklerin kalınlıkları 0.01 mm duyarlıklı kumpas yardımı ile tam orta noktasından olacak şekilde ölçülmüştür. 19-21 °C sıcaklıkta ve su yüzeyinden 25 mm aşağıda bulunmak şartı ile örnekler 24 saat süre boyunca su havuzunda bekletilmiştir. Bekletme işlemi bittikten sonra su havuzundan çıkarılan örneklerin kalınlıkları daha önce ölçülen noktalardan tekrar ölçülerek aşağıdaki formül yardımıyla kalınlığına şişme oranları hesaplanmıştır (EN 317, 1993).

$$KŞ = \frac{e_k - e_y}{e_y} \times 100 \quad (3)$$

KŞ: Kalınlığına şişme

e_y : Bekletme işleminden sonraki örnek kalınlığı (mm)

e_k : Örneğin ilk kalınlığı (mm)

2.3.2. Mekanik Özellikler

2.3.2.1. Eğilme Direnci

Eğilme direncinin belirlenmesinde EN 310 standardı kullanılmıştır. Levha örnekleri ilgili standarda göre hazırlanmış ve eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (EN 310, 1993).

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

E: Eğilme direnci (N/mm²)

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

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

b: Örnek genişliği (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)

2.3.2.2. Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülünün belirlenmesinde EN 310 standardı kullanılmıştır. Üretilen levhalardan standarda uygun şekilde kesilen test örneklerinin elastikiyet modülü aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (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 : Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

b : Örnek genişliği (mm)

Δ: Eğilme miktarı (mm)

d : Örnek kalınlığı (mm)

Ls: Mesnet Açıklığı (mm)

2.3.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Yüzeye dik çekme direncinin belirlenmesinde EN 319 standardı kullanılmıştır. Levha örnekleri ilgili standarda uygun şekilde kesilerek, aşağıdaki formül yardımıyla yüzeye dik çekme direnç değerleri belirlenmiştir (EN 319, 1993).

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

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

f_{\max} : Kopma anındaki kuvvet (N)

a ve b: Örneklerin uzunluk ve genişliği (mm)

2.3.3. Termal-Yanma Özellikleri

Levhaların yanmaya karşı direnç özelliklerini test etmek amacıyla TGA, UL94 ve LOI yöntemleri kullanılmıştır.

2.3.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA) yöntemi genellikle malzemelerin termal kararlılıklarının incelemesinde kullanılır. Belirli oranlarda artan veya azalan sıcaklık sonucunda incelenen malzemenin kütlede oluşacak kayıpların sıcaklık ya da zaman fonksiyonu olarak belirlenerek sıcaklık ve kütle arasında termal bozunma eğrileri elde edilir. Örneklerin TGA ölçümleri, Artvin Çoruh Üniversitesi, Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu analiz için, levha örnekleri bir öğütücü yardımıyla toz haline getirilmiştir. Örneklerin ölçümleri, Perkin Elmer TGA-STA 6000 marka cihaz kullanılarak 20 ml/dk N_2 gazı akışında; 10 °C/dk. artış ile oda sıcaklığı-800 °C aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. TGA cihazı

2.3.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi

Levha örneklerinin yanmaya karşı gösterdiği direnci belirlemek için limit oksijen indeks(LOI) testi yapılmıştır. Örneklerin limit oksijen indeks(LOI) testi, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarlarında Dynisco marka oksijen indeks cihazı ile yapılmıştır. Bu test, ASTM D 2863 standardına göre gerçekleştirilmiştir. LOI testi ile bir materyalin sadece alevli yanmasını destekleyecek olan bir oksijen-azot karışımı içindeki minimum oksijen konsantrasyonu ölçülmektedir. Bu standart test yöntemi, deney koşulları altında alevli yanmanın devam ettirilmesi için gereken minimum oksijen miktarını belirlemektedir. Bu teste göre; yanma özelliği yüksek olan malzemelerin oksijen indeksi düşük, yanma özelliği düşük olan malzemelerin ise oksijen indeksi yüksek olmaktadır (Çavdar, 2011).



Şekil 4. Dynisco marka LOI cihazı

2.3.3.3. Alev Testi, UL-94

Örneklerin yanmaya karşı dayanımlarını belirlemek amacıyla diğer testlere ilave olarak genellikle plastik malzemeler için kullanılan UL-94 testi (ASTM D3801-10, 2018) modifiye edilerek levha örneklerine uygulanmış ve sonuçlar gözlemsel olarak kaydedilmiştir. Bu test için 1,3x12,5x1 cm ebatlarında örnekler hazırlanmış, bu örnekler yukarıdan düz bir şekilde tutturularak deney tertibatında (Şekil 5) bunsen bekinin ayarlanan alevine belirlenen sürelerde yaklaştırılmıştır. Buna göre; modifiye edilmiş sisteme göre; örnekler deney başlangıcında 10 sn süreyle alev kaynağına yaklaştırılmış ve kronometre tutularak bu sürenin sonunda yanmanın olup olmadığı gözlenmiştir. Yanmanın olmaması durumunda ise bir 10 sn daha alev uygulanmış ve bu sürede yanma olduysa kaydedilmiş ve hangi sürede söndüğü belirlenmiştir. Yine yanma olmadıysa bir 10 sn daha devam ettirmek suretiyle özellikle ilk 30 sn içindeki yanma davranışı izlenmiştir. İlk 30 sn'de yanma olmaması halinde yanma olana kadar 10 sn'lik sürelerle tekrarlı işlem yapılmıştır. Bu aşamada gözlemsel değerlendirmeler yapılmıştır. Bu 10 sn'lik sürelerde alevin sönme süreleri belirlenmiştir.



Şekil 5. Test örneği ve deney düzeneği

2.3.4. Yüzey ve Morfolojik Özellikler

2.3.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

İki farklı nanokil ve diğer kimyasal maddeler ile üretilen levha örneklerinin yüzeylerinde, bu kimyasal maddelere ve konsantrasyon oranlarına bağlı olarak meydana gelen değişimleri belirlemek amacıyla Mitutoyo Surftest SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz yardımı ile yüzey pürüzlülük parametreleri (Ra, Rq, Rz) standartta belirtilen şekilde belirlenmiştir (ISO 4287, 1997).



Şekil 6. Mitutoyo Surftest SJ-210 yüzey pürüzlülük cihazı

2.3.4.2. SEM Analizi

Levha örneklerinin SEM analizleri, Artvin Çoruh Üniversitesi, Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler için %4 konsantrasyondaki A ve B grubu örnekleri seçilmiştir. Analiz öncesinde, örnekler uygun şekilde kaplanarak hazırlanmış ve daha sonra bu kaplanmış örneklerin SEM görüntüleri alınmıştır.

2.3.5. Biyolojik Özellikler

2.3.5.1. Mantar Çürüklük Testi

Üretilen levhalarda nanokilin ve kimyasal maddelerin mantar çürüklüğüne karşı etkinliklerinin olup olmadığını test etmek amacıyla; levha örneklerine modifiye edilmiş EN 113 (1997) çürüklük testi uygulanmıştır. Bu test; KTÜ, Orman Endüstri mühendisliği, Mikoloji laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Test öncesi; 1 x 1 x 1 cm boyutlarında örnekler kestirilmiş olup, daha sonra bu örnekler değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar etüvde 103 ± 2 °C’de bekletilmiş ve tam kuru ağırlıkları (Çö) belirlenmiştir. Bu test için; örnekler “*Coniophora puteana*” ve “*Trametes versicolor*” mantarlarına maruz bırakılmıştır. Test örnekleri ve kontrol örnekleri için bu deney, 8 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Deneyde; 48 g malt agar ekstraktı; 1 lt olan saf su içerisinde çözündürülerek hazırlanmış, bu çözelti sterilizasyon işlemi için otoklavda bekletilmiştir. Süre sonunda ise otoklavdan çıkarılarak UV ışığı altında steril kabinde soğumaya bırakılmıştır. Steril hale getirilen petri kaplarına agar çözeltisinden bir miktar aktararak bu kaplar 1 gün UV kabininde bekletilmiştir. Agar çözeltisinin iyice donmasından sonra petrilere mantar misel aşılama işlemi gerçekleştirilmiştir. Petri kaplarına misellerin sarmasını sağlamak için bu kaplar iklimlendirme dolabında %65 bağıl nem, 20 °C’ de bir hafta süre ile bekletilmiştir. Örnekler ise, yine aynı şekilde otoklavda sterilize edilmiş, soğutma işleminden sonra ise her bir petri kabına 2 test ve 2 kontrol örneği yerleştirilmiştir. 3 ay 20°C ve %65 bağıl nemli bir odada mantar saldırısına bırakılan örneklerin, deney süresi bitiminde yeniden tam kuru ağırlıkları (Çs) belirlenerek ağırlık kayıpları % olarak aşağıdaki eşitlik(7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = \frac{\text{Ç}_o - \text{Ç}_s}{\text{Ç}_o} \times 100 \quad (7)$$

Çö: İlk ağırlık(Çürüklük öncesi) (g)

Çs: Son ağırlık (Çürüklük sonrası) (g)



Şekil 7. Mantar Çürüklük testi örnekleri

2.3.6. İstatistiksel Analiz

Levha örnekleri üzerinde yapılan testler sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirmesi “SPSS 22 for Windows” paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Bu istatistiksel değerlendirmede, levha özellikleri üzerinde kimyasal madde türünün, kimyasal madde konsantrasyonunun ve nanokil türünün etkilerini belirlemek amacıyla, her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi uygulanmış ve bulunan istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar Duncan testi ile belirlenmiştir.



3. BULGULAR

3.1. Fiziksel Özellikler

3.1.1. Yoğunluk

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin yoğunluk değerlerindeki değişim Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Levha örneklerinin yoğunluk değerleri

Yoğunluk(kg/m ³)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	808,36	4,57	B1	805,20	8,39
A2	806,55	5,54	B2	801,08	11,44
A3	806,53	5,62	B3	800,91	10,75
A4	804,46	7,89	B4	804,20	7,95
A5	809,06	12,18	B5	802,98	8,34
A6	812,16	5,45	B6	817,83	9,74
A7	821,68	4,62	B7	814,09	8,59
A8	812,54	8,351	B8	815,97	7,28
A9	815,54	8,64	B9	810,89	5,98
Kontrol	795,76	6,04			

Üretilen levha örneklerinin yoğunluk değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi(BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda varyasyonlar için bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Yoğunluk değerleri için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Yoğunluk		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	590,906	5	118,181	2,145	0,094	A1 ^a ,A2 ^a ,A3 ^a , A4 ^a ,A5 ^a ,K ^a
	G.içi	1322,166	24	55,090			
	Toplam	1913,072	29				
%2 kons. B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	282,413	5	56,483	0,697	0,631	B1 ^a ,B2 ^a ,B3 ^a , B4 ^a ,B5 ^a , K ^a
	G.içi	1944,488	24	81,020			
	Toplam	2226,900	29				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	1845,806	4	461,452	9,945	0,000	K ^a , A6 ^b , A8 ^b , A9 ^b ,A7 ^b
	G.içi	927,992	20	46,400			
	Toplam	2773,798	24				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	1566,245	4	391,561	6,656	0,001	K ^a , B9 ^b ,B7 ^b , B8 ^b ,B6 ^b
	G.içi	1176,620	20	58,831			
	Toplam	2742,865	24				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9, kontrol)	G. arası	2167,978	9	240,886	4,579	0,000	K ^a , A4 ^{ab} , A3 ^{bc} , A2 ^{bc} , A1 ^{bc} , A5 ^{bc} , A6 ^{bcd} , A8 ^{bcd} , A9 ^{cd} , A7 ^d
	G.içi	2104,125	40	52,603			
	Toplam	4272,103	49				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9, kontrol)	G. arası	2444,506	9	271,612	3,652	0,002	K ^a , B3 ^{ab} , B2 ^{ab} , B5 ^{abc} , B4 ^{abcd} , B1 ^{abcd} , B9 ^{bcd} , B7 ^{cde} , B8 ^{de} , B6 ^e
	G.içi	2975,075	40	74,377			
	Toplam	5419,582	49				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5-B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	731,289	10	73,129	1,031	0,434	A1 ^a ,A2 ^a ,A3 ^a , A4 ^a ,A5 ^a B1 ^a , B2 ^a ,B3 ^a ,B4 ^a , B5 ^a , K ^a
	G.içi	3120,621	44	70,923			
	Toplam	3851,910	54				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7, B8,B9, kontrol)	G. arası	2088,745	8	261,093	4,799	0,000	K ^a ,A6 ^b ,A7 ^b , A8 ^b ,A9 ^b ,B6 ^b , B7 ^b ,B8 ^b ,B9 ^b
	G.içi	1958,580	36	54,405			
	Toplam	4047,324	44				

Tablo 4’te verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının yoğunluk değerleri arasında varyasyonlara bağlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; %2 konsantrasyon A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5,K), %2 konsantrasyon B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5,K), % 2 konsantrasyon, A ve B grubu için (A1,A2,A3,A4,A5-B1,B2,B3,B4,B5,K) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak anlamlı farklılık bulunmazken, Tablo 4’ten görüleceği üzere, diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

3.1.2. Su Alma Oranı

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin 24 saat süre ile su alma (SA) sonuçları Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Levha örneklerinin 24 saat süre ile su alma değerleri

SA(%)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	45,99	2,20	B1	48,97	3,24
A2	54,44	5,51	B2	45,11	5,65
A3	60,49	3,01	B3	45,20	9,61
A4	65,39	5,66	B4	54,14	5,18
A5	56,90	6,25	B5	61,83	4,67
A6	59,58	6,03	B6	66,87	4,84
A7	57,89	4,29	B7	70,93	2,19
A8	55,98	4,85	B8	69,39	1,32
A9	61,20	3,24	B9	66,02	9,65
Kontrol	39,29	1,22			

Üretilen levha örneklerinin su alma değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi (BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda varyasyonlar için bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. 24 saat su alma değerleri için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA 24 saat su alma		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	2303,003	5	460,601	23,641	0,000	K ^a ,A1 ^b ,A2 ^c , A5 ^c ,A3 ^{cd} ,A4 ^d
	G.içi	467,585	24	19,483			
	Toplam	2770,589	29				
%2 kons. B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	1574,812	5	314,962	10,228	0,000	K ^a ,B2 ^{ab} ,B3 ^{ab} , B1 ^{bc} ,B4 ^c ,B5 ^d
	G.içi	739,042	24	30,793			
	Toplam	2313,854	29				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	1577,257	4	394,314	21,855	0,000	K ^a ,A8 ^b ,A7 ^b , A6 ^b ,A9 ^b
	G.içi	360,848	20	18,042			
	Toplam	1938,105	24				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	3444,062	4	861,015	34,559	0,000	K ^a ,B9 ^b ,B6 ^b , B8 ^b ,B7 ^b
	G.içi	498,291	20	24,915			
	Toplam	3942,353	24				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9, kontrol)	G. arası	2668,117	9	296,457	14,418	0,000	K ^a ,A1 ^b ,A2 ^c , A8 ^{cd} ,A5 ^{cd} ,A7 ^{cd} , A6 ^{cde} ,A3 ^{cde} , A9 ^{de} ,A4 ^e
	G.içi	822,454	40	20,561			
	Toplam	3490,571	49				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9, kontrol)	G. arası	6080,604	9	675,623	21,947	0,000	K ^a ,B2 ^{ab} ,B3 ^{ab} , B1 ^{bc} ,B4 ^c ,B5 ^d , B9 ^{de} ,B6 ^{de} ,B8 ^{de} , B7 ^e
	G.içi	1231,354	40	30,784			
	Toplam	7311,958	49				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	3400,612	10	340,061	12,462	0,000	K ^a ,B2 ^{ab} ,B3 ^{ab} , A1 ^{ab} ,B1 ^{bc} ,B4 ^{cd} , A2 ^{cd} ,A5 ^{de} ,A3 ^{def} , B5 ^{ef} ,A4 ^f
	G.içi	1200,648	44	27,287			
	Toplam	4601,260	54				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7, B8,B9, kontrol)	G. arası	3682,860	8	460,357	19,425	0,000	K ^a ,A8 ^b ,A7 ^b , A6 ^{bc} ,A9 ^{bcd} , B9 ^{cde} ,B6 ^{de} ,B8 ^e , B7 ^e
	G.içi	853,159	36	23,699			
	Toplam	4536,019	44				

Tablo 6'da verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, tüm varyasyonlar için deneme levhalarının 24 saat süre ile su alma değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur (P<0,05).

