

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





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

ÖNSÖZ

“Nano Katkı ve Vermikülit Kullanımının Yongalevhaların Kalite Özelliklerine Etkisi” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışmalarımı bilimsel temeller ışığında şekillendiren aynı zamanda her türlü sorunumun çözümünde yanımda olan ve daima örnek alacağım danışman hocam sayın Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Sayın Ahmet ÇOK’a, Dr. Öğr. Üyesi Hüsnü YEL’e, Öğr. Gör. Süleyman KUŞTAŞ’a ve Öğr. Gör. Dr. Sefa DURMAZ’a teşekkürlerimi sunarım.

Denemeler için gerekli hammaddelerin temininde yardımcı olan; Ertekin Dikmen nezdinde Kastamonu Entegre A.Ş.’nin Terme Direktörlüğüne, Yıldız Entegre A.Ş. yönetimine, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş. yönetimine ve Nanografi Nano Teknoloji A.Ş.’den Sayın Zafer YİĞİT’e, testlerin gerçekleştirilmesi konusunda her türlü desteklerini esirgemeyen Sayın Hüseyin YILDIZ nezdinde Starwood Orman Ürünleri A.Ş.’ye teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini tüm hayatım boyunca esirgemeyen sevgili annem Saide ARAS’a ve babam Mustafa ARAS’a şükranlarımı sunarım. Bu çalışmanın odun esaslı kompozitler konusunda araştırma yapanlara ve uygulayıcılara yararlı olmasını temenni ederim.

Uğur ARAS
Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Nano katkı ve Vermikülit Kullanımının Yongalevhaların Kalite Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’nun 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. 13/08/2021

Uğur ARAS

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	X
SUMMARY.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XIX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Odun Esaslı Kompozitler.....	3
1.2.1. Yongalevha Tanımı ve Tarihçesi.....	5
1.2.2. Yongalevha Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	5
1.2.2.1. Odun	5
1.2.2.2. Yıllık Bitkiler.....	6
1.2.2.3. Odun Esaslı Kompozitlerde Kullanılan Tutkallar	8
1.2.2.3.1. Üre Formaldehit Tutkalı	10
1.2.2.3.2. Melamin Formaldehit Tutkalı.....	12
1.2.2.3.3. Fenol Formaldehit Tutkalı	13
1.2.2.3.4. İzosiyanat Tutkalları	14
1.2.2.3.5. Biyo Bazlı Ahşap Tutkalları	16
1.3. Nanoteknoloji	17
1.3.1. Nanoteknolojinin Tanımı ve Kullanım Alanları.....	17
1.3.2. Nano Malzemeler	20
1.3.2.1. Karbon ve Grafen Esaslı Nano Malzemeler	20
1.3.2.1.1. Grafen Nanoplatelet (GNP).....	22
1.3.2.2. Kil Esaslı Nano Malzemeler.....	23
1.3.2.2.1. Killerin Yapısı ve Nanokil.....	23
1.4. Vermikülit Grubu Killer	27
1.5. Yongalevhaların Üretimi	27

1.6.	Odun Esaslı Kompozitlerin Çevresel Etkileri	30
1.6.1.	Formaldehit (CH ₂ O) ve Formaldehit Emisyonu.....	30
1.7.	Odun Esaslı Kompozitlerde Yanma ve Yangın Geciktirme.....	34
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	37
2.1.	Materyal.....	37
2.1.1.	Ağaç Malzeme	37
2.1.2.	Nanokiller	37
2.1.3.	Vermikülit.....	38
2.1.4.	Grafen Nanoplatelet.....	39
2.1.5.	Tutkal ve Sertleştiriciler	40
2.2.	Deneme Levhaların Üretimi	40
2.2.1.	Yongalama.....	40
2.2.2.	Eleme	42
2.2.3.	Yongaların Kurutulması	43
2.2.4.	Tutkalların Hazırlanması ve Tutkallama	44
2.2.5.	Levha Taslağının Hazırlanması	45
2.2.6.	Taslakların Preslenmesi	46
2.2.7.	Presleme Sonrası İşlemler	47
2.3.	Araştırma Yöntemleri	48
2.3.1.	Tutkal Viskozitesinin (Akma Süresi) Tayini.....	48
2.3.2.	Yonga Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	49
2.3.2.1.	Fiziksel Özellikler.....	49
2.3.2.1.1.	Rutubet.....	49
2.3.2.1.2.	Yoğunluk	50
2.3.2.1.3.	Su Alma Oranı	50
2.3.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) oranı.....	51
2.3.2.2.	Mekanik Özellikler	52
2.3.2.2.1.	Eğilme Direnci.....	52
2.3.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü	53
2.3.2.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci.....	54
2.3.2.3.	Formaldehit Emisyonu	55
2.3.2.4.	Hızlandırılmış Yaşlandırma İşlemi (QUV Test)	57
2.3.2.5.	Termal Özellikler ve Yangın Dayanımı	58
2.3.2.5.1.	Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizi (DTG)....	58

2.3.2.5.2.	Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi.....	59
2.3.2.6.	Morfolojik Özellikler.....	60
2.3.2.7.	İstatistiksel Analizler	61
3.	BULGULAR	63
3.1.	Viskozite (Akma Süresi) Tayininine Ait Bulgular	63
3.2.	Levhaların Özelliklerine Ait Bulgular	64
3.2.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular.....	64
3.2.1.1.	Rutubet Miktarına Ait Bulgular.....	64
3.2.1.2.	Yoğunluklarına Ait Bulgular	67
3.2.1.3.	Su Alma Oranlarına Ait Bulgular	69
3.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranlarına Ait Bulgular.....	72
3.2.2.	Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	75
3.2.2.1.	Eğilme Direnci Testine Ait Bulgular.....	75
3.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulgular	77
3.2.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Bulgular.....	80
3.2.3.	Formaldehit Emisyonu Testi Değerlerine Ait Bulgular	82
3.2.4.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Testlere Ait Bulgular ..	85
3.2.4.1.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilme Direnci Testine Ait Bulgular	85
3.2.4.2.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilmede Elastikiyet Modülü Testine Ait Bulgular.....	86
3.2.4.3.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yüzeye Dik Çekme Direnci Testine Ait Bulgular	88
3.2.5.	Termal Özellikler ve Yangın Dayanımına Ait Bulgular	89
3.2.5.1.	Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizine (DTG) Ait Bulgular	89
3.2.5.2.	Limit Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulgular	90
4.	İRDELEME	94
4.1.	Viskozite (Akma Süresi) Tayinine Ait Bulguların İrdelenmesi	94
4.2.	Levhaların Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi	96
4.2.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi.....	96
4.2.1.1.	Rutubet Miktarına Ait Bulguların İrdelenmesi.....	96
4.2.1.2.	Yoğunluklarına Ait Bulguların İrdelenmesi	98
4.2.1.3.	Su Alma Oranlarına Ait Bulguların İrdelenmesi.....	99
4.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranlarına Ait Bulguların İrdelenmesi.....	102

4.2.2.	Mekanik Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi	104
4.2.2.1.	Eğilme Direnci Testine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	104
4.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi	108
4.2.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	110
4.2.3.	Formaldehit Emisyonuna Ait Bulguların İrdelenmesi.....	113
4.2.4.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Testlere Ait Bulguların İrdelenmesi	116
4.2.4.1.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilme Direnci Testine Ait Bulguların İrdelenmesi	116
4.2.4.2.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilmede Elastikiyet Modülü Testine Ait Bulguların İrdelenmesi.....	118
4.2.4.3.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yüzeye Dik Çekme Direnci Testine Ait Bulguların İrdelenmesi	121
4.2.5.	Termal Özellikler ve Yangın Dayanımına Ait Bulguların İrdelenmesi	123
4.2.5.1.	Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizine (DTG) Ait Bulguların İrdelenmesi	125
4.2.5.2.	Limit Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulguların İrdelenmesi	127
4.2.6.	Morfolojik Özelliklere (SEM) Ait Bulguların İncelenmesi	130
5.	SONUÇLAR.....	133
5.1.	Viskozite (Akma Süresi) Tayinine Ait Sonuçlar	133
5.2.	Levhaların Özelliklerine Ait Sonuçlar	133
5.2.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar	133
5.2.1.1.	Rutubet Miktarına Ait Sonuçlar	133
5.2.1.2.	Yoğunluklarına Ait Sonuçlar	134
5.2.1.3.	Su Alma Oranlarına Ait Sonuçlar.....	134
5.2.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranlarına Ait Sonuçlar.....	135
5.2.2.	Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar	136
5.2.2.1.	Eğilme Direnci Testine Ait Sonuçlar.....	136
5.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Sonuçlar	137
5.2.2.3.	Yüzeye Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar	138
5.2.3.	Formaldehit Emisyonuna Ait Sonuçlar	139
5.2.4.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Testlere Ait Sonuçlar ..	140
5.2.4.1.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilme Direnci Testine Ait Sonuçlar	140
5.2.4.2.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilmede Elastikiyet Modülü Testine Ait Sonuçlar	141

5.2.4.3.	Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yüzeye Dik Çekme Direnci Testine Ait Sonuçlar	141
5.2.5.	Termal Özellikler ve Yangın Dayanımına Ait Sonuçlar	143
5.2.5.1.	Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizine (DTG) Ait Sonuçlar	142
5.2.5.2.	Limit Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Sonuçlar	143
5.2.6.	Morfolojik Özelliklere (SEM) Ait Sonuçlar	144
6.	ÖNERİLER	145
7.	KAYNAKLAR	148
ÖZGEÇMİŞ		



Doktora Tezi

ÖZET

NANO KATKI VE VERMİKÜLİT KULLANIMININ YONGALEVHALARIN KALİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Uğur ARAS

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
2021, 170 Sayfa

Bu çalışmada; üç nano katkı türü (organo modifiye nanokil (OM NK), sodyum hidrofilik nanokil (Na NK) ve grafen nanoplatelet (GNP)), üç nano katkı oranı (%1, %2 ve %4), üç vermikülit oranı (%10, %15 ve %20) ve iki farklı tutkal türü (üre ve melamin formaldehit) kullanımının yongalevha özelliklerine etkisi incelenmiş olup; tutkal karışımlarının viskozitesi, levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri, formaldehit emisyonları, hızlı yaşlandırma sonrası performansları, ile termal, yanma ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir.

Nano katkı kullanımı ile tutkalların viskoziteleri artış göstermiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda; OM NK ve GNP kullanımında fiziksel ve mekanik özellikler artış göstermiştir. %1 ve %2 kullanım oranında en iyi özellikler elde edilmiştir. Genel olarak, hızlı yaşlandırma sonrası %1 nano katkı kullanımı ile direnç değerlerindeki kayıp azalmıştır. Melamin formaldehit kullanılan levhalarda; %1 ve %2 nano katkı kullanımında boyutsal kararlılık artarken, tüm nano katkı tür ve oranlarında mekanik özelliklerde artış meydana gelmiştir. Hızlı yaşlandırma sonrası %1 nanokil, %1 ve %2 GNP kullanımı ile direnç değerlerindeki kayıp azalmıştır. Nanokil kullanımı formaldehit emisyonu üzerine daha olumlu etki yapmıştır. Melamin formaldehit kullanılan levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile LOI değerleri daha yüksek çıkmıştır. Vermikülit kullanımı ile levhaların boyutsal kararlılıkları ve yanma özellikleri iyileşirken, mekanik özellikleri ve formaldehit emisyonunu değerleri olumsuz etkilenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yongalevha, nanokil, grafen nanoplatelet, formaldehit emisyonu, LOI

PhD. Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF THE USE OF NANO ADDITIVES AND VERMICULITE ON THE
QUALITY PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS

Uğur ARAS

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industry Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
2021, 170 Pages

In this study, the effects of using three nano additive types (organo modified (OM NK) and sodium hydrophilic nanoclay (Na NK) with graphene nanoplatelet (GNP)), three nano additive ratios (1%, 2% and 4%), three vermiculite ratios (10%, 15% and 20%) and two different types of adhesives (urea and melamine formaldehyde) on the particleboard properties were investigated. The viscosity of the adhesive mixtures and the physical and mechanical properties, formaldehyde emissions, accelerated weathering (QUV) test performance, thermal, combustion and morphological properties of the boards were determined.

The viscosity values increased with the use of nano additives. The boards were produced with urea formaldehyde; The physical and mechanical properties were improved with the use of OM NK and GNP. The best properties were obtained at 1% and 2% usage ratios. In general, adding nanomaterials at 1% loadings reduced the loss of mechanical resistance after the QUV test. The boards were produced with melamine formaldehyde; dimensional stability increased with 1% and 2% nano additives and mechanical properties increased in all nano additive types and usage ratios. Adding nanoclays at 1% and GNP at 1%-2% loadings reduced the loss of mechanical resistance after the QUV test. The use of nanoclay also positively affected the formaldehyde emission values. The physical and mechanical properties and LOI values of the boards produced with melamine formaldehyde were higher. The dimensional stability and combustion properties of the boards were improved, while their mechanical properties and formaldehyde emission values were adversely affected using vermiculite.

Key Words: Particleboard, nanoclay, graphene nanoplatelet, formaldehyde emission, LOI

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Odun kompozitlerinin üretim miktarları.....	2
Şekil 2. Formaldehitin üre, melamin, fenol ve resorsinol ile reaksiyonu	9
Şekil 3. Üre ve formaldehitin moleküler yapısı	10
Şekil 4. Üre ve formaldehitin alkali kondenzasyonu	11
Şekil 5. Düşük moleküler ağırlıklı metilenüre	11
Şekil 6. Monometilölürelere kopolimerizasyonu.	11
Şekil 7. Melamin ve formaldehit kondenzasyon reaksiyonu	13
Şekil 8. Fenol ve formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu	14
Şekil 9. MDI tutkalları ile odun hidroksil grupları arasındaki bağlanma (a) ve MDI-odun arasındaki kimyasal reaksiyon (b)	15
Şekil 10. Nanoteknolojinin kullanım alanları	18
Şekil 11. Karbon ve grafen esaslı nano malzemeler	21
Şekil 12. Grafen ve GNP'lerin özellikleri.....	23
Şekil 13. Killerin sınıflandırılması.....	24
Şekil 14. Killerin yapısal modellemeleri.....	25
Şekil 15. Organo modifiye MMT	26
Şekil 16. Yongalevha üretim şeması.....	29
Şekil 17. İç ve dış ortam formaldehit kaynakları.....	31
Şekil 18. Avrupa'da endüstriyel yongalevhaların kabul edilebilir formaldehit emisyon değerlerindeki değişim	32
Şekil 19. Formaldehit emisyonu ölçüm sistemleri (A: Oda yöntemi, B: Gaz analiz yöntemi; C:perforatör yöntemi; D: FLEC).....	34
Şekil 20. Fabrika hammadde deposu	37
Şekil 21. GNP'nin TEM ve fiziksel görüntüleri	40
Şekil 22. Kaba yongalama makinesi	41
Şekil 23. Değirmen, ring ve ring bıçaklarının görünümü ve işleyişi	42
Şekil 24. Elekler ve eleklerin yapısı.....	43
Şekil 25. Yongaların ve vermikülitin kurutulması.....	44
Şekil 26. Tutkal hazırlanması.....	45

Şekil 27.	Yongaların tutkallanması.....	45
Şekil 28.	Levha taslağının serilmesi	46
Şekil 29.	Levha taslağının preslenmesi.....	46
Şekil 30.	Tutkalların viskozite (akma süresi) ölçümü.....	49
Şekil 31.	Örneklerin rutubetlerinin belirlenmesi.....	50
Şekil 32.	Su alma oranı ve kalınlık artımı örnekleri	51
Şekil 33.	Kalınlık artımı test örneğinin ölçüm noktaları.....	52
Şekil 34.	Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deney düzeneği.....	53
Şekil 35.	Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi.....	54
Şekil 36.	Yüzeye dik çekme direnci deneyi düzeneği	55
Şekil 37.	Formaldehit emisyonu deney düzeneği	57
Şekil 38.	Formaldehit emisyonu kalibrasyon eğrisi.....	57
Şekil 39.	Hızlandırılmış yaşlandırma (QUV test) düzeneği	58
Şekil 40.	Perkin Elmer STA 6000 TGA cihazı.....	59
Şekil 41.	Limit oksijen indeksi (LOI) test örnekleri ve düzeneği.....	60
Şekil 42.	SEM görüntüleme ve örnek kaplama cihazları.....	60
Şekil 43.	Tutkal karışımlarının viskozite (akma süresi) değerleri	94
Şekil 44.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün rutubet değerlerine etkisi	96
Şekil 45.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün yoğunluk değerlerine etkisi.....	98
Şekil 46.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün 2 saatlik su alma oranlarına etkisi.....	99
Şekil 47.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün 24 saatlik su alma oranlarına etkisi.....	100
Şekil 48.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün 2 saatlik kalınlık artımı değerlerine etkisi.....	102
Şekil 49.	Nano katkı türü, nano katkı oranı vermikülit oranı ve tutkal türünün 24 saatlik kalınlık artışı değerlerine etkisi	103
Şekil 50.	Nano katkı türü, nano katkı oranı vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilme direnci değerlerine etkisi.....	105
Şekil 51.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilmede elastikiyet direnci değerlerine etkisi.....	108
Şekil 52.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisi.....	111

Şekil 53.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün formaldehit emisyonuna etkisi.....	113
Şekil 54.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerleri	116
Şekil 55.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerlerindeki değişim...	117
Şekil 56.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilmede elastikiyet modülü değerleri...	119
Şekil 57.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki değişim.....	119
Şekil 58.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerleri	121
Şekil 59.	Hızlı yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerindeki değişim.....	122
Şekil 60.	Üre formaldehit kullanılan levhalarda TGA ve DTG eğrileri (OM NK)	124
Şekil 61.	Üre formaldehit kullanılan levhalarda TGA ve DTG eğrileri (Na NK)	124
Şekil 62.	Üre formaldehit kullanılan levhalarda TGA ve DTG eğrileri (GNP).....	124
Şekil 63.	Melamin formaldehit kullanılan levhalarda TGA ve DTG eğrileri.....	125
Şekil 64.	Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün LOI değerlerine etkisi.....	127
Şekil 65.	Üre formaldehit kullanılan levhaların SEM görüntüleri.....	131
Şekil 66.	Melamin formaldehit kullanılan levhaların SEM görüntüleri	132

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Formaldehit esaslı tutkalların genel özellikleri.....	9
Tablo 2. OM nanokilin fiziksel özellikleri	38
Tablo 3. OM nanokil ve Na nanokilin kimyasal özellikleri.....	38
Tablo 4. Süper fine vermikülit elek analizi	39
Tablo 5. Süper fine vermikülit kimyasal analizi	39
Tablo 6. GNP'nin fiziksel özellikleri	39
Tablo 7. Yonga elek analizleri	43
Tablo 8. Levhalara ait üretim planı	47
Tablo 9. Hızlandırılmış yaşlandırma için test koşulları	58
Tablo 10. Levhalara uygulanan deney deseni	62
Tablo 11. Tutkalların viskozite (akma süresi) değerlerine ait bulgular (sn).....	63
Tablo 12. Viskozite (akma süresi) değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	63
Tablo 13. Nano katkı türü ve nano katkı oranının viskozite (akma süresi) değerlerine etkisine ait Duncan testi sonuçları	64
Tablo 14. Rutubet değerlerine ait bulgular (%).....	64
Tablo 15. Rutubet değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	65
Tablo 16. Nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının rutubet değerlerine etkisine ait Duncan testi sonuçları	66
Tablo 17. Rutubet değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	66
Tablo 18. Rutubet değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	67
Tablo 19. Yoğunluk değerlerine ait bulgular (kg/m ³).....	67
Tablo 20. Yoğunluk değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	68
Tablo 21. Yoğunluk değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	68
Tablo 22. Su alma oranlarına ait bulgular (%).....	69

Tablo 23.	Su alma oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	70
Tablo 24.	Su alma oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	70
Tablo 25.	Su alma oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	71
Tablo 26.	Su alma oranlarına nano katkı tür ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları.....	71
Tablo 27.	Kalınlık artımı oranlarına ait bulgular (%).....	72
Tablo 28.	Kalınlık artımı oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	73
Tablo 29.	Kalınlık artımı oranlarına nano katkı türü ve nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	73
Tablo 30.	Kalınlık artımı oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	74
Tablo 31.	Kalınlık artışına nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	75
Tablo 32.	Eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm ²).....	75
Tablo 33.	Eğilme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	76
Tablo 34.	Eğilme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	76
Tablo 35.	Eğilme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	77
Tablo 36.	Eğilme direnci değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	77
Tablo 37.	Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular (N/mm ²).....	78
Tablo 38.	Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	78
Tablo 39.	Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	79
Tablo 40.	Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	79
Tablo 41.	Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	80
Tablo 42.	Yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm ²).....	80

Tablo 43.	Yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	81
Tablo 44.	Yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan test, sonuçları	81
Tablo 45.	Yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	82
Tablo 46.	Nano katkı türü ve nano katkı oranının yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisine ait Duncan testi sonuçları	82
Tablo 47.	Formaldehit emisyonuna ait bulgular (mg/m ² h).....	82
Tablo 48.	Formaldehit emisyonuna nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	83
Tablo 49.	Üre formaldehit ile üretilen levhalarda nano katkı türü ve nano katkı oranının formaldehit emisyonu değerlerine etkisine ait Duncan test sonuçları.....	84
Tablo 50.	Formaldehit emisyonu değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	84
Tablo 51.	Tutkal türüne bağlı olarak nano katkı türü ve nano katkı oranının formaldehit emisyonu değerlerine etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	84
Tablo 52.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm ²)	85
Tablo 53.	Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların eğilme direnci değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	86
Tablo 54.	Hızlandırılmış yaşlandırma testi sonrası nano katkı türü ve nano katkı oranının eğilme direnci değerlerine etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	86
Tablo 55.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular (N/mm ²).....	87
Tablo 56.	Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	87
Tablo 57.	Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları	88
Tablo 58.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm ²)	88
Tablo 59.	Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	89
Tablo 60.	Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları	89

Tablo 61.	TGA-DTG analizine ait bulgular	90
Tablo 62.	Limit oksijen indeksi (LOI) değerlerine ait bulgular (%).....	91
Tablo 63.	LOI değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	91
Tablo 64.	Üre formaldehit ile üretilen levhalarda Nano katkı türü ve miktarının LOI testi sonrası ağırlık kaybı değerlerine etkisine ait Duncan testi sonuçları	92
Tablo 65.	LOI değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	92
Tablo 66.	Tutkal türüne bağlı olarak LOI değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının LOI testi değerlerine etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	93



SEMBOLLER DİZİNİ

1D-2D-3D	:	Bir boyutlu / İki boyutlu / Üç boyutlu
ÇDKNT	:	Çok duvarlı karbon nanotüp
DTG	:	Diferansiyel termo gravimetrik analiz
ED	:	Eğilme direnci
EEM	:	Eğilmede elastikiyet modülü
FE	:	Formaldehit emisyonu
GNP	:	Grafen nanoplatelet
GO	:	Grafen oksit
HY	:	Hızlandırılmış yaşlandırma (QUV test)
IR	:	Kızılötesi spektroskopisi
KA	:	Kalınlık artışı miktarı
LOI	:	Limitli oksijen indeksi tayini
MDF	:	Orta yoğunluklu liflevha
MF	:	Melamin Formaldehit
MMT	:	Montmorillonit
Na NK	:	Sodyum nanokil
nm	:	Nanometre
OM NK	:	Organo modifiye nanokil
OPK	:	Odun plastik kompoziti
OSB	:	Yönlendirilmiş yongalevha
PMDI	:	Polimerik metilen difenilin izosiyanat
PP	:	Polipropilen
rGO	:	İndirgenmiş grafen oksit
SA	:	Su alma miktarı
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
SNF	:	Selüloz nanofibril
ÜF	:	Üre formaldehit
TDKNT	:	Tek duvarlı karbon nanotüp
TGA	:	Termo gravimetrik analiz
YDÇD	:	Yüzeye dik çekme direnci

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

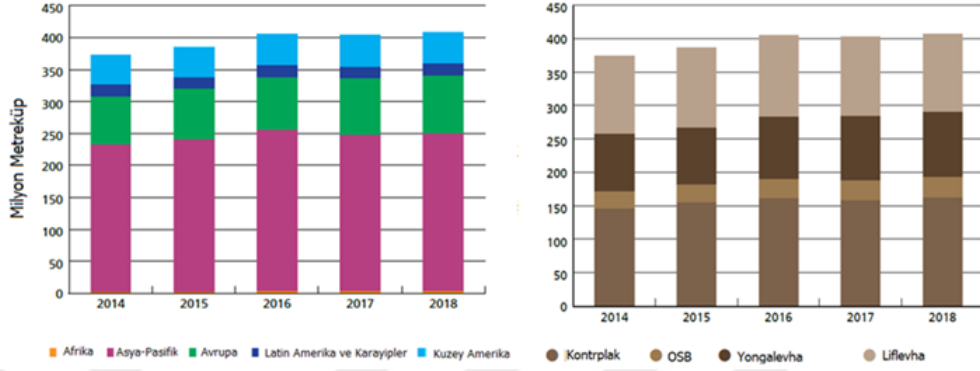
Kompozit; gelişmiş özelliklere sahip yeni bir malzeme oluşturmak için iki veya daha fazla malzemenin kombinasyonu ile oluşturulan malzemedir. Temel olarak; üstün mekanik özelliklere sahip yapısal kompozitler ve farklı fiziksel, kimyasal veya elektrokimyasal özelliklere sahip fonksiyonel kompozitler olarak iki ana grupta toplanırlar [1]. Bilinen en eski doğal kompozit odun yapısındaki lignin-selüloz matrisidir. El yapımı kompozitler ise saman ve kil kullanılarak üretilen tuğla ve seramikler olup günümüz örnekleri; metal, seramik veya polimer lifleri ile güçlendirilmiş polimerlerdir [2].

Doğal yenilenebilir kaynak olan ahşap; kesilebilme, yüksek mekanik direnç ve kolay bulunabilme özelliklerine sahiptir ve işleme kolaylığı, hafiflik ve dayanıklılık özellikleriyle yapı malzemesi olarak önemli bir alternatiftir. Ahşap; nem, sıcaklık ve basınç altında biçim değiştirmeye eğilimli ve geometrik yapısını koruyabilme özelliklerine sahiptir. Bu onun kullanım alanını genişletmiş ve mobilya ve eşyalar, spor ürünleri ve nakliye araçları (gemi, tren, motorlu taşıt ve uçaklar) gibi birçok uygulama alanında tercih edilmesini sağlamıştır. Aynı zamanda doğal olarak güzel ve estetik açıdan ilgi çekici bir malzemedir [3].

Günümüzde, yeşil bina kavramı yaygınlaşmış olup, bu binaların; enerji kullanımı (yalıtım, ısıtma, havalandırma ve klima sistemleri vb.) ve sağlık üzerine etkilerinin azaltılması (uçucu organik madde salınımı ve küf gibi etkenlerin oluşumunu azaltmak için havalandırma ve nem kontrolü) beklenir. Dolayısıyla çevreyi olumlu etkileyen malzeme kullanımı önem kazandığından ahşap malzeme; ısıl geçirgenliği ve karbon salınımı düşük, sürdürülebilir olması gibi pozitif özellikleri ile öne çıkar. Bu da ahşabın yapı malzemesi olarak popüler bir tercih haline gelmesini sağlamaktadır [4].

FAO [5] verilerine göre dünyada MDF ve yonga levha üretimi toplam 200 Milyon m³ olup, Türkiye, dünya üretiminin %5'ini, laminat parke üretiminin ise %10'unu karşılamaktadır. Ağaç bazlı panel üretimi son 15 yılda dünyada ortalama bileşik büyüme oranı %3,6 iken; Türkiye'de %6,5'tir. Ülkemizde toplam panel üretim kapasitesi 13 milyon m³/yıl gerçekleşen üretim ise 10 milyon m³ (KKO: %80) olup, odun hammaddesi ihtiyacı 12,5 milyon ton/yıl'dır. Sektör toplam 1 milyon kişiye dolaylı (üretim, nakliyat, satış, satış sonrası hizmet vs.) ve doğrudan istihdam sağlamaktadır.

Panel sektörünün ülkemizdeki büyüklüğü 11 milyar USD civarında, 2023 yılı hedefi ise 25 milyar USD'dir. Sektörün 2019 yılı ihracatı 3,5 milyar USD olup, 2023 hedefi 8 milyar USD'dir. Şekil 1'de odun kompozitlerinin üretim miktarları verilmiştir [5].



Şekil 1. Odun kompozitlerinin üretim miktarları

Yangın büyük bir tehlikedir. Felaket olarak nitelendirilmesi kontrol edilmesinin güçlüğünden ileri gelir. En iyi korunmuş ahşap yapılarda dahi yangın tehlikesi tamamen ortadan kaldırılamaz [6, 7]. Zira ahşap ve ahşap esaslı malzemeler karbon ve hidrojenle oluşmakta olup yanabilme dezavantajına sahiptir. Kendi kendine yanabilmesi için sıcaklığın 275°C ye çıkarılması gerekmektedir. Ancak bir tutuşturucu alev kaynağı varlığında çok daha düşük sıcaklıklarda tutuşur ve yanabilir [8]. Levha üretiminde yanmayı geciktirici emprenye maddeleri kullanılarak yangın dayanımı artırılabilir. Ancak emprenye maddeleri fiziksel ve mekanik özellikleri azaltabilir. Ayrıca alev geciktiricilerin çevresel etkileri ve zehirlilik değerlerine dikkat etmek gerekir. Günümüzde yanmayı geciktirici doğal mineral malzemelerin kullanımı üzerine çalışmalar artmıştır [9].

Bilim insanları günümüzde Nanoteknolojiye odaklanmıştır. Parçacık boyutları küçüldükçe, etkili yüzeylerinin hacme oranı artmakta olup, yüzey ve biyokimyasal özellikleri iyileştirmektedir. Diğer nanopartiküller ile kıyaslandığında kullanılabilirliği ve düşük maliyetlerinin yanında sahip olduğu 500-1000 m²'lik yüksek yüzey alanları özellikleri nanokiller pek çok çalışmada kullanılmaktadır [10]. Karbon nanotüpler (KNT) ve grafen nanoplatelet (GNP) gibi karbon nanomalzemeler, üstün mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olup; özellikle polimer nanokompozitler için ideal dolgu maddeleri olmuştur [11].

Grafitin tek atomik tabakasından oluşan grafen; mekanik ve termal dayanıklılığı, yüksek elektron mobilitesi, optiksel geçirgenlik gibi üstün özellikleri ile dikkat çeker. İki

boyutlu bal peteği yapısındaki karbon allotropu; nanoelektronik sensör uygulamaları, enerji depolayıcılar gibi farklı alanlarda kullanılabilir. Karbon lifleri, grafen nanoplatelet, karbon siyahı ve karbon nanotüpleri de dâhil karbon malzemeler, termal kararlılık, düşük kayma mukavemeti ve yüzey tutunması gibi özellikleri ile dolgu malzemesi olarak yaygın kullanım alanı bulur [12, 13].

Bu tez kapsamında, mobilya üretimi ve yapı malzemesi olarak kullanım alanına sahip yongalevhaların bazı teknolojik ve dayanım özelliklerinin, özellikle ülkemizde Ar-Ge çalışmaları sonucu yeni ve yüksek bir katma değer potansiyeline sahip olan organo nanokil ve grafen nanoplatelet katkıları kullanılarak iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ülkemizde rezervi bulunan vermikülit mineralinin de kullanım imkânlarının belirlenmesi planlanmıştır.

1.2. Odun Esaslı Kompozitler

Odun esaslı kompozitler; istenilen şekil, boyut ve kalınlıklarda üretilerek; mobilya ve bileşenlerinde (kaplamalar ve paneller), inşaat sektöründe cephe, kaplama, bölmeler, kapı göbekleri, paneller, akustik bölmeler gibi ürünlerin üretiminde kullanılan geniş yüzeyli levhalardır. Teknolojik gelişmeler, hammadde tedarikinin zorlanması ve pazarda yenilik arayışı odun esaslı kompozit ve üretim proseslerinin gelişimini desteklemiştir [14].

Özellikle artan kereste ve tomruk fiyatları ve azalan idari ömür ve çaplar ile orman kaynaklarının daha verimli kullanılması ihtiyacı odun esaslı levha (panel) sektörünün gelişimini, üretim yöntemlerinin gelişmesi de büyümeyi hızlandırmıştır. Öte yandan üstün performanslı yapı malzemesi kullanma arzusu da odun kompozitlere olan talebi artmıştır. Ahşabın rutubete bağlı olarak çalışması ve boyut değişimi dezavantajı kompozit levhalarda kullanılan katkı maddeleri (Parafin, vaks vb.) ile çözülebilmektedir. Masif ahşap hem farklı türler arasında hem de kendi bünyesi içerisindeki anizotropik yapısı dolayısıyla; yoğunluk ve fiziko-mekanik performans değişikliği gösterir. Kompozitlerin mukavemet özellikleri ise masif ahşap malzemeye göre daha düşük olsa bile daha homojen ve stabildir. Dengeli bir yük taşıma kapasitesine sahip olması da kompozitlerin masif ahşaba kıyasla düşük olan mukavemet farkını telafi edebilir [15].

Odun esaslı kompozitlerin diğer bir önemli avantajı özelliklerinin tasarlanabilir olmasıdır. 225 mm'den daha geniş ve 100 mm'den daha kalın kereste üretimi zordur. Tipik panellerin boyutları pazardan pazara değişir, ancak genellikle 2–2,5 m uzunluğunda ve 1-1,5 m genişliğindedir. İstenildiğinde büyük boyutlarda da üretimleri yapılabilmektedir [15].

Odun esaslı kompozitlerin termal iletkenliği düşük, ses emilimi yüksek, yangın direnci iyi, nem ve su iticiliği yüksek, pürüzsüz ve yüzeyleri sert olup, gereklilik halinde daha iyileştirilebilir [16,17]. Bakteri, mantar ve böcekler, özellikle rutubetli ahşabı kolayca çürütmektedir. Özel üretilen kompozitler böcek ve mantar tahribatına karşı dirençlidir. Özellikle odun-çimento kompozitleri böcek ve termitlere karşı çok dayanıklıdır [18, 19].

Ancak odun esaslı kompozitlerin bazı dezavantajlarında vardır. Kereste üretimi ile kıyaslandığında proseste enerji gereksinimleri fazladır. Kullanılan tutkallara bağlı olarak formaldehit emisyonu meydana gelebilir [20]. Ancak bu dezavantajlar avantajları yanında elimine edilebilir. Formaldehit emisyonu ise tutkalın formülasyonu ile dengelenebilir. Ayrıca üre formaldehit tutkalı dışındaki sentetik reçineler daha az risk taşımaktadır.

Kompozit üretiminde en fazla üre formaldehit ve melamin üre formaldehit kullanılmaktadır, ancak formaldehit içermeyen biyobazlı reçineler de araştırılmaktadır. Bunların formaldehit içermemesi ve sürdürülebilirliği iki önemli avantajıdır [21]. Odun esaslı kompozitlerin özelliklerini değiştirmek ve maliyetlerini düşürmek için çalışmalar hız kazanmıştır. Örneğin; üre formaldehit tutkalı ucuz kil ve sepiyolit gibi minerallerle modifiye edilebilir. Yapılan bir çalışmada; kontrplak üretiminde üre formaldehit tutkalını modifiye etmek için sepiyolit (SEP) kullanılarak performans ve termal özellikleri test edilmiş ve yaş çekme makaslama mukavemetini %31,4 oranında arttırdığı belirlenmiştir. SEP'in tünel yapısı formaldehitin preste serbest bırakılmasında faydalı olmuş ve pres sonrası formaldehit emisyonunu %43 oranında azalmıştır [22].

Selüloz nanofibrillerin (SNF) yongalevha üretiminde kullanımında kurutmanın; SNF ve odun yongaları arasındaki bağlanma ve yapışma kalitesini etkilediği belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü taramalı elektron mikroskopu, odun-SNF bağlanma mukavemeti ise makaslama testi ile ölçülmüştür. Düşük yoğunluklu levhada SNF kullanımının gerekli direnç özelliklerini karşıladığı, orta yoğunluklu levhalarda ise çekme direnci gereksinimleri karşılanırken, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin standartlardan daha düşük olduğu belirlenmiştir [23].

Widyorini vd. [24] farklı türdeki bambu yongalarından üretilen levhalarda sitrik asit ilavesinin etkisini araştırmış, sitrik asidin mekanik özellik ve boyutsal kararlılığı arttırdığını, bambu türünün ise özelliklere etki etmediğini belirlemişlerdir.

1.2.1. Yongalevha Tanımı ve Tarihçesi

Yongalevhalar odun veya diğler lignoselülozik lifli materyalin (odun yongası, testere talaşı, keten lifi vb) bir tutkal ilavesi veya tutkal ilavesi olmaksızın (hidrolik bağlayıcıların meydana getirdiğı yapışma ile) şekillendirilmesi sonucu oluşan kompozitler olup, üretim maliyeti liflevhalara (MDF) göre daha düşüktür [17].

Yonga ve lif levha ve kontrplak gibi ahşap esaslı levhaların üretiminde çeşitli avantaj ve mükemmel performansa sahip olduğu için üre, melamin ve melamin-üre formaldehit gibi formaldehit esaslı tutkallar kullanılır. Özellikle üre formaldehitin stabilitesi düşüktür ve üretim esnası ve sonrasında çevre ve sağlık açısından problem olan formaldehit emisyonuna neden olmakta ve bu emisyon yıllarca sürebilmektedir [25, 26].

Formaldehit emisyonu; resmi ve bilimsel raporlarda ele alınmış ve odun kompozit üreticileri yeni düzenlemelere giderek formaldehit oranını sınırlandırma çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Günümüzde üre ve melamin formaldehitin tutkalları iç ortam kirleticileri arasına alınmıştır. İç ortam kirleticileri; odun kompozitleri, mobilyalar, yalıtım malzemeleri gibi ürünlerinden ortama yayılmaktadır. Formaldehit; göz, burun ve boğaz tahrişleri, öksürük, bitkinlik ve alerjik hastalıklara bazen kanser oluşumuna da yol açabilir [27].

1.2.2. Yongalevha Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

1.2.2.1. Odun

Yongalevha üretiminde kullanılacak hammaddenin ucuz ve sürdürülebilir üretim için yeterli miktarlarda bulunması gerekir [28]. En kaliteli yonga yuvarlak odundan elde edilir. Zira bu durumda yonga boyutları, şekli ve yüzey kalitesi kontrol edilebilir. Hammadde olarak başlangıçta lif ve yongalık tomruklar kullanılırken, günümüzde her türlü hammadde (orman ve fabrika atıkları, geri dönüşümlü ahşap ve yıllık bitkiler vb.) değerlendirilmektedir [29]. Ancak, odunun çürüklük ve fazla kabuk içermemesi arzu edilir. Budak, çatlak, lif kıvrıklığı gibi kusurlar bulunabilir. Odunun yoğunluğu, asiditesi (pH), içerdiği ekstraktif madde ve rutubeti kalite üzerinde önemli rol oynar. Başlangıçta iğne yapraklı ağaç odunları (ladin, çam, göknar ve sıtka ladini) tercih edilirken, zamanla ekonomik olmaları ve kolay temin edilmelerinden dolayı kayın, huş, kavak, kızılğaç ve söğüt gibi yapraklı türlerde kullanılmaya başlanılmıştır. İğne yapraklı ağaçlardan üretilen yongalar düzgün, ince ve uzun

liflere sahip oldukları için yapraklı türlerden daha yüksek direnç değerleri verir. İçerdikleri ekstraktif maddeler su alma (SA) ve kalınlık artımı (KA) oranı ve tutkal kullanımını azaltarak, üretim maliyetini düşürür [30].

Günümüzde sektörün büyümesinde odun atıklarının kullanılması önemli bir rol oynar. Bu amaçla orman kesim kalıntıları, ağaç tepe ve dalları kullanılabilir. Fakat yüksek miktarda kabuk ve ibre içerdiği için önce eleme yapılmalı ardından yongalama işlemi uygulanmalıdır. Kereste fabrikası atıkları daha uygundur. Büyük parçalı atıklar yongalama işleminden sonra kullanılabilir. Daha küçük atıklar ve talaşlar ise yongalamada enerji tasarrufu sağlar ve tomruklara oranla daha düşük rutubet içerikleri için kurutma enerjisi ihtiyacı azalır. İnce talaşların dış tabakalarda kullanımı tercih edilmektedir. Böylece dış tabakalar daha kapalı, düzgün ve yoğun bir yüzey verdikleri için yüzey işlemlerine daha uygundur. Orta tabakada ise talaş ilavesi arttıkça yüzeye dik çekme direnci artar, ancak fiziksel özellikler olumsuz etkilenir [17, 28].

Üreticiler daha ucuz ve rutubet değerleri daha düşük olduğu için geri kazanılmış ahşap malzemeyi tercih etmektedirler. Ancak bu çevreye duyarlı ve ekonomik gözükse de taş, demir, çelik, plastik, boya, kauçuk ve kumaşlar gibi farklı hammaddeler ile karışmış olması durumunda temizleme problemi yeni bir iş istasyonu gerektirir. Gelişmiş temizleme sistemleri ise yatırım maliyetini artırır. Genel olarak geri dönüşümlü hammadde kullanımı ile elde edilen kar, yatırım masraflarını amorti etmelidir. Gelecek yıllarda geri dönüşümlü odun hammaddelerinin kullanım miktarının artacağı da bir gerektir [28, 29].

1.2.2.2. Yıllık Bitkiler

Günümüzde; çevresel farkındalık, küresel atık sorunu, fosil yakıtların atmosfere etkisi ve petrol fiyatlarındaki artışlar ile yenilenebilir kaynaklara yönelim artmıştır [31]. Ayrıca; ormansızlaşma, aşırı hasat ve kullanım alanlarının çeşitlenmesi gelişmekte olan ülkelerin çoğunda odun kıtlığına yol açmıştır [32] Bu nedenle sektör oduna ikame odun dışı ve tarımsal atık kaynaklarını değerlendirme arayışlarını sürdürmektedir. Bu arayış ile alternatif kaynaklara duyulan ihtiyaca bağlı olarak sektör ve akademik düzeydeki çalışmalar yoğunlaşmıştır [33].

Kalaycıoğlu ve Nemli [34] dokumacılıkta kullanılan kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) saplarının yongalevha üretiminde kullanım imkânlarını araştırmış, pres parametreleri (sıcaklık, basınç ve zaman) ile levha yoğunluğu ve serme oranının etkisini incelemişlerdir.

Pres basıncı hariç tüm parametlerin mekanik ve fiziksel özellikleri etkilediği, kenaf saplarının yongalevha üretimine uygun olduğu tespit edilmiştir.

Zhang ve Hu [35] pirinç sap ve hindistancevizi lifleri kullanarak hibrit levha üretmiş, pirinç sapı ekstraktiflerinin sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile yıkanmasının tutkallanma yeteneğini arttırdığı ve özellikleri iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Hindistan cevizi lif kullanımının eğilme direnci ve boyutsal kararlılık olumsuz yönde etkilediği NaOH ile yıkamanın ise yüzeye dik çekme direncini arttığı tespit edilmiştir.

Khazaeian vd. [36] sorgum sapının (*Sorghum bicolor*) yongalevha üretimine uygunluğunu araştırmıştır. Sorgum sapı lif uzunluğunun iğne yapraklı ağaçlara, lif genişliği ve çeper kalınlığının ise yapraklı ağaçlara yakın olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca sıcak suda çözünürlük değerlerinin arttığı, lignin ve kül içeriğinin ise fazla olduğu görülmüştür. EN 312 [37]'ye uygun, yüzeye dik çekme dirençlerinin standartlardan daha üstün olduğu, su alma ve kalınlık artımı değerlerinde de ise iyileşme meydana geldiği belirlenmiştir.

Kusumah vd [38] %4 rutubete kadar kurutulan tatlı sorgum kütüpe (*Sorghum Bicolor* L. *Monech*) yongalarının üzerine sitrik asiti püskürtüp tekrar kuruttuktan sonra sitrik asit kullanımının levha kalitesine etkisini araştırmışlardır. Sitrik asit püskürtmenin fiziksel özellikleri artırdığı, en yüksek değerlerin %20'lik sitrik asitin kullanımında elde edildiği belirlenmiştir. Kızılötesi Spektroskopisi (IR) sonuçları sitrik asit karboksil gruplarının sorgum kütüpesinin hidroksil grupları ile reaksiyona girdiğini ve fiziksel özellikleri iyileştirdiğini göstermiştir.

Klımek vd. [39] fil çimeninin (*Miscanthus giganteus*) yongalevha üretiminde kullanım imkânlarını araştırmış, ladin odununa göre daha düşük selüloz ve lignin içerdiği, hemiselüloz oranlarının ise aynı olduğunu belirlenmişlerdir. Tutkal olarak Metilen Difenil Diizosiyanat (MDI) kullanılmış ve fil çimeni kullanımı arttıkça mekanik özellikler azalmıştır. Boyutsal özelliklerde ise su alma miktarı azalırken kalınlık artımı oranlarında artış gerçekleşmiştir.

Papadopoulos [40] muz (*Musa acuminata*) yongaları kullanarak tek tabakalı yonga levha üretmiş, düşük kullanım oranlarında mekanik özellik gereksinimleri karşılarken kalınlık artımı ve su alma oranları yüksek çıkmıştır. %14 tutkal ve %1 parafin kullanımı ile kalınlık artımı değerlerinin standartlara uygun sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Papadopoulos vd. [41] asetillendirilmiş ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.), sapları kullandıkları çalışmada levhaların kuru ortam şartları için uygun gereksinimleri karşıladığı belirlenmiştir. Asetillendirme işlemi kalınlık artımı değerlerini azaltmış, yüzeye dik çekme direnci değerlerini ise olumsuz etkilemiştir.

1.2.3.4. Odun Esaslı Kompozitlerde Kullanılan Tutkallar

Tutkal konusundaki gelişmeler levha endüstrisinin günümüz teknolojisine ulaşmasını sağlamıştır. Sentetik tutkal tür ve özelliklerinin geliştirilmesi; üretim hacmini artırmış, yeni kompozitlerin üretimi tetiklemiş ve pres süresinin 150 saniyelere kadar inmesini de sağlamıştır. Bu gelişim hızlı kürleşen, çok bulunabilen ve ucuz tutkal üretimini geliştirmiştir [42]. Günümüzde yongalevha ve liflevha (MDF) gibi levhalar için aminoplastik yapıştırıcılar hala en önemli tutkallar (üre ve melamin ve melamin-üre formaldehit) olup ısı etkisiyle bir kez sertleştikten sonra tekrar sıvılaşmayan polimerlerdir [43].