3.1.3. Kalınlığına Şişme Oranı

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin 24 saat süre ile kalınlığına şişme (KŞ) sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Levha örneklerinin 24 saat süre ile kalınlığına şişme değerleri

KŞ(%)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	17,52	1,51	B1	20,05	1,34
A2	19,80	2,47	B2	18,80	1,66
A3	23,78	1,78	B3	17,03	1,72
A4	23,52	1,60	B4	19,86	2,78
A5	19,63	1,64	B5	18,78	0,88
A6	22,78	1,37	B6	27,22	0,81
A7	18,40	1,33	B7	29,96	0,77
A8	21,77	1,72	B8	24,86	1,40
A9	20,80	1,39	B9	22,13	0,78
Kontrol	14,67	1,89			

Üretilen levha örneklerinin kalınlığına şişme değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi(BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda varyasyonlar için bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. 24 saat kalınlığına şişme için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA 24 saat kalınlığına şişme		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	306,070	5	61,214	18,021	0,000	K ^a ,A1 ^b ,A5 ^b , A2 ^b ,A4 ^c ,A3 ^c
	G.içi	81,524	24	3,397			
	Toplam	387,595	29				
%2 kons. B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	103,625	5	20,725	6,349	0,001	K ^a ,B3 ^{ab} , B5 ^{bc} , B2 ^{bc} , B4 ^d , B1 ^d
	G.içi	78,338	24	3,264			
	Toplam	181,963	29				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	209,593	4	52,398	21,689	0,000	K ^a , A7 ^b , A9 ^c , A8 ^c , A6 ^c
	G.içi	48,318	20	2,416			
	Toplam	257,911	24				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	684,586	4	171,147	115,459	0,000	K ^a ,B9 ^b ,B8 ^c , B6 ^d , B7 ^e
	G.içi	29,646	20	1,482			
	Toplam	714,232	24				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9, kontrol)	G. arası	373,576	9	41,508	14,370	0,000	K ^a , A1 ^b , A7 ^b , A5 ^{bc} , A2 ^{bc} , A9 ^{cd} , A8 ^{cde} , A6 ^{de} , A4 ^e , A3 ^e
	G.içi	115,544	40	2,889			
	Toplam	489,120	49				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9, kontrol)	G. arası	1008,997	9	112,111	47,867	0,000	K ^a , B3 ^b ,B5 ^{bc} , B2 ^{bc} , B4 ^c ,B1 ^c , B9 ^d , B8 ^e , B6 ^f , B7 ^g
	G.içi	93,686	40	2,342			
	Toplam	1102,682	49				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	346,329	10	34,633	10,469	0,000	K ^a , B3 ^b , A1 ^{bc} , B5 ^{bc} , B2 ^{bc} , A5 ^c , A2 ^c , B4 ^c , B1 ^c , A4 ^d , A3 ^d
	G.içi	145,564	44	3,308			
	Toplam	491,893	54				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9,B6, B7, B8,B9, kontrol)	G. arası	754,312	8	94,289	50,678	0,000	K ^a ,A7 ^b ,A9 ^c , A8 ^c ,B9 ^c ,A6 ^c , B8 ^d ,B6 ^e ,B7 ^f
	G.içi	61,398	33	1,861			
	Toplam	815,710	41				

Tablo 8’de verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, tüm varyasyonlar için deneme levhalarının 24 saat süre ile

kalınlığına şişme değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

3.2. Mekanik Özellikler

3.2.1. Eğilme Direnci

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin eğilme direnci değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Levha örneklerinin eğilme direnci değerleri

Eğilme direnci(N/mm ²)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	43,05	4,07	B1	42,69	5,01
A2	44,79	3,26	B2	45,62	2,78
A3	41,02	2,16	B3	43,77	2,64
A4	43,11	4,77	B4	50,99	4,81
A5	40,01	2,93	B5	39,40	1,62
A6	43,64	7,38	B6	40,08	3,41
A7	46,44	4,43	B7	46,06	6,16
A8	45,93	4,14	B8	44,36	3,10
A9	46,00	3,95	B9	49,49	6,90
Kontrol	39,84	5,11			

Üretilen levha örneklerinin eğilme direnci değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi(BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda varyasyonlar için bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Eğilme direnci için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Eğilme Direnci		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	98,491	5	19,698	1,323	0,288	A1 ^a ,A2 ^a ,A3 ^a , A4 ^a ,A5 ^a ,K ^a
	G.içi	357,333	24	14,889			
	Toplam	455,824	29				
%2 kons.n B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	456,188	5	91,238	5,962	0,001	B5 ^a ,K ^a ,B1 ^{ab} ,B3 ^{ab} , B2 ^b , B4 ^c
	G.içi	367,248	24	15,302			
	Toplam	823,436	29				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	152,067	4	38,017	1,432	0,260	K ^a ,A6 ^a ,A7 ^a ,A8 ^a , A9 ^a
	G.içi	531,088	20	26,554			
	Toplam	683,155	24				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	335,832	4	83,958	3,155	0,037	K ^a ,B6 ^a , B8 ^{ab} ,B7 ^{ab} ,B9 ^b
	G.içi	532,139	20	26,607			
	Toplam	867,971	24				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9, kontrol)	G. arası	271,899	9	30,211	1,542	0,167	K ^a , A1 ^a , A2 ^a , A3 ^a , A4 ^a , A5 ^a , A6 ^a , A7 ^a , A8 ^a , A9 ^a
	G.içi	783,878	40	19,597			
	Toplam	1055,778	49				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9, kontrol)	G. arası	705,318	9	78,369	3,944	0,001	B5 ^a ,K ^{ab} , B6 ^{eb} , B1 ^{ab} , B3 ^{abc} , B8 ^{abc} , B2 ^{abcd} , B7 ^{bcd} , B9 ^{cd} , B4 ^d
	G.içi	794,845	40	19,871			
	Toplam	1500,163	49				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	551,231	10	55,123	3,912	0,001	B5 ^a , K ^a , A5 ^a , A3 ^{ab} ,B1 ^{ab} ,A1 ^{ab} , A4 ^{ab} ,B3 ^{ab} , A2 ^{ab} , B2 ^b , B4 ^c
	G.içi	620,039	44	14,092			
	Toplam	1171,270	54				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7B8,B9, kontrol)	G. arası	385,963	8	48,245	1,812	0,107	K ^a ,A6 ^a ,A7 ^a ,A8 ^a , A9 ^a ,B6 ^a ,B7 ^a ,B8 ^a , B9 ^a
	G.içi	958,684	36	26,630			
	Toplam	1344,648	44				

Tablo 10’da verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının eğilme direnci değerleri arasında varyasyonlara bağlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; %2 konsantrasyon A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5,K), %4 konsantrasyon A grubu için (A6,A7,A8,A9,K), %2 ve %4

konsantrasyon birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,K), %4 konsantrasyon A ve B grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7,B8,B9,K) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak anlamlı farklılık bulunmazken, Tablo 10'dan görüleceği üzere diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

3.2.2. Elastikiyet Modülü

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Levha örneklerinin elastikiyet modülü değerleri

Elastikiyet Modülü (N/mm ²)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	4001,05	346,44	B1	4306,33	408,34
A2	4298,15	207,80	B2	4268,81	64,43
A3	4184,09	120,30	B3	4196,05	89,76
A4	4324,68	313,76	B4	4708,30	371,06
A5	3918,98	78,58	B5	3710,26	397,35
A6	3977,24	182,91	B6	3895,51	333,66
A7	4499,85	87,64	B7	4198,95	269,70
A8	4205,84	237,69	B8	4550,00	130,65
A9	4444,65	305,60	B9	4587,29	244,65
Kontrol	4453,14	407,73			

Üretilen levha örneklerinin elastikiyet modülü değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi(BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda varyasyonlar için bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Elastikiyet modülü için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Eğilme Direnci		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	1040002,418	5	208000,484	2,782	0,400	K ^a ,A1 ^a ,A2 ^a ,A3, A4 ^a ,A5 ^a
	G.içi	1794233,998	24	74759,750			
	Toplam	2834236,417	29				
%2 kons.n B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	2728296,918	5	545659,384	5,109	0,002	B5 ^a ,B3 ^b ,B2 ^{bc} , B1 ^{bc} , K ^{bc} ,B4 ^c
	G.içi	2563168,888	24	106798,704			
	Toplam	5291465,806	29				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	980262,057	4	245065,514	3,430	0,027	A6 ^a , A8 ^{ab} , A9 ^b ,K ^b , A7 ^b
	G.içi	1429144,576	20	71457,229			
	Toplam	2409406,633	24				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	1677364,528	4	419341,132	4,907	0,006	B6 ^a , B7 ^{ab} ,K ^b , B8 ^b ,B9 ^b
	G.içi	1708985,091	20	85449,255			
	Toplam	3386349,619	24				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9, kontrol)	G. arası	1990105,586	9	221122,843	3,457	0,003	A5 ^a ,A6 ^{ab} , A1 ^{ab} , A3 ^{abc} , A8 ^{abc} , A2 ^{bc} , A4 ^{bc} , A9 ^c , K ^c , A7 ^c
	G.içi	2558374,578	40	63959,364			
	Toplam	4548480,165	49				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9, kontrol)	G. arası	4335298,110	9	481699,790	5,342	0,000	B5 ^a ,B6 ^{ab} ,B3 ^{bc} , B7 ^{bc} ,B2 ^{bc} , B1 ^{bcd} , K ^{cd} , B8 ^{cd} , B9 ^{cd} ,B4 ^d
	G.içi	3607149,982	40	90178,750			
	Toplam	7942448,092	49				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	3598567,681	10	359856,768	4,288	0,000	B5 ^a ,A5 ^{ab} ,A1 ^{ab} , A3 ^{bc} ,B3 ^{bc} , B2 ^{bc} , A2 ^{bc} , B1 ^{bc} ,A4 ^{bcd} , K ^{cd} ,B4 ^d
	G.içi	3692398,890	44	83918,157			
	Toplam	7290966,571	54				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9 – B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	2574037,712	8	321754,714	4,684	0,001	B6 ^a ,A6 ^a ,B7 ^{ab} , A8 ^{ab} ,A9 ^{bc} ,K ^{bc} , A7 ^{bc} ,B8 ^{bc} ,B9 ^c
	G.içi	2473125,670	36	68697,935			
	Toplam	5047163,383	44				

Tablo 12’de verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının elastikiyet modülü değerleri arasında varyasyonlara bağlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; %2 konsantrasyon A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5,K) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak farklılık bulunmazken, Tablo 12’den görüleceği üzere diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

3.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerleri Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Levha örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerleri

Yüzeye dik çekme direnci(N/mm ²)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	0,85	0,04	B1	0,98	0,20
A2	0,94	0,03	B2	1,18	0,19
A3	0,99	0,24	B3	1,02	0,05
A4	1,21	0,18	B4	1,52	0,15
A5	0,99	0,14	B5	1,32	0,12
A6	0,96	0,15	B6	0,95	0,13
A7	1,07	0,26	B7	1,06	0,15
A8	1,06	0,27	B8	1,02	0,13
A9	0,93	0,06	B9	0,96	0,17
Kontrol	0,80	0,04			

Üretilen levha örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi (BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda varyasyonlar için bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14. Yüzeze dik çekme direnci için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Çekme direnci		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	0,501	5	0,100	5,203	0,002	K ^a ,A1 ^a ,A2 ^a , A3 ^a ,A5 ^a ,A4 ^b
	G.içi	0,463	24	0,019			
	Toplam	0,964	29				
%2 kons. B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	1,682	5	0,336	16,662	0,000	K ^a ,B1 ^{ab} ,B3 ^{bc} , B2 ^{cd} , B5 ^d ,B4 ^e
	G.içi	0,484	24	0,020			
	Toplam	2,166	29				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	0,242	4	0,060	1,850	0,159	K ^a , A6 ^a , A7 ^a , A8 ^a ,A9 ^a
	G.içi	0,654	20	0,033			
	Toplam	0,896	24				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	0,190	4	0,048	2,850	0,051	K ^a ,B6 ^a , B7 ^a , B8 ^a ,B9 ^a
	G.içi	0,334	20	0,017			
	Toplam	0,524	24				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9, kontrol)	G. arası	0,601	9	0,067	2,410	0,027	K ^a , A1 ^{ab} , A9 ^{ab} , A2 ^{ab} , A6 ^{ab} , A3 ^{abc} , A5 ^{abc} , A8 ^{bc} , A7 ^{bc} , A4 ^c
	G.içi	1,109	40	0,028			
	Toplam	1,710	49				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9, kontrol)	G. arası	1,957	9	0,217	10,730	0,000	K ^a , B6 ^{ab} , B9 ^{ab} , B1 ^{abc} , B3 ^{bc} , B8 ^{bc} , B7 ^{bc} , B2 ^{cd} , B5 ^d , B4 ^e
	G.içi	,811	40	0,020			
	Toplam	2,767	49				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5-B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	2,306	10	0,231	10,799	0,000	K ^a ,A1 ^a ,A2 ^a , B1 ^{ab} ,A3 ^{ab} , A5 ^{ab} , B3 ^{abc} , B2 ^{bcd} , A4 ^{cd} , B5 ^d , B4 ^e
	G.içi	0,939	44	0,021			
	Toplam	3,245	54				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9 – B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	0,293	8	0,037	1,346	0,253	K ^a ,A6 ^a ,A7 ^a , A8 ^a ,A9 ^a ,B6 ^a , B7 ^a ,B8 ^a ,B9 ^a
	G.içi	0,980	36	0,027			
	Toplam	1,273	44				

Tablo 14’te verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının çekme direnci değerleri arasında varyasyonlara bağlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; %4 konsantrasyon A grubu için (A6,A7,A8,A9,K), %4 konsantrasyon B grubu için (B6,B7,B8,B9,K), %4 konsantrasyon A ve B grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7,B8,B9,K) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak anlamlı farklılık bulunmazken, Tablo14’te görüleceği üzere diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

3.3. Termal-Yanma Özellikleri

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin ve kontrol levhalarının termal-yanma özelliklerini tespit etmek için uygulanan termogravimetrik analiz (TGA), limit oksijen indeksi (LOI) ve yanma mukavemeti (UL-94) testlerine ait bulgular sırasıyla aşağıda verilmiştir.

3.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha ve kontrol levha örneklerine uygulanan TGA testine ait kalıntı kütle miktarı ve bozunma sıcaklıkları sonuçlarını gösteren Tablo 15 aşağıda verilmiştir.

Tablo 15. Levha örneklerine uygulanan TGA testi sonucunda elde edilen değerler

	Onset (°C)	Endset (°C)	Bozunma Sıc. (°C)	800 °C de Kalıntı Kütle Mikt. (%)		Onset (°C)	Endset (°C)	Bozunma Sıc. (°C)	800 °C de Kalıntı Kütle Mikt. (%)
A1	281,50	385,31	361,66	21,04	B1	280,10	383,48	361,40	19,46
A2	280,49	381,81	363,09	17,08	B2	281,17	382,65	361,99	19,95
A3	281,40	380,88	362,77	18,75	B3	281,10	382,09	358,51	19,79
A4	279,24	382,44	361,91	19,38	B4	279,42	382,62	363,25	20,29
A5	275,62	382,56	360,59	19,85	B5	278,92	381,29	363,59	17,72
A6	278,91	387,97	361,45	21,65	B6	285,00	382,86	363,23	19,50
A7	285,10	388,22	363,44	21,72	B7	288,22	383,58	365,46	18,66
A8	282,26	386,58	363,39	21,34	B8	280,83	382,18	361,77	19,88
A9	279,99	387,10	361,24	21,43	B9	279,04	381,16	361,46	19,28
Kontrol	280,26	381,87	360,92	18,46					

3.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levhaların yanmaya karşı dayanım özelliklerini test etmek amacıyla yapılan limit oksijen indeks (LOI) testi sonuçları Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Levha örneklerinin LOI değerleri

LOI			
A1	32,75	B1	32,5
A2	32	B2	32,25
A3	32,25	B3	32,75
A4	32,75	B4	33,25
A5	31,5	B5	31,25
A6	33,25	B6	33
A7	34	B7	33,75
A8	33,75	B8	33,5
A9	34,25	B9	34
Kontrol	30,5		

3.3.3. Alev Testi, UL-94

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerine uygulanan UL-94 testine ait gözlemsel sonuçlar aşağıda Tablo 17 ve Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 17. A grubu levhalar için Alev testi sonuçları

Levha grup.	İlk 30 sn (10 sn uyg.)			4.,5.,6. tekrarlı 10 sn uygulaması
	1. 10sn.	2. 10sn.	3. 10sn.	
A1	-	-	-	43.sn de başladı 47.sn de söndü, 53.sn de tekrar başlayıp 56.sn de söndü, 59. sn de başladı ve 63. sn.de söndü, 73.sn de başladı 75sn de söndü.78.sn de başladı ve 118. sn de söndü. Duman oluşumu yok.
A2	-	-	-	45. sn başladı ve 47 de söndü. 52.sn de hafif alev 54 te söndü. 66.sn de başladı ve yan kenardan ufak alev olarak devam etti 76 da söndü. Kömürleşme ve hafif duman çıkışı gözlemlendi.
A3	-	-	-	42 sn başladı 45 te söndü.52.sn de başladı ve 57 sn de söndü.63.sn de örnek kenarı hafif yanma, 69 sn de söndü. 72.sn de başladı 75.sn de söndü. Duman çıkışı yok, tabaka oluşumu ve uçta kömürleşme var.
A4	-	-	33 sn de başladı 35.sn de söndü	40.sn başladı 43.sn de söndü.53.sn de başladı 57.sn de söndü, 67.sn de başladı 69.sn de söndü. 75. sn de başladı ve 84.sn de söndü, duman çıkışı yok.
A5	-	28.sn de başladı 31.sn de söndü.	35.sn de başladı ve 40. sn de söndü	49.sn de yanma başladı, kömürleşme ve hafif duman çıkışı var, yanma aralıksız devam etti ve 100.sn de söndü.
A6	-	-	-	İlk 40 sn tutuşma yok. 52. sn de başladı 54. sn de söndü, 59. sn de başladı 61sn de söndü . 68 sn de başladı, 71 sn de söndü az miktarda duman çıkışı oldu.
A7	-	-	34 sn de başladı ve 39sn de söndü	44.sn de başladı ve 53.sn de söndü. 55.sn de başladı, hafif,duman çıkışı var 72. sn de söndü.
A8	-	-	-	44.sn de başladı ve 46.sn de söndü, 54.sn de kenardan başladı ve 59.sn de söndü, 63.sn de başladı ve 66.sn de söndü. Duman çıkışı yok.
A9	-	-	-	43.sn de başladı ve 49.sn de söndü.52. sn de başladı ve 53.sn de söndü. 58.sn de başladı 61.sn de söndü, 64.sn de uçtan hafif yanmaya başladı 68 de söndü. Duman çıkışı yok.

*A ve B grubu örneklerin sönme süreleri 10 sn’den düşüktür.

Tablo 18. B grubu levhalar için Alev testi sonuçları

Levha grup.	İlk 30 sn (10 sn uyg.)			4.,5.,6. tekrarlı 10 sn uygulaması
	1. 10sn.	2. 10sn.	3. 10sn.	
B1	-	-	-	34.sn de hafif alevle başladı 38.sn de söndü, 40 ve 50. sn arası tutuşmadı,53.sn de tekrar başlayıp 58.sn de söndü.
B2	-	-	33.sn de başladı, 37sn. de söndü	44.sn de başladı 48.sn de söndü.53.sn de yandı 58.sn de söndü.67sn. de başladı ve 74.sn de söndü.
B3				46. sn de başladı ve 50.sn de söndü. 54.sn de başladı ve 60.sn de söndü.64sn. de başladı 66 da söndü,Hafif duman çıkışı var.
B4	-	-		46.sn de yanma başladı ve 48.sn de söndü.50.sn de başladı ve 52.sn de söndü.55.sn de başladı ve kenardan hafif olarak devam ederek 60 da söndü. 65. sn de başladı ve 70.sn de söndü. kömürleşme var.
B5	-		30.sn de başladı, 38. sn de söndü	44.sn de yanma başladı ve düzgün hatlarla küçük alev boyutu ile devam ederek 130.sn de söndü.
B6	-	-	35.sn de başladı, 38.sn de söndü.	44.sn de başlayıp hafif alev ile devam etti ve 57.sn de söndü. 65.sn de başladı ve 69.sn de söndü.
B7	-	-	-	40.sn de başladı ve 42.sn de söndü.45.sn de başlayıp 51.sn de söndü.55.sn de küçük hatlarla yanarak 75. sn de söndü.
B8	-	-	-	İlk 50 sn yanma yok. 53.sn de başladı 55.sn de söndü.63.sn de tekrar başladı ve 82.sn de söndü. Hafif alev görüldü, hafif duman çıkışı var .
B9	-	-		43.sn de başladı ve 45.sn de söndü 56 da başladı ve 57.sn de söndü.62 sn. de başladı ve 64.sn de söndü. 66.sn de başladı hafif duman ile birlikte tek hat halinde devam ederek 75.sn de söndü.
Kontrol	-			23. sn de başladı ve 40. sn de hafif sönmek üzere iken 43. sn de tekrar alevlenerek ve 120. sn de söndü. Duman çıkışı var.

*A ve B grubu örneklerin sönmeye süreleri 10 sn'den düşüktür.