Üre formaldehit tutkalları iç mekân kullanımları için uygundur. İçeriğine az miktarda melamin (siyanamid trimerinin) dâhil edilmesi, hidrolize karşı daha düşük duyarlılığa sahip (az rutubet alma ve dış hava koşullarına dayanıklı) levha üretimini sağlar. Aminoplastik tutkallar modifiye edilerek farklı gereksinimleri karşılamak (rutubet almayı önleme, yangın ve çürümelere karşı direnç kazandırma vb.) mümkün olmuş ve üretimler artmıştır [44, 45].

Avrupa'da formaldehit emisyonu ile ilgili son otuz yıldaki düzenlemeler; düşük serbest formaldehit içeriğine sahip aminoplastik tutkal üretimini zorunlu hale getirmiştir. Doğal ahşap kadar düşük formaldehit emisyonlu levhalar ancak melamin üre formaldehit ile üretilebilir. Az miktarda fenol (%3-8) veya hidrosimetilfenol içeren melamin-üre-fenol formaldehit ve polimerik metilen di-izosiyanat (PMDI) tutkalları da kullanılabilir (%2-3) [44-46]. OSB endüstrisi ise daha çok PMDI birincil tutkal olarak kullanır.

Odun kompozit endüstrisinde biyobazlı tutkallar henüz kullanılmamaktadır. Tanen tutkalları pazarda çok az bulunur. Soya bazlı tutkallar ve kullanımı üzerine çalışmalar daha çok Kuzey Amerika ve Çin'de az miktarda da Avrupa'da yeniden yoğunlaşmıştır [21].

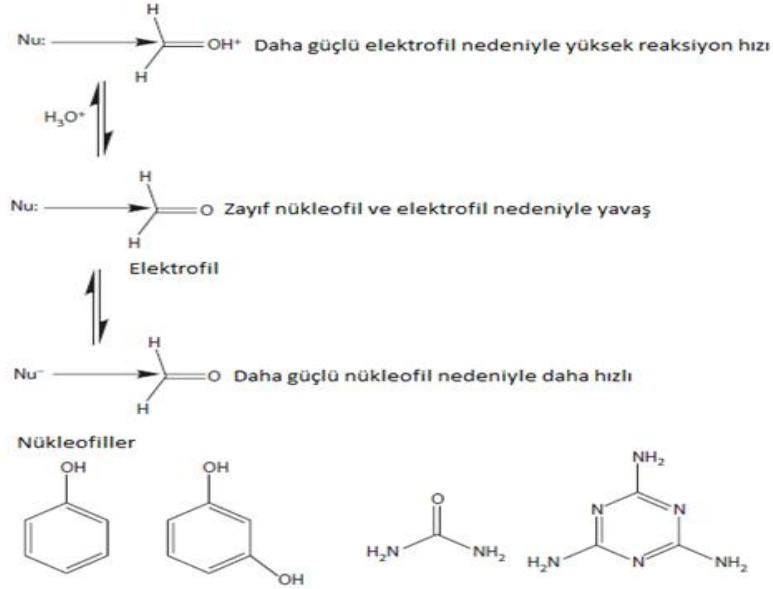
ABD'de soya proteini-Kymene adlı soya tutkalı, yongalevhada ve iç mekân kontrplak ve ahşap döşemeleri için yaygın olarak kullanılmaktadır Amerika'da kontrplak, yongalevha, MDF ve ahşap döşemeler için kullanılmaktadır [47]. İki büyük Avrupalı grup "katkısız formaldehit" (NAF) DuraBind adlı biyo-bazlı bir reçine üretmektedir. Avrupa pazarında, iki firma MDF üretiminde çok az miktarda tanen tutkalı kullanmaktadır [48]. Tablo 1'de odun esaslı levha endüstrisinde kullanılan tutkalların fizikokimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir [49].

Tablo 1. Formaldehit esaslı tutkalların genel özellikleri

Özellikler	Tutkal Türleri			
	Üre formaldehit	Melamin üre formaldehit	Fenol formaldehit	Melamin üre fenol formaldehit
Sertleşme sıcaklığı (°C)	100	100	135	100
Sertleşen tutkalın rengi	Açık beyaz	Açık beyaz	Kahverengi	Sarı
Kuru makaslama direnci (MPa)	13	13	12	12
Islak makaslama direnci (MPa)	8	9	10	9
Su Alma direnci	Koşullu dayanıklı	Çok dayanıklı	Çok dayanıklı	Çok dayanıklı
Dış mekân şartlarına dayanım	Dayanaksız	Az dayanıklı	Dayanıklı	Az dayanıklı
Akışkanlık	Az akıcı	Az akıcı	İyi akıcı	Ortalama akıcı
Sertleştirici kullanımı	Evet	Evet	Evet (bazen)	Evet

Yongalevha ve MDF üretimi yapan iki alman şirketi Quebracho ağacı (*Schinopsis sp.*) ve Wattle (*Acacia sp.* - akasya) türlerinden elde edilen tanen bazlı tutkal kullanmaktadır [50].

Şekil 2’de Formaldehitin üre, melamin, fenol ve resorsinol ile reaksiyonu verilmiştir [51]. Bu bileşiklerin tümü formaldehit ile kopolimerize olur. İlk aşama, bir nükleofilin asidik veya bazik koşullar elektrofilik bir formaldehit ile reaksiyonudur.



Şekil 2. Formaldehitin üre, melamin, fenol ve resorsinol ile reaksiyonu

1.2.2.3.1. Üre Formaldehit Tutkalı

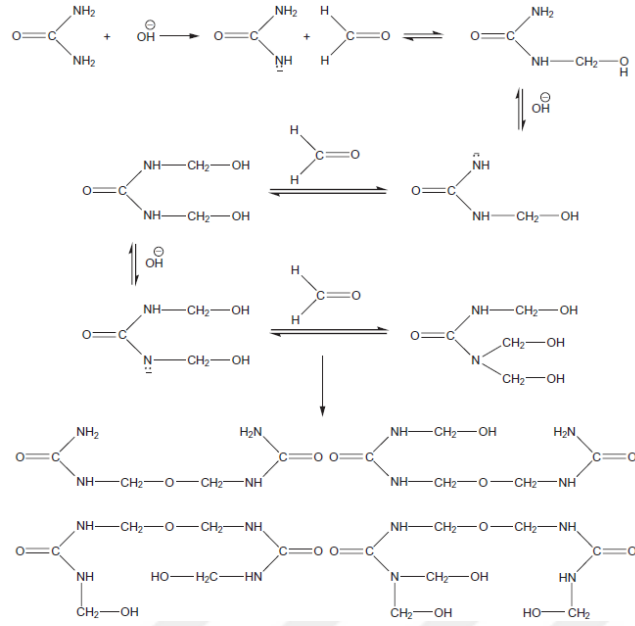
1930'larda geliştirilmiş olup, kompozit endüstrisinde en çok kullanılan tutkal türüdür [52]. Üre formaldehit tutkalının sertliği, yanıcılığının düşük olması, renginin saydam olması, düşük sıcaklıklarda sertleşebilmesi ve termal özelliklerinin iyi olması avantajlarıdır. Ucuz ve bol bulunur. Fakat dış mekânda kullanımının uygun değildir [53].

Üre, 135-200°C sıcaklık ve 70-230 atm basınç altında karbondioksit ve amonyaktan, formaldehit ise karbondioksitin hidrojen ile reaksiyonundan veya metanolün oksidasyonu ile üretilir. Üre ve formaldehitin kondensasyonu; kürlenmiş reçinede üç boyutlu matris ile doğrusal ve dallı polimerleri de verir. Üre dört değiştirilebilir hidrojen atomu ile dört fonksiyonel gruba, formaldehit ise iki fonksiyonel gruba sahiptir. Reaksiyon ürünlerinin özelliklerini; molarite, reaktörler, reaksiyon sıcaklığı ve kondensasyonun pH değeri etkiler ve reçinenin moleküler ağırlığını artırır. Reaksiyon ürünleri, reaksiyonu etkileyen faktörlerin değişikliklerine göre oluşur. Çözünürlük, viskozite, su tutma ve sertleşme oranı moleküler ağırlığa göre değişir [54, 55]. Şekil 3'te üre ve formaldehitin moleküler yapısı verilmiştir [55].

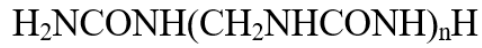


Şekil 3. Üre ve formaldehitin moleküler yapısı

Üre ve formaldehitin reaksiyonu iki aşamaya ayrılmaktadır. İlk aşamada alkali kondensasyon ile mono-, di- ve tri-metilolüreler (şekil 4), ikinci ise aşamada metilolürelerin asidik kondensasyon ile Metilol üre birbirine etki ederek metilen veya metilen-eter köprüleri oluşur (Şekil 5) [54,55]. Şekil 4 ve şekil 5'te üre ve formaldehitin alkali kondensasyonu ile düşük moleküler ağırlıklı metilenürenin yapısı verilmiştir [55].

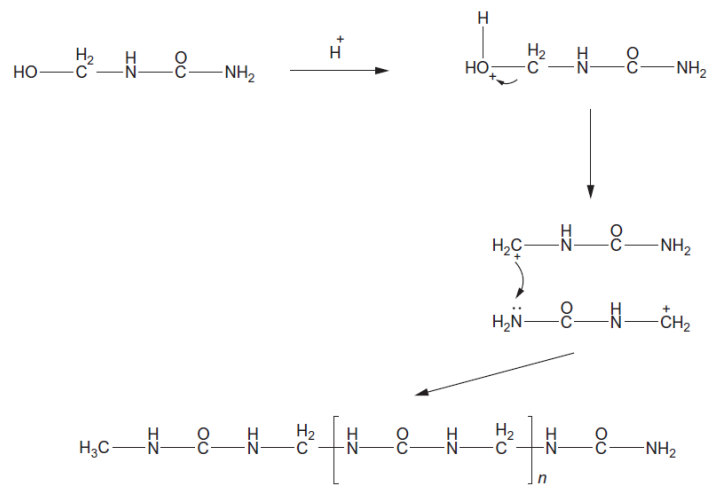


Şekil 4. Üre ve formaldehitin alkali kondenzasyonu



Şekil 5. Düşük moleküler ağırlıklı metilenüre

Monometilölüre asit katalizör ile kopolimerleşir ve polimerler ardından oldukça dallı ve sertleştirilmiş bağlar üretir (Şekil 6) [54, 55].



Şekil 6. Monometilölürelere kopolimerizasyonu

Reaksiyon hızı, çözeltinin pH'ına göre değişir. 1:1 üre/formaldehit oranı için pH 5–8 ve 1:2 molar oran için ± 6.5 pH değeri ile minimum reaksiyon hızına ulaşılır (Şekil 9). Üre'nin monometilenüre ile yoğunlaşmasıyla metilenebisurea moleküllerinin oluşma hızı pH'ya bağlı olup, reaksiyon hızı, pH 2-3'ten nötre düşer [54].

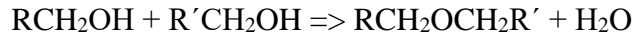
Üre formaldehit asit katalizör (sitrik veya formik asit gibi) ilavesiyle oda sıcaklığında sertleşebilir ancak, levha üretiminde reaksiyon hızı ve kalitesini artırmak için sıcaklık ve sertleştiriciler kullanılır. Tutkal sertleştikçe, önce viskozite artar ve sonunda tam çapraz bağlanma gerçekleşene kadar jelleşme ardından sertleşme tamamlanır [17, 55].

1.2.2.3.2. Melamin Formaldehit Tutkalı

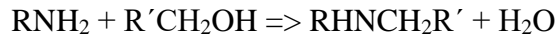
Melamin formaldehit tutkalı iyi bir su direncine sahip olup açık renklidir. En çok dış ve nemli ortamlarda kullanılacak kompozitlerde ve laminatları oluşturan kâğıt tabakaların emprenye edilmesinde kullanılır. Maliyetinin yüksek olması kullanımını sınırlar. Bu nedenle su alma direncini sağlayan ve daha düşük maliyetle üretilebilen melamin üre formaldehit tutkalları üretilmiş olup, dış mekânlarda da kullanılabilir [44].

Melamin formaldehit kürlenmesinde ilk adım formaldehitin melamine eklenmesidir (Şekil 7). Melaminin formaldehit ile reaksiyonunu en çok pH etkiler. Melamin, her eksosiklik amin grubu üzerinde en fazla iki adet, metilol grubu oluşturmak için ise altı adet formaldehit grubu ile reaksiyona girebilir [51].

- İki hidroksimetil grubunun reaksiyonu ile bimetilen eter oluşumu;

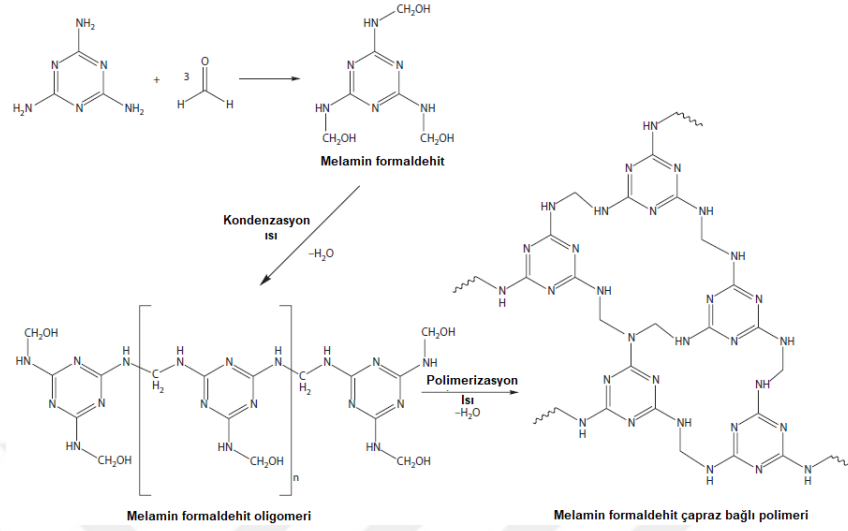


- Hidroksimetil grubunun bir amin grubu ile reaksiyonu sonucu metilen köprüsü oluşumu;



Ticari melamin formaldehit, standart karıştırmalı reaktörlerde ısı polimerizasyonu ile üretilen bir oligomer karışımıdır. Normal uygulamalarda, formaldehitin melamine oranı yaklaşık 1.5-2'dir. Formülasyon, spesifik uygulamaya bağlı olarak değişir. Melamin formaldehit tutkalının pH'ı 9.9-10.3, katı madde miktarı ise %53-55 oranındadır. Reçinenin

stabilizasyon ve polimerizasyonu yavaşlatmak için reaksiyonun sonunda pH yükseltilir [56]. Şekil 7’de melamin ile formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu verilmiştir [57].



Şekil 7. Melamin ve formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu

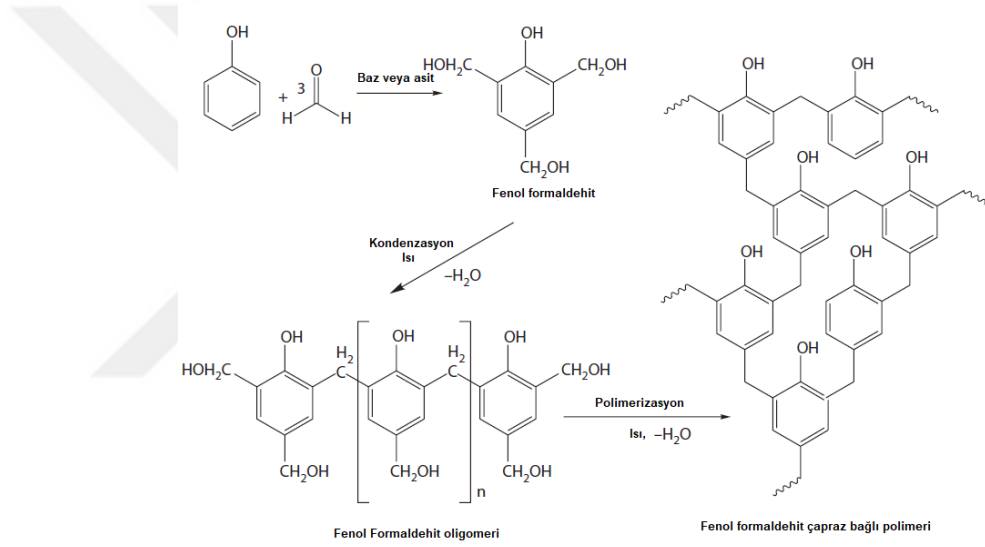
Son üründe iyi bir polimerizasyon sağlamak için melamin formaldehit tutkalının aktive edilmesi gerekir. Bu genellikle pH'ı düşürerek ve sıcaklığı yükselterek gerçekleşir. Melamin formaldehite eklenen katalizörler, ısıtıldığında asidi serbest bırakan asitler veya asit öncüleridir. Sıklıkla, amonyum klorür veya sülfat gibi bir sertleştirici kullanılır.

1.2.2.3.3. Fenol Formaldehit Tutkalı

Fenol formaldehit 20. yüzyılın başında geliştirilen en eski sentetik polimerlerdendir. Mukavemeti yüksek ve stabilitesi mükemmeldir. Hem laminasyonda hem de kompozitlerde yaygın olarak kullanılır. Yapışma direnci oldukça yüksektir. Ancak presleme zamanı yetersiz olursa yongalar arasındaki bağlanma yeterli olamaz. Ayrıca pahalı bir tutkaldır. [58].

Sertleştirme reaksiyonunda daha fazla polimerizasyona uğrayan bir oligomer üretmek için fenol formaldehit veya bir formaldehit öncüsü ile reaksiyona sokulur. Formaldehit/fenol (F/F) oranı 1'den düşük olan ve genellikle asidik koşullar altında *novolak* ve F/F oranları 1'den büyük olan bazik reaksiyonda *resol* reçineleri olarak iki temel oligomer türü bulunur. Ahşap yapıştırıcılar için resol tipi reçine kullanılır [58-60].

Novolak reçineleri 1-4 pH'da 0.5-0.8 tipik formaldehit-fenol oranları ile asidik koşullarda üretilir. Novolak oligomerleri, suda çözünürlükleri ve pH'larının düşük olması nedeniyle genellikle ahşap sektöründe kullanılmaz [44]. Rezol reçineleri genellikle formaldehit / fenol oranı 1.0-3.0 olan alkali hidroksitler kullanılarak 7-13 pH'da üretilir. Fenol formaldehit için sertleştirici olarak genellikle para formaldehit kullanılır ve 110-120°C'de hemen preslenir. Her türlü açık hava koşullarına karşı dayanıklıdır. Asit, yağ, organik çözücülerden etkilenmez. Rengi koyudur ve levha yüzeyinin lekelenmesine neden olabilir. Şekil 8'de Fenol ile formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu verilmiştir [51].



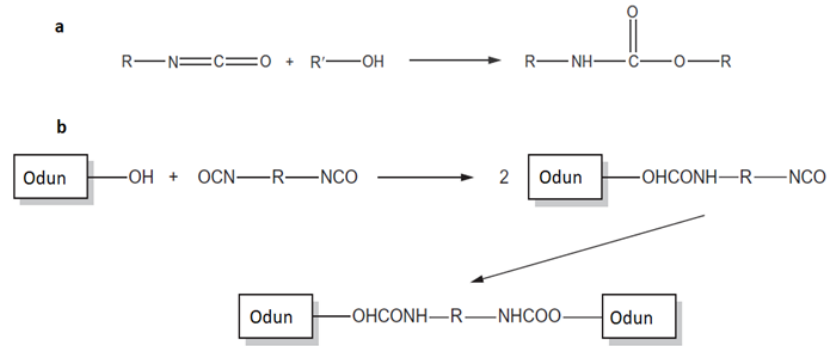
Şekil 8. Fenol ve formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu

1.2.2.3.4. İzosiyanat Tutkalları

İzosiyanatlar; amin ve alkol gibi reaktif hidrojen grupları nedeniyle reaktiflerdir. Kendi kendine polimerleşebilme veya birçok monomerle reaksiyona girebilme özelliği ile kullanım yerlerinde büyük esneklik sağlar. Çoğunlukla sıvı dioller ile reaksiyona girerek poliüretan üretmek için kullanılır. Yüksek reaktivitesi hem avantaj hem de dezavantajdır. Avantajı polimerizasyonun hızlı ilerlemesi ve genellikle yüksek dönüşüme ulaşmasıdır. Dezavantajı ise odundaki su ile çok hızlı reaksiyona girerek selüloz ve hemiselüloz fraksiyonlarındaki hidroksil grupları ve lignindeki fenol ve hidroksil grupları arasındaki tepkimelerin gerçekleşmesini engelleyebilir. Ayrıca, insan vücudunda bulunan birçok

bileşik ile hızla reaksiyona girebilir. Bu reaksiyonlar fizyolojik koşullar altında hızlıdır ve geri döndürülemez. Bu ise izosiyanatlarla çalışmada iş güvenliğinin önemli olduğu anlamına gelir. Sorun, düşük moleküler ağırlıklı ve uçucu izosiyanatların imalat aşamasında ortaya çıkmasıdır. Bu ürünler ile bir kez reaksiyona girdikten sonra, ortaya çıkan üre ve üretanlar oldukça güvenlidir. Bunun bir istisnası, yanma ısısının serbest izosiyanat gruplarının oluşmasına neden olmasıdır. Ahşap yapıştırıcıda kullanılan izosiyanatlar, diğer izosiyanatlar kadar tehlikeli değildir. Çünkü bunlar genellikle daha yüksek moleküler ağırlıktadır. Bu nedenle uçuculuk ve serbest izosiyanat gruplarının sayısı azalır [51, 61]. En yaygın ahşap izosiyanat tutkalı kendi kendine sertleşen difenilmetan diizosiyanattır. Sertleşmek için ahşabın içindeki su ile reaksiyona girer. PMDI esas olarak yönlendirilmiş yongalevha üretiminde kullanılmaktadır. Bu tutkalların maliyeti daha yüksek olmasına rağmen, hızlı sertleşmesi ve daha düşük uygulama oranlarında kullanılabilmesi nedeniyle tercih edilir [61].

Maliyetlerinin yüksek olmasına ek olarak PMDI; ahşap malzeme ile mükemmel uyum göstermesine rağmen metal yüzeylere yapışma ve korozyon yapma özellikleri vardır. Bu sebeple odun esaslı levha sektöründe özellikle yüzey tabakalarında kullanılmaya ihtimali çok düşüktür. Diğer yandan formaldehit salınımı yapmamaktadır [48]. Şekil 9'da MDI tutkalları ile odun hidroksil grupları arasındaki bağlar ve MDI-odun arasındaki kimyasal reaksiyon verilmiştir [55].



Şekil 9. MDI tutkalları ile odun hidroksil grupları arasındaki bağlanma (a) ve MDI-odun arasındaki kimyasal reaksiyon (b)

1.2.2.3.5. Biyo Bazlı Ahşap Tutkalları

Hayatın başlangıcından beri insanlar bir şeyleri yapıştırma ihtiyacı duymuştur. İlk olarak Çinli ve Mısırlılar papirüs laminasyonu, dekoratif ahşap kaplama, mobilya ve müzik aleti montajını yapmışlar ancak yapıştırıcı malzeme seçenekleri oldukça sınırlı olmuştur. Ahşabı daha verimli kullanma arzusu 19. ve 20. yüzyıllarda tutkalların gelişimi için bir itici güç olmuştur. Biyobazlı yapıştırıcılarla elde edilen bazı başarılarla rağmen; ekonomik sebepler, su direnci ve kullanım kolaylığı nedeniyle 1930'lardan itibaren sentetik yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Sentetik yapıştırıcıların iyileştirilebilir olması, mevcut pazar ve yeni ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlaması ahşap kompozitleri endüstrisindeki uygulamaların gelişimini sağlamıştır.

20. yüzyıl ahşap yapıştırıcılarının kimya ve ürün performans bilgisinin daha fazla anlaşılmasına tanık olmuştur. Geçtiğimiz otuz yıl içerisinde; çevresel kaygılar, insan sağlığı riskleri, geri dönüşüm hedefleri ve sürdürülebilirlik kaygıları biyobazlı yapıştırıcılarla ilgili araştırmalarının yeniden canlanmasına yol açmış, tarım ve orman ürünleri ile üretilen tutkallar özellikle çok ilgi görmüştür [51, 62].

Tanenler, birçok bitki türünün yapısında bulunan polihidroksipolifenoliklerdir. Ancak yalnızca birkaç tür onları izole etmeye degecek kadar yüksek bir konsantrasyona sahiptir. Tanenlerin ticari arzı birkaç ülke ile sınırlıdır. Tanenler, fenolden daha reaktif oldukları için kullanılır, aynı zamanda fenolden daha pahalıdır. Sentetik yapıştırıcılara kıyasla tanenlerin yüksek viskozitesi, sınırlı bulunabilirliği, kaynak problemleri ve reaktiviteleri kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Tanenlerin bileşimi yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmekte, bu tutkalların endüstriyel olarak sürekli kullanılması zorlaştırmaktadır [51].

Ligninler aromatik bileşikler olup dünya üzerindeki miktarları fazladır ve maliyetleri düşüktür. Formaldehit ile reaksiyonları çok daha yavaştır. Yumuşak ağaçlarda odunsu maddenin %24–33'ünü, sert ağaçlarda ise %16–24'ünü oluşturmaktadır. Doğal lignin karmaşık bir polimerdir ve polimerik yapının selülozik yapılardan ayrılmasına izin vermek için kısmen parçalanması gerekir. Yalnızca birkaç fenolik halkası vardır ve polihidroksi fenil halkaları yoktur. Bu formaldehit ile düşük reaktiviteye yol açmaktadır [43].

Ahşap yapıştırıcılarda bitkisel protein kaynakları arasında soya [63], buğday [64], yer fıstığı [65], kanola (veya kolza tohumu) [66], pamuk tohumu [67] gösterilebilir. Hayvansal bazlı yapıştırıcılar ise epitel, bağ, kas ve sinir dokuları olmak üzere dört tür dokudan gelmektedir [68].

Qi vd. [69] soya proteininin alt birim karakterizasyonunu ve ahşap yapıştırıcısı olarak yapışma özelliklerini incelemiş, glisinin yapışma gücüne ana katkı sağladığını belirlemişlerdir. Zhang ve Hua [70] çam, ceviz ve kiraz yongaları ile modifiye edilmemiş ve 1M üre ile modifiye edilmiş 11S proteinlerinin yapışma mukavemetinin 7S protein muadillerine göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Nordqvist vd. [71] buğday proteinini (glüten) iki alt sınıfa ayırmış (sulu etanol (%70)-çözünür gliadinler ve çözünmeyen gluteninlerin yapıştırıcı olarak performanslarını test etmiş ve glutenin fraksiyonunun yapışma özelliklerinin tam gluteninkilere benzer, gliadin fraksiyonunun özelliklerinin ise suya dayanımının glutenden daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Odun ve diğer lignoselülozik atıkların sınıflandırılıp tutkal olarak değerlendirildiği çalışmalarda biyoküteller farklı tip (fenol formaldehit, poliüretan, epoksi vb.) yapıştırıcı ile karıştırılarak test edilmiştir. Sınıflandırılmış biyokütle atıklarının odun kompoziti üretiminde sentetik tutkallara ikame olabileceği, maliyet ve formaldehit emisyonunu azaltılabileceği belirlenmiştir [72].

Biyo esaslı tutkallarda dayanım önemli kriterlerdir. D'Amico vd. [73] buğday unu ile üretilen tutkalların yaşlanma ve mekanik özellikler üzerine etkisini incelemiş, 12 aylık sürede tutkalın bağlanma özelliklerinde önemli bir azalma gözlenmezken daha sonra bağ dirençlerinin azaldığını tespit etmiştir. Bu bozunmanın protein değil nişasta kaynaklı olduğunu görmüşlerdir.

1.3. Nanoteknoloji

1.3.1. Nanoteknolojinin Tanımı ve Kullanım Alanları

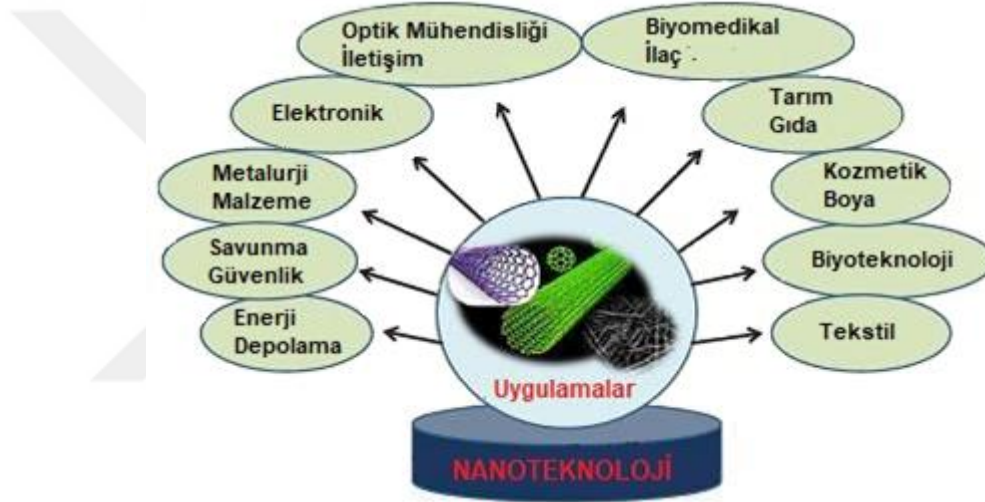
Nanoteknoloji genel olarak; 1-100 nanometre (nm) boyutlarındaki maddenin atomik ve moleküler yönlendirilmesi ve yeniden yapılandırılmasıyla farklı özellikli ve beceriler kazandırılmasıdır. Amaç, temelde farklı özellik ve işlevlere sahip malzeme, cihaz ve sistemler yaratmaktır [74].

Nanoteknoloji, nanometre cinsinden ölçülen en az bir karakteristik boyuta sahip işlevsel yapıların tasarımı, yapımı ve kullanımını kapsamak için kullanılan terimdir [75].

Nanoteknoloji çalışmasının en önemli nedenlerinden biri, nano ölçekte bir malzeme ve sistemin temel fiziksel ve kimyasal özelliklerinin (örneğin; erime sıcaklığı, termal

iletkenlik, şarj kapasitesi, elektronik iletkenlik, gerilme mukavemeti ve renk) istenilen şekilde tasarlanabilmesi ve çok farklı alanlarda kullanılabilmesidir [76].

Nanopartiküller metal, seramik, polimerik veya kompozit sistemlerin işlevselliğinde iyileştirme sağlayarak nano boyutlu malzeme yanında nanoteknolojinin de temelini oluşturmakta olup, günlük hayattaki birçok ürünün (su geçirmez nanoliflerden yapılan kayak malzemeleri, kil bazlı polimer nanokompozitler kullanılarak üretilen tenis topları vb.) geliştirilmesinde kullanılmaktadır [78]. Şekil 10'da nanoteknolojinin kullanım alanları verilmiştir [79].



Şekil 10. Nanoteknolojinin kullanım alanları

Nanopartiküller yüzey alanı genişliği ve kuantum etkileri özelliği ile diğer malzemelerden ayrılır. 30 nm'lik bir parçacık için yüzeydeki atom oranı %5 iken, 10 nm'lik boyut için oran %20'ye kadar çıkar. Bu nedenle nanopartiküller büyük partiküllere göre daha yüksek yüzey/hacim oranına sahiptir. Bu özellik nanopartikülleri; reaktivite, direnç, sertlik ve elektriksel özellikler açısından daha hassas hale getirmektedir [78].

Nanopartiküller kaplama, yüzeyler ve fonksiyonel yapılar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kendi kendini temizleyen yüzey ve camlar en iyi örnektir. Yüksek aktivasyonlu titanyum dioksit kullanılarak kaplanan malzemeler su tutmaz ve anti bakteriyel özelliklere sahiptir. Dokunmaya duyarlı ve oda sıcaklığında kendi kendine toparlanabilen nikel nanopartiküller ile üretilen sentetik polimer kompozitler başka bir örnektir. Bu sentetik

polimer kesildikten sonra parçalar birbirine hafifçe yaklaştırıldığında 30 dakika içinde eski haline dönebilir. Bu gelişmeler özellikle kendini onarabilen akıllı protezlerin gelişmesinde önemli bir aşama sağlamıştır [80]. Başka bir çalışmada virüs, bakteri ve mantarlara karşı etkili olan iyonik nano gümüş içerikli bir çözelti geliştirmiş olup, bu çözelti yüzeyde bir film tabakası oluşturmakta ve zararlı organizmaların tutunmasını engellemekte olup, daha uzun kullanım süresine sahip ve %99 oranında koruyucu cerrahi maskelerin üretiminde kullanılabilir [81].

Ahşap ve ahşap kompozitler biyolojik bozucu ajanlara karşı duyarlıdır (mantar, böcek ve termit). Sorunu çözmek için farklı işlem ve malzemeler (ahşap koruyucuları) kullanılabilir. Bunlardan ısı işlemi, ticari olarak en gelişmiş olup [82], ağaç bileşenlerinin moleküler yapısını mantar enzimlerinin tahribat yapamayacağı şekilde değiştirerek malzemenin dayanıklılığını önemli ölçüde artırır. Moleküler yapının değişmesi; su alma ve kalınlığına şişmenin ana nedeni olan serbest hidroksil (-OH) gruplarının hidrojen ve çapraz bağlanmasını içermekte olup, boyutsal kararlılığı önemli ölçüde artırır. Fakat ısı iletkenlik katsayısının da azalmasına sebep olur ve ahşabın yüzeyde ve iç kısmında eşit şekilde ısı işleme tabi tutulmasını engeller [83, 84].

Gümüş ve bakırın yüksek ısı iletkenlik katsayılarının, ısıyı yüzey katmanından daha derin kısımlara hızla aktararak ısı işlem yönteminde ahşap modifikasyon sürecini iyileştirdiği bildirilmiştir. Nanogümüş ve nanobakır'ın yüzey katmanında ısı birikimini ve aşırı ısınmayı engellediği ve termal bozunma nedeniyle oluşan mekanik özelliklerin azalmasını önemli ölçüde engellediği belirtilmiştir [85].

Bazı minerallerin nano boyuttaki formları fungusit özelliği göstererek odun ve odun esaslı kompozitlerin biyolojik dayanıklılığını artırabilmektedir. Örneğin vollastonit nano liflerinin kavak odununda dayanıklılığı önemli ölçüde artırdığını gözlenmiştir [86]. Nano gümüş, nano bakır ve nano çinko çözeltilerinin de odunun beyaz çürüklük mantarına karşı dayanıklılığını arttırdığı belirlenmiştir [87]. Nano gümüş ve nano vollastonitin yanma direncini arttırdığı ve nano vollastonitin odun ve odun kompozitlerde yanmasını engelleyici bariyer oluşturduğu belirlenmiştir [88, 89].

Ahşap kompozitlerin üretiminde presleme süresi; kalınlık, pres sıcaklığı, kapanma hızı ve taslak rutubet dağılımına göre değişen ısı transferine bağlıdır. Metal veya mineral esaslı nano malzemeler yüksek ısı iletkenlik katsayılarına sahip olup, presleme süresini azalttığı ve yonga levhanın mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir [88, 90].

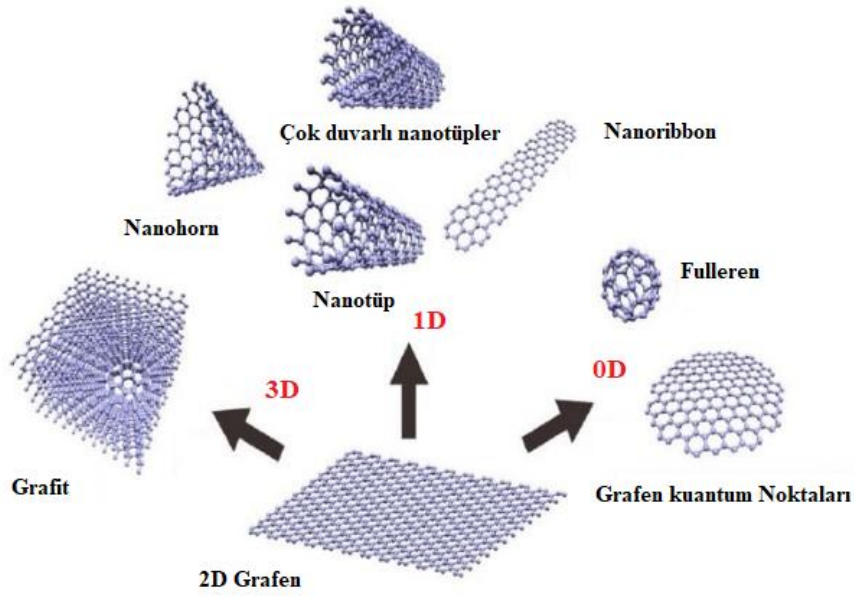
1.3.2. Nano Malzemeler

1.3.2.1. Karbon ve Grafen Esaslı Nano Malzemeler

Karbon nanotüpler ve grafen gibi karbon bazlı malzemeler; yüksek elastisite modülü, mekanik mukavemet, yüksek ışık geçirgenliği ve mükemmel elektrik iletkenliğine sahiptir [91]. Grafen, altıgen bir kafeste kovalent olarak bağlanmış sp^2 hibritlenmiş karbon atomlarının iki boyutlu bir tek tabakası olup, 1D karbon nanotüp ve 3D grafit dâhil olmak üzere diğer tüm boyutlardaki karbon malzemeler için temel bir yapı taşıdır (şekil 11) [92]. Grafen ilk olarak Novoselov vd. [93] tarafından izole edilmiştir. Mekanik olarak pul pul dökülmüş grafen tabaka saf ve hatasızdır, ancak verimi çok düşüktür. Uygulaması saf grafenin elektriksel, mekanik ve optik özelliklerini incelemek için yapılan araştırmalarla sınırlıdır. Grafen oksit (GO), indirgenmiş grafen oksit (rGO) ve termal olarak indirgenmiş grafen oksit gibi türevleri de dâhil grafeni büyük ölçekte sentezlemek için çok sayıda çalışma yapılmıştır [94, 95]. Grafen; levhaların elektrik, mekanik ve optik özelliklerini iyileştirerek elektronik, optoelektronik ve havacılık sektöründe kullanım için çekici malzeme haline getirmiştir [96]. Grafen, doğal grafitin temel bir yapı taşı olduğundan aslında bol bir malzemedir.

Melezlenmemiş p-orbitalleri, kafese dik olarak yönlendirilir, birlikte etkileşir ve böylece kafese aromatik karakterini veren bir π bağı oluşturur [97]. Mekanik özellikler açısından çok dirençli, aşırı zorlamaları dayanıklı ve yüksek esnekliğe sahip en güçlü malzemelerden biridir. Bu direnç, sp^2 -hibritlenmiş karbon atomları arasındaki yüksek C = C bağlarından kaynaklanır. Grafenin termal iletkenliği grafitik karbon veya elmasa göre çok daha yüksek olup $6000 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ 'dir [98, 99].

Optik özellikleri ise basitçe gözlemlenebilir. Genel olarak, çok katmanlı grafen (grafit) griden siyaha opalesan bir renge sahiptir. Organik çözücüler içinde dağıldığı kolayca gözlenebilir. Çözeltinin koyuluğu, çözeltideki grafen miktar ve katmanlarının sayısı ile artar. Saf grafen tabakaları yüksek elektrik iletkenliği gösterir [97, 100].



Şekil 11. Karbon ve grafen esaslı nano malzemeler

Melezlenmemiş p-orbitalleri, kafese dik olarak yönlendirilir, birlikte etkileşir ve böylece kafese aromatik karakterini veren bir π bandı oluşturur [97]. Optik özellikleri ise basitçe gözlemlenebilir. Genel olarak, çok katmanlı grafen (grafit) griden siyaha opalesan bir renge sahiptir. Organik çözücüler içinde dağıldığı kolayca gözlenebilir. Çözeltinin koyuluğu, çözeltideki grafen miktar ve katmanlarının sayısı ile artar. Saf grafen tabakaları yüksek elektrik iletkenliği gösterir [97, 100].

Sheshmani vd [101] GNP ilavesinin odun plastik kompozitlerinin (OPK) fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiş, birleştirme ajanı olarak maleik anhidrit aşılı polipropilen (PP) kullanılmış ve en yüksek çekme ve eğilme direnci değerini %0,8 GNP kullanımda elde etmişlerdir. Darbe dayanımı orta derece artmıştır. Su alma ve kalınlık artımı oranlarında ise GNP kullanımı ile %30 oranında bir azalma olmuştur.

Esmailpour vd. [102] kayın ağacının yangına dayanıklılığının iyileştirilmesi için yaptıkları çalışmada grafeni su bazlı bir boya ile karıştırılıp örneklerin yüzeylerine sürülmüştür. Grafenin tutuşma ve parlama noktası başlama süreleri üzerinde iyileştirici olduğu ve yanma yüzey alanının büyük ölçüde azaldığı gözlenmiştir.

Antik ahşap derzlerinin karbon nano kompozit ilaveli polimerik reçinelerle güçlendirilmesi çalışmasında farklı ağaç türlerinin mekanik performansı incelenmiştir. Önce küçük ahşap numuneler üzerinde, sonra gerçek boyutlu ahşap elemanlarda testler yapılmıştır. Örnekler restorasyon çalışmaları sırasında sökülen ahşap malzemelerden elde

edilmiştir. Sonuç olarak karbon nanotüplerin tarihi ahşap eserlerin restorasyonu için önemli bir malzeme olabileceği belirlenmiştir [103].

Kordkheili vd. [104] tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT) ve odun unundan ürettikleri polimer panellerde fiziksel, mekanik ve morfolojik özelliklerini değerlendirmişlerdir. TDKNT oranının %3' e kadar artmasıyla su alma ve kalınlık artımı değerlerinin azaldığı ve en yüksek darbe dayanımının %2 ve %3 TDKNT içeren levhalardan elde edildiği görülmüştür. SEM görüntülerinde TDKNT'lerin levha içerisindeki boşlukları doldurduğu ve bağlanmayı arttırdığı gözlemlenmiştir.

1.3.2.1.1. Grafen Nanoplatelet (GNP)

Grafen, 21. yüzyılın devrimci malzemesi olarak kabul edilmektedir. Kalınlığı bir atom (0,34 nm) olan tek bir grafit tek tabakadır. Ancak yanal boyutu birkaç büyüklük sırası olabilmektedir. Sentezi karmaşıktır ve henüz seri üretilmemektedir. Bu nedenle GNP, düşük maliyetli ve heyecan verici özelliklere ve büyük ölçekli üretim potansiyeline sahip bir alternatif haline gelmiştir. GNP'ler kalınlığı 0,7 ila 100 nm arasında değişen birkaç grafit tabakasından oluşmaktadır [105].

Başlıca en önemli özellikleri; hafiflik, düzlemsel şekil, yüksek en-boy oranı, iyi mekanik özellikler ve mükemmel termal ve elektrik iletkenliklerine sahip olması, maliyetlinin düşük ve üretiminin kolay olmasıdır. GNP'ler izole edilmiş malzemeler, kaplamalar ve kompozit üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [106].

GNP'ler polimerler, betonlar, metaller gibi farklı matrislere sahip malzemeler içerisinde nano dolgu maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. GNP' nin eklenmesi genellikle mekanik ve tribolojik davranışı geliştirmekte bariyer özelliklerini ve termal iletkenliği arttırmaktadır. Ayrıca alev geciktirici etki göstermektedir [107]. Şekil 12'de grafen ve GNP'lerin özellikleri verilmiştir [108].



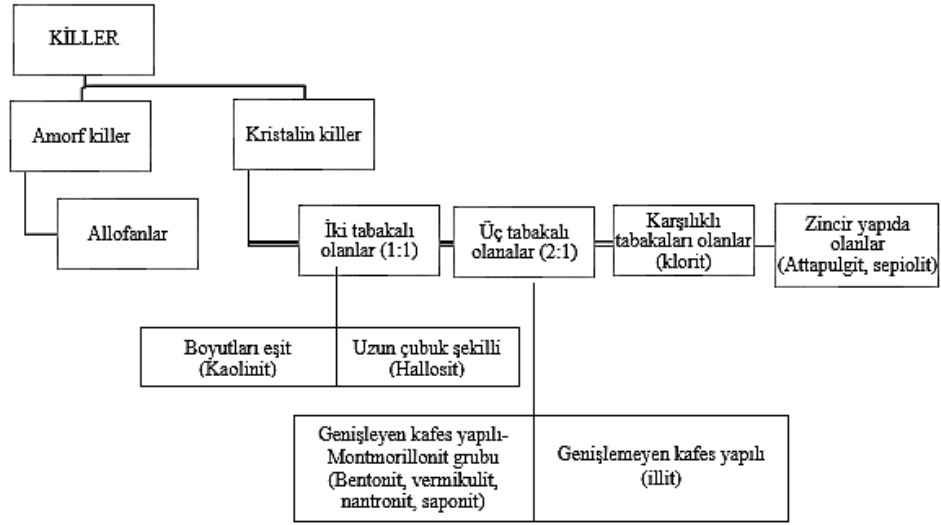
Şekil 12. Grafen ve GNP'lerin özellikleri

1.3.3.2. Kil Esaslı Malzemeler

1.3.3.2.1. Killerin Yapısı ve Nanokil

Kil mineralleri temel olarak sulu silikatlar olarak tanımlanır. Doğal konumlarına göre; kayanın çeşitli yollarla yüzeyde ayrışması sırasında üretilen ve genellikle asıl kaynak yerinde bulunan artık kil ve taşın kimyasal olarak ayrıştırılmasıyla üretilen ve erozyon yoluyla orijinal birikintiden ayrılıp uzak bir yere bırakılabilen taşınan kil veya tortul kil olmak üzere iki türe ayrılabilir. Bu mineraller doğal ince taneli yapı matrisi ile tabaka benzeri geometriye sahiptir. Tabaka yapılı sulu silikatlar filosilikatlar olarak adlandırılmaktadır [109, 110].