3.4. Yüzey ve Morfolojik Özellikler

3.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin yüzeylerinde meydana gelen pürüzlülükleri belirlemek için yapılan yüzey pürüzlülüğü testi sonucunda ulaşılan ölçüm değerleri Ra (μm), Rq (μm), Rz (μm) Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Levha örneklerinin yüzey pürüzlülüğü parametreleri (Ra, Rq ve Rz)

Ra (μm)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	4,22	0,10	B1	4,67	0,94
A2	5,00	0,30	B2	4,73	0,20
A3	4,96	0,78	B3	4,83	0,34
A4	5,68	0,25	B4	5,44	1,00
A5	4,51	0,31	B5	5,24	0,19
A6	5,85	0,38	B6	5,32	1,19
A7	5,79	0,59	B7	5,67	0,68
A8	4,95	0,65	B8	5,63	1,07
A9	5,65	0,36	B9	5,58	0,50
Kontrol	7,34	0,35			
Rq (μm)					
A1	5,42	0,14	B1	5,97	1,11
A2	6,27	0,29	B2	5,97	0,17
A3	6,39	0,99	B3	6,17	0,48
A4	7,31	0,08	B4	6,82	1,17
A5	5,71	0,28	B5	6,71	0,36
A6	7,24	0,23	B6	6,81	1,47
A7	7,42	0,82	B7	7,76	0,25
A8	6,22	0,52	B8	6,93	1,21
A9	7,30	0,30	B9	7,13	0,76
Kontrol	8,71	0,44			
Rz (μm)					
A1	27,45	0,54	B1	33,40	1,54
A2	30,44	1,13	B2	29,71	0,56
A3	32,90	5,87	B3	31,27	2,34
A4	36,31	1,45	B4	33,42	4,37
A5	28,88	1,51	B5	34,01	2,86
A6	33,82	0,09	B6	33,80	3,94
A7	35,86	2,43	B7	36,05	0,47
A8	31,13	1,49	B8	33,59	4,79
A9	36,71	1,09	B9	36,09	4,79
Kontrol	40,45	0,67			

Üretilen levha örneklerinin Ra değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek

amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi(BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilerek homojenlik grupları belirlenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Ra (μm) için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Ra (μm)		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	18,897	5	3,779	22,578	0,000	A1 ^a ,A5 ^a , A3 ^{ab} ,A2 ^{ab} , A4 ^b ,K ^c
	G.içi	2,009	12	0,167			
	Toplam	20,906	17				
%2 kons.n B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	15,257	5	3,051	8,192	0,001	B1 ^a ,B2 ^a ,B3 ^a , B5 ^a ,B4 ^a , K ^b
	G.içi	4,470	12	0,373			
	Toplam	19,727	17				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	9,141	4	2,285	9,594	0,002	A8 ^a , A9 ^a , A7 ^a ,A6 ^a ,K ^b
	G.içi	2,382	10	0,238			
	Toplam	11,523	14				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	7,874	4	1,968	2,857	0,081	B6 ^a ,B7 ^a ,B8 ^a ,B9 ^a , K ^a
	G.içi	6,889	10	,689			
	Toplam	14,763	14				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9)	G. arası	8,434	8	1,054	4,871	0,003	A1 ^a ,A5 ^a ,A8 ^{ab} A3 ^{ab} , A2 ^{abc} , A9 ^{bc} , A4 ^{bc} , A7 ^{bc} , A6 ^c
	G.içi	3,896	18	0,216			
	Toplam	12,330	26				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9)	G. arası	3,789	8	0,474	0,785	0,622	B1 ^a , B2 ^a , B3 ^a , B4 ^a , B5 ^a , B6 ^a , B7 ^a , B8 ^a , B9 ^a
	G.içi	10,864	18	0,604			
	Toplam	14,653	26				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5)	G. arası	5,213	9	0,579	1,936	0,105	A1 ^a ,A2 ^a ,A3 ^a ,A4 ^a A5 ^a -B1 ^a ,B2 ^a ,B3 ^a , B4 ^a ,B5 ^a
	G.içi	5,984	20	0,299			
	Toplam	11,197	29				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9 – B6,B7,B8,B9)	G. arası	1,793	7	0,256	0,467	0,844	A6 ^a ,A7 ^a ,A8 ^a ,A9 ^a , B6 ^a ,B7 ^a ,B8 ^a ,B9 ^a
	G.içi	8,776	16	0,549			
	Toplam	10,569	23				

Tablo 20’de verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının Ra değerleri arasında varyasyonlara bağlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; %4 konsantrasyon B grubu için (B6,B7,B8,B9,K), %2 ve %4 konsantrasyon birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9), % 2 konsantrasyon A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5,B1,B2,B3,B4,B5), % 4 konsantrasyon A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7,B8,B9) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak anlamlı farklılık bulunmazken, Tablo 20’den görüleceği üzere diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

Üretilen levha örneklerinin Rq değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla herbir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi (BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilerek homojenlik grupları belirlenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21’de verilen herbir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının Rq değerleri arasında varyasyonlara bağlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; %4 konsantrasyon B grubu için (B6,B7,B8,B9,K), %2 ve %4 konsantrasyon birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9), % 2 konsantrasyon A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5,B1,B2,B3,B4,B5), % 4 konsantrasyon A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7,B8,B9) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak anlamlı farklılık bulunmazken, Tablo 21’den görüleceği üzere diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

Tablo 21. Rq (μm) için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Rq(μm)	Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları	
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	21,880	5	4,376	19,098	0,000	A1 ^a ,A5 ^{ab} , A2 ^{ab} ,A3 ^b , A4 ^c ,K ^d
	G.içi	2,750	12	0,229			
	Toplam	24,629	17				
%2 kons.n B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	16,182	5	3,236	6,050	0,005	B2 ^a ,B1 ^a ,B3 ^a , B5 ^a ,B4 ^a , K ^b
	G.içi	6,419	12	0,535			
	Toplam	22,601	17				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	9,431	4	2,358	9,056	0,002	A8 ^a , A6 ^b , A9 ^b ,A7 ^b ,K ^c
	G.içi	2,603	10	0,260			
	Toplam	12,034	14				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	7,363	4	1,841	2,036	0,165	B6 ^a ,B7 ^a ,B8 ^a , B9 ^a ,K ^a
	G.içi	9,042	10	0,904			
	Toplam	16,405	14				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9)	G. arası	13,663	8	1,708	6,747	0,000	A1 ^a , A5 ^{ab} , A8 ^{ab} , A2 ^{ab} , A3 ^{bc} , A6 ^{cd} , A9 ^{cd} , A4 ^{cd} , A7 ^d
	G.içi	4,556	18	0,253			
	Toplam	18,219	26				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9)	G. arası	8,209	8	1,026	1,260	0,323	B1 ^a , B2 ^a , B3 ^a , B4 ^a , B5 ^a , B6 ^a , B7 ^a , B8 ^a , B9 ^a
	G.içi	14,664	18	0,815			
	Toplam	22,873	26				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5)	G. arası	8,473	9	0,941	2,249	0,063	A1 ^a ,A2 ^a ,A3 ^a , A4 ^a ,A5 ^a ,B1 ^a , B2 ^a ,B3 ^a ,B4 ^a , B5 ^a
	G.içi	8,372	20	0,419			
	Toplam	16,845	29				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9 – B6,B7,B8,B9)	G. arası	4,442	7	0,635	0,936	0,506	A6 ^a ,A7 ^a ,A8 ^a , A9 ^a ,B6 ^a ,B7 ^a , B8 ^a ,B9 ^a
	G.içi	10,848	16	0,678			
	Toplam	15,291	23				

Üretilen levha örneklerinin Rz değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi (BVA) yapılmıştır. Ayrıca,

BVA analizi sonucunda bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilerek homojenlik grupları belirlenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Rz (μm) için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Rz (μm)		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F-hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5 , kontrol)	G. arası	361,020	5	72,204	10,562	0,000	A1 ^a ,A5 ^{ab} , A2 ^{ab} ,A3 ^{bc} , A4 ^{cd} ,K ^d
	G.içi	82,033	12	6,836			
	Toplam	443,053	17				
%2 kons.n B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, kontrol)	G. arası	202,868	5	40,574	6,763	0,003	B2 ^a ,B3 ^a ,B1 ^a , B4 ^a ,B5 ^a , K ^b
	G.içi	71,988	12	5,999			
	Toplam	274,857	17				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9 ,kontrol)	G. arası	143,780	4	35,945	18,252	0,000	A8 ^a , A6 ^b , A7 ^{bc} ,A9 ^c ,K ^d
	G.içi	19,694	10	1,969			
	Toplam	163,474	14				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9, kontrol)	G. arası	91,386	4	22,846	1,835	0,199	B6 ^a ,B7 ^a ,B8 ^a ,B 9 ^a ,K ^a
	G.içi	124,481	10	12,448			
	Toplam	215,867	14				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9)	G. arası	270,115	8	33,764	6,085	0,001	A1 ^a , A5 ^{ab} , A2 ^{abc} ,A8 ^{abc} , A3 ^{bcd} , A6 ^{cd} , A7 ^d , A4 ^d , A9 ^d
	G.içi	99,879	18	5,549			
	Toplam	369,994	26				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9)	G. arası	98,784	8	12,348	1,142	0,384	B1 ^a , B2 ^a , B3 ^a ,B4 ^a , B5 ^a , B6 ^a , B7 ^a , B8 ^a , B9 ^a
	G.içi	194,621	18	10,812			
	Toplam	293,405	26				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5)	G. arası	196,608	9	21,845	2,871	0,024	A1 ^a ,A5 ^{ab} ,B2 ^{ab} , A2 ^{ab} ,B3 ^{abc} , A3 ^{bc} ,B1 ^{bc} , B4 ^{bc} ,B5 ^{bc} ,A4 ^c
	G.içi	152,173	20	7,609			
	Toplam	348,781	29				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9 – B6,B7,B8,B9)	G. arası	73,992	7	10,570	1,188	0,363	A6 ^a ,A7 ^a ,A8 ^a , A9 ^a ,B6 ^a ,B7 ^a , B8 ^a ,B9 ^a ,
	G.içi	142,327	16	8,895			
	Toplam	216,319	23				

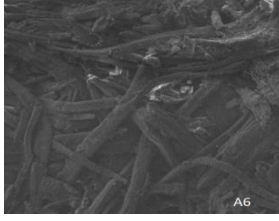
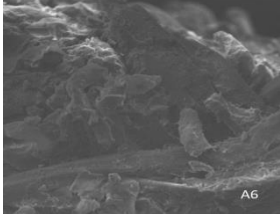
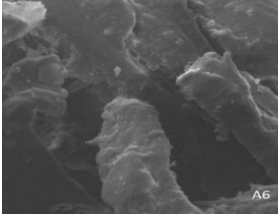
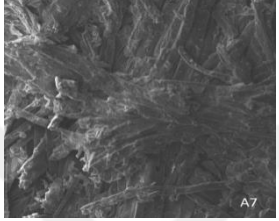
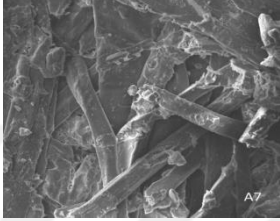
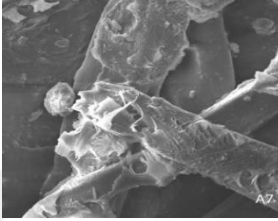
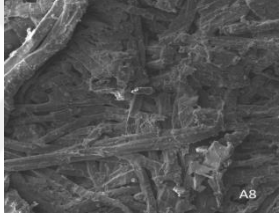
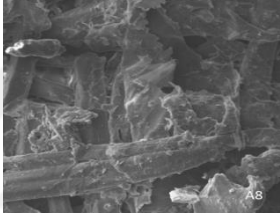
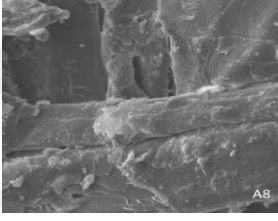
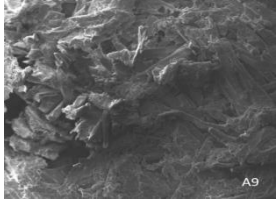
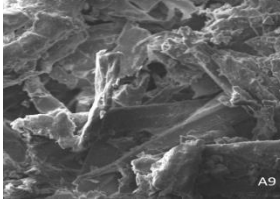
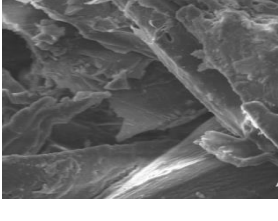
Tablo 22’de verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının Rz değerleri arasında varyasyonlara bağı farklılıklar olduğu görülmektedir.

Buna göre; %4 konsantrasyon B grubu için (B6,B7,B8,B9,K), %2 ve %4 konsantrasyon birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9), % 4 konsantrasyon A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9,B6,B7,B8,B9) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak anlamlı farklılık bulunmazken, Tablo 22’den görüleceği üzere diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).

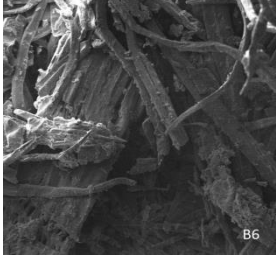
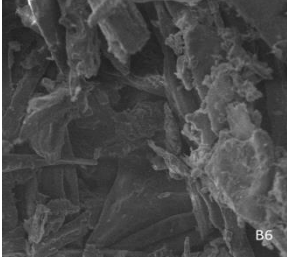
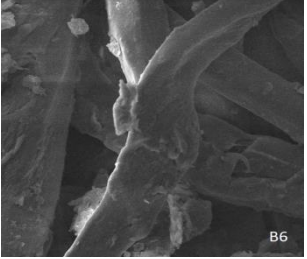
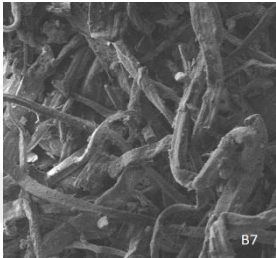
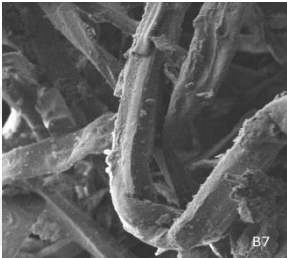
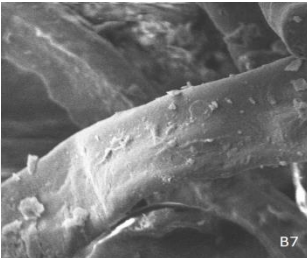
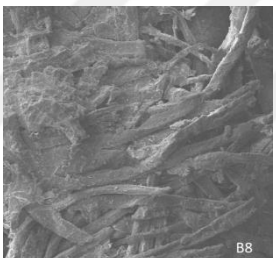
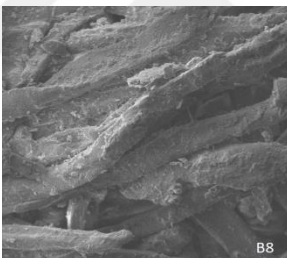
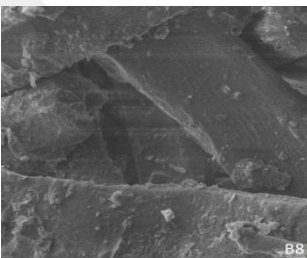
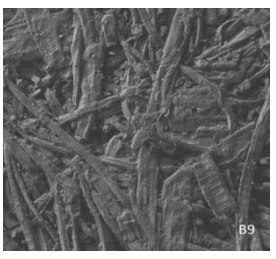
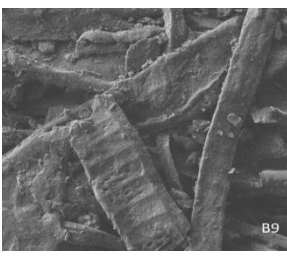
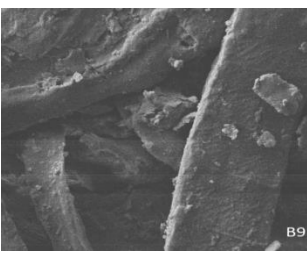

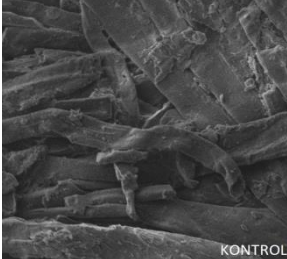
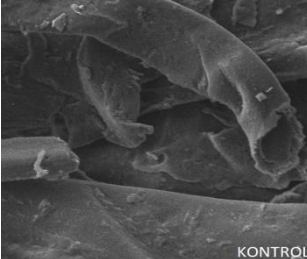
3.4.2. SEM Analizi

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin kullanılmasıyla üretilen A ve B grubu levha örneklerinin (%4 konsantrasyonda) yapılarındaki değişimleri belirlemek amacıyla farklı büyütme oranlarında (400-1000-3000) alınan SEM (taramalı elektron mikroskobu) analiz görüntüleri sırasıyla Tablo 23 ve Tablo 24’de verilmiştir.