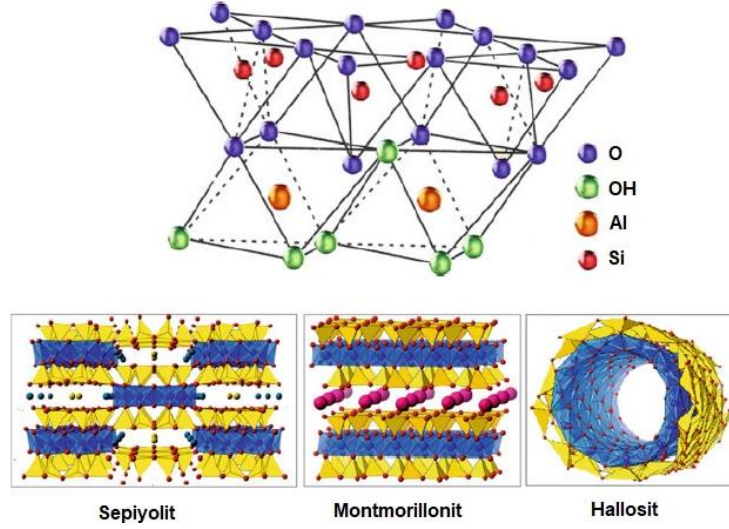
Trombosit şeklindeki silikatlar 300'den fazla en-boy oranına sahip katmanlar halinde bir araya getirilir. Kil mineralleri; genel formülü $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ olan kaolinit (kaolinit, dikit, nakrit) grubu ve genel formülleri $(Ca, Na, H)(Al, Mg, Fe, Zn)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_{2-x}H_2O$ olan montmorillonit veya smektit grubu (montmorillonit, talk, pirofillite, saponit, nontronit) olmak üzere çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Her katman, sekiz yüzlü ve dört yüzlü olmak üzere iki tür yapısal geometriden oluşmaktadır [110]. Şekil 13' de killerin sınıflandırılması verilmiştir [111].



Şekil 13. Killerin sınıflandırılması

Montmorillonit (MMT) endüstride en yaygın kullanılan kil türlerindedir. Kilin boyutu, kilin fiziksel-kimyasal özelliklerinin belirleyici bir faktördür. Montmorillonit durumu, çok küçük bir partikül boyutu (2 nm'den az) ve yüksek bir en-boy oranı (10 ile 1000 arasında) sunmaktadır. Yüksek katyonik değişim kapasitesine (yaklaşık 60 ve 200 meq/100g olup kil çeşitleri içerisinde en yüksek değere sahiptir) ve spesifik yüzey alanına (60 ila 300 m²/g) eklenen bu özellikler, MMT'yi nano katkı olarak iyi bir aday haline getirmektedir [112]. MMT oktahedral alüminyum ve tetrahedral silikon katmanlarından meydana gelen bir filossilikattır. Bu tür kristal kafes, oksijen molekülleri tarafından merkezi bir oktahedral alümina veya magnezya tabakasına bağlanan iki tetrahedral silika tabakasından oluşmaktadır (şekil 16). 2:1 veya T:O:T (Tetrahedric: Octahedric: Tetrahedric) olarak bilinen ve kimyasal formül (Si₂O₅)⁻² ile bu konfigürasyon, filossilikatin ana birimine karşılık gelir ve eşitlerle birleştirildiğinde 1 nm kalınlığında bir katman oluşturur. 30 nm'den birkaç mikrometreye kadar yanal olarak uzatılabilir [113].

MMT, nanokil üretiminde kullanılan temel hammaddedir. Nanokil parçacıkları ve polimer matrisi arasındaki etkileşim, önemli ölçüde hidroksil gruplarına ve içinde bulunan yüklere bağlıdır. Kil-polimer yapı sistemlerinde nanokiller polimer içerisine; tabakalı (polimer zincirleri kil trombositleri arasında) ve ayrılmış tabakalı (yani, kil trombositleri polimer içinde izotropik olarak dağılır) olarak dağılım gösterebilmektedir [109]. Şekil 14'te kilin temel yapısı ve çeşitleri gösterilmiştir [114].



Şekil 14. Killerin yapısal modelleri

Kilin en önemli özellikleri; partikül boyutu, yüzey alanı ve en boy oranıdır. Nano partiküllerin uzunluk ve genişliği 1,5 μm 'den mikronun onda birkaçına kadar değişebilmektedir. Artan en-boy oranı ve daha küçük bir nanokil kütle daha yüksek yüzey alanı oluşturmaktadır. Örneğin 1gr bir nanokil ürünü 750 m^2 'yi aşan yüzey alanına sahiptir. Nanokiller %98 oranında MMT içerebilir. Renk farklılıkları ara tabaka katyonlarının kafes yapısı içindeki demir, titanyum ve manganez miktarına bağlıdır [109].

Nanokiller, ambalaj, otomotiv, havacılık sektörü, ilaç, boya ve üst yüzey işlemler, kozmetik, plastik, kimyasal katkı, seramik ve sır kaplamaları, su filtrasyonu gibi çok geniş bir kullanım alanlarına sahip olup, alev geciktirici yapıdadır [115].

Nanokillerin özellikle OPK üretiminde kullanımı için birçok çalışma yapılmıştır. Odun-HDPE kompozitlerinin özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada eriyik harmanlama yönteminin karışımın hazırlanması için en ideal yöntem olduğu belirlenmiş ve HDPE/odun unu kompozitlerinin uygun bir bağlama ajanı ve nanokil tipi kombinasyonu ile mekanik özelliklerin önemli ölçüde iyileştirilebileceğini gözlenmiştir [116].

Yadav ve Yusoh [117] %1-5 oranlarında modifiye nanokil kullanarak modifiye pristine nanokil kullanımının odun plastik kompozitlerinin özelliklerine etkisini incelemiş ve %1 nanokil kullanımı ile eğilme, darbe ve gerilme dayanımlarının arttığı ve termal özelliklerin iyileştiğini belirlemişlerdir.

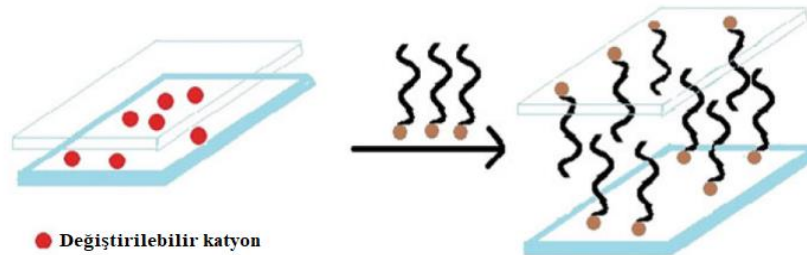
Ahşap polimer nanokompozit üretiminde, fonksiyonelleştirilmiş soya fasulyesi yağı ve nanokilden kullanımının etkisini belirlemek için; termoset reçine, epoksitlenmiş soya

fasulyesi yağı, akrilik asit ve ardından maleik anhidrit ile sentezlenme reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. En iyi eğilme mukavemeti ve gerilme dayanımı %3 oranında bentonit nanokil kullanılan kompozitlerde görülmüştür. Nanokil kullanımı ile su ve kimyasal direnç özellikleri artmıştır [118].

Nabil vd. [119] ahşap malzemeyi; termit ve mantar zararlılarından korumak için %10, %15 ve %20 oranında Fenol formaldehit tutkalı ve %1,5 nanokil kullanarak vakum basınç yöntemi ile emprenye etmişlerdir. Genel olarak tek başına kullanımı durumunda nanokilin zararlılara karşı daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çeşitli nanokil ilavelerinin odun kompozitlerinin yanma dirençlerini önemli ölçüde arttırdığını gözlenmiştir [120, 121].

Polimer/kil nanokompozitlerinin hazırlanması sırasında polimer matris içinde kil tabakalarının iyi şekilde dağıldığını, polimer ve kil partiküllerinin fiziksel olarak karıştırılmasıyla mümkün değildir. Katmanların topaklanmış taktoidlerde istiflenmesi ve hidrofobik polimerlerle uyumsuz kılan içsel hidrofiliklikleri nedeniyle nano katkıların çoğu polimerde dağıtmak zorlaşmaktadır. Kil katmanlarının polimer zincirleriyle daha uyumlu hale getirilmesi için hidrofobik maddelerle organik modifikasyonu gerekir. Düşük yüzey enerjisine sahip olan organokiller; polimer ve polimer molekülleri ile daha uyumludur. Kil katmanlarının yüzey modifikasyonu katmanlar arası boşluklardaki sodyum ve kalsiyum katyonlarının alkilamonyum veya alkilfosfonyum (onyum) katyonları ile değiştirilmesiyle (katyon değişimi) gerçekleşebilir [122, 123].

Yüzey modifikasyonu ve kil katmanlarının hidrofobikliğini artırmaya ek olarak, boşluklara alkilamonyum veya alkilfosfonyum katyonlarının eklenmesi, katmanların arasındaki boşluğun bir dereceye kadar artmasına neden olur. Bu nanokompozit üretiminde polimer zincirlerinin bağlanmasını artırır [124]. Şekil 15'te organo modifiye edilmiş MMT verilmiştir [125].



Şekil 15. Organo modifiye MMT

1.4. Vermikülit Grubu Killer

Vermikülitler (2:1 tipi mineraller), doğal oluşan bir hidratlı alüminyum/demir/magnezyum silikat grubudur. Vermikülitler genellikle trioktahedral veya bazen dioktahedral yapıda negatif bir tabaka yüküne sahiptir. Çoğu vermikülitin dört yüzlü tabakasında bulunan alüminyum çoğu yerde silikon ile ikame edilir ve negatif yük oluşur. Magnezyum ve diğer iyonlara sahip su molekülleri, birimleri bir arada tutan ve köprü görevi gören vermikülitlerin ara katman boşluğunda adsorbe edilir. Bu nedenle, sınırlı genleşmeli kil minerallerine sahip vermikülitlerin şişme derecesi MMT' den çok daha azdır. Kaoline göre ise daha fazla şişmektedir.

Bu killer; levha ve panel, kaplama, paketlenme, hafif beton ve vermikülitli sıvaların yapımında kullanılır [123]. Vermikülitin ham kullanımı sınırlı olup, genellikle genişletilmiş olarak kullanılırlar.

1.5. Yongalevhaların Üretimi

- Yongalama ve eleme/tasnif: Yuvarlak odunlar; silindir veya diskli normal yongalama makinelerinde yongalanır ve iç ve dış tabakalar için farklı özelliklerdeki bıçak halkalı değirmenlerde inceltir. Odun ve büyük atıklar silindir veya diskli kaba yongalama makinası ile yongalanır ve çekiçli değirmenlerde öğütülür. Bitkisel ve geri kazanılmış atıklar ise kırıcılarda kırıldıktan sonra önce kaba yongalama makinelerinde ardından değirmenlerde hazırlanır. Levhaların kaplaması ve diğer üst yüzey işlem kalite için dış tabakanın kapalı ve özgül ağırlığının yüksek olması gerekir. Bu nedenle levhalar dış tabakalarda daha ince, orta tabakada ise daha büyük boyutlu yongalar kullanılarak, 3 tabakalı olacak şekilde üretilir. Üretimde kullanılmayacak boyutlardaki (toz ve budak gibi çok iri) materyal üretim hattına alınmaz yanma ünitesine gönderilir. Bu nedenler ile yongaların boyutlarına göre tasnif edilmesi gerekir. Eleme işlemi; mekanik veya pnomatik (havalı) elekler ile gerçekleştirilir.

- Kurutma: Taslak içeriğindeki rutubet, preslemede levha simetri eksenine doğru eğilim gösterir ve tam ortada buhar basıncı oluşur. Bu buhar basıncı; levha presten çıkmadan atılmaz ise ya levha patlar yâda pres süresinin uzamasına neden olur. Bu sakıncaları önlemek için yongaların düşük rutubete kadar kurutulması gerekir. Öte yandan levha taslağındaki sıcaklık ve rutubet meylini hızlandırmak için dış tabaka yongalarının orta tabaka

yongalarından daha rutubetli olması gerekir. Bu dış tabaka yongalarının %3-4, orta tabaka yongalarının ise %1 rutubete kadar kurutulması ile sağlanabilir. Bu amaçla kapasitesinin yüksek olması ve kurutma kalite/maliyet avantajları dikkate alınarak tamburlu kurutucular kullanılır.

- Tutkallama: Yongalevha üretiminde genellikle Üre formaldehit, az miktarda melamin ve fenol formaldehit ile izosiyanat kullanılır. Dış tabakalar için %6-12, orta tabaka için ise %4-8 oranında tutkal kullanılır. Levhaların rutubete karşı direncini artırmak için dış tabakada %1 civarında parafin veya vaks ilave edilir. Dış ve orta tabakalar ayrı makinede tutkallanır ve bu amaçla silindirli tutkallama makineleri kullanılır. Yongalar makinenin bir ucundan üst taraftan beslenerek içeriye alınır, spiral yol izleyerek diğer uca ilerlerken, tutkal üstten pulverize edilerek üzerlerine püskürtülür. Bu tutkal kullanımı minimize edilerek tasarruf sağlar [17, 28].

- Serme: Üç tabakalı levhalar; dış-orta-dış tabaka olacak şekilde serilir. Sermede dökme, rüzgârlı, savurmalı yâda sınıflandırmalı serme sistemlerinden bir veya ikisi birlikte uygulanır. Örneğin dış tabakalar rüzgârlı sistemleri ile serilirken orta tabakada dökme yöntemi uygulanır. Bu amaçla üç (dış-orta-dış) yâda dört (alt dış-alt orta- üst orta- üst dış) farklı serme başlığı kullanılır.

- Ön presleme: Levha taslağı serildikten sonra oldukça hacimli olup, bantlar arasında taşınırken sarsılabilir ve ince yongalar alt dış tabakaya doğru akar. Kenar alma zayıfları artar ve dış tabaka pres hattında ıslatılırken yüzey kapalılığı bozulabilir. Bu nedenle taslak serildikten hemen sonra mutlaka ön preslerde preslenir. Günümü ön presleri düşük sıcaklıklarda ısıtılarak (40°C civarında) sıcak preslerin işlerini kolaylaştırılır.

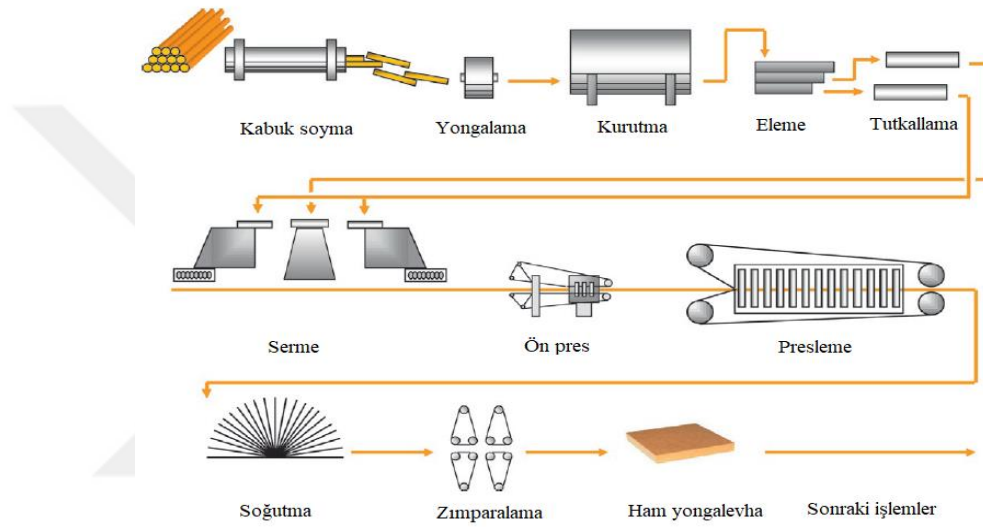
- Sıcak presleme: Üretimde tek, çok katlı veya sonsuz presler kullanılır. F. Kollmann'a göre sıcak presleme iç içe girmiş dört kademedede gerçekleşir.

- ✓ Taslağın öngörülen levha kalınlığında sıkıştırılması,
- ✓ Yapıştırma için gerekli basıncın sağlanması,
- ✓ Yongaları tutkalın sertleşmesi için gerekli olan sıcaklığa kadar ısıtılması,
- ✓ Her bir yonganın bir levha oluşturacak şekilde yapıştırılması,

Pres süresinin kısaltılması maliyeti azaltırken, tesisin kapasitesini artırır. Pres sıcaklığı; üre formaldehit tutkalı için 150-160°C, fenol formaldehit için ise 180-200°C civarında uygulanır. Yonganın prese giriş sıcaklıkları, presleme kalitesi ve süresini etkiler.

Pres basınç, süre ve sıcaklıkları (pres diyagramı) levha kalitesi ve maliyeti yanında fabrikanın kapasite kullanım oranını etkiler.

Kenar kesme ve Zımparalama: Üretilen levhaların yanları standart ölçülerde doksan derece açı ile kesilir. Kalınlıkları hassas bir şekilde düzeltmek için salınımlı zımpara makineleri kullanılır. Levhalar önce kontak sonra da kalibre zımpara makinesinde istenilen kalınlığa kadar zımparalanır [17, 28, 29, 126]. Şekil 16' da yongalevha üretim akışı verilmiştir [127].



Şekil 16. Yongalevha üretim şeması

Üretim aşamasında yongalevhaların özellikleri planlanır. Bu planlamada en önemli rol pres diyagramlarına ait olup üretilecek levhaların kullanım yerine göre pres diyagramları hazırlanır. TS EN 312 [37] standardına göre yongalevhalar yedi gruba ayrılmıştır.

- **P1** Kuru şartlarda kullanım için genel amaçlı levhalar,
- **P2** Kuru şartlarda kullanım için iç donanım levhaları (mobilyalar dâhil),
- **P3** Nemli koşullarda kullanım için yük taşımayan levhalar,
- **P4** Kuru koşullarda kullanım için yük taşıyıcı levhalar,
- **P5** Nemli koşullarda kullanım için yük taşıyıcı levhalar,
- **P6** Kuru koşullarda kullanım için ağır hizmet tipi yük taşıyıcı levhalar ve
- **P7** Nemli koşullarda kullanım için ağır hizmet tipi yük taşıyıcı levhalarıdır.

Yongalevhaların özellikleri; yonga, tutkal ve üretim hattındaki makinelere bağlıdır. Yonga yoğunluğu azaldıkça, pres basıncı arttıkça yapışma kalitesi artmaktadır.

Dış tabakaların yoğunluğu arttıkça eğilme direnci artar. Sıcak presleme sırasında ilk önce dış tabakalar pres saclarına temas eder. Yüzey yongaları, orta tabaka yongalarına kıyasla daha yüksek rutubet içeriğine sahip olup, ısının orta tabakaya iletilmesini hızlandırır. Presleme esnasında dış tabakalardaki sıcaklık orta tabakaya ulaşmadan ve orta tabaka tutkal reaksiyonu başlamadan sertleşirse ısı orta tabakaya iletilemez ve orta tabaka oluşumu bozulur. Orta tabaka sertleşmeden pres açılırsa levha patlayabilir yâda merkezdeki özgül ağırlık çok düşük olur. Bu durum kalite sorunu yaratır. Pres diyagramı ve dış ve orta tabaka rutubet farklılıkları levhanın kalitesini etkiler. Üretim planlaması yapılırken ve pres diyagramını belirlerken levhanın kullanım yeri dikkate alınmalıdır. Levhaların dış tabakalarını güçlendirmek için farklı diyagram kullanılırken, orta tabakanın yoğunluğunu artırmak için daha farklı pres diyagramı kullanılmalıdır [29].

1.6. Odun Esaslı Kompozitlerin Çevresel Etkileri

1.6.1. Formaldehit (CH₂O) ve Formaldehit Emisyonu

Formaldehit çoğu canlıda bulunan doğal bir kimyasal bileşiktir. Metan veya metanolün katalitik oksidasyonu ile üretilir. Çeşitli endüstriyel uygulamalar için ara ürün veya koruyucu olarak kullanılır. Uzun süreden beri, ahşap tutkalları ve odun esaslı kompozitlerin üretimi için önemli bir kimyasaldır [128, 129].

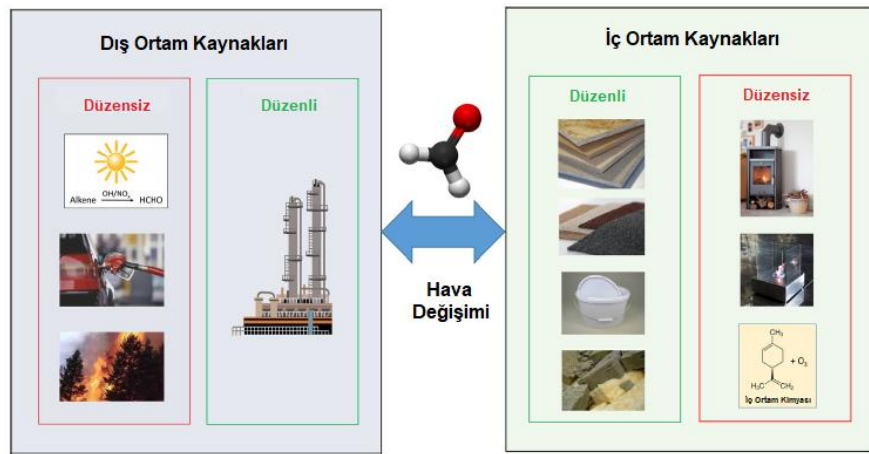
Formaldehit aynı zamanda en çok bilinen iç mekân hava kirleticisidir. 1960'ların ortalarında, prefabrik evlerde üretilen formaldehit tutkalı ile üretilen levhalarda özellikle göz ve üst solunum yollarında tahriş olmak üzere olumsuz sağlık etkileri tespit edilmiştir. 1977'de eski Alman Federal Sağlık Ajansı, konutlarda insan maruziyeti için 0.1 ppm'lik bir kılavuz değer önermiştir [129] 1980'de, sıçan ve fareler üzerinde gerçekleştirilen çalışmada formaldehitin kanserojen etkisi rapor edilmiştir [130]. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (Grup 1) tarafından insanlarda kanserojen etki yapan maddeler kapsamına kabul edilmesi ise 2004'te gerçekleşmiştir [131]. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), 1991'den beri formaldehiti kanserojen olarak kabul etmiştir. Bu Avrupa Komisyonu tarafından kanserojen Kategori 1B ve mutajen Kategori 2 olarak sınıflandırmış ve 2004'te ise Dünya Sağlık Örgütü

(WHO) tarafından onaylanmıştır. WHO aynı zamanda, formaldehit için $0,1 \text{ mg/m}^3$ lük bir iç mekan sınır değeri belirlemiştir [132, 133].

İnsanlar zamanlarının yaklaşık %90'ını iç mekânlarda geçirir, bu nedenle iç hava kalitesinin modern yaşam üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çeşitli yapı malzemeleri ve ürünlerinden yayılan formaldehit (ve diğer uçucu organik kirleticiler) çevre güvenliği ve insan sağlığı için bir tehdit oluşturur [134, 135].

2004'te WHO, 2008'de Amerikan Kaliforniya Hava Düzenleme Kurulu ve 2014'te Avrupa Birliği'ne göre formaldehit; üst yutak kanseri ve lösemi gibi hastalıklara yatkın bir insan kanserojeni olarak kategorize edilmiştir. Formaldehit emisyonu üzerine yapılan araştırmalar malzeme ve çevre bilimleri alanlarında güncel bir konu haline gelmiştir [136].

Odun esaslı kompozitlerde formaldehit emisyonunun neredeyse tamamı üretimde kullanılan üre, melamin ve fenol formaldehit tutkallarından kaynaklanır [137]. Özellikle üre tutkalı, düşük maliyeti, hızlı sertleşmesi ve istenen fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olması dolayısıyla orman ürünleri endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Tutkalların performansını artırmak için, formaldehit tutkala fazladan eklenirse oda sıcaklığında açığa çıkarak formaldehit miktarında artışa sebep olmaktadır. Öte yandan serbest formaldehitim yüksek oluşu presleme süresi üzerine etkili olduğu için serbest formaldehit vazgeçilmezdir. Bu nedenle sentetik tutkalların formaldehit emisyon davranışı, ahşap yapı malzemelerinin neden olduğu iç mekân kirliliğinde daha önemli bir rol oynar [138, 139]. Şekil 17'de iç ve dış ortamdaki formaldehit kaynakları ile ortamlar arasındaki formaldehit konsantrasyon aralığı verilmiştir [136].



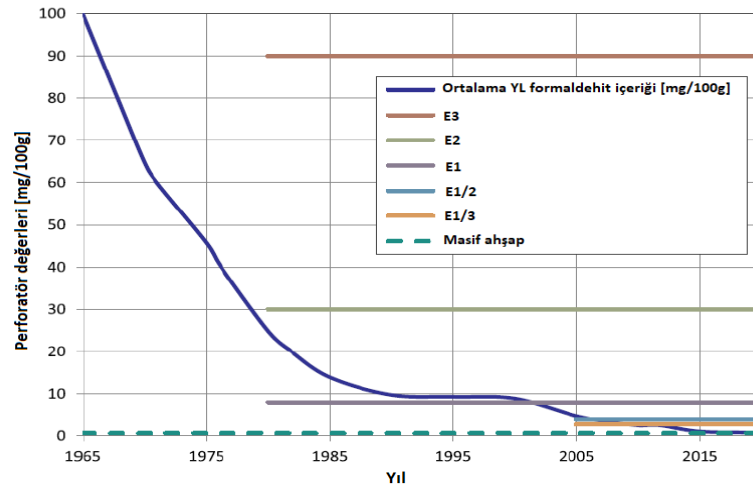
Şekil 17. İç ve dış ortam formaldehit kaynakları

Sentetik tutkalların formaldehit emiyonunu azaltmak için fiziksel ve kimyasal modifikasyon yapılabilir. Fiziksel modifikasyon için; reçineye sepiolit ve nanokristalin selüloz gibi dolgu maddeleri eklenebilir. Kimyasal modifikasyon için ise; tutkal sentez prosedürü, mol oranı ve hammaddelerin eklenme sırasını değiştirmek veya etanol gibi bazı çözücülerini destekleme yöntemleri kullanılabilir [140]. Odun kompozitleri için pres süresi, pres sıcaklığı ve sertleşme koşulları gibi faktörler emisyon miktarını değiştirir [141].

Ahşap ürünlerinde formaldehit emisyonu; Avrupa'da ISO 12460-5 [142] (perforatör ekstraksiyon), EN 717-1 [143] (çevresel oda), ISO 12460-3 [144] (gaz analiz), EN 717-3 [145] (şişe), DD ENV13419-2 [146] (alan ve laboratuvar emisyon hücresi-FLEC), Amerikan ASTM D 5582 [147] (desikatör) ve Japon JIS A 1460 [148] (desikatör) standartları ile belirlenebilir.

Yongalevhaların formaldehit emisyonu kabul sınırı 1960'lardan bu yana büyük ölçüde azalmıştır. Bu değişiklik, formaldehitin üre (F/U) molar oranını düşürerek veya melamin gibi bileşiklerle kopolimerizasyon yöntemi ile sağlanabilir [149].

F/Ü molar oranı düştükçe emisyon azalır. Ancak mekanik özellikler, çapraz bağlanma gücü ve sertleşme hızını da olumsuz etkilenir [150] Şekil 14'te Avrupa'da endüstriyel yongalevhaların kabul edilebilir formaldehit emisyon değerlerindeki değişim verilmiştir [128, 151]. Örneğin 1965'te 10 mg/100 mg formaldehit emisyonu kabul edilebilir sınırlarda sayılırken, günümüzde bu kabul değeri 0,10 mg/100 mg kadar düşük bir değere hatta masif ahşap ile kıyaslanma durumuna gelmiştir



Şekil 18. Avrupa'da endüstriyel yongalevhaların kabul edilebilir formaldehit emisyon değerlerindeki değişim

Migneault vd. [152] selüloz ve kâğıt fabrikası atık çamurunun (protein içerikli ikincil çamur) MDF üretiminde tutkala ikame kullanım imkânlarını araştırmış, üre formaldehit kullanımını %12'den %8'e düşürülerek, %5-%15 oranında atık çamur ilave etmişlerdir. Protein içerikli atık çamurun kullanılması ile yüzeye dik çekme dirençleri değişmeden formaldehit emisyonu değerlerinde %68 azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi atık çamur içerisindeki proteinin formaldehit ile reaksiyona girmesi olabilir. Boyutsal kararlılık ve eğilme direnci değerlerinde ise yüksek pH sebebiyle azalmalar meydana gelmiştir.

Ghani vd. [153] üre formaldehit tutkalı ile üretilen yongalevhelerde formaldehit emisyonunu azaltmak için metil, etil ve propil aminleri kullanmışlardır. Kauçuk ağacı yongaları kullanılarak üre formaldehit tutkalına %0,5, %0,7 ve %1 oranında amin ilave etmiş ve jelleşme süresi, pH, viskozite, serbest formaldehit miktarları ve termal özellikleri ile levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri ve formaldehit emisyonları belirlenmiştir. Amin ilavesi ile üre formaldehit tutkalının termal stabilitesinin arttığını belirlenmiştir. Amin katkısının tutkalın pH'ını artırması nedeniyle jelleşme sürelerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca fiziksel ve mekanik özellikler de azalmıştır. Amin kullanımının emisyon değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

MDF üretiminde kitosanın formaldehit tutucu özellikleri incelenmiş; kitosan tozunun kitosan çözeltisinden daha iyi formaldehit tutucu olduğu belirlenmiştir. Kitosan toz miktarının artması ile serbest formaldehit salınımı azalmış, %3 oranında kitosan kullanımı mekanik ve fiziksel özellikleri etkilenmeden formaldehit emisyonunu azaltmıştır [154].

Costa vd. [155] sodyum metabisülfidin etkili bir formaldehit tutucu olarak kullanılabileceği belirlemişlerdir.

Bekhta vd. [156] alüminyum sülfat, amonyum persülfat ve ferrum klorür gibi sertleştiricilerin huş kontrplaklarda; formaldehit emisyonu ve makaslama direncine etkisini araştırmış, üre formaldehit tutkalına alüminyum sülfat veya amonyum persülfat ilavesinin makaslama mukavemetini azaltmadan formaldehit emisyonunu %10-36'ya kadar azalttığını göstermiştir.

Resmi ve Narayananluty [157] aktif kömürün resol tutkalının formaldehit emisyonu, mekanik, termal ve dinamik özelliklere etkisini incelemiş; kömürün, yüksek gözenekliliği ve geniş yüzey alanı nedeniyle reçinenin serbest formaldehit miktarını azaltmada çok etkili olduğunu belirlemişlerdir.

De Cademartori vd. [158] alümina (Al_2O_3) nanopartiküllerin üre formaldehit tutkallarının formaldehit emisyonu (desikatör metodu), termal stabilite ve reolojisi üzerine

etkisini araştırmış, alümina nano partiküllerin formaldehit salınımının %14 azaldığı belirlenmiştir.

Lignin siyah çözeltiden eksakte ve fenolasyonla modifiye edilen fenolik kraft lignini ile üretilen levhaların formaldehit emisyonu belirlenmiş ve üre formaldehit sentezi sırasında, ikinci üre yerine pH-7'de %10, %15 ve %20 oranlarda Kraft lignini (modifiye edilmemiş-fenollenmiş) ilave edilmiştir. %20 oranında kraft lignini kullanımı ile istenilen optimum özellikler elde edilmiştir [159].

Karaçam kabuğu kullanım imkânlarının araştırıldığı çalışmada %70 üre formaldehit ve %30 polivinil asetat karışımı şeklinde poliüretan ve tanen bazlı yapıştırıcı kullanılarak 0,600 g/cm³ özgül ağırlıklı levha üretilmiş ve Perforatör yöntemi ile formaldehit emisyonunun E1 (≤ 8 mg/100) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Kabuk kullanımı ile formaldehit emisyonu önemli derece azalmıştır [160]. şekil 19'da çeşitli formaldehit emisyonu belirleme yöntemleri verilmiştir [161, 162].



şekil 19. Formaldehit emisyonu ölçüm sistemleri (A: Oda yöntemi, B: Gaz analiz yöntemi; C: perforatör yöntemi; D: FLEC)

1.7. Odun Esaslı Kompozitlerde Yanma ve Yangın Geciktirme

Yangın her yapıda meydana geleme olasılığı olan, insanlar için tehdit ve tehlike unsurudur [7]. Ahşap esaslı malzemelerin ana yapısı karbon ve hidrojenden oluşmakta ve ısının 275°C'ye çıkarılması durumunda kendi kendine herhangi bir tutuşturucu alev kaynağı varlığında ise çok daha düşük sıcaklıklarda tutuşarak yanabilir [8].

Günümüzde özellikle toplu yaşamın olduğu mekânlarda kullanılacak hammaddelerin üretiminde yanmayı geciktirici emprenye maddeleri kullanılır. Ancak bunlar fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz etkilemekte olup, çevresel etki ve zehirlilik değerlerine de dikkat etmek gerekir. Kompozit malzemelerde yanma özelliği düşük olan doğal mineral katkıların kullanımı üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır [9].

Kontrplak, yongalevha, OSB gibi yapısal levha ve glulam, LVL, I-kirişler, PSL ve LSL gibi yapısal kerestelerin inşaat ve yapı sektöründe kullanımı amacıyla üretiminde yangın geciktiricilerin kullanılması gereklidir. Ancak yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi de dikkate alınmalıdır.

Yangın geciktirici olarak genellikle; heksabromosiklododekan veya amonyum polifosfat (APF) gibi inorganik, halojenlenmiş veya fosforlu bileşikler kullanılır. Genel mekanizmaları alev bastırma şeklinde olup, toksik özellik gösterebilirler [163].

Yangın geciktiricilerin kullanılması ürün maliyetinin artışına yol açabilir. Lignosülfonatlar diğer odun esaslı malzemelere benzer şekilde yenilenebilir karakterleri, uygun maliyetleri ve kolay bulunabilirlikleri, yüksek karbon içeriği ve aromatik yapıları nedeniyle yangın geciktirici olarak ticari potansiyel taşımaktadır. Zira yüksek karbok içeriği ve aromatik yapısı yanma sırasında yıkımlanmayı önleyici koruyucu bir kömür tabakasının oluşturmaktadır [164].

Karastergiou ve Philippou [165] çalışmalarında çeşitli alev geciktiricilerle muamele edilmiş yongalevhaların termogravimetrik analizini araştırmış ve yangın geciktiricilerin levhada termal ayrışma reaksiyonunu değiştirdiğini gözlemişlerdir.

Basson ve Conradie [166] üre, fosforik asit ve etanol içeren bir çözeltinin yangına dayanıklı yongalevha üretiminde mükemmel bir yangın geciktirici etkisi sağladığını belirlemişlerdir.

Mouritz ve Gibson [167] yanıcı malzemenin en önemli özelliklerinin; tutuşma süresi, ısı yayılma oranı, sönme, yanıcılık indeksi ve ısıl kararlılık indeksi, alevin yüzey yayılımı, duman toksisitesi, yangına dayanıklılık, kütle kaybı ve sınırlayıcı oksijen indeksi olduğunu belirlemişlerdir.

Pedieu vd. [168] üre formaldehit tutkalına farklı oranlarda borik asit (%8, %12 ve %16) karıştırılmasının yangın geciktirici performansını araştırmışlardır. Ağırlık kaybı ve alev yayılma hızı açısından en olumlu etkinin %16 borik asit kullanımı ile elde edildiği görülmüştür.

Esmailpour vd. [169] vollastonit nanoliflerinin yangın geciktirici özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve %15 oranında kullanımı ile yongalevhanın özellikleri ve yanma dayanımının arttığını belirlemişlerdir. Yangın dayanımı sağlayacak ürünlerin kullanımı ve üretim prosesine eklenmesinin yongalevhalar için yeni pazarların oluşturulmasına katkısı olacaktır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Ağaç Malzeme

Levhaların üretiminde kullanılan yongalar Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. Samsun yongalevha tesisinden temin edilmiş olup, fabrikadaki odunlar Doğu Karadeniz Bölgesi ormanlarından temin edilmektedir. Karışımda; çam, kavak ve kayın gövde ve dalları (%65) ile kereste atık ve endüstriyel talaşlar (%35) kullanılmaktadır. Şekil 20’de üretimde kullanılan hammaddeler verilmiştir.



Şekil 20. Fabrika hammadde deposu

2.1.2. Nanokiller


Hidrofilik bentonit nanokil (Na NK) %98 sodyum montmorillonit içermektedir. İşlem görmemiş nanokil tozunun boyutları yaklaşık 6 mikron kadardır. Modifiye edilmemiş nanokilin hacim yoğunluk değeri $600-1100\text{kg/m}^3$ ve boyları 25 mikron’dan küçüktür, kalınlığı 1 nm ve yanal boyutuda 100-150 nm dur. Organo modifiye nanokil (OM NK) Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş.’den temin edilmiştir. Ülkemiz öz

kaynakları kullanılarak üretilen bentonit nanokilin montmorillonit saflık derecesi %85-90'dır.

Killerin üretiminde yüzey modifikasyonu işlemi için dimetil amonyum klorit tuzları kullanılmıştır. Tabakalar arası uzaklık: 38-40 Å ve tane boyutu 15 mikrondan küçüktür [170]. Killere ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3 ve 4'te verilmiştir [170, 171].

Tablo 2. OM nanokilin fiziksel özellikleri

Malzeme özellikleri	
Renk	Ultra beyaz
Yoğunluk (g/cm ³)	1,98
Yüzey Alanı (m ² /g)	19
Partikül boyutu (μ)	2-20
Tabakalar arası mesafe, nm, d ₍₀₀₁₎	3-4



Tablo 3. OM nanokil ve Na nanokilin kimyasal özellikleri


Bileşim	OM nanokil (%)	Na nanokil (%)
SiO ₂	44	62,9
Al ₂ O ₃	6	19,6
MgO	1,4	3,05
Na ₂ O	0,6	1,53
Fe ₂ O ₃	0,4	3,35
CaO	0,4	1,68

2.1.3. Vermikülit

Boyutu 1 mm'den küçük, 0,5 mm'den büyük olan süper fine ham vermikülit Organik Madencilik A.Ş. şirketinden temin edilmiştir. Yanmaz boya, mastar, kimyasal ve panellerin üretiminde kullanılmaktadır. Süper fine vermikülitin elek analizi ve kimyasal özellikleri Tablo 5 ve 6'da verilmiştir [172].

Tablo 4. Süper fine vermikülit elek analizi

Parçacık boyutları	Oran (%)
1,4 mm	46,3
1 mm	35
0,7 mm	12,5
0,5 mm	4,3
0,5 mm altı	1,9



Tablo 5. Süper fine vermikülit kimyasal analizi

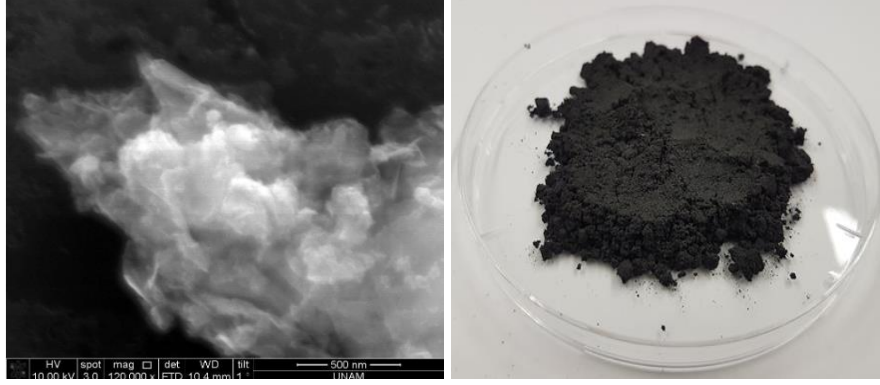
Bileşim	İçerik Oranı (%)	Bileşim	İçerik Oranı (%)
SiO ₂	39,2	MnO	0,3
Al ₂ O ₃	16,7	Na ₂ O	0,1
MgO	15,4	P ₂ O ₅	0,1
Na ₂ O	15	TiO ₂	2,2
Fe ₂ O ₃	5,6	Ba	38,22
K ₂ O	4,8	Sr	176
CaO	0	Zn	147
Cr ₂ O ₃	0,1	Zr	13

2.1.4. Grafen Nanoplatelet (GNP)

Grafen nanoplatelet Nanografi Nano Teknoloji A.Ş firmasından temin edilmiştir. GNP'ler; düzlemsel bir formda olan kısa plaka şeklindeki grafen tabakalarından oluşan nanopartiküller olup, saf grafitik bileşimlerinin bir sonucu olarak elektriksel ve termal iletkenlik özellikleri çok yüksektir. GNP'nin fiziksel ve görünüm özellikleri Tablo 6 ve Şekil 21'de verilmiştir [173].

Tablo 6. GNP'nin fiziksel özellikleri

Safılık (%)	99
Kalınlık (nm)	5
Çap (µm)	30
Spesifik yüzey alanı (m ² /g)	170
Elektrik iletkenliği (m/s)	1100-1600
Renk	Gri



Şekil 21. GNP'nin TEM ve fiziksel görüntüleri

2.1.5. Tutkal ve Sertleştiriciler

%56 katı madde içerikli üre formaldehit tutkalı endüstriyel bir şirketten temin edilmiş olup; yoğunluğu $1,23 \text{ gr/cm}^3$ molaritesi 1,12 ve viskozitesi 62 30 (cPs 20 °C)'dir. Tutal rengi kahverengidir. Üre formaldehit için sertleştirici olarak %20'lik amonyum klorür (%20 katı madde oranı) kullanılmıştır. %54'lük melamin formaldehit tutkalı ise başka bir şirketten tedarik edilmiş olup; yoğunluğu $1,229 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$, viskozitesi 30 (cPs 20 °C)'dir. Melamin formaldehit için sertleştirici olarak Alton HM 1010 kullanılmıştır.

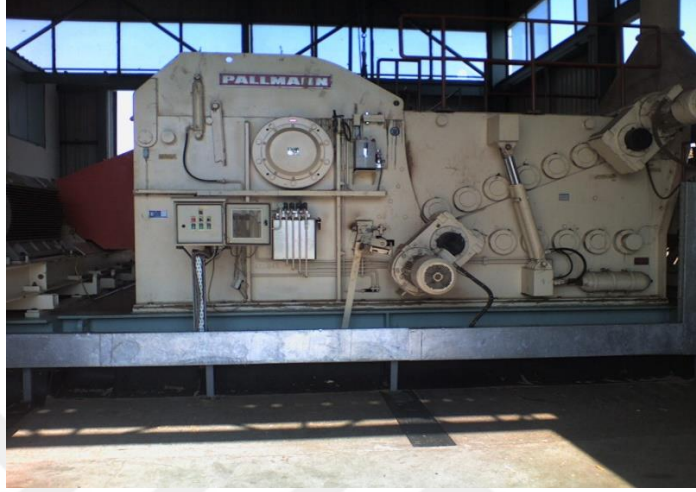
2.2. Deneme Levhalarının Üretimi

2.2.1. Yongalama

Yongalama; Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. Samsun yongalevha tesisinde gerçekleştirilmiştir. Tesiste yongalama işlemi iki kademedeyi gerçekleştirilmektedir. Birinci işlem kaba yongalamadır. Kaba yongalama makinesinin (chipper) içerisinde yüksek devirle dönen, iki adet 30° açılıya sahip bıçakları olan döner tambur (silindirik yongalama makinesi) bulunmaktadır.

Odunların makineye beslenmesi ile yongalama işlemi başlar. Tamburun döndüğü hazne içerisinde iki adet karşı bıçak bulunur. Odun parçaları makinenin haznenin içerisinde arka-alt kısmında bulunan 70x70 elekten geçene kadar kesme ve parçalama işlemi devam eder. Elde edilen kaba yongalar (chips) içerisinde belirli aralıklar bulunan diskler ile eleme

yapan eleğe dökülür. Elekten geçen kaba yongalar mekanik elekte elenerek mikro ve makro flakerler (öğütücü değirmen) için silolara oradan da makro flaker ve mikro flaker makinelerine gönderilir. Şekil 22’ de kaba yongalama makinası gösterilmiştir.



Şekil 22. Kaba yongalama makinesi

Makro ve mikro olarak sınıflandırılan yongalar ince yongalama makinesinde ikinci kez yongalanır. Ebadı büyük olan makro yongalar, makro değirmenlerde, ebadı daha küçük olan mikro yongalar ise mikro değirmenlerde yongalanmaktadır. Değirmenler; içerisinde üzerinde 22° açığa sahip kesici bıçakları olan ring ve ring ile ters yönde dönen, merkezinde dağıtıcı disk bulunan ve kesici bıçaklar ile arasında 1 mm’den daha az açıklık bulunan kör bıçakları taşıyan ve rotordan oluşmaktadır.

Makinenin merkezindeki dağıtıcı döner mekanizmaya üstten beslenerek dökülen kaba yongalar, rotora bağlı dağıtıcı diskin etkisiyle ringin iç çeperine doğru merkezkaç kuvvetinin etkisiyle savrulur. Ringin kesici bıçakları ile ters yönde dönen rotorun kör bıçakları (ince çekiçler) arasında kalan kaba yongalar kesme ve kırma etkisiyle küçülür ve kesici bıçakların önündeki aralıklardan geçerek makinenin alt kısmından mekanik taşıyıcılar ile CL ve SL silolarına iletilir.

Mikro değirmenlerin (flakerlar) ring bıçakları ile rotor plakaları arasındaki mesafe makro değirmenlere göre daha kısadır. Ayrıca rotorun dönüş devri makro değirmenlere göre daha yüksektir. Şekil 23’de yongalamada kullanılan değirmenler gösterilmiştir [174].

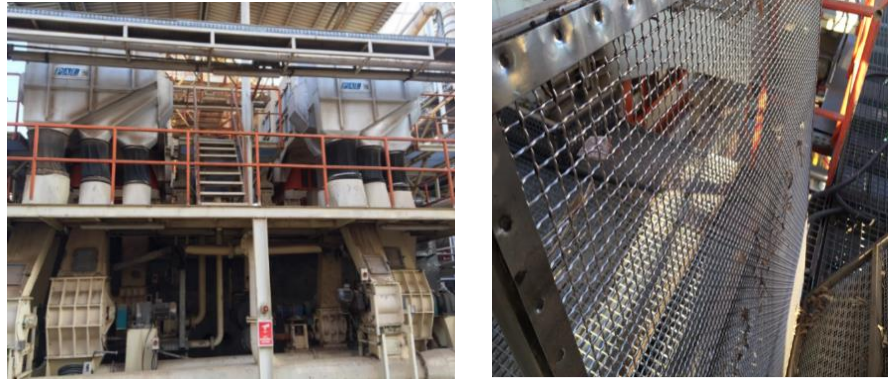


Şekil 23. Değirmen, ring ve ring bıçaklarının görünümü ve işleyişi

2.2.2. Eleme

Makro ve mikro değirmenlerden geçirilen yongalar heterojen boyutlara sahip olup, sınıflandırması gerekir. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi üretim hattına girmeyecek boyutlardaki çok kaba ve çok ince tozları üretim hattının dışına almak, ikicisi ise dış ve orta tabaka için uygun olan yongaları sınıflandırmaktır.