Tablo 23. %4 konsantrasyon A grubu örneklerinin SEM analiz görüntüleri

Örnek grupları	Örneklerin büyütme oranları		
	400	1000	3000
A6			
A7			
A8			
A9			

Tablo 24. %4 konsantrasyon B grubu örneklerinin SEM analiz görüntüleri

Örnek grupları	Levhaların büyütme oranları		
	400	1000	3000
B6			
B7			
B8			
B9			
Kontrol			

3.5. Biyolojik Özellikler

3.5.1. Mantar Çürüklük Testi

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levhaların mantar çürüklük testi ağırlık kaybı değerleri Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. Levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri

Ağırlık kaybı(%)					
Grup	X	S	Grup	X	S
A1	13,28	1,22	B1	12,03	0,87
A2	11,69	1,07	B2	11,23	0,67
A3	11,16	0,79	B3	10,32	0,75
A4	11,32	0,68	B4	9,92	0,63
A5	10,25	0,70	B5	8,40	1,06
A6	10,54	0,52	B6	10,49	0,56
A7	10,47	0,62	B7	9,93	0,32
A8	10,22	0,74	B8	8,67	1,07
A9	9,73	0,74	B9	8,66	1,26
Kontrol	32,30	2,36			

Üretilen levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri üzerinde; kimyasal madde türlerinin, kimyasal madde konsantrasyonlarının ve iki farklı nanokil türünün etkilerini belirlemek ve varyasyonlar arasında istatistik olarak anlamlı farklılık olup olmadığını tespit etmek amacıyla her bir varyasyon için ayrı ayrı basit varyans analizi (BVA) yapılmıştır. Ayrıca, BVA analizi sonucunda varyasyonlar için bulunan istatistiksel farklılıklar Duncan testi ile değerlendirilmiş ve homojenlik grupları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. Mantar çürüklük testi ağırlık kaybı değerleri için BVA sonuçları, Duncan homojenlik grupları

BVA Mantar çürüklük-ağırlık kaybı		Kareler top.	Ser. der.	Kareler ort.	F- hesap	Önem düz.	Duncan homojenlik grupları
%2 kons. A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5)	G. arası	39,157	4	9,789	11,479	0,000	A5 ^a ,A3 ^{ab} ,A4 ^b , A2 ^b ,A1 ^c
	G.içi	29,847	35	0,853			
	Toplam	69,004	39				
%2 kons.n B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5)	G. arası	60,701	4	15,175	22,730	0,000	B5 ^a ,B4 ^b ,B3 ^b , B2 ^c ,B1 ^c
	G.içi	23,367	35	0,668			
	Toplam	84,068	39				
%4 kons. A grubu için (A6,A7,A8,A9)	G. arası	3,231	3	1,077	2,432	0,086	A6 ^a ,A7 ^a ,A8 ^a , A9 ^a
	G.içi	12,400	28	0,443			
	Toplam	15,631	31				
%4 kons. B grubu için (B6,B7,B8,B9)	G. arası	20,325	3	6,775	8,496	0,000	B9 ^a ,B8 ^a ,B7 ^b , B6 ^b
	G.içi	22,330	28	0,797			
	Toplam	42,655	31				
%2 ve %4 kons. birlikte A grubu için (A1,A2,A3,A4,A5, A6,A7,A8, A9)	G. arası	72,377	8	9,047	13,492	0,000	A9 ^a , A8 ^a , A5 ^a , A7 ^{ab} , A6 ^{ab} , A3 ^{bc} , A4 ^{bc} , A2 ^c , A1 ^d
	G.içi	42,246	63	0,671			
	Toplam	114,624	71				
%2 ve %4 kons. birlikte B grubu için (B1,B2,B3,B4,B5, B6,B7,B8, B9)	G. arası	96,880	8	12,110	16,695	0,000	B5 ^a , B9 ^a , B8 ^a ,B4 ^b , B7 ^b , B3 ^b , B6 ^{bc} , B2 ^{cd} , B1 ^d
	G.içi	45,697	63	0,725			
	Toplam	142,576	71				
% 2 kons., A ve B % grubu için (A1,A2,A3,A4,A5- B1,B2,B3,B4,B5)	G. arası	126,695	9	14,077	18,518	0,000	B5 ^a ,B4 ^b ,A5 ^{bc} , B3 ^{bcd} ,A3 ^{cde} , B2 ^{de} ,A4 ^e ,A2 ^e , B1 ^e ,A1 ^f
	G.içi	53,214	70	0,760			
	Toplam	179,909	79				
% 4 kons., A ve B % grubu için (A6,A7,A8,A9 – B6,B7,B8,B9)	G. arası	33,896	7	4,842	7,808	0,000	B9 ^a ,B8 ^a ,A9 ^b , B7 ^b ,A8 ^b ,A7 ^b , B6 ^b ,A6 ^b
	G.içi	34,730	56	0,620			
	Toplam	68,626	63				

Tablo 26’da verilen her bir grup ve varyasyon için kendi arasında yapılan BVA sonuçları dikkate alındığında, deneme levhalarının mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri arasında varyasyonlara bağlı farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre; %4 konsantrasyon A grubu için (A6,A7,A8,A9) yapılan BVA değerlendirmeleri sonucunda istatistik olarak farklılık bulunmazken, Tablo 26’dan görüleceği üzere diğer varyasyonlar için yapılan değerlendirmelerde istatistik olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P<0,05$).



4. TARTIŞMA

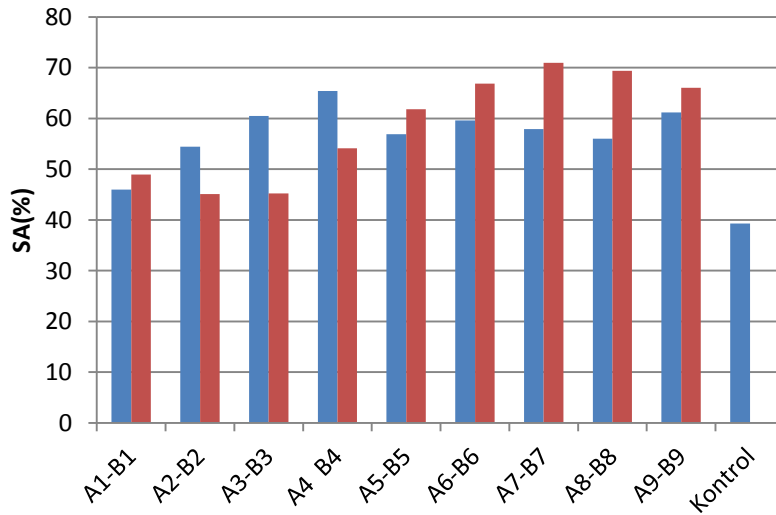
4.1. Fiziksel Özellikler

4.1.1. Yoğunluk

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhalarının yoğunluk değerleri 800-821 kg/m³ arasında değişmektedir. Levhaların yoğunluk değerleri kullanılan nanokil ve diğer kimyasalların türüne, bu kimyasalların uygulanma konsantrasyonuna göre değişim göstermiş ve bu değerler kontrol grubunun yoğunluk değerinden daha yüksek bulunmuştur.

4.1.2. Su Alma Oranları

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levha örneklerinin 24 saat süre ile su alma oranları üzerinde; kullanılan nanokil ve diğer kimyasal madde türlerinin ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonlarının etkileri Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. A ve B grubu levha örneklerinin su alma değerlerindeki değişim

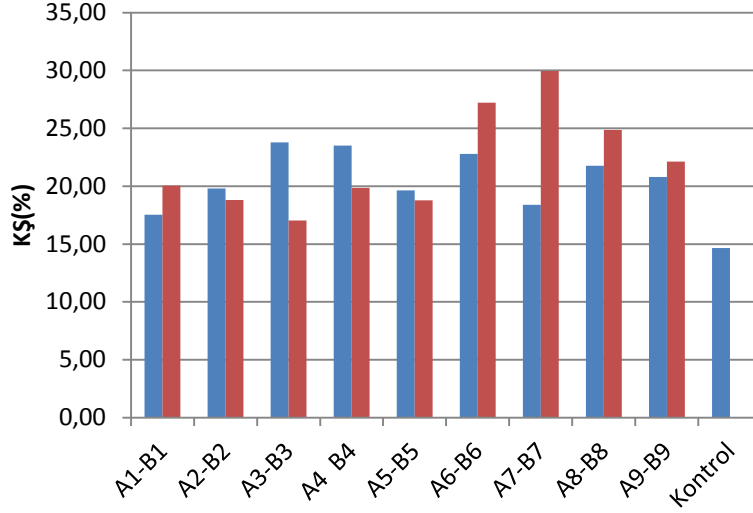
Şekil 8’de görüldüğü üzere; A ve B grubu levha örneklerinin 24 saat süre ile su alma değerlerinin kimyasal madde türü, nanokil türü ve konsantrasyon artışına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

24 saat süre sonunda elde edilen su alma değerleri genel olarak değerlendirildiğinde; elde edilen en yüksek su alma değeri B7(70,93) grubundaki levha örneklerinde, en düşük su alma değeri ise B2(45,11) grubundaki levha örneklerinde ölçülürken kontrol grubu levhalarının su alma değeri ise 39,29 olarak bulunmuştur.

Genel olarak bakıldığında; tüm levha gruplarının su alma değerleri kontrol grubundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Nanokilin %2 konsantrasyonda tek uygulandığı levha gruplarında diğer gruplara oranla biraz daha düşük değerler elde edilmiştir. Ancak, nanokilin özellikle B grubunda $Mg(OH)_2$, ATH ve çinko borat ile uygulandığı gruplarda su alma değerleri konsantrasyona da bağlı olarak artış göstermiştir. Bu durum özellikle nanokil ile karışım halinde kullanılan çinko borat, magnezyum hidroksit ve alüminyum hidroksitin yapısal özelliklerinden kaynaklı olabilir. Bu maddeler inorganik yapıda maddeler olduklarından liflerin su alma değerleri üzerinde olumsuz etki göstermiş olabilir. A ve B grubu karşılaştırıldığında; genel olarak %2 konsantrasyonda A grubu örneklerinin su alma değerleri B grubu örneklerinin su alma değerlerinden daha yüksek bulunurken, %4 konsantrasyonda ise B grubu örneklerinin su alma değerleri A grubu örneklerinin su alma değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun sebebinin ise kullanılan iki farklı nanokilin yapısal özelliğinden kaynaklı olduğu söylenebilir. Ayrıca her iki grupta konsantrasyon artışı ile birlikte su alma değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

4.1.4. Kalınlığına Şişme Oranları

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının 24 saat süre ile kalınlığına şişme oranları üzerinde; kullanılan nanokil ve diğer kimyasal madde türlerinin, bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonlarının etkileri Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. A ve B grubu levha örneklerinin kalınlığına şişme değerlerindeki değişim

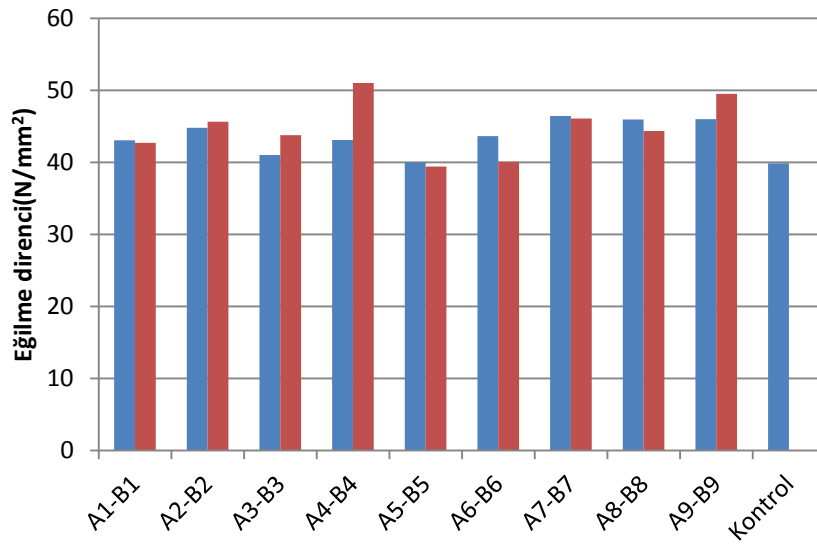
Levhaların 24 saat süre sonunda kalınlığına şişme değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 9’da görüldüğü gibidir. Şekil 9 incelendiğinde; tüm levha gruplarının KŞ değerleri kontrol grubunun KŞ değerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu değerler nanokil, kimyasal madde türü ve konsantrasyona bağlı olarak değişim göstermiştir. Genel olarak, konsantrasyon artışı ile değerler artma eğilimi göstermiştir. Özellikle %4 konsantrasyondaki B grubu örneklerinin değerleri genel olarak diğer levha örneklerinin değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. 24 saat süre sonunda elde edilen kalınlığına şişme değerleri incelendiğinde; ölçülen en yüksek kalınlığına şişme değerinin %4 nanokil+ÇB içeren B7(29,96) grubu levha örneklerinde, en düşük kalınlığına şişme değeri ise B3(17,03) grubu levha örneklerinde elde edilmiştir. A grubu levhalar için değerler; A3>A4>A6>A8>A9>A2>A5>A7>A1>K şeklinde sıralanırken, B grubu için bu değerler B7>B6>B8>B9>B1>B4>B2>B5>B3>K şeklinde sıralanmıştır. Bu değerler standart değerlerin biraz üzerinde bulunmuştur.

Genel olarak kalınlığına şişme değerlerinin kontrol grubundan daha yüksek olmasının nedeninin, kullanılan kimyasal maddelerin yapısal özelliklerinden ve tutkal ile uyum probleminden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca kimyasal maddelerin tam olarak homojen uygulanamaması ve tutkalda yeterince karışamamasının yüzünden bu maddelerin liflerin yüzeyinde kalmış olabileceği bu durumda fiziksel özellikleri etkileyebileceği düşünülmektedir.

4.2. Mekanik Özellikler

4.2.1. Eğilme Direnci

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhaları ve kontrol levha örneklerinin eğilme direnci üzerinde; kullanılan nanokil ve diğer kimyasal madde türlerinin, bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonlarının etkileri Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. A ve B grubu levha örneklerinin eğilme direnci değerlerindeki değişim

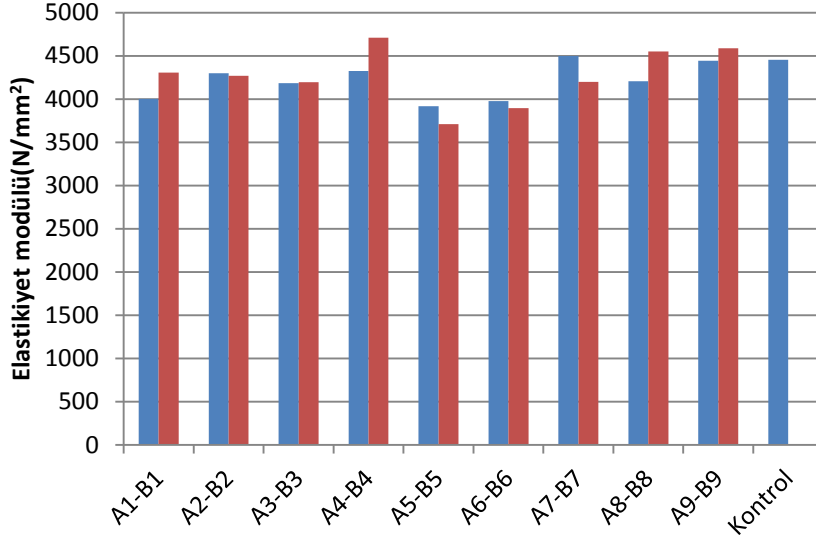
Şekil 10 incelendiğinde; A ve B grubu levha örneklerinin eğilme direnci değerlerinin; nanokil ile bu nanokilin karışım halinde birlikte kullanıldığı kimyasal madde türlerine ve kimyasal konsantrasyon oranlarına bağlı olarak değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Buna göre, bazı levha gruplarının değerlerinin(B5:39,40) kontrol levha değerinden(39,84) az da olsa düşük ya da bu değerlere çok yakın olduğu; genel olarak ise diğer değerlerin kontrol levha örneklerinin değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. A ve B gruplarında konsantrasyon artışı ile örneklerin eğilme direnci değerlerinde sınırlı da olsa bir artış söz konusu olmuştur. Bu artış A grubu için daha belirgin yüksek bulunmuştur. A grubu içinde en yüksek eğilme direnci değeri A7

grubu(%2,5MMT+%1,5 ÇB) ile elde edilirken, B grubu içinde ise en yüksek değer B4 grubu(%1,5MMT+%0,5ATH) ile elde edilmiştir.

A ve B gruplarında kullanılan iki farklı içerikteki nanokilin eğilme direnci üzerine etkisine bakıldığında ise eğilme direnci değerlerinin birbirinden belirgin derecede yüksek olmadığı görülmektedir. Özellikle nanokil ve kitosan karışımı ile üretilen A5 ve B5 grubu levhaların eğilme direnci değerlerinin kontrol grubuna çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin kitosan maddesinin tutkal içerisinde tam olarak çözünemeyerek tutkallama aşamasında zorluklar çıkarması ve liflerin bağlanmasını bir miktar olumsuz etkilemesi olduğu düşünülmektedir. Bilindiği üzere; levhaların özellikleri, uygulanan kimyasal maddelerin yapısal özelliklerinden, uygulanma yöntemlerinden, uygulandıkları tutkalla çözünme ve uyum problemlerinden kaynaklı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Genel olarak sonuçlara bakıldığında ise tüm eğilme direnci değerlerinin arttığı ve standartların üzerinde olduğu görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da nanokil kullanılarak üretilen çeşitli odun esaslı levhalarda eğilme direnci değerlerinin arttığı bildirilmiştir (Hosseyni vd., 2014; Salari vd., 2012; Ismita ve Lokesh, 2017).

4.2.2. Elastikiyet Modülü

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhaları ve kontrol levha örneklerinin elastikiyet modülü üzerinde kullanılan nanokil ve diğer kimyasal madde türlerinin, bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonlarının etkileri Şekil 11’de verilmiştir.

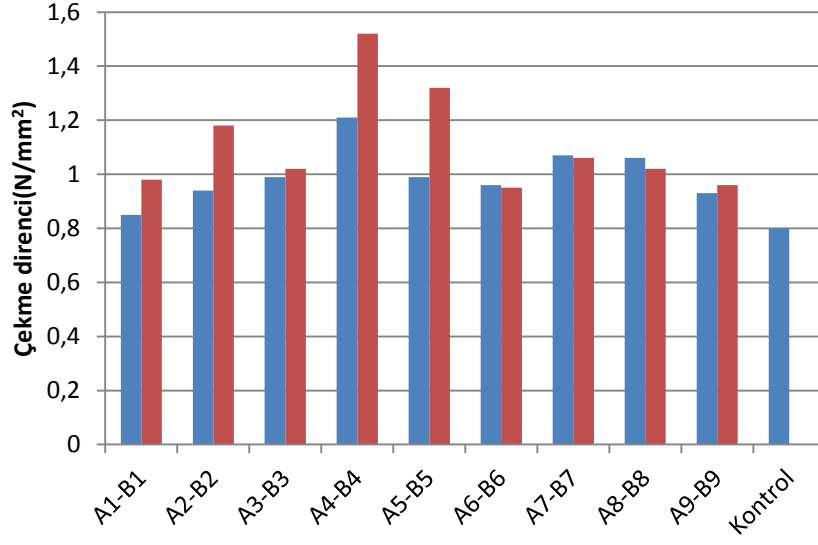


Şekil 11. A ve B grubu levha örneklerinin elastikiyet modülü değerlerindeki değişim

Şekil 11 incelendiğinde; genel olarak tüm levha gruplarının elastikiyet modülü değerlerinin kullanılan nanokil ve kimyasal madde türlerine ve bu maddelerin uygulanma konsantrasyonlarına göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. B4, B9, B8 grupları dışında genel olarak A ve B grubunun diğer örneklerinin değerleri kontrol grubu değerine yakın ya da daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçlara göre; en düşük elastikiyet modülü değeri %1,5 MMT+%0,5 kitosan ile üretilen B5(3710,26) grubu levha örneklerinde elde edilirken, en yüksek elastikiyet modülü değeri ise %1,5 MMT+%0,5 ATH ile üretilen B4(4708,30) grubu levha örneklerinde elde edilmiştir. Gruplar ayrı ayrı incelendiğinde; özellikle nanokil ve kitosan karışımı ile üretilen A5 ve B5 grubu levhaların elastikiyet modülü değerlerinin kontrol grubundan çok daha düşük olduğu bulunmuştur.

4.2.3. Yüze Dik Çekme Direnci

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhaları ve kontrol levha örneklerinin yüze dik çekme direnci üzerinde; kullanılan nanokil ve diğer kimyasal madde türlerinin, bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonlarının etkileri Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. A ve B grubu levha örneklerinin çekme direnci değerlerindeki değişim

Şekil 12'den görüleceği üzere; deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerleri; kullanılan nanokil ile kimyasal madde türüne ve bu maddelerin konsantrasyonuna göre değişim göstermekle birlikte; tüm levha gruplarının yüzeye dik çekme direnci değerleri kontrol grubunun yüzeye dik çekme direnci değerinden(0,80) daha yüksek olarak bulunmuştur. A ve B gruplarının değerleri karşılaştırıldığında B grubu levhalarının çekme direnci değerlerinin A grubu levhalarının çekme direnci değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Konsantrasyon artışı ile A'nın bazı gruplarının değerlerinde artış olduğu, B'nin bazı gruplarının değerlerinde ise bir miktar azalışın söz konusu olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; kontrol değerinden sonraki en düşük yüzeye dik çekme direnci değeri A1(0,85) grubu levha örneklerinde elde edilirken, en yüksek yüzeye dik çekme direnci değeri ise B4(1,52) grubu levha örneklerinde elde edilmiştir. Nanokilin diğer maddelerle birlikte kullanılması olumlu özellik göstermiş ve nanokilin tek başına uygulandığı levhaların değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Literatürde, yanma geciktirici olarak kullanılan kimyasalların genellikle tutkallamayı olumsuz etkilediği ifade edilmekle birlikte, bu duruma kimyasal maddelerin yapılarının, tutkal türü ve tutkallama faktörlerinin, pH vb. farklı parametrelerin sebep olacağı belirtilmiştir (Eickner, 1966; Ellis ve Rowell, 1989). Dolayısıyla tutkallamada

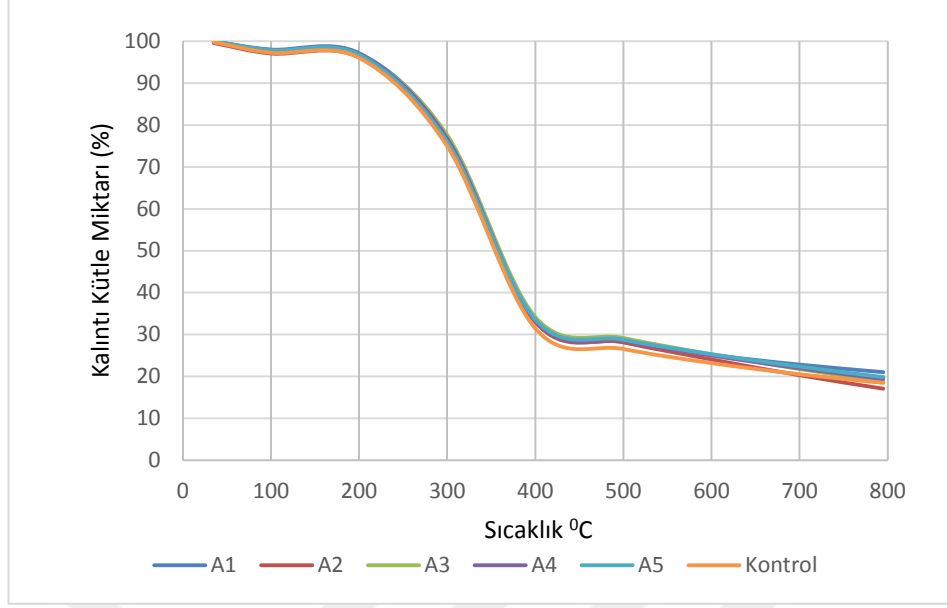
oluşan problemler direnç özelliklerini de olumsuz etkileyebilmektedir. Ancak, bu çalışmada farklı yanmayı geciktirici kimyasal maddeler kullanılmasına rağmen sonuçlar oldukça iyi çıkmıştır. Elde edilen tüm değerler EN standardı değerinin oldukça üzerinde bulunmuştur. Bu durumun nanokilin diğer maddelerle sinerjik bir etki göstermesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, örneklerin yüzeylerinin zımparalanmış olmasının da bu duruma katkıda bulunduğu düşünülmektedir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da levhalarda çekme direnci değerlerinin kullanılan nanokile bağlı olarak iyileştiği belirtilmiştir (Hosseyini vd., 2014; Salari vd., 2012; Ismita ve Lokesh, 2017).

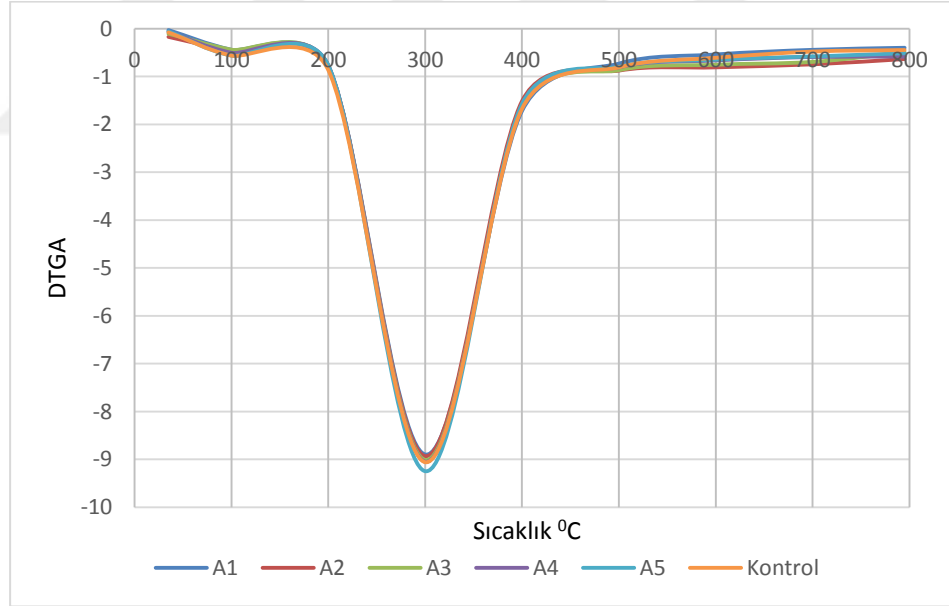
4.3. Termal-Yanma Özellikleri

4.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin iki farklı oranda kullanılması ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levha örneklerinin termal özelliklerini ve yanmaya karşı gösterdikleri direnç etkinliklerini belirlemek amacıyla termogravimetrik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile sıcaklığa bağlı olarak örneklerin değişen ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Örneklerin ağırlık kayıplarının 1.dereceden türevi (DTGA) alınarak bozunma sıcaklıkları belirlenmiştir. Örneklerin TGA ve DTGA grafikleri Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20’de verilmiştir.



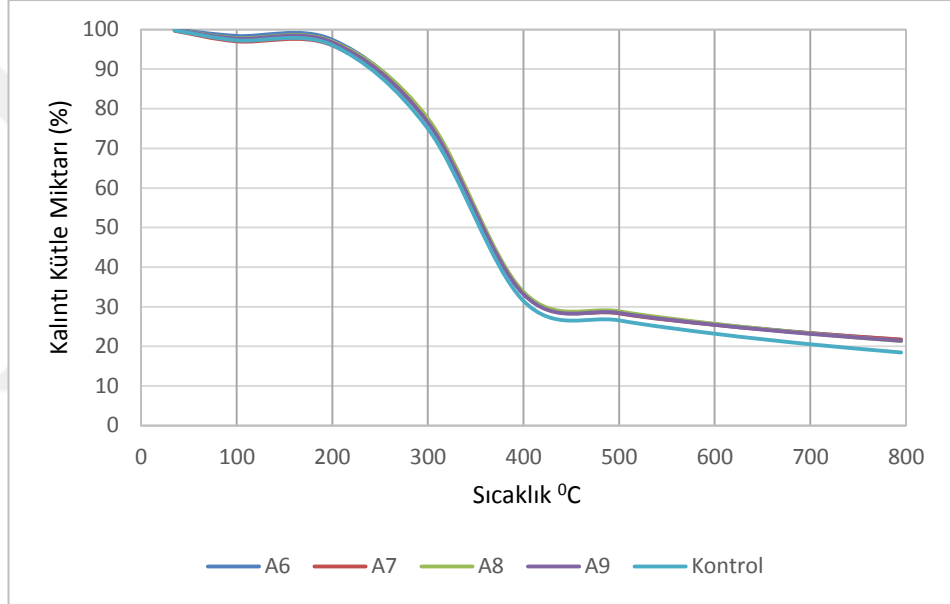
Şekil 13. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



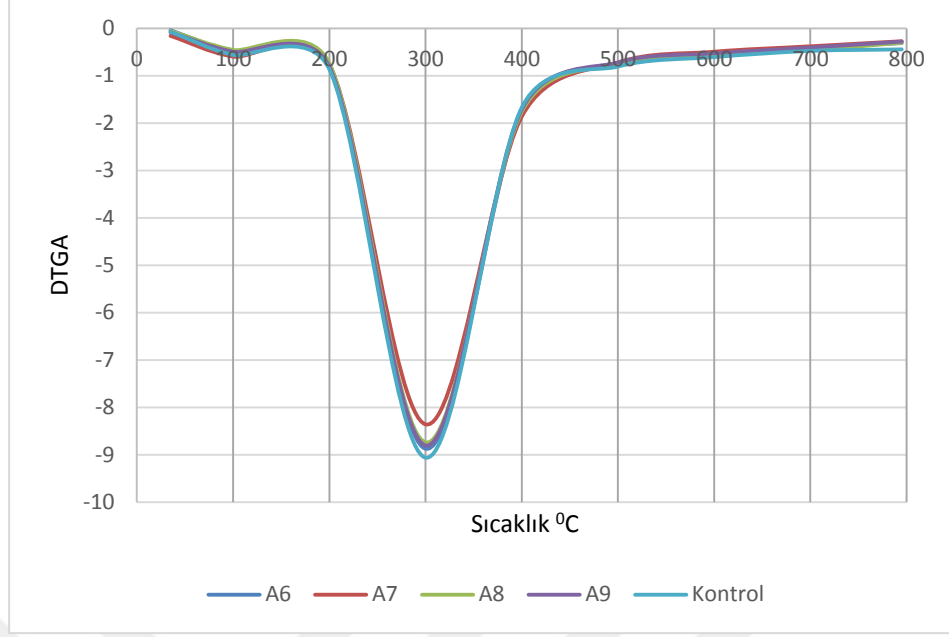
Şekil 14. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının DTGA grafiği

Şekil 13 ve Şekil 14'te verilen % 2 konsantrasyonda kimyasal kullanılarak üretilen A grubu levha örneklerinin TGA ve DTGA grafiklerinden ve Tablo 15'ten anlaşılacağı üzere; kimyasal madde kullanılan örneklerde kalıntı kütle miktarı artmış dolayısıyla ağırlık

kaybı değerleri azalmıştır. Tablo 15’te verilen sonuçlara bakıldığında, örneklerin kalıntı kütle miktarlarının A1>A5>A4>A3>K>A2 şeklinde sıralandığı görülmektedir. A2 dışında tüm grup örneklerinin (A1,A5,A4,A3) kalıntı kütle miktarı kontrol örneğinden daha yüksek olarak bulunmuştur. Kontrol levha örneği için bu değer 18,46 olarak belirlenmiştir. En yüksek kalıntı kütle miktarı, % 2 oranında nanokil kullanılarak üretilen A1 grubu için 21,04 olarak tespit edilmiştir. % 2 kimyasal madde kullanılan A grubu örneklerinin bozunma sıcaklıkları ise A5 grubu (360,59) dışında kontrol örneğinin bozunma sıcaklığından (360,92) biraz daha yüksek bulunmuştur. Bu grupta en yüksek bozunma sıcaklığı A2 grubunda elde edilmiştir.



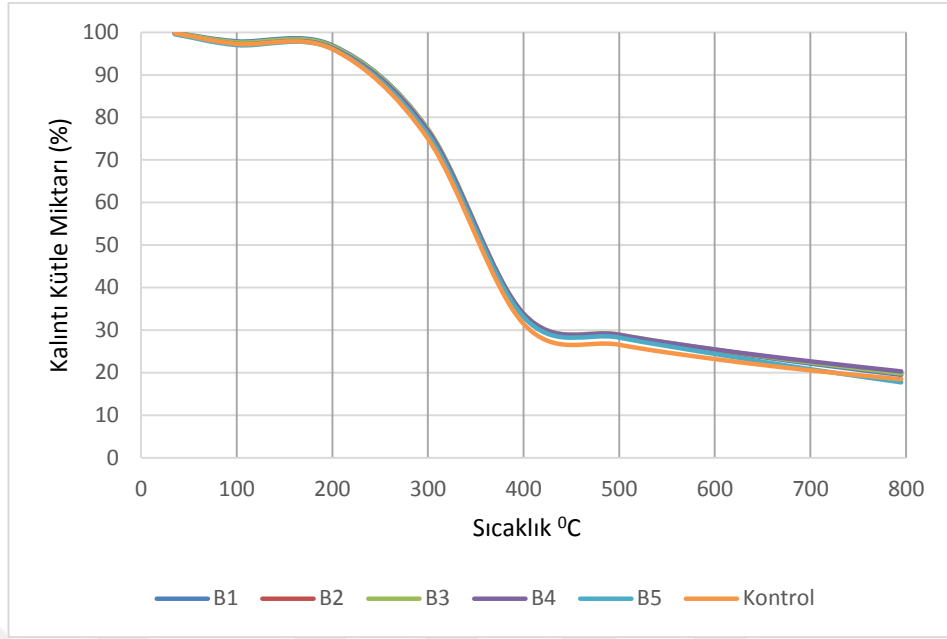
Şekil 15. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



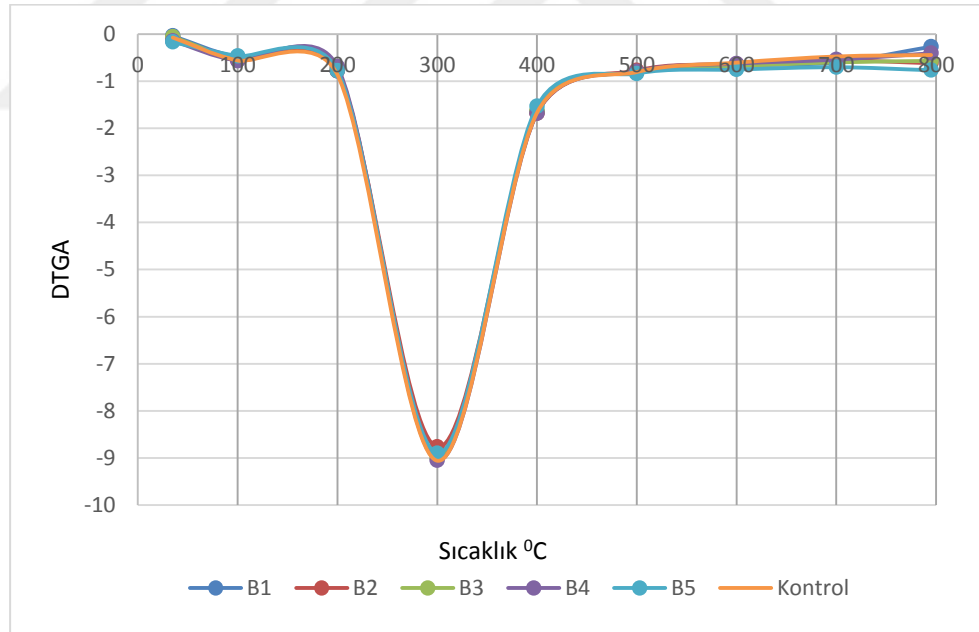
Şekil 16. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen A grubu levhalarının DTGA grafiği

%4 konsantrasyonda kimyasal madde ile üretilen A6, A7, A8 ve A9 grubu örneklerinin kalıntı kütle miktarları ise kontrol grubundan ve %2 konsantrasyonda kimyasal madde uygulanan A1, A2, A3, A4 ve A5 grubundan daha yüksek bulunmuştur. A grubunun değerleri $A7 > A6 > A9 > A8 > K$ şeklinde sıralanmıştır. Bu gruptaki en yüksek değer %4 nanokil+çinko borat karışımı ile üretilen A7 grubunda 21,72 olarak belirlenmiştir (Tablo 15). Bu gruptaki en yüksek bozunma sıcaklığı ise A7 grubunda bulunmuştur.

A grubu örnekleri (A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9) kendi arasında değerlendirildiğinde ise konsantrasyon artışı ile örneklerin ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla, tüm örneklerin kalıntı kütle miktarları artış göstermiştir.



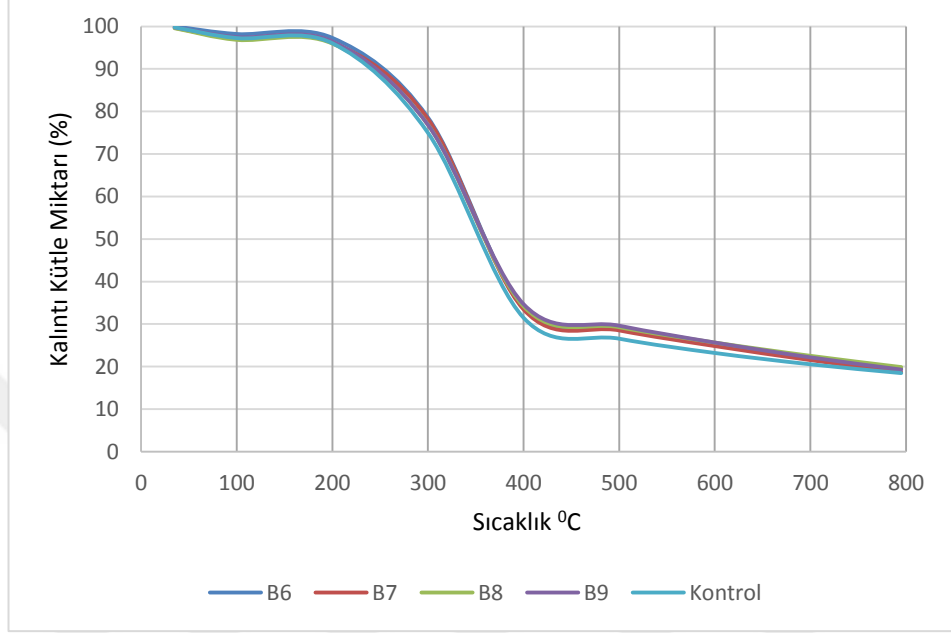
Şekil 17. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



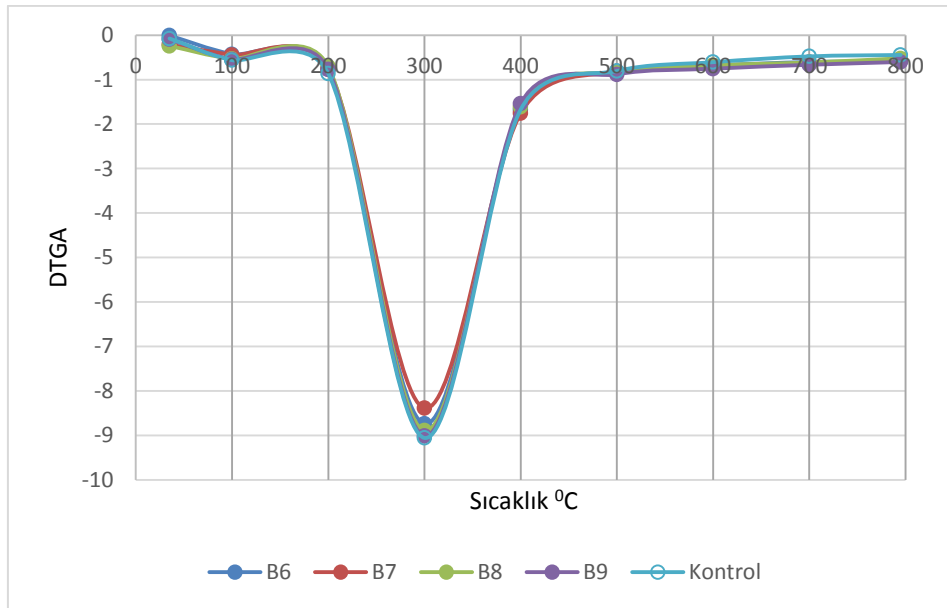
Şekil 18. %2 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının DTGA grafiği

Kimyasal maddelerin %2 konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen B grubu (B1,B2,B3,B4,B5) örneklerinin kalıntı kütle miktarları, kontrol grubundan daha yüksek bulunmuş olup bu değerler $B4 > B2 > B3 > B1 > K > B5$ şeklinde sıralanmıştır. Bu gruptaki en

yüksek değer nanokil ve ATH karışımı ile üretilen B4 grubunda 20,29 olarak bulunmuştur. (Tablo 15). En düşük değer ise, nanokil ve kitosanın karışım halinde kullanıldığında B5 grubunda tespit edilmiştir.