Sınıflandırma pnomatik veya mekanik elekler ile gerçekleştirilir. Mekanik eleklerde sınıflandırma yonga boyunlarına göre yapılır. Yonga eleğin üst kısmından içeri dökülür. Her elekte toplam 3 elek ve dört tabaka yonga çıkışı bulunmaktadır. En üstte kaba yongaları ayıran en büyük gözenekli elek bulunur. Bu elek üzerinde kalan kaba yongalar yeniden yongalanmak üzere bir adet makro değirmene gönderilir. Birinci ve ikinci elek arasında kalan yongalar orta tabaka yongası (CL) olarak CL silosuna, ikinci ve üçüncü elek arasında kalan ince yongalar yüzey tabaka yongalar (SL) ise SL silosuna taşınır. Üçüncü eleğin altında kalan ince tozlar ise yakma ünitesine gönderilir. Üretim için uygun olan CL ve SL yongaları kurutma makinelerini gönderilir. Şekil 24'te eleklerin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 24. Elekler ve eleklerin yapısı

SL ve CL yongaları fabrikadan KTÜ laboratuvarına getirildikten sonra, tozlarından arındırılmak için Algemaier marka sarsak elekte yeniden eleme işlemine tabi tutulmuş ve 0,5mm gözenekli elek altında kalan tozlar üretimde kullanılmamıştır. Tablo 7’de elek analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 7. Yonga elek analizleri

Dış tabaka yongası		Orta tabaka yongası	
Elek aralığı (mm)	Yonga miktarı (%)	Elek aralığı (mm)	Yonga miktarı (%)
4	0	6,3	1,79
2	0,51	4	11,17
1	3,32	2	31,3
0,8	8,74	1	39,94
0,6	25,88	0,8	6,7
0,4	25,56	0,5	6,27
0,3	15,88	0,315	1,54
0,2	14,9	0,2	0,52
0,1	2,27	0,1	0,4
Atık	3,64	Atık	0,37

2.2.3. Yongaların Kurutması

Yongaların kurutulmasında laboratuvar tipi Heraeus kurutma dolabı kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı içerideki havanın sıcaklığı 105 °C tutulmuş ve kurutma işlemi yonga rutubeti %3’e ulaşana kadar sürdürülmüştür. Üretimde kullanılan vermikülit de aynı rutubet derecesine kadar kurutulmuştur. Rutubet değerleri; Presica XM 50 rutubet analiz cihazıyla kontrol edilmiş ve %3 rutubete ulaşıldığında kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Kurutulan

yonga ve vermikülit hızlı bir şekilde soğutulmuş ve hava almayacak şekilde kapalı kaplara konulduktan sonra üretime kadar depolanmıştır. Şekil 25'te yongaların ve vermikülitin kurutulması işlemi verilmiştir.



Şekil 25. Yongalar ve vermikülitin kurutulması

2.2.4. Tutkallın Hazırlanması ve Tutkallama

Kullanılacak olan nano katkıları tutkallara tam kuru tutkal ağırlığına oranla %1, %2 ve %4 olacak şekilde ilave edilmiş ve karışımın daha homojen olması için homojenleştirme ve mekanik karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karıştırma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada 15 dk 1000-1200 rpm de mekanik karıştırma uygulanmış, sonra 15 dk süre ile homojenizatörde 10000-20000 rpm de karıştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve en son olarak 30 dk boyunca da tekrar mekanik karıştırma işlemi uygulanmıştır. Tutkal hazırlama aşamaları Şekil 26'da verilmiştir.

Levhaların üretiminde dış tabakada %11, orta tabakada ise %9 oranında üretilen formaldehit ve Melamin formaldehit tutkalları kullanılmıştır. Sertleştiriciler tam kuru yonga ağırlığına oranla %1 oranında ilave edilmiştir. Tutkallamada Drais tutkallama makinası kullanılmıştır. Karıştırma işlemi tutkallama tamburu içerisinde dönen boynuzlar yardımıyla homojen olarak gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi devam ederken tutkal 1.4 mm'lik uç çapına sahip sprey tabancası ile yongaların üzerine püskürtülmüş ve karışımın homojen hale gelmesi için tutkallı yongalar 5 dakika daha makine içerisinde karıştırılmıştır. Yongaların tutkallama işlemi Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 26. Tutkalların Hazırlaması



Şekil 27. Yongaların tutkallaması

2.2.5. Levha Taslağının Hazırlanması

Tutkallanmış yongalar 550x550x10 mm boyutlarındaki levha taslak kalıbına %60'ı orta tabaka %40'ı ise dış tabakada olacak şekilde (%20 alt-%20 üst) serilmiştir. Vermikülit tam kuru yongaya oranla %10, %15 ve %20 olacak şekilde sadece orta tabakada kullanılmıştır. Üretim 3 tabakalı gerçekleştirilmiş ve hedef levha yoğunluğu $0,650 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Serme işleminden sonra levha taslakları öncelikle soğuk preslenmiştir. Levha taslağının serilmesi Şekil 28' de gösterilmiştir.



Şekil 28. Levha taslağının serilmesi

2.2.6. Taslakların Preslenmesi

Taslaklar presleme alanı 70x89 cm olan, elektrikle ısıtılan tek katlı hidrolik preste preslenmiştir. Spesifik basıncı 22–24 N/mm² ve sıcaklık 150°C ve pres süresi 7 dk olarak uygulanmıştır. Preste 10 mm kalınlığında takozlar kullanılarak tüm levhaların homojen ve aynı kalınlıklarda olmaları sağlanmıştır. Her levha tipinden 2’şer olmak üzere toplam 100 adet levha üretilmiştir. Şekil 29’ da levhaların presleme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 29. Levha taslağının preslenmesi

2.2.7. Presleme Sonrası İşlemler

Deneme levhaları farklı kombinasyonlarda üretilerek; katkı maddesinin miktar ve türünün levha kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmış olup; üretim modellemesi Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Levhalara ait üretim planı

Levha grubu	OM Nanokil (%)	Na Nanokil (%)	Grafen Nanoplaka (%)	Vermikulit (%)		
C ₁	-	-	-	-		
C ₂				10		
C ₃				15		
C ₄				20		
EA ₁	1			-		
EA ₂				10		
EA ₃				15		
EA ₄				20		
EB ₁	2	-	-	-		
EB ₂				10		
EB ₃				15		
EB ₄				20		
EC ₁	4			-		
EC ₂				10		
EC ₃				15		
EC ₄				20		
NA ₁	-	1		-		
NA ₂				10		
NA ₃		2		-	15	
NA ₄				20		
NB ₁				-		
NB ₂				10		
NB ₃				15		
NB ₄				20		
NC ₁		4		-		
NC ₂				10		
NC ₃				15		
NC ₄				20		
GA ₁	-	-	1	-		
GA ₂				10		
GA ₃				15		
GA ₄				20		
GB ₁			2	-	-	
GB ₂				10		
GB ₃				15		
GB ₄				20		
GC ₁				4	-	-
GC ₂					10	
GC ₃					15	
GC ₄					20	

Tablo 8'in devamı

MK	-	-	-	
ME1	1			
ME2	2			
ME4	4			
MP1		1		
MP2		2		
MP4		4		
MG1			1	
MG2			2	
MG4			4	

Preslenen levhalar soğutulduktan ve kenar alma işlemleri tamamlandıktan sonra formaldehit emisyonu örnekleri jelatin ile sarılmış ve hava almayacak şekilde muhafaza edilmiştir. Diğer örnekler ise TS 642 ISO 554 [175] 'e göre sıcaklığı $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\%65\pm 5$ olan klima dolabında yaklaşık 4 hafta bekletilerek klimatize edilmiştir. Denemeler için gerekli boyutlarda kesilmiş ve klimatize odasında deney anına kadar bekletilmiştir.

2.3. Araştırma Yöntemleri

2.3.1. Tutkal Viskozitesinin (Akma Süresi) Tayini

Viskozite bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Viskozite nano katkılarının yüzey alanı sağlama kapasitelerini dolayısıyla da performanslarını belirleyen önemli bir parametredir. Akma süresinin belirlenmesinde TS EN ISO 2431 [176] tipi 4 numaralı ford akış kabı kullanılmış ve akış süreleri saniye cinsinden ölçülmüştür. Ford viskozite kapları boyaların ve verniklerin viskozitesini ölçmek için kullanılır. Tutkal kap içerisine doldurulduktan sonra kabın alt kısmı açılır ve akış tamamlanana kadar geçen süre kronometrede ölçülür. Viskozite ölçümü Şekil 30'da verilmiştir.



Şekil 30. Tutkalların viskozite (akma süresi) ölçümü

2.3.2. Yonga Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

2.3.2.1. Fiziksel Özellikler

2.3.2.1.1. Rutubet

Örneklerin rutubetleri TS EN 322 [177]'e göre belirlenmiştir. 50x50x10mm boyutlarında hazırlanan örnekler; $\pm 0,01$ g duyarlıdaki hassas terazide tartılıp, $103 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuş ve aynı hassasiyet ile yeniden tartılmıştır. Rutubetin belirlenmesinde;

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

eşitliği kullanılmıştır. Burada;

r: rutubet (%)

m: klimatize edilmiş durumdaki örnek ağırlığı (g)

m_0 : tam kuru haldeki örnek ağırlığı (g)



Şekil 31. Örneklerin rutubetlerinin belirlenmesi

2.3.2.1.2. Yoğunluk

Levhaların yoğunlukları TS EN 323/1 [178] 'e göre belirlenmiştir. 50x50x10 mm boyutlarında hazırlanan örnekler 18-22°C sıcaklık ve %60-70 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiş ve boyutları $\pm 0,01$ mm hassasiyetli dijital komparatör saati ile ölçülmüş, ağırlıkları ise $\pm 0,01$ g duyarlılıktaki hassas terazi ile tartılmıştır. Yoğunluğun hesaplanmasında;

$$\delta = \frac{m}{v} \text{ g/cm}^3 \quad (2)$$

eşitliği kullanılmıştır. Burada;

δ : özgül ağırlık (g/cm^3)

m: hava kurusu ağırlık (g)

v: örnek hacmi (cm^3) 'dir.

2.3.2.1.3. Su Alma Oranı

Su alma ASTM D1037 [179]'e göre belirlenmiştir. 50x50x10 mm boyutlarında hazırlanan ve ± 0.01 gr duyarlıkları hassas terazide tartılan örnekler 2 ve 24 saat süre ile $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik saf suda, su yüzeyinden 3 cm aşağıda olacak şekilde bekletilmişlerdir. Süre sonunda sudan çıkarılan örneklerin fazla suları kuru bir bez yardımı ile alınmış ve ağırlıkları ± 0.01 gr duyarlıkları terazide tartılmıştır. Su alma oranlarının belirlenmesinde;

$$\%SA = \frac{M - M_0}{M_0} \times 100 \quad (3)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır. Burada;

Sa= Su alma oranı (%)

M₀= Örneğin ilk ağırlığı (gr)

M= Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (gr)



Şekil 32. Su alma oranı ve kalınlık artımı örnekleri

2.3.2.1.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı

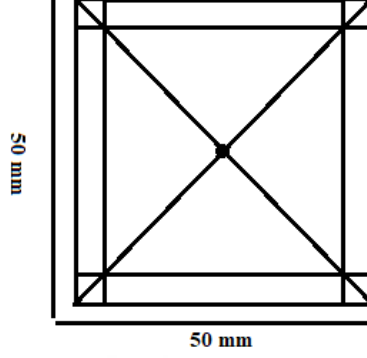
Kalınlık artımları TS EN 317 [180]'e uygun olarak 50x50x10 mm boyutlarında hazırlanmış, kalınlıklar örneklerin orta kısmından ± 0.01 mm duyarlıklı dijital komparatör saati ile ölçülmüştür. Örnekler $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıktaki saf suda su yüzeyinden 3 cm aşağıda olacak şekilde bekletilmişlerdir. 2 ve 24 saat sonra sudan çıkarılan örneklerin fazla suları kuru bir bez yardımıyla alınmış ve kalınlıklar aynı hassasiyetle tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artımları;

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

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

e_y = Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

e_k = Klimatize edilmiş durumdaki örneklerin kalınlığı (mm)



Şekil 33. Kalınlık artımı test örneğinin ölçüm noktaları

2.3.2.2. Mekanik Özellikler

2.3.2.2.1. Eğilme Direnci

Eğilme direnci TS EN 310 [181]'e göre; Starwood Orman Ürünleri A.Ş'nin kalite kontrol laboratuvarında bulunan IMAL (model IB600, Modena, İtalya) üniversal test makinesinde gerçekleştirilmiştir. İklimlendirilen 250x50x10 mm boyutlarındaki örneklerin genişlikleri yükleme hattından, kalınlıkları ise aynı hatta 5mm içeriden iki noktadan 0.01 mm hassasiyete dijital komparatör saati ile ölçülmüş ve iki kalınlık ölçümünün ortalaması alınarak deney föyüne yazılmıştır. Test örneği ölçüleri Şekil 34'te verilmiştir [182].

Eğilme direnci;

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

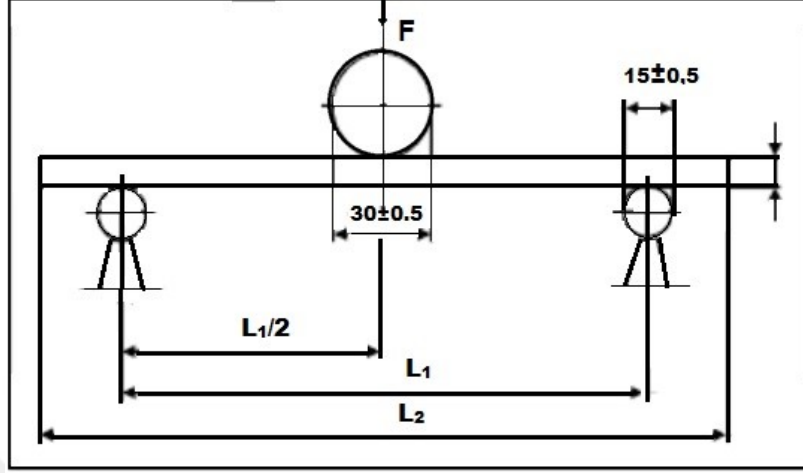
eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (kg)

L = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d = Örnek kalınlığı (cm)

b = Örnek genişliği (cm)



Şekil 34. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü deney düzeneği

2.3.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülü TS EN 310 [181]'e göre; Starwood Orman Ürünleri A.Ş'nin kalite kontrol laboratuvarında bulunan IMAL (model IB600, Modena, İtalya) üniversal test makinasında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde eğilme direnci testleri için hazırlanan örneklerden yararlanılmıştır. Örneklerin elastik deformasyon bölgesindeki sehim değerleri makinede otomatik olarak belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü (E):

$$E = \frac{F \times L^3}{4 \times \Delta e \times b \times d^3} \quad N/mm^2 \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

Δe = Eğilme miktarı (sehim) (cm)

F= Deformasyonu sağlayan kuvvet (kg)

L = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d = Örnek kalınlığı (cm)

b = Örnek genişliği (cm)



Şekil 35. Eğilme direnci ve eğilmelerde elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi

2.3.2.2.3. Yüze Dik Çekme Direnci

Yüze dik çekme direnci TS EN 319 [183]'e uygun olarak belirlenmiştir. 50x50x10 mm boyutlarında hazırlanan örnekler sıcaklığı $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\%65\pm 5$ olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Örnek boyutları $\pm 0.01\text{mm}$ duyarlıklı dijital komparatör saati ile ölçülmüş ve her iki yüzüne standartlarda belirtilen özelliklere sahip metal takozlar şeffaf yapıştırıcısı kullanılarak yapıştırılmıştır. Takozlara yapıştırılan örnekler tekrar iklimlendirildikten sonra denemeye alınmıştır. Yüze dik çekme direnci ($\sigma_{\text{çd}}$);

$$\sigma_{\text{çd}} = \frac{F_{\text{MAX}}}{A} \times N/\text{mm}^2 \quad (8)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F_{max} = Kırılma anındaki max kuvvet (kg)

A = Örnek enine kesit alanı (cm^2)



Şekil 36. Yüzeye dik çekme direnci deneyi düzeneği

2.3.2.3. Formaldehit Emisyonu

Formaldehit emisyonu TS EN ISO 12460-3 [144]'e göre; Starwood Orman Ürünleri A.Ş'nin kimya laboratuvarında bulunan ve İsveç Araştırma Enstitüleri tarafından geliştirilen RI.SE s/n 18001 test çemberi ile gerçekleştirilmiştir.

Cihazın; 4 lt'lik bir oda, beş valfli bir örnekleme paneli, 8 adet gaz yıkama şişesi ve bir kontrol paneli bulunmaktadır. Oda içi sıcaklık $60 \pm 0,5^\circ\text{C}$ tutulmakta ve oda içerisine yerleştirilen örneklerin üzerinden 1 l/dk hız ile taze hava akışı sağlanmaktadır.

Üretimden hemen sonra $400 \times 50 \times 10 \text{ mm}$ boyutlarında kesilerek hava almayacak şekilde sarılmış ve deney anına kadar saklanmış örneklerden biri kenarları alüminyum folyo bant yardımıyla sarılmış ve cihazın içerisine yerleştirilmiştir. Ardından cihazın kapağı kapatılmış, hava vanası açılmış ve dört saat süre ile dakikada 1 litre hava geçişi ile cihaz içerisine taze hava akışı sağlanmıştır.

Örneklerden yayılan ve deney odası içerisine dağılan hava ile karışan formaldehit 20 ml ve 30 ml'lik saf su bulunan gaz yıkama şişelerinden geçirilerek suya absorbe edilmiştir. Deney süresi 4 saat olup, şişe setine oda içerisinden geçirilen hava saatte bir absorbe edilmiştir.

Deney sonunda gaz yıkama şişelerinde biriktirilen formaldehitli su karışımı 250 ml hacimli bir cam şişeye nakledilmiştir ve üzeri saf su ile tamamlanmıştır. Deney tamamlandıktan sonra formaldehit konsantrasyonu; asetil aseton metodu ile fotometrik

olarak, Merck Spectroquant Pharo 100 UV/Vis Spektrometre kullanılarak absorbanst tayini ile belirlenmiştir. Sonuç mg/m^2h şeklinde ifade edilmektedir.

Formaldehit emisyonu;

$$Gi = \frac{(As - Ab) \times f \times V}{F} \text{ mg/m}^2\text{h} \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

Gi: Gaz analiz değeri,

As: Ekstraksiyon çözeltisinin absorbanstı,

Ab: Kör deneyinin absorbanstı,

f: Standard formaldehit çözeltisinin ayar eğrisinin eğimi mg/ml ,

F: Yüzeyin formaldehit yayma alanı (kaplanmamış) m^2 ,

V: Dereceli şişenin hacmi ml .

Deney numunesinin ortalama formaldehit emisyonu belirlenmesinde;

$$Gm = \frac{G1 + G2 + G3 + G4}{4} \quad (10)$$

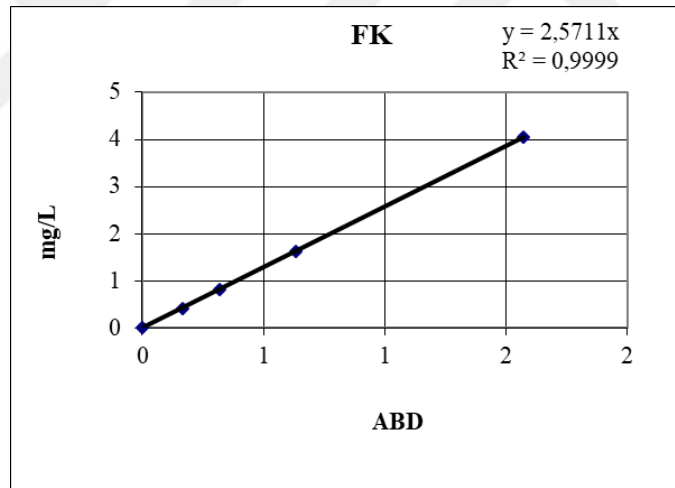
eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

Gm= Deney numunelerinin ortalama formaldehit emisyonu değeri (mg/m^2h)

Şekil 37'de formaldehit testi düzeneği ve Şekil 38'de ise ölçümlerin yapılmasında kullanılan kalibrasyon eğrisi verilmiştir.



Şekil 37. Formaldehit emisyonu deney düzeneği



Şekil 38. Formaldehit emisyonu kalibrasyon eğrisi

2.3.2.4. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test)

Nano katkı kullanımının dış ortam performanslarına etkisini belirlemek için gerçekleştirilen test; QUV (Q-Lab) hızlandırılmış yaşlandırma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denemeler; ASTM G-154 [185] (2 numaralı döngü) standardı modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Örnekler QUV test kabini içinde bekletildikten sonra cihazdan

alınmış ve klimatize odasında iklimlendirildikten sonra mekanik özellikleri belirlenmiş ve değişimler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tablo 8’de test koşulları verilmiştir.

Tablo 9. Hızlandırılmış yaşlandırma için test koşulları

Lamba tipi	UVA-340	Toplam test süresi: 104 saat			
Model	Temel, sprej				
Kademe	Uygulanan işlem	Lamba parlaklığı- Işınım (W/m ² /nm)	Sıcaklık (°C)	Zaman (saat)	Döngü sayısı
1	UV	0,71	60	4	13
2	Yoğuşma	-	50	4	13
3	Son işlem- UV’ye dönüş	-	-	-	



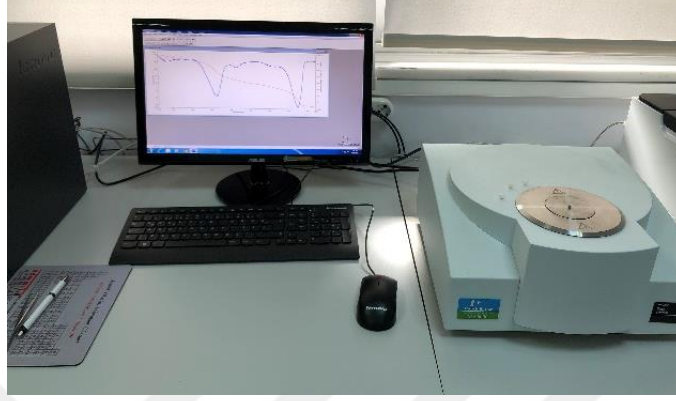
Şekil 39. Hızlandırılmış yaşlandırma (QUV test) düzeneği

2.3.2.5. Termal Özellikler ve Yangın Dayanımı

2.3.2.5.1. Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizi (DTG)

TGA/DTG analizinde kullanılacak örnekler küçük parçalara bölünmüş ve IKA laboratuvar tipi değirmen kullanılarak boyutu 1mm olacak şekilde öğütülmüş ve sıcaklığı $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de olan fırında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuş paketlenmiştir. Analizler; Artvin Çoruh Üniversitesi, Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Enstrümantal Laboratuvarı'nda bulunan Perkin Elmer

STA 6000 Termogravimetrik Analiz cihazında gerçekleştirilmiştir. Cihaz, oda sıcaklığından 600°C'ye kadar dakikada 10°C artacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 40'ta kullanılan analiz cihazı verilmiştir.