Şekil 19. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının TGA sonucunda ağırlıklarında meydana gelen değişim



Şekil 20. %4 konsantrasyonda kimyasal ile üretilen B grubu levhalarının DTGA grafiği

%4 konsantrasyonda kimyasal kullanılarak üretilen B6, B7, B8 ve B9 grubu örneklerinin değerleri ise kontrol grubundan daha yüksek bulunmuştur. B grubunun kalıntı kütle miktarları $B8 > B6 > B9 > B7 > K$ şeklinde sıralanmıştır. Nanokil ve $Mg(OH)_2$ karışımı ile üretilen B8 bu grupta en yüksek kalıntı kütle miktarına(19,88) sahip grup olarak belirlenmiştir. Bozunma sıcaklıkları arasında en yüksek değer 365,46 ile B7 grubu için tespit edilmiştir.

Tüm gruplara genel olarak bakıldığında; A ve B gruplarının kalıntı kütle miktarları arasında fark bulunmuştur. A grubunda kullanılan nanokilin etkisi, B grubunda kullanılan nanokilin etkisinden daha fazla olarak tespit edilmiştir. Tüm gruplarda konsantrasyon artışı ile genel olarak ağırlık kaybı azalmış, kalıntı kütle miktarı artmıştır. A2 ve B5 hariç A ve B grubundaki diğer tüm örneklerin kalıntı kütle miktarı kontrol grubuna göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlara göre; kullanılan kimyasal maddelerin tek veya karışım halinde, konsantrasyon artışı ile birlikte örneklerin ağırlıklarında meydana gelen kayıpları azalttığı, kömürleşmeyi arttırarak kalan madde miktarını arttırdığı ve dolayısıyla da, yanmaya karşı direnç sağladığı görülmektedir. Boratlar ile metal hidroksitlerin termal bozunma sonunda kalıntı kömür miktarını artırdığı da bildirilmiştir (Dönmez Çavdar, 2011).

Tüm grafikler incelendiğinde; 200 °C gibi düşük sıcaklıklarda ağırlık kayıplarının oldukça yavaş ilerlediği; 250°C den sonra ise bu kayıpların artmaya başladığı ve özellikle 300 °C- 400 °C arasında bu artışın daha belirgin olduğu görülmektedir.

Odun esaslı malzemelerde 100 °C ile 200 °C sıcaklık aralıklarında meydana gelen ağırlıktaki kayıpların sebebi, malzemenin rutubetini kaybetmesidir. Malzemelerde ağırlık kaybı 300 °C- 400 °C sıcaklıkları arasında en belirgin düzeyde görülmektedir. Bu durumun nedeni; bu sıcaklık aralıklarında hemiselülozun ve karbonhidratların bozunma göstermesidir (Tomak vd., 2011).

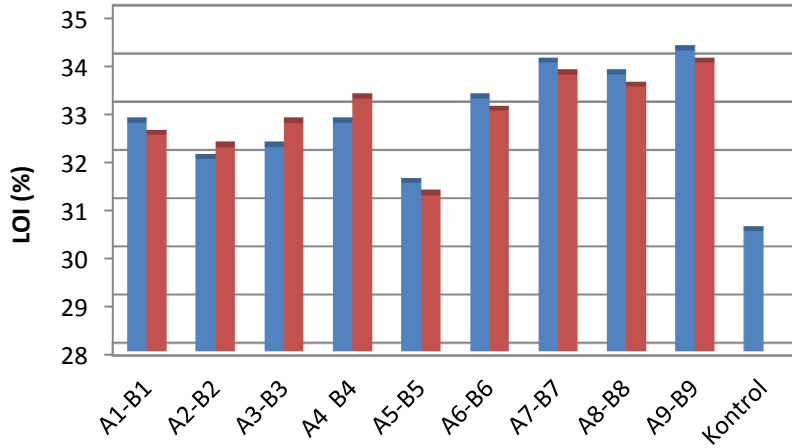
Tüm gruplar için TGA ve DTGA grafiklerine bakıldığında, nanokil ve kimyasal madde türünün ve konsantrasyonun ağırlık kaybı üzerinde olumlu etkisi bulunduğu ancak bazı gruplar için kalıntı kütle miktarının düşük ya da kontrole daha yakın olduğu görülmektedir.

Muhtemelen, bu durum kullanılan madde miktarından ve üretim parametrelerinden kaynaklı olup, kimyasal madde miktarının daha fazla artırılması durumunda artış gösterecektir. Düşük oranlarda kullanımlarda bu etki daha sınırlı kalabilir. Yapılan çok

sayıda çalışmada nanokil kullanımı ile farklı malzemelerin yanmaya karşı dayanım performanslarının belirlenmesinde TGA ölçümleri kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, genel olarak; çeşitli materyallerde nanokil kullanımının ağırlık kayıplarını azalttığı ve malzemelerin yanma dayanım özelliklerini iyileştirdiği bulunmuştur (Gao vd., 2015; Zahedsheijani vd., 2012).

4.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhaları ve kontrol levha örneklerinin LOI değerleri üzerinde kullanılan nanokil ve diğer kimyasal madde türlerinin, bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonlarının etkileri Şekil 21’de verilmiştir.



Şekil 21. A ve B grubu levha örneklerinin LOI değerlerinde meydana gelen değişim

LOI testi bir malzemenin yanmaya karşı direnç özelliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yanma geciktirici özelliği bulunan malzemelerin yanması için oksijen oranının yüksek olması gerekir. Buna göre, bir malzemenin LOI değerinin yüksek olması o malzemenin yüksek yanma dayanım özelliğine sahip olduğunu ifade etmektedir (Dönmez Çavdar, 2011).

Şekil 21’den görüleceği üzere; levha örneklerinin LOI değerleri nanokil ile diğer kimyasal maddelerin türüne ve kimyasal madde konsantrasyonuna bağlı olarak değişim

göstermiş ve bu parametreler yanma direncini olumlu olarak etkilemiştir. Tüm deneme levhalarının LOI değerleri artmış ve kontrol grubunun LOI değerinden daha yüksek olarak tespit edilmiştir. İki farklı içerikte nanokil kullanılarak üretilen levha örneklerinin(A ve B grubu) LOI kıyaslaması yapıldığında, Şekil 21'den görüleceği üzere; bu değerler farklı trend göstermiştir. Genelde %2 konsantrasyonda B1 ve B5 hariç diğer B grubu örneklerinde A grubu örneklerine göre daha yüksek LOI değerleri bulunurken, konsantrasyon arttığında A grubu örnekleri ile daha yüksek LOI değerleri elde edilmiştir. Yine A ve B grubu levha örneklerinin LOI değerlerinin konsantrasyon artışı ile arttığı ve dolayısıyla, levha örneklerinin yanmaya dayanım özelliklerinin iyileştiği görülmektedir.

Test sırasında yapılan gözlemlerde örneklerde duman oluşumun az ya da belirsiz düzeyde olduğu görülmüştür. Kontrol örneklerinde ise belirgin duman oluşumu gözlenmiştir.

Nanokil ve farklı kimyasal maddeler kullanılarak üretilen levha örneklerinde en düşük LOI değeri (31.25) %2 kitosan ve nanokil karışımı ile üretilen B5 grubunda elde edilirken en yüksek LOI değeri ise (34.25) %4 nanokil+ATH karışımı ile üretilen A9 grubunda elde edilmiştir. A grubu için örneklerde $A9 > A7 > A8 > A6 > A1=A4 > A3 > A2 > A5 > K$ şeklinde bir sıralama elde edilirken B grubu için bu sıralama $B9 > B7 > B8 > B4 > B6 > B3 > B1 > B2 > B5 > K$ şeklinde olmuştur.

ATH, ÇB ve $Mg(OH)_2$ ile birlikte montmorillonite kilinin uygulanması sonucu sinerjik etki elde edilmiştir. Kitosan kullanımı ile kimyasal maddeli gruplar arasında en düşük değerler elde edilmesine rağmen, yine de LOI değerleri kontrole göre artış göstermiş ve örneklerin yanma dayanımında belirli bir düzeyde iyileşme sağlanmıştır.

Bu çalışmada üretilen tüm levhaların LOI değerleri ISO 4589 standardına göre, 29–35 LOI değeri aralığında yer alarak “yangın geciktirici özellikte malzeme” özelliğine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Literatürde, farklı materyaller ve kompozitlerle ilgili yapılan çeşitli çalışmalarda nanokilin tek ya da farklı kimyasallarla kullanımının LOI değerlerini arttırdığı bildirilmiştir (Nemati vd., 2016; Gao vd., 2015; Yen vd. 2012).

4.3.3. Alev Testi, UL-94

Malzemelerin yanmaya karşı dirençlerinin belirlenmesinde yapılan testin türüne göre duman oluşumu, alev boyu, kömürleşme gibi gözlemsel veriler ile tutuşma süresi,

sönme süresi, ağırlık kayıpları gibi ölçümsel verilerde değerlendirilmekte ve bu veriler de bir malzemenin yanma direnci etkinliğini yorumlamada kullanılmaktadır. Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı iki oranda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin UL-94 testi sırasında belirlenen Tablo 17 ve Tablo 18’de verilen sonuçlarına göre; alev kaynağının örneğe yaklaştırıldığı ve 10 sn sonunda uzaklaştırıldığı ilk 10 snlik periyotta hiçbir örnekte tutuşma olmamıştır. Devam eden 2. 10 saniyelik ve daha sonra 3. 10 saniyelik periyotlarda da genel olarak kimyasal maddeli örneklerde tutuşma başlamamıştır. Oysa ki, kontrol grubu örnekleri diğer örneklere göre daha erken alev almış ancak erken sönmemiştir. Bu örnekler 23.sn de tutuşma göstermiş hafif sönmek üzere iken 43. sn de tekrar alevlenerek 120. sn de sönmüştür.

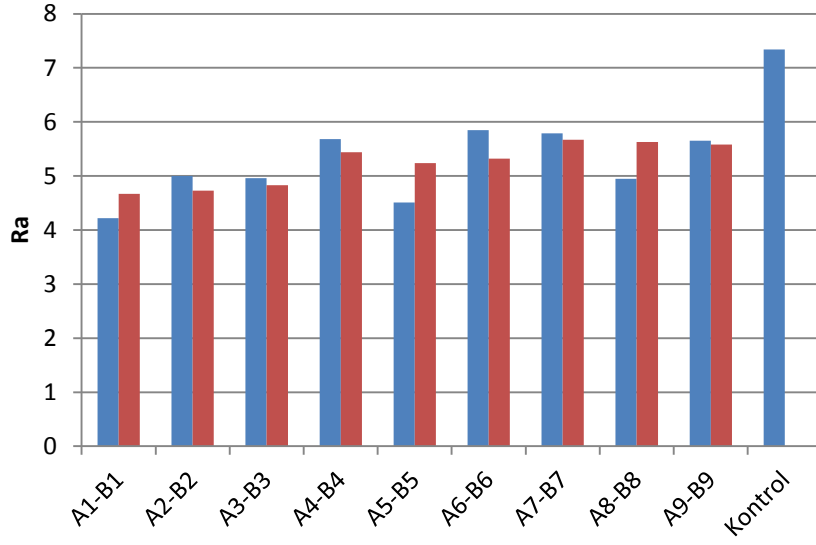
Bu testte ilk 30 sn deneyin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Deney tutuşma olup olmadığının anlaşılması açısından tekrarlı bir şekilde devam ettirilmiş genel olarak Tablo 17 ve 18’den görüleceği üzere kimyasal içeren örnekler 40,50,60,70. snler içinde tutuşup birkaç sn sonra da kendiliğinden sönmüştür. Bu periyotlar içinde A ve B grubu örnekleri birkaç saniyelik hafif yanma ve sönmeye şeklinde ilerlemiştir. Sadece kitosan içeren örnek gruplarında tutuşma daha erken başlamış ve alev örnekleri sararak daha kuvvetli şekilde örnek ortasına kadar ilerlemiş ve bu grup örnekleri daha geç sönmüştür. A ve B grubu örneklerde yanma olmadığından alev boyu ölçümlenememiş ve yanma oranı belirlenememiştir. Kontrol örneklerinde duman çıkışı gözlenirken A ve B grubu örneklerde ise duman çıkışının hafif ya da hiç olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kimyasallı gruplarda kömürleşme gözlenirken, kontrol grubu örneklerinde ise sönmeye yakın kül oranının çok fazla olduğu belirlenmiştir.

Bu testin özellikle plastik malzemeler için uygulanmasında t_1 , t_2 ve t_3 alev sönmeye süreleri (1.,2.,3. 10 snler için) ve bu sürelerin toplamları(t_1+t_2) değerlendirilerek V_0 , V_1 , V_2 sınıflandırılması yapılmaktadır. V_0 sınıflandırmasında örneklerin ilk 10 sn de sönmeye süreleri 10 sn’nin altındadır ve yanmazlıkları yüksektir. Çalışmamızda, A ve B grubu örneklerin ilk 30 sn’ye kadar tutuşmadıkları ve genel olarak alev aldıklarında hızlı bir şekilde birkaç sn içinde söndükleri ve tekrarlanan periyotlarda da toplam alev sönmeye sürelerinin düşük olduğu belirlenmiştir.

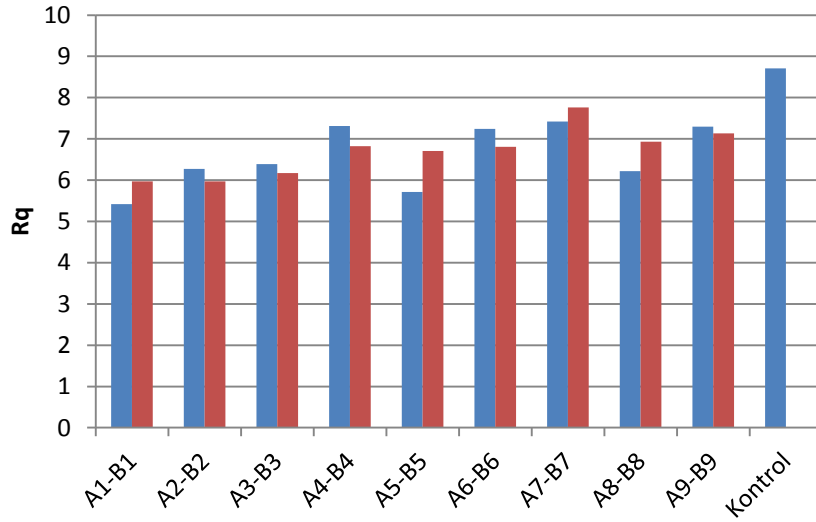
4.4. Yüzey ve Morfolojik Özellikler

4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

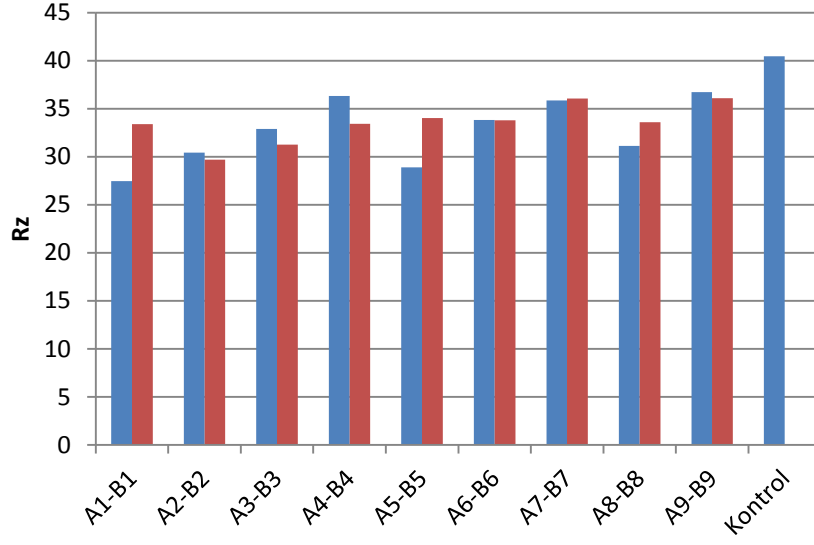
Nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen levha örneklerinin Ra, Rq, Rz değerlerindeki değişimler Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24'de verilmiştir.



Şekil 22. A ve B grubu levha örneklerinin Ra değerlerindeki değişim



Şekil 23. A ve B grubu levha örneklerinin Rq değerlerindeki değişim



Şekil 24. A ve B grubu levha örneklerinin Rz değerlerindeki değişim

Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24'ten de görüleceği üzere; Ra, Rq, Rz değerleri nanokil türüne, kimyasal madde türüne ve bu maddelerin uygulanma konsantrasyonuna bağlı olarak değişmiştir. Ölçülen tüm yüzey pürüzlülük değerleri genel olarak kontrol grubundan düşük bulunmuştur. Ra değerleri arasında ölçülen en yüksek değer A6(5,85) grubuna ait levha örneklerinde, en düşük Ra değeri ise A1(4,22) grubunda bulunan levha örneklerinde tespit edilmiştir. Rq değerlerine bakıldığında ise ölçülen en yüksek Rq değerinin B7(7,76) grubuna ait olduğu, en düşük Rq değerinin ise A1(5,42) grubuna ait olduğu belirlenmiştir. Özellikle, Rz değerleri incelendiğinde ise; tüm gruplar içerisinde ölçülen en yüksek Rz değerinin %4 nanokil ve ATH karışımı ile üretilen A9(36,71) grubunda belirlendiği en düşük değerinin % 2 nanokil ile üretilen A1(27,45) grubu örneklerinde olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülük parametreleri için deney parametrelerine bağlı olarak değişen artan azalan trendin; kimyasal maddelerin tutkallama sırasında tam çözünemeyip lif üzerinde kalmış olmasına ve levha yüzeyinde çeşitli düzensizliklere sebebiyet vermesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

4.4.2. SEM Analizi

Tablo 23 ve Tablo 24'te verilen farklı büyütme oranlarındaki SEM görüntüleri lif yapısındaki değişimleri göstermektedir. Kimyasal maddelerin kullanılması ile lif

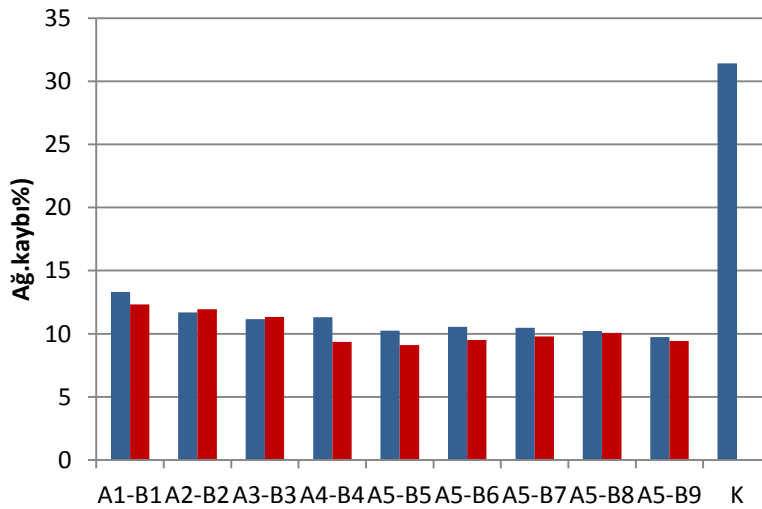
yapısındaki boşlukların bu maddelerle dolarak daraldığı, azaldığı kimyasalların lif yüzeyinde toplandığı ve liflerin birbiriyle daha iyi bağlandığı görülmektedir.

Yapılan bir çalışmada, SEM görüntüleri sonucunda artan kil içeriği ile odun kompozit örneklerinin gözeneklerinin azaldığı; polimerle lignoselülozik materyal arasındaki bağlantının ise arttığı belirtilmiştir (Nemati vd., 2016).

4.5. Biyolojik Özellikler

4.5.1. Mantar Çürüklük Testi

İki farklı içeriğe sahip nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen deneme levhaları ve kontrol levhalarının, mantar çürüklük dayanımı üzerine bu parametrelerin etkisini tespit etmek için mantar çürüklük testi uygulanmış ve bu amaçla levha örnekleri iki farklı mantar türüne (*Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor*) maruz bırakılmıştır. Ancak *Trametes versicolor* mantarına maruz bırakılan örneklerde misel gelişimi olmadığından değerlendirmeler sadece *Coniophora puteana* mantarına maruz bırakılan örnekler için yapılmıştır. “*Coniophora puteana*” mantar türüne maruz bırakılan levha örneklerinin kullanılan nanokil türüne, kimyasal madde türüne ve bu maddelerin uygulanma konsantrasyonuna bağlı olarak meydana gelen ağırlık kaybı değişimleri Şekil 25’te verilmiştir.



Şekil 25. A ve B grubu levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası (“*Coniophora puteana*” mantarı) ağırlık kaybı değerleri

Levha örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri Şekil 25'te görüleceği üzere; kimyasal madde türü ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Tüm levha gruplarının ortalama ağırlık kaybı değerlerinin kontrol grubunun ortalama ağırlık kaybı değerinden çok daha düşük olduğu görülmektedir. Kontrol grubu için ağırlık kaybı değeri %32,30 olarak tespit edilmiştir. Özellikle, konsantrasyona bağlı olarak değerlendirme yapıldığında; Şekil 25'ten görüleceği üzere; kimyasal madde konsantrasyonunun artışı ile birlikte ağırlık kaybı değerlerinin azalış gösterdiği yani mantara karşı dayanımlarının arttığı belirlenmiştir. % 2 konsantrasyonda kimyasal maddelerin uygulandığı A ve B grubu levha örnekleri incelendiğinde; bu örneklerin ağırlık kaybı değerleri en düşük değerden en yüksek değere doğru sırasıyla B5 (8,40); B4 (9,92); A5 (10,25); B3 (10,32); A3 (11,16); B2 (11,23); A4 (11,32); A2 (11,69); B1 (12,03); A1 (13,28); kontrol (32,30) şeklinde sıralanmaktadır. Buna göre; en düşük değerlerin %2 Nanokil+kitosan karışımı kullanılarak üretilmiş, B5 grubu örneklerinde; en yüksek değer ise yalnızca % 2 nanokil kullanılarak üretilmiş A1 grubu örneklerinde elde edildiği görülmektedir. Ayrıca, % 2 konsantrasyonda kullanılan A ve B grubu etkinliklerine bakıldığında, genel olarak B grubu ile daha iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Şekil 25'e bakıldığında; %4 konsantrasyonda kullanılan kimyasal maddelerin etkinliği incelendiğinde, bu değerlerin %2 konsantrasyonda kimyasal madde kullanılarak üretilen levha örneklerinden daha düşük olduğu ve genel olarak %2 konsantrasyondaki madde etkinliklerine benzer seyir gösterdiği görülmektedir. %4 konsantrasyonda kimyasal maddelerin uygulandığı levha örnekleri incelendiğinde; bu örneklerin ağırlık kaybı değerleri en düşük değerden en yüksek değere doğru sırasıyla B9 (8,66); B8 (8,67); A9 (9,73); B7 (9,93); A8 (10,22); A7 (10,47); B6 (10,49); A6 (10,54); kontrol (32,30) şeklinde sıralanmaktadır. Bu sıralamaya göre; en yüksek ağırlık kaybı değerinin yalnızca %4 nanokil kullanılarak üretilmiş A6 grubu örneklerden en düşük ağırlık kaybı değerinin ise %4 Nanokil +kitosan kullanılarak üretilmiş B9 grubunda olduğu tespit edilmiştir. Kitosan ile nanokilin birlikte kullanımının sinerjik etki göstererek mantar çürüklüğe dayanımı artırdığı görülmektedir.

Ayrıca, literatürde kitosan kullanımının mantar çürüklüğe karşı iyi bir etkinliği olduğu bildirilmiştir. Son dönemlerde antifungal, antimikrobiyal ve insektisidal aktivitelerinin olması nedeniyle kitosanın biyolojik kontrolü sağlamak amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (İmamoğlu, 2011). Yine literatürdeki çalışmalarda da nanokil kullanımının mantar çürüklük üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. Yapılan bir

çalışmada, nanokil ilavesi ile üretilen odun plastik kompozitleri mantar testine maruz bırakılmış ve testin sonucunda nanokilli örneklerin çok düşük ağırlık kaybı gösterdiği ve denenen farklı mantar türlerinin gelişimini sınırladığı bulunmuştur (Bari vd., 2015).



Şekil 26. B5 levha grubu örneği

Şekil 26'dan görüldüğü üzere; B5 örneklerinin üzeri mantar miselleri tarafından kaplanmamıştır. Deney bitiminde kontrol örnekleri dışında, A ve B grubundaki tüm örnekler için bu durum benzer şekilde gerçekleşmiştir. Gözlemsel olarak yapılan bu tespit, aynı zamanda ağırlık kaybı sonuçlarında elde edilen belirgin azalış ile birlikte kimyasalların olumlu etkisini kanıtlar niteliktedir.

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile elde edilen veriler değerlendirilmiş ve ulaşılan sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

5.1. Fiziksel Özellikler

5.1.1. Yoğunluk

Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen deneme levhalarının, yoğunluk değerlerinin (800-821 kg/m³) arasında olduğu ve bu değerlerin kontrol grubunun yoğunluk değerinden (795,76 kg/m³) daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ölçülen yoğunluk değerlerinin; kullanılan nanokil türü, kimyasal madde türü ve bu maddelerin konsantrasyon artışına bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir.

5.1.2. Su Alma

1. Levha örneklerinin 24 saat süre sonundaki su alma değerlerine bakıldığında bu değerlerde, deney varyasyonlarının(nanokil türü, kimyasal madde türü ve kimyasal madde konsantrasyonu) belirgin etkisi olduğu tespit edilmiştir.

2. A ve B grubu levha örneklerinin su alma değerlerinin artış gösterdiği bulunmuştur. Sonuçlara genel olarak bakıldığında; %4 konsantrasyonda B grubu örneklerinin su alma değerlerinin, A grubu örneklerinin su alma değerlerinden daha yüksek, %2 konsantrasyonda ise A grubunun su alma değerlerinin B grubunun su alma değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. A grubu örneklerinin değerleri için A4>A9>A3>A6>A7>A5>A8>A2>A1 şeklinde bir sıralama, B grubu örneklerinin değerleri için ise B7>B8>B6>B9>B5>B4>B1>B3>B2 şeklinde bir sıralama olduğu belirlenmiştir.

3. A ve B grupları için; konsantrasyon artışı ile birlikte levha örneklerinin su alma değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu gruplardan elde edilen su alma değerlerinin kontrol grubu örneklerinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

4. Nanokilin diğerkimyasal maddelerle, özellikle $Mg(OH)_2$, ÇB ve ATH birlikte uygulanması ile su alma değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

5.1.3. Kalınlığına Şişme

1. A ve B gruplarının kalınlığına şişme değerlerinin kontrol grubunun değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

2. Kullanılan nanokil türünün, kimyasal madde türünün ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonun; kalınlığına şişme değerleri üzerinde etkisi bulunmuş, bu değerlerin madde türü ve konsantrasyon miktarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir.

3. A grubu levha örneklerinde $A3>A4>A6>A8>A9>A2>A5>A7>A1>K$ şeklinde bir sıralama, B grubu örneklerinde ise $B7>B6>B8>B9>B1>B4>B2>B5>B3>K$ şeklinde bir sıralama olduğu belirlenmiştir.

4. Nanokilin diğerkimyasal maddelerle uygulanması KŞ değerlerinde daha fazla artışa sebep olmuştur.

5.2. Mekanik Özellikler

5.2.1. Eğilme Direnci

1. Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levhaların eğilme direnci değerlerinin; kullanılan nanokil türü, kimyasal madde türü, ve bu kimyasal maddelerin konsantrasyonuna bağlı olarak 39,40-50,99 N/mm^2 arasında değiştiği belirlenmiştir.

2. Nanokil türünün, kimyasal madde türünün ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonunun üretilen levhaların eğilme direnci üzerinde farklı etkileri olduğu belirlenmiştir. Genel olarak konsantrasyon artışı ile birlikte eğilme direnç değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

3. A grubu levha örneklerinde $A7>A9>A8>A2>A6>A4>A1>A3>A5$ şeklinde bir sıralama, B grubu örneklerinde ise $B4>B9>B7>B2>B8>B3>B1>B6>B5$ şeklinde bir sıralama olduğu tespit edilmiştir.

5.2.2. Elastikiyet Modülü

1. Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin elastikiyet modülü değerleri; kullanılan nanokil türü, kimyasal madde türü ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonuna göre farklılıklar göstermiştir.

2. B4, B9, B8 ve A7 grubu hariç diğer tüm levha gruplarında elastikiyet modülü değerleri kontrol grubunun elastikiyet modülü değerinden daha düşük olarak bulunmuştur.

3. A grubu levha örneklerinde A7>A9>A4>A2>A8>A3>A1>A6>A5 şeklinde bir sıralama, B grubu levha örneklerinde ise B4>B9>B8>B1>B2>B7>B3>B6>B5 şeklinde bir sıralama olduğu tespit edilmiştir.

5.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direnci

1. Nanokil ve farklı kimyasal maddelerin iki farklı konsantrasyonda kullanılmasıyla üretilen levha örneklerinin yüzeye dik çekme direnci değerleri; kullanılan nanokil türü, kullanılan kimyasal madde türü ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonuna bağlı olarak farklılıklar göstermiştir.

2. Tüm levha gruplarının yüzeye dik çekme direnci değerleri kontrol grubunun yüzeye dik çekme direnci değerinden daha yüksek bulunmuştur.

3. A grubu levha örneklerinde A4>A7>A8>A5=A3>A6>A2>A9>A1 şeklinde bir sıralama, B grubu levha örneklerinde ise B4>B5>B2>B7>B3=B8>B1>B9>B6 şeklinde bir sıralama olduğu tespit edilmiştir.

5.3. Termal-Yanma Özellikleri

5.3.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

1. TGA değerleri; kullanılan nanokil türü, kimyasal madde türü ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonuna bağlı olarak farklılıklar göstermiştir.

2. A2 ve B5 grubu hariç tüm levha gruplarında TGA analizi sonunda elde edilen kalıntı kütle miktarının kontrol grubunun kalıntı kütle miktarından yüksek olduğu ve en iyi

sonuçların özellikle, %4 konsantrasyondaki A grubu levhalarında (A6,A7,A8,A9) elde edildiği belirlenmiştir.

3. Örneklerin bozunma sıcaklıklarına bakıldığında ise; A5 grubu hariç diğer tüm levha gruplarının örneklerinin bozunma sıcaklıklarının, kontrol grubu örneğinin bozunma sıcaklığından biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4. Levha gruplarının kalıntı kütle miktarı değerleri genel olarak incelendiğinde; A grubu levha örneklerinde A7>A6>A9>A8>A1>A5>A4>A3>A2 şeklinde bir sıralama, B grubu levha örneklerinde ise B4>B2>B8>B3>B6>B1>B9>B7>B5 şeklinde bir sıralama olduğu tespit edilmiştir.

5.3.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

1. LOI değerleri; kullanılan nanokil türü, kimyasal madde türü ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonuna bağlı olarak farklılıklar göstermiştir.

2. Üretilen tüm levha gruplarının LOI değerleri kontrol grubu levhalarının LOI değerinden daha yüksek bulunmuştur.

3. En düşük LOI değeri (31.25) % 2 kitosan ve nanokil karışımı ile üretilen B5 grubunda elde edilirken en yüksek LOI değeri ise (34.25) %4 nanokil+ATH karışımı ile üretilen A9 grubunda elde edilmiştir

4. Kimyasal maddelerin montmorillonite nanokili ile birlikte kullanılmasıyla sinerjik etkiler elde edilmiştir.

5. A grubu levha örneklerinde A9> A7 >A8> A6> A1 =A4> A3> A2 >A5 şeklinde bir sıralama, B grubu levha örneklerinde B9> B7 >B8>B4> B6 >B3> B1>B2 >B5 şeklinde bir sıralama olduğu tespit edilmiştir.

6. Üretilen tüm levhaların standartlara göre yangın geciktirici özellikte malzeme özelliğinde olduğu bulunmuştur.

5.3.3. Alev Testi-UL-94

1. Genel olarak A ve B grupları, uygulanan alev kaynağının 10 sn yaklaştırılıp uzaklaştırılması işleminde tekrar edilen ilk üç 10 sn boyunca tutuşma göstermemiştir. Ancak, Nanokil+kitosan içeren A5, B5 grup örneklerinde diğer grup örneklerinden biraz

daha erken tutuşma başlamış ve belirli bir süre sonra alevlenmeleri artmış ve örneklerin daha fazla kısmı yanmıştır. Bu örneklerde hafif duman oluşumu gözlenmiştir.

2. A ve B grubu örneklerin genel olarak alev aldıklarında hızlı bir şekilde birkaç sn içinde söndükleri ve bu sürenin 10 sn den daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tekrarlı periyotlar sonucunda da örneklerde toplam alev sönme süresinin düşük olduğu belirlenmiştir.

3. Kimyasal maddeli örneklerde duman çıkışı olmadığı ya da çok hafif düzeyde olduğu gözlenirken, kontrol örneklerinde duman çıkışı yoğun olarak gözlenmiştir.

4. Daha sonra tekrarlanan 10 sn uygulaması(40.,50.,60.snler) sonucunda örneklerin hafif alev alıp birkaç sn sonra söndüğü gözlenmiştir.

5. Kontrol örnekleri 23.sn de tutuşmaya başlamış ve alev kaynağı uzaklaştırıldıktan sonra da yanmaya devam ederek 120.sn sönmüştür.

6. A ve B grubu örnekleri için hafif alev, yavaş yanma gözlendiğinden alev boyu çok küçük olarak gözlenmiştir. Kontrol örneklerinde ise test sırasında alev boyunun örnek boyunun yarısından fazla olduğu görülmüştür.

5.4. Yüzey ve Morfolojik Özellikler

5.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

1. Yüzey pürüzlülük değerleri (R_a , R_q ve R_z); kullanılan nanokil türü, kimyasal madde türü ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonuna göre farklılıklar göstermiştir.

2. A ve B gruplarından elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri(R_a , R_q ve R_z) kontrol grubunun yüzey pürüzlülük değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

5.4.2 SEM Analizi

Kimyasal madde uygulanan örneklerin lifsel yapılarında boşluk oranının azaldığı, lifler arasında daha iyi bir bağlanmanın olduğu ve daha düzgün yüzeylere sahip oldukları gözlenmiştir.

5.5. Biyolojik Özellikler

5.5.1. Mantar Çürüklük Testi

1. A ve B grup örneklerinin *Coniophora puteana* mantarına maruz bırakılması sonucu belirlenen ağırlık kaybı değerleri; nanokil türüne, kimyasal madde türüne ve bu kimyasal maddelerin uygulanma konsantrasyonuna bağlı olarak farklılıklar göstermiş ve bu değerlerin kontrol grubu değerinden (%32,30) çok daha düşük olduğu bulunmuştur.

2. Yanma geciktirici niteliklerinin yanı sıra nanokilin tek başına ya da diğer kimyasal maddelerle sinerjik etki göstererek biyolojik zararlılara karşı korumada da etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

3. Tüm kimyasal maddeler ile iyi sonuçlar elde edilirken bu sonuçların konsantrasyon miktarındaki artış ile daha da iyileştiği tespit edilmiştir.

4. Özellikle, kitosan kimyasalı içeren B5 grubu ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

5. A grubu örneklerinde en düşük ağırlık kaybı A9 grubunda, B grubu örneklerinde ise B5 grubunda elde edilmiştir.

6. ÖNERİLER

Bilindiği üzere, çeşitli alanlarda kullanılan malzeme ve ürünlere, kullanım amacı doğrultusunda iyileştirme ve güçlendirme çalışmaları yapılarak istenilen özellikleri kazandırmak; bu malzemelerin dayanım, kalite, standart, sağlık ve çevreye duyarlılık, uygunluk gibi geniş bir yelpazede beklentileri karşılamaını sağlamak ve endüstriyel anlamda bu ürünlerin rekabet düzeyini yükselterek, uluslararası pazar payını artırmaktadır.

Tüm yapı malzemelerinde olduğu gibi, odun esaslı ürün grupları için de büyük önem taşıyan özellikler arasında, yanmaya karşı dayanım ilk sıralarda yer almaktadır. Malzemeye bu dayanımı kazandırmak için birçok yanmayı geciktirici(FR) kimyasal madde kullanılmakta olup, bu maddelerin bir kısmının kullanımı; yüksek yanma geciktirici etkileri olmalarına rağmen; sağlık, çevre açısından olumsuz etkilerinin de bulunması sebebiyle son dönemlerde yasal kısıtlamalar sebebiyle sınırlandırılmıştır. Bu duruma alternatif olarak ise çevreye ve canlılara daha az zararlı yeni maddelerin kullanılması ve formülasyonların geliştirilmesi gündeme gelmiş, çalışmalar bu yönde hız kazanmıştır. Dolayısıyla bu özelliklere sahip doğal maddelerin araştırılması ve uygulanması birçok anlamda kazanım sağlayacaktır.

Bu çalışmada nanokil ve diğer kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen liflevhaların fiziksel, mekanik, yüzey-morfoloji, termal-yanma, biyolojik özelliklerindeki değişimler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ışığında bazı öneri ve yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Bu çalışma ile; tüm deney varyasyonlarının, levhaların yanmaya karşı direncini iyileştirdiği bulunmuş, dolayısıyla bu maddelerin farklı konsantrasyonlarda tek veya karışım halinde kullanımının odun esaslı levhalarda etkili performans göstereceği sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar ile aynı zamanda nanokilin farklı yanma geciktirici maddeler ile çok sayıda farklı kombinasyonla denenmesiyle tüm odun ve odun esaslı malzemelerde istenilen sonuçları sağlayacağı düşünülmektedir.

Ayrıca, çalışmada farklı özellikteki iki MMT kilinin kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda; diğer kil çeşitleri de çeşitli yanma geciktiricilerle birlikte farklı formülasyonlarla deneyerek levhaların yanma direnci üzerindeki etkileri incelenebilir.

Ayrıca farklı boyutta ve yapıdaki killerde daha ileri analizlerle incelenerek etkinlikleri denenebilir.

Çalışmada kullanılan kimyasal madde konsantrasyon oranları artırılarak, malzemenin yanma dayanım performansının daha çok artırılacağı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek konsantrasyonların diğer teknolojik özelliklere de etkisi incelenebilir.

Ayrıca, çalışmada kullanılan kimyasal maddelerin; yanma geciktirici ve suya dayanıklılık, vb. gibi olumlu özelliklere sahip olan melamin üre formaldehit (MÜF) tutkalıyla birlikte denemesi ile levhaların fiziksel, mekanik, yanma ve diğer özelliklerinde daha fazla olumlu etki göstereceği düşünülmektedir. Bunların yanısıra; bu maddelerin farklı uygulama yöntemleriyle (lifle muamele, life karıştırma vb.) levha özellikleri üzerine olan etkileri de incelenebilir.

Bu çalışmada kullanılan nanokil ve diğer kimyasal maddelerin, levhaların biyolojik özelliklerini iyileştirme potansiyeli de olduğu görülmüştür. Özellikle kitosanın biyolojik zararlılara karşı kullanıldığı bilinmektedir, Bu maddelerin daha yüksek konsantrasyonları deneyerek biyolojik dayanımın artırılacağı ve standart değerlere yaklaşılacağı düşünülmektedir. Ayrıca, biyolojik dayanım açısından farklı kombinasyonlar da denenebilir.

Bu çalışma ile; laboratuvar ölçeğinde elde edilen bu deneysel sonuçların ve de bu sonuçları baz alarak ileride yapılacak olan farklı çalışmaların endüstriyel ölçekte de kullanılacağı ve yeni ürün geliştirme çalışmalarına katkıda bulunabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

7. KAYNAKLAR

- Akbulut, T. ve Ayrılmış, N., 2001. MDF Üretiminde Dikkate Alınması Gereken Hususlar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 51,2, 25-41.
- Akdoğan, E., Tarakçılar, A.R., Topçu, M. ve Yurtseven, R., 2015. Alüminyum Hidroksit ve Magnezyum Hidroksit Katkısının Termoplastik Poliüretan Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Dergisi 15. Uluslararası Malzeme Sempozyumu Özel Sayısı, Mayıs, Denizli, Bildiriler Kitabı, 376-380.
- Akgül, Ö., 2010. Farklı Bor Minerallerinden Çinko Borat Üretimi Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ashori, A. ve Nourbakhsh, A., 2009. Effects of Nanoclay as a Reinforcement Filler on the Physical and Mechanical Properties of Wood-based Composite. Journal of Composite Materials, 43,18,1874.
- ASTM D3801-10, 2010. Standart Test Method for Measuring the Comparative Burning Characteristic of Solid Plastics in a Vertical Position, ASTM International, West Conshohocken.
- Aydoğan, B. ve Usta, N., 2015. Nanokil ve Kabaran Alev Geciktirici İlavesinin Rijit Poliüretan Köpük Malzemelerin Isıl Bozunma ve Yanma Davranışlarına Etkilerinin İncelenmesi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30,1, 9-18.
- Bari, E., Taghiyari, H. R., Schmidt, O., Ghorbani, A., ve Aghababaei, H., 2015. Effects of Nano-clay on Biological Resistance of Wood-Plastic Composite Against Five Wood-Deteriorating Fungi, Maderas. Ciencia y Tecnologia, 17,1, 205-212.
- Başer, U. E., 2016. Yanma Geciktirici Özelliğe Sahip Bazı Mineral Esaslı Maddeler ile Üretilen Orta Yoğunluktaki Liflevhaların (MDF) Teknolojik Özellikleri Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Berkel, A., 1972. Ağaç Malzemenin Korunması ve Emprenye Tekniği, II.Cilt, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No:1745, Fakülte Yayın No:183.
- Bhat, G., Hedge, R. R., Kamath, M. G., ve Deshpande, B., 2008. Nanoclay Reinforced Fibers and Nonwovens, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 3,3, 22-34.
- Bocchini, S. ve Camino, G., 2010. Halogen-Containing Flame Retardants, Capter 4, Fire Retardancy of Polymeric Materials, Edited by Wilkie, C.A. ve Morgan, A.B., 75-107.

- Chiu, S. ve Wang, W., 1998. The Dynamic Flammability and Toxicity of Magnesium Hydroxide Filled Intumescent Fire Retardant Polypropylene, Journal of Applied Polymer Science, 67, 989.
- Çankaya, N. ve Sökmen, Ö., 2016. Kitosan-Kil Biyananokompozitleri, Politeknik Dergisi, 19,3, 283-295.
- Çolak, S., Çolakoğlu, G., As, N., 2002. Ağaç Malzemenin Yanması ve Yangında Diğer Yapı Elemanlarıyla Karşılaştırılması, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 52,1, 15-25.
- Değirmenci, B., 2011. Alev Geciktirici ve Duman Azaltıcı Ajan Olarak Çinko Borat Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doosthoseini, K. ve Zarea-Hosseini, H., 2010. Using Na⁺MMT Nanoclay as a Secondary Filler in Plywood Manufacturing, Journal of the Indian Academy of Wood Science, 7, 1, 58.
- Dönmez Çavdar, A. 2011. Farklı Lignoselülozik ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun-Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi Doktora Tezi, K.T.U., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eickner, H.W., 1966. Fire Retardant-Treated Wood, Journal of Materials, 1, 3, 625-644.
- Ellis, D.W. ve Rowell, M.R., 1989. Flame-Retardant Treatment of Wood with a Diisocyanate and an Oligomer Phosphonate, Wood and Fiber Science, 21,4, 367-375.
- EN 113, 1997. Methods of the Test for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Rotting Basidiomycetes, Determination of Toxic Values, Brussels.
- EN 310, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Modulus Elasticity in Bending and Bending Strength, CEN, Brussels.
- EN 317, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Swelling in Thickness After Immersion in Water, CEN, Brussels.
- EN 319, 1993. Particleboards and Fiberboards, Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of the Board, CEN, Brussels.
- EN 323, 1997. Wood Based Panels, Determination of Density, CEN, Brussels.
- Eroğlu, H. ve Usta, M., 2000. Liflevha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü Basımevi, Trabzon.
- Faruk, O. ve Matuana, L. M., 2008. Nanoclay Reinforced HDPE as a Matrix for Wood-Plastic Composites, Composites Science and Technology, 68, 2073–2077.
- Gao, D., Li, R., Lv, B., Ma, J., Tian, F. ve Zhang, J., 2015. Flammability, Thermal and Physical-Mechanical Properties of Cationic Polymer/Montmorillonite Composite on Cotton Fabric, Composites Part B, 77, 329-337.

- Göker, Y. ve Ayrılmış, N., 2003. Yangında Odun ve Odun Esaslı Ürünlerin Performans Karakteristikleri ve Termal Degradasyonu, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 52-53, 2, 1-22.
- Grexa, O., 2000. Flame Retardant Treated Wood Products, Wood and Fire Safety 4th International Scientific Conference, May, Zvolen, Proceedings, 101-110.
- Guo, G., Park, C. B., Lee, Y. H., Kim, Y. S. ve Sain, M., 2007. Flame Retarding Effects of Nanoclay on Wood-Fiber Composites, Polymer Engineering and Science, 47,3, 330.
- Güller, B. 2001. Odun Kompozitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2, 135-160.
- Hashim, R., How, L. S., Kumar, R. N., ve Sulaiman, O., 2005. Some of Properties of Flame Retardant Medium Density Fiberboard Made From Rubberwood and Recycled Containers Containing Aluminium Trihydroxide, Bioresource Technology, 96, 1826.
- Hollingbery, L. A. ve Hull, T. R., 2010. The Fire Retardant Behaviour of Huntite and Hydromagnesite -A Review, Polymer Degradation and Stability, 90, 2213-2225.
- Holmes, C. A., 1974. The Fire Performance of Wood and Its Improvement by Fire Retardant Treatments, American Wood Preservers' Association, 95-102.
- Holmes, C. A., 1977. Effect of Fire-Retardant Treatments on Performance Properties of Wood.
- Hosseyeni, M. J., Rahimi, S., Mousavi R. S. ve Faezipour M. M., 2014. Effect of Nanoclay Particles on the Properties of Particleboards, Journal of Basic and Applied Scientific Research, 4,3, 280-287.
- Innes, I. ve Innes, A., 2003. Plastic Flame Retardants: Technology and Current Developments, Rapra Review Reports, 168,14, 138.
- Ismıta, N. ve Lokesh, C., 2017. Effects of Different Nanoclay Loadings on The Physical and Mechanical Properties of Melia Composita Particle Board, Focus / Particle Board Using Nanoclay, 334,4, 8.
- ISO 4287, 1997. Geometrical Product Specifications Surface Texture Profile Method Terms, Definitions and Surface Texture Parameters, International Standart Organization.
- İlhan, R., 1988. Prefabrik Konut Yapımında Yangına Karşı Alınması Gereken Önlemler, Aşşap Malzemenin Korunması, Milli Produktivite Merkezi Yayınları, 338.
- İmamoğlu, Ö., 2011. Biyokontrolde Doğal Ürünlerin Kullanılması;Kitosan, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 68,4, 215-222.

- Ji, X. ve Guo, M., 2018. Preparation and Properties of a Chitosan-Lignin Wood Adhesive, International Journal of Adhesion and Adhesives, 82, 8.
- Kahraman, T. H., 2014. Alev Geciktirici Nanokompozit Kaplamaların Sentezi ve Karakterizasyonu Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaya, M. ve Öz, D., 1999. Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastırıcı Katkı Maddeleri, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Ekim, İzmir, Bildiriler Kitabı, 154.
- Kayan, S., 2004. Tekstil Materyallerinin Yanma Mekanizması ve Limit Oksijen İndeks Değerleri. Marmara Üniversitesi FBE Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, Enstrümental Analiz Dersi Notu, İstanbul.
- Kaynak, C., Gunduz, H. O. ve Isitman, N. A., 2010. Use of Nanoclay as an Environmentally Friendly Flame Retardant Synergist in Polyamide-6, Journal of Nanoscience and Technology, 10,11, 7374-7377.
- Kotalainen, R., 2000. Chemical Changes in Wood During Heating at 150-260 °C, Department of Chemistry, Academic Disertation for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Jyvaskyla, Research Report No:8.
- Kuzgun, K. N. ve İnanlı, G. A., 2013. Kitosan Üretimi ve Özellikleri İle Kitosanın Kullanım Alanları, Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 6,2, 16-21.
- Kylosov, A. A., 2007. Wood Plastic Composites, John Wiley&Sons, Inc., NJ, USA, 698.
- Lei, H., Du, G., Pizzi, A. ve Celzard, A., 2008. Influence of Nanoclay on Urea-Formaldehyde Resins for Wood Adhesives and Its Model, Journal of Applied Polymer Science, 109, 2442–2451.
- LeVan, S. L., 1989. Thermal Degradation, Concise Encyclopedia of Wood and Wood Based Materials, Pergamon Pres.
- Levchik, S.V., 2007. Introduction to Flame Retardancy and Polymer, Chapter 1, Flammability Flame Retardant Polymer Nanocomposites, Edited by Morgan, A. B., Wilkie, C. A., Wiley Interscience, New Jersey, 1-29.
- Lie, T. T., 1972. Fire and Buildings, Applied Science Publishers Ltd., London, 73-74.
- Liu, J., Chen, Q., Jing Me., Lu, C. ve Zhang, Y., 2011. Fire Performance and Flame-Retardant Mechanism of Organic Montmorillonite/Polystyrene Composites, Fuhe Cailiao Xuebao/Acta Materiae Compositae Sinica, 28,6, 50-58.
- Lloyd, D. J., 1998. Borates and Their Biological Applications, The International Research Group on Wood Preservation, 29th Annual Meeting, Maastricht, Netherlands, 14-19 June, IRG/WP 98-30178.

- Madhoushi, M., Chavooshi, A., Ashori, A., Ansell, M. P. ve Shakeri, A., 2014. Properties of Wood Plastic Composite Panels Made From Waste Sanding Dusts and Nanoclay, Journal of Composite Materials, 48,4, 1661.
- Maloney, T. M., 1996. The Family of Wood Composite Materials, Forest Products Journal, 46, 2.
- Mamatha B. S. ve Jagadish R. L., 2013. Effect of Nanoclay on Water Absorption and Thickness Swelling of Wood Based Composite, International Journal of Advanced Research in Science and Technology, 2,3, 160-164.
- Mouritz, A. P. ve Gibson, A. G., 2006. Fire Properties of Polymer Composite Materials, Springer Yayınları, Hollanda, 385.
- Mousavi H. M. J., Faezipour, M. ve Yousefi, H., 2012. Effect of Nanoclay on The Properties of Medium Density Fiberboard (MDF), Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 26,4, 699 -707.
- Nazir, M. S., Kassim, M. H. M., Mohapatra, L., Gilani, M. A., Raza, M. R. ve Majeed, K., 2016. Characteristic Properties of Nanoclays and Characterization of Nanoparticulates and Nanocomposites, Nanoclay Reinforces Polymer Composites, 35-55.
- Nemati, M., Eslam, H.K., Talaeipour, M., Bazayar, B. Ve Samariha, A., 2016. Effect of Nanoclay on Flammability Behavior and Morphology of Nanocomposites from Wood Flour and Polystyrene Materials, Bioresources, 11,1, 748-758.
- Özdemir, F., 2016. Yüksek Yoğunluklu Lif Levhannın Bazı Özellikleri Üzerine Dolomit Mineralinin Etkisinin Araştırılması, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19,2, 93.
- Rakotomalala, M., Wagner, S. ve Döring, M., 2010. Recent Developments in Halogen Free Flame Retardants for Epoxy Resins for Electrical and Electronic Applications, Materials, 3, 4300-4327.
- Sain, M., Park, S. H., Suhara, F. ve Law, S., 2004. Flame Retardant and Mechanical Properties of Natural Fibre-PP Composites Containing Magnesium Hydroxide, Polymer Degradation and Stability, 83,2, 363.
- Salari, A., Tabarsa, T., Khazaeian, A. ve Saraeian, A., 2012. Effect of Nanoclay on Some Applied Properties of Oriented Strand Board (OSB) Made From Underutilized Low Quality Paulownia (*Paulownia Fortunei*) Wood, Journal of Wood Science, 58,6, 513.
- Samariha A., Hemmasi A. H., Ghasemi I., Bazayar B. ve Nemati M., 2015. Effect of Nanoclay Contents on Properties, of Bagasse Flour/ Reprocessed High Density Polyethylene/ Nanoclay Composites, Maderas. Cienc. Tecnologia, 17,3, 637-646.

- Saraeian, P., Ansari, K., Tavakoli, H. R. ve Soltani, E., 2012. The Effect of Nanoclay Particles on the Tensile Strength and Flame Retardancy of Polystyrene – Nanoclay Composite, Journal of Basic Applied Scientific Research, 2,12, 12330-12336.
- Shen, K. K., 2001. Zinc Borates: 30 Years of Successful Development as Multifunctional Fire Retardants, Chapter 18, *Fire and Polymers: Materials and Solutions for Hazard Prevention*, Edited by Nelson, G.I. ve Wilkie, C.A., ACS Symposium Series, 797, 228-239.
- Stark, N. M., White, R. H., Mueller, S. A. ve Osswald, T. A., 2010. Evaluation of Various Fire Retardants for Use in Wood Flour-Polyethylene Composites, Polymer Degradation and Stability, 95, 1903-1910.
- Tomak, E., Hughes, M., Yıldız, Ü.C. ve Viitanen, H., 2011. The combined Effects of Boron and Oil Heat Treatment on Beech and Scots Pine Wood Properties. Part 1: Boron Leaching, Thermogravimetric Analysis and Chemical Composition, Journal of Materials Science, 46, 3, 598-607.
- Troitzsch, H. J., 1998. Overview of Flame Retardants, Chimica Oggi/Chemistry Today, 16, 10.
- Tutuş, A., Kurt, R., Alma, M. H. ve Meriç, H., 2010. Sarıçam Odununun Kimyasal Analizi ve Termal Özellikleri, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Mayıs, Artvin, Bildiriler Kitabı, 5, 1845-1851.
- URL-1, 2016. <http://www.dieffenbacher.de/en/wood-based-panels/plants/mdf/index.html> 24.04.2016.
- Ustaömer, D., 2008. Çeşitli Yanma Geciktirici Kimyasal Maddelerle Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunluktaki Liflevhaların (MDF) Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Uysal, B., 1997. Çeşitli Kimyasal Maddelerin Ağaç Malzemenin Yanmaya Dayanıklılığı Üzerine Etkileri Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Wilkie, C. A., 2005. An Introduction to the Use of Fillers and Nanocomposites in Fire Retardancy (Invited Review), Chapter 1, *Fire Retardancy of Polymers New Applications of Mineral Fillers*, Edited by Bras, M. L., Wilkie, C. A., Bourbigot, S., The Royal Society of Chemistry, UK, Cambridge, 1-18.
- Xian, D., Semple, K. E., Haghdan, S. ve Smith G, D., 2013. Properties and Wood Bonding Capacity of Nanoclay-Modified Urea and Melamine Formaldehyde Resins, *Wood and Fiber Science*, Journal of the Society of Wood Science and Technology, 45,4, 383-395.
- Yen, Y.Y., Wang, H.T. ve Guo, W.J., 2012. Synergistic Flame Retardant Effect of Metal Hydroxide and Nanoclay in EVA Composites, Polymer Degradation and Stability, 97, 863.

Zahedsheijani, R., Faezipour, M., Tarmian, A. Layeghi, M. ve Yousefi, H., 2012. The Effect of Na⁺ Montmorillonite (NaMMT) Nanoclay on Thermal Properties of Medium Density Fiberboard (MDF). European Journal of Wood and Wood Products, 70,5, 565–571.



ÖZGEÇMİŞ

30.01.1991 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Prof. İhsan Koz İlköğretim Okulu'nda, ortaöğrenimini ise Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazandı ve buradaki lisans öğrenimini 2013 yılında tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlayan Şükrü BEYAZLI orta seviyede İngilizce bilmektedir.