Şekil 40. Perkin Elmer STA 6000 TGA cihazı

2.3.2.5.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi

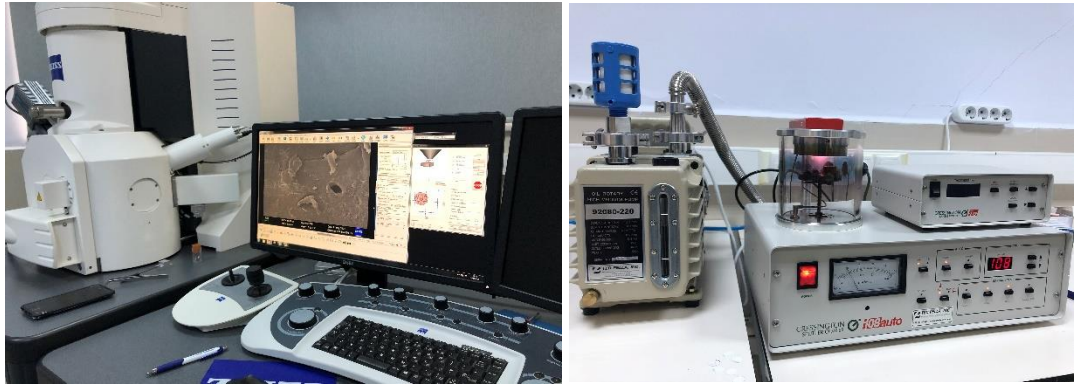
LOI, bir malzemenin alevli yanmasını sağlamak için gereken en düşük oksijen konsantrasyonunu belirten, malzemelerin yanıcılığını karakterize etmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir [186]. Küçük boyutlu numunelerle çalışılabilmesi ve malzemenin yanıcılığı üzerine net rakamsal değerler alınabilmesi diğer yanıcılık testlerine göre LOI testinin avantajlarıdır [187]. Örneklerin yanma dirençlerinin belirlenmesinde ASTM D2863-06a [188] standardına uygun olarak oksijen indeks test cihazı (Dynisco LOI chamber) kullanılmıştır. Örnek boyutları 120x15x10 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Testin amacı örneklerin yanmasını sürdürmek için gerekli olan minimum oksijen miktarını belirlemektir. Örnekler öncü bir ateş verilerek yakılmakta ve ölçüm yapılmaktadır. Testte yanma işlemi için oksijen ve nitrojen gazları kullanılmaktadır. LOI test örnekleri ve düzeneği Şekil 41' de verilmiştir.



Şekil 41. Limit oksijen indeksi (LOI) test örnekleri ve düzeneği

2.3.2.6. Morfolojik Özellikler

Taramalı elektron mikroskop görüntüleri (SEM) Artvin Çoruh Üniversitesi bilim teknoloji uygulama ve araştırma merkezinde Carls Zeiss Evo LS-10 taramalı elektron mikroskobu ile ölçülmüştür. Örnek yüzeyindeki yansımaları önlemek için kesit yüzeylerine altın tozuyla 10 mA de 120 sn süreyle kaplama yapılmıştır. Kaplama işlemi için Ted Pella (Cressington sputter coater 108 auto) cihazı kullanılmıştır. Çekimden sonra SEM görüntüleri CD'ye aktarılmıştır. SEM katı fazların morfolojilerini göstermektedir. Şekil 42'de SEM görüntüleme ve örnek kaplama cihazları verilmiştir.



Şekil 42. Örnek kaplama cihazları ve SEM görüntüleme

3.2.7. İstatistiksel Analizler

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde çoğul varyans analizi kullanılmış ve değişkenlerin etkilerinin anlamlı olup olmadıkları belirlenmiştir. Etkilenmenin anlamlı olması durumunda ortalama değerler Duncan testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistik analizlerde IBM SPSS 20 İstatistik Paket Programı kullanılmıştır. Tablo 10’da tez çalışmasında uygulanan deney deseni verilmiş.



Tablo 10. Levhalara uygulanen deney deseni

Levha grubu	FM ¹	FE ²	HY ³	LOI ⁴	TGA ⁵ DTG	SEM ⁶	Levha grubu	FM	FE	HY	LOI	TGA DTG	SEM
C ₁	+	+	+	+	+	+	NC ₂	+					
C ₂	+						NC ₃	+					
C ₃	+						NC ₄	+	+		+	+	
C ₄	+	+		+	+	+	GA ₁	+	+	+	+	+	+
EA ₁	+	+	+	+	+	+	GA ₂	+					
EA ₂	+						GA ₃	+					
EA ₃	+						GA ₄	+	+		+	+	
EA ₄	+	+		+	+		GB ₁	+	+	+	+	+	+
EB ₁	+	+	+	+	+	+	GB ₂	+					
EB ₂	+						GB ₃	+					
EB ₃	+						GB ₄	+	+		+	+	
EB ₄	+	+		+	+		GC ₁	+	+	+	+	+	+
EC ₁	+	+	+	+	+	+	GC ₂	+					
EC ₂	+						GC ₃	+					
EC ₃	+						GC ₄	+	+		+	+	
EC ₄	+	+		+	+		MC	+	+	+	+	+	+
NA ₁	+	+	+	+	+	+	ME ₁	+	+	+	+	+	+
NA ₂	+						ME ₂	+	+	+	+	+	
NA ₃	+						ME ₄	+	+	+	+	+	+
NA ₄	+	+		+	+		MN ₁	+	+	+	+	+	+
NB ₁	+	+	+	+	+	+	MN ₂	+	+	+	+	+	
NB ₂	+						MN ₄	+	+	+	+	+	+
NB ₃	+						MG ₁	+	+	+	+	+	+
NB ₄	+	+		+	+		MG ₂	+	+	+	+	+	
NC ₁	+	+	+	+	+	+	MG ₄	+	+	+	+	+	+

¹=Fiziksel ve mekanik özellikler, ²=Formaldehit emisyonu, ³=Hızlı yaşlandırma (QUV test), ⁴=Limit oksijen indeks testi, ⁵=Termogravimetrik ve türev termogravimetrik analizi, ⁶= Taramalı elektron mikroskobu analizi

3. BULGULAR

3.1. Viskozite (Akma Süresi) Tayinine Ait Bulgular

Levhaların üretiminde kullanılan tutkal karışımlarının viskozite (akma süresi) değerlerine ait bulgular Tablo 11’de verilmiştir. Ölçümler 3 tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 11. Tutkalların viskozite (akma süresi) değerlerine ait bulgular (sn)

Tutkallar	Viskozite (sn) (25°C)					
	ÜF			MF		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
Kontrol	21,54	0,33	1,53	15,54	0,28	1,80
%1 OM NK	22,43	0,24	1,07	16,42	0,31	1,89
%2 OM NK	24,75	0,51	2,06	18,37	0,23	1,25
%4 OM NK	26,73	0,37	1,38	20,83	0,36	1,73
%1 Na NK	22,18	0,42	1,91	15,98	0,27	1,69
%2 Na NK	23,65	0,35	1,48	17,91	0,34	1,90
%4 Na NK	25,90	0,46	1,79	20,52	0,21	1,02
%1 GNP	26,55	0,29	1,09	19,65	0,25	1,29
%2 GNP	28,61	0,33	1,15	21,33	0,32	1,52
%4 GNP	31,51	0,50	1,59	23,87	0,42	1,76

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Tutkal karışımlarının viskozite (akma süresi) değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkili olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Viskozite (akma süresi) değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	189,962	2	94,981	132,557	***
Nano katkı oranı (B)	172,791	2	86,395	120,575	***
Tutkal türü (C)	529,107	1	529,107	738,430	***
A*B İnt.	0,609	4	0,152	0,212	Ö.D
A*C İnt.	5,701	2	2,850	3,978	*
B*C İnt.	0,062	2	0,031	0,044	Ö.D
A*B*C İnt.	1,007	4	0,252	0,351	Ö.D
Hata	28,661	40	0,717		
Toplam	30696,518	60			

Çoğul varyans analizine göre; nano katkı türü ve nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisi %0,1 yanılma olasılığı ile nano katkı türü*tutkal türü ikili etkileşimi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı oranı*tutkal türünün ikili etkileşimi ile nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Melamin formaldehit kullanılan levhaların viskoziteleri daha düşük bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Nano katkı türü ve nano katkı oranının viskozite (akma süresi) değerlerine etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	D
OM NK	B	1	C
Na NK	B	2	B
GNP	A	4	A

3.2. Levhaların Özelliklerine Ait Bulgular

3.2.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

3.2.1.1. Rutubet Miktarına Ait Bulgular

Levhaların rutubet değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. Rutubet değerlerine ait bulgular (%)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	Levha grubu	\bar{X}	S	V
C ₁	8,80	0,14	1,56	NC ₂	8,49	0,21	2,49
C ₂	8,63	0,25	2,86	NC ₃	8,30	0,18	2,12
C ₃	8,40	0,13	1,54	NC ₄	8,01	0,21	2,60
C ₄	8,25	0,18	2,21	GA ₁	8,42	0,34	4,09
EA ₁	8,75	0,23	2,68	GA ₂	8,47	0,19	2,26
EA ₂	8,35	0,21	2,47	GA ₃	8,47	0,16	1,83
EA ₃	9,17	0,31	3,35	GA ₄	8,30	0,48	5,78
EA ₄	7,71	0,14	1,87	GB ₁	8,43	0,53	6,24
EB ₁	8,48	0,27	3,15	GB ₂	8,42	0,15	1,82

Tablo 14' ün devamı

EB ₂	7,83	0,27	3,45	GB ₃	8,66	0,14	1,59
EB ₃	8,77	0,18	2,04	GB ₄	8,27	0,19	2,32
EB ₄	8,07	0,16	2,02	GC ₁	8,93	0,19	2,08
EC ₁	9,15	0,14	1,52	GC ₂	7,96	0,18	2,32
EC ₂	8,01	0,21	2,67	GC ₃	8,15	0,26	3,18
EC ₃	9,04	0,27	2,94	GC ₄	8,56	0,26	3,02
EC ₄	8,17	0,29	3,50	MC	8,44	0,14	1,71
NA ₁	8,98	0,26	2,92	ME ₁	8,10	0,24	2,90
NA ₂	8,45	0,18	2,11	ME ₂	8,38	0,12	1,40
NA ₃	8,59	0,19	2,18	ME ₄	8,34	0,17	2,01
NA ₄	8,39	0,41	4,93	MN ₁	8,25	0,15	1,86
NB ₁	8,83	0,38	4,35	MN ₂	8,42	0,11	1,30
NB ₂	8,97	0,32	3,60	MN ₄	8,33	0,17	2,10
NB ₃	8,67	0,27	3,15	MG ₁	8,02	0,13	1,63
NB ₄	8,45	0,34	4,05	MG ₂	8,22	0,11	1,36
NC ₁	9,43	0,16	1,65	MG ₄	8,11	0,13	1,56

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda rutubet değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkili olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. Rutubet değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	4,575	2	2,288	32,605	***
Nano katkı oranı (B)	0,057	2	0,029	0,409	Ö.D
Vermikülit oranı (C)	26,736	3	8,912	127,022	***
A*B İnt.	3,855	4	0,964	13,737	***
A*C İnt.	20,461	6	3,410	48,606	***
B*C İnt.	12,709	6	2,118	30,190	***
A*B*C İnt.	7,846	12	0,654	9,319	***
Hata	39,290	560	0,070		
Toplam	43508,0	600			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Çoğul varyans analizine göre; nano katkı türü, vermikülit oranının tekli, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı oranı*vermikülit oranı, nano katkı türü*vermikülit oranlarının ikili etkileşimi ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranının üçlü etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı oranının etkisi ise %5

yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16. Rutubet değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.	Vermikülit oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	B	0	A	0	D
OM NK	AB	1	A	10	B
Na NK	C	2	A	15	C
GNP	A	4	A	20	A

Rutubet değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 17’de verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türünün tekli ve nano katkı türü*tutkal türü ve nano katkı oranı*tutkal türünün ikili etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı ikili etkileşimleri ve nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türü üçlü etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağının belirlenmesi için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 18’de verilmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhaların rutubet değerleri daha düşük bulunmuştur.

Tablo 17. Rutubet değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	5,597	2	2,798	49,057	***
Nano katkı oranı (B)	4,628	2	2,314	40,563	***
Tutkal türü (C)	19,139	1	19,139	335,514	***
A*B İnt.	0,159	4	0,040	0,697	Ö.D
A*C İnt.	0,963	2	0,482	8,443	***
B*C İnt.	4,997	2	2,498	43,798	***
A*B*C İnt.	0,271	4	0,068	1,187	Ö.D
Hata	15,973	280	0,057		
Toplam	21935,494	300			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 18. Rutubet değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan testi sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	B
OM NK	B	1	A
Na NK	C	2	A
GNP	A	4	C

3.2.1.2. Yoğunluklarına Ait Bulgular

Levhaların yoğunluk değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Yoğunluk değerlerine ait bulgular (kg/m³)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	Levha grubu	\bar{X}	S	V
C ₁	656,24	34,11	5,20	NC ₂	665,85	34,67	5,21
C ₂	653,78	25,57	3,91	NC ₃	654,68	38,83	5,93
C ₃	645,31	31,46	4,87	NC ₄	653,35	33,72	5,16
C ₄	645,01	23,85	3,70	GA ₁	664,48	37,75	5,68
EA ₁	655,67	17,01	2,59	GA ₂	658,12	16,26	2,47
EA ₂	651,03	38,32	5,89	GA ₃	661,32	37,59	5,68
EA ₃	651,71	39,74	6,10	GA ₄	657,08	29,34	4,47
EA ₄	649,22	28,03	4,32	GB ₁	655,72	28,01	4,27
EB ₁	659,80	36,80	5,58	GB ₂	653,57	15,74	2,41
EB ₂	665,59	37,91	5,70	GB ₃	654,81	28,27	4,32
EB ₃	651,03	26,46	4,06	GB ₄	648,53	17,37	2,68
EB ₄	654,91	29,26	4,47	GC ₁	667,45	28,89	4,33
EC ₁	656,68	30,32	4,62	GC ₂	654,62	29,37	4,55
EC ₂	668,32	46,32	7,04	GC ₃	656,47	31,50	4,80
EC ₃	665,74	37,03	5,56	GC ₄	658,62	24,05	3,65
EC ₄	646,03	34,34	5,32	MC	678,98	44,87	6,61
NA ₁	642,41	54,00	8,41	ME ₁	660,52	42,05	6,37
NA ₂	653,84	45,26	6,92	ME ₂	651,94	37,17	5,70
NA ₃	647,24	27,39	4,23	ME ₄	663,33	51,38	7,75
NA ₄	661,20	14,97	2,26	MN ₁	665,65	32,07	4,82
NB ₁	655,19	37,15	5,67	MN ₂	683,08	22,24	3,26
NB ₂	653,99	42,27	6,46	MN ₄	674,52	19,46	2,88
NB ₃	660,34	18,05	2,73	MG ₁	645,80	43,18	6,69
NB ₄	655,71	34,02	5,19	MG ₂	672,98	41,9	6,23
NC ₁	663,55	31,91	4,81	MG ₄	654,34	24,37	3,72

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda yoğunluk değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve vermikülit oranının etkisi ile tüm karşılıklı etkileşimlerinin etkisi %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur.

Tablo 20. Yoğunluk değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	195,622	2	97,811	0,086	Ö.D
Nano katkı oranı (B)	965,117	2	482,559	0,426	Ö.D
Vermikülit oranı (C)	2288,775	3	762,925	0,674	Ö.D
A*B İnt.	3787,707	4	946,927	0,836	Ö.D
A*C İnt.	3878,999	6	646,500	0,571	Ö.D
B*C İnt.	1926,465	6	321,077	0,284	Ö.D
A*B*C İnt.	7876,298	12	656,358	0,580	Ö.D
Hata	634202	560	1132,50		
Toplam	258371283	600			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Yoğunluk değerlerine; nano katkı türü ve nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 21’de verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; yoğunluk değerlerine sadece tutkal türünün etkisi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuş olup, Melamin formaldehit kullanılan levhaların yoğunluk değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 21. Yoğunluk değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	1710,133	2	855,066	0,614	Ö.D
Nano katkı oranı (B)	3343,129	2	1671,565	1,200	Ö.D
Tutkal türü (C)	24588,867	1	24588,867	17,651	***
A*B İnt.	2748,599	4	687,150	0,493	Ö.D
A*C İnt.	8015,975	2	4007,987	2,877	Ö.D
B*C İnt.	1563,032	2	781,516	0,561	Ö.D
A*B*C İnt.	6131,615	4	1532,904	1,100	Ö.D
Hata	390055,23	280	1393,054		
Toplam	133673095	300			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

3.2.1.3. Su Alma Oranlarına Ait Bulgular

Levhaların su alma oranlarına ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Su alma oranlarına ait bulgular (%)

Levha Grubu	2 saat			24 saat			Levha grubu	2 saat			24 saat		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V		\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
C ₁	55,0	4,0	7,3	77,7	4,4	5,7	NC ₂	68,2	4,3	6,3	82,1	5,5	6,7
C ₂	56,2	3,9	6,9	79,7	4,8	6,0	NC ₃	66,5	4,0	6,0	81,5	4,8	5,9
C ₃	63,2	4,8	7,5	77,9	4,2	5,5	NC ₄	75,2	4,9	6,5	85,7	7,9	9,2
C ₄	67,7	4,0	6,0	80,6	5,4	6,7	GA ₁	53,9	4,6	8,5	71,7	4,6	6,5
EA ₁	54,2	5,0	9,2	75,1	4,8	6,4	GA ₂	58,7	3,6	6,2	74,8	6,1	8,1
EA ₂	48,5	4,1	8,4	73,1	6,5	8,9	GA ₃	53,5	3,3	6,2	69,2	4,5	6,6
EA ₃	54,2	3,4	6,2	78,9	4,3	5,4	GA ₄	57,1	4,3	7,5	71,2	4,9	6,9
EA ₄	55,2	2,7	4,9	75,0	4,7	6,3	GB ₁	53,4	3,5	6,6	73,4	4,5	6,0
EB ₁	53,7	3,1	5,7	74,2	4,2	5,7	GB ₂	55,0	3,0	5,5	73,9	4,8	6,5
EB ₂	53,3	3,4	6,4	71,4	5,8	8,2	GB ₃	63,6	4,4	6,9	81,0	5,8	7,2
EB ₃	52,2	3,4	6,5	68,5	4,9	7,2	GB ₄	55,3	3,6	6,5	74,7	4,4	5,9
EB ₄	46,8	3,9	8,3	64,4	3,9	6,0	GC ₁	57,2	5,5	9,6	79,9	6,0	7,5
EC ₁	62,7	4,4	7,1	84,6	6,5	7,5	GC ₂	57,1	3,2	5,6	77,7	4,8	6,2
EC ₂	62,1	4,6	7,4	82,8	9,2	11,0	GC ₃	53,4	3,7	7,0	73,8	5,7	7,8
EC ₃	62,6	6,1	9,7	83,2	6,4	7,7	GC ₄	50,5	2,7	5,3	70,2	4,8	6,8
EC ₄	62,6	5,0	8,0	83,0	6,7	8,2	MC	53,4	3,6	6,7	64,6	4,6	7,1
NA ₁	67,3	4,2	6,2	82,9	5,3	6,4	ME ₁	52,2	3,1	6,0	63,5	5,1	8,0
NA ₂	65,3	3,7	6,0	77,1	6,5	8,4	ME ₂	52,1	4,1	7,9	61,8	6,3	10,1
NA ₃	66,0	4,4	6,7	80,5	4,2	5,2	ME ₄	56,9	4,8	8,4	66,9	4,7	7,0
NA ₄	65,4	4,5	6,9	76,1	4,7	6,2	MN ₁	53,7	3,4	6,4	62,2	5,1	8,2
NB ₁	71,5	3,9	5,5	84,7	7,6	9,0	MN ₂	51,2	3,1	6,1	62,9	3,4	5,4
NB ₂	68,6	4,3	6,2	79,6	4,6	5,7	MN ₄	54,3	3,9	7,2	67,0	4,7	7,0
NB ₃	65,7	4,9	7,4	79,1	6,6	8,3	MG ₁	49,1	3,7	7,5	60,9	4,1	6,7
NB ₄	64,8	4,0	6,1	77,6	5,4	6,9	MG ₂	51,6	3,6	6,9	62,5	4,7	7,6
NC ₁	73,2	5,1	7,0	86,8	5,7	6,6	MG ₄	56,0	3,7	6,6	67,5	4,4	6,5

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda su alma oranlarına; nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve suda bekleme süresinin etkisi çoğul varyans analizi ile belirlenmiş, sonuçlar Tablo 23’te verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı, suda bekletme süresinin tekli, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı türü*vermikülit oranı, nano katkı türü*süre, nano katkı oranı*vermikülit oranı, vermikülit oranı*suda bekletme süresinin ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranı ve nano katkı türü*nano katkı oranı* suda bekletme süresinin üçlü

etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Vermikülit oranı* suda bekletme süresinin ikili etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı*süre, nano katkı oranı*vermikülit oranı* suda bekletme süresinin üçlü ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranı* suda bekletme süresinin dördü etkileşimleri ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 24’te verilmiştir.

Tablo 23. Su alma oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	21313,489	2	10656,744	600,169	***
Nano katkı oranı (B)	5372,659	2	2686,330	151,289	***
Vermikülit oranı (C)	458,733	3	152,911	8,612	***
Suda bekletme süresi (D)	80476,520	1	80476,520	4532,294	***
A*B İnt.	6241,127	4	1560,282	87,872	***
A*C İnt.	1085,310	6	180,885	10,187	***
A*D İnt.	3331,170	2	1665,585	93,803	***
B*C İnt.	930,859	6	155,143	8,737	***
B*D İnt.	213,171	2	106,585	6,003	*
C*D İnt.	850,076	3	283,359	15,958	***
A*B*C İnt.	4309,624	12	359,135	20,226	***
A*B*D İnt.	534,585	4	133,646	7,527	***
A*C*D İnt.	71,843	6	11,974	0,674	Ö.D
B*C*D İnt.	28,363	6	4,727	0,266	Ö.D
A*B*C*D İnt.	260,962	12	21,747	1,225	Ö.D
Hata	19886,993	1120	17,756		
Toplam	5853681,1	1200			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 24. Su alma oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.	Vermikülit oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	B	0	B
OM NK	B	1	A	10	B
Na NK	D	2	A	15	A
GNP	A	4	C	20	A

Su alma oranlarına; nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü ve suda bekletme süresinin etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 25’te verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü, suda bekletme süresinin tekli, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı türü*tutkal

türü, nano katkı türü*suda bekletme süresinin, tutkal türü*suda bekletme süresinin ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*süre ve nano katkı türü*tutkal türü*suda bekletme süresinin üçlü etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türü*suda bekletme süresinin üçlü etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*tutkal türü, nano katkı oranı* sürenin ikili, nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türü, nano katkı türü*tutkal türü* suda bekletme süresinin etkileşimleri ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 26'da verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların su alma oranları daha düşük bulunmuştur.

Tablo 25. Su alma oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	4296,941	2	2148,471	126,055	***
Nano katkı oranı (B)	3508,652	2	1754,326	102,93	***
Tutkal türü (C)	31003,909	1	31003,909	1819,065	***
Suda bekletme süresi(D)	15471,950	1	15471,950	907,772	***
A*B İnt.	410,010	4	102,502	6,014	***
A*C İnt.	339,004	2	169,502	9,945	***
A*D İnt.	3873,486	2	1936,743	133,633	***
B*C İnt.	56,157	2	28,079	1,647	Ö.D
B*D İnt.	130,320	2	65,160	3,823	Ö.D
C*D İnt.	2434,334	1	2434,334	142,828	***
A*B*C İnt	17,837	4	4,459	0,262	Ö.D
A*B*D İnt	340,894	4	85,224	5	***
A*C*D İnt	383,676	2	191,838	11,256	***
B*C*D İnt	12,379	2	6,190	0,363	Ö.D
A*B*C*D İnt	167,470	4	41,868	2,4656	*
Hata	9544,565	560	17,044		
Toplam	2546278,5	600			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 26. Su alma oranlarına nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	B	0	A
OM NK	B	1	A
Na NK	C	2	A
GNP	A	4	B

3.2.1.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranlarına Ait Bulgular

Levhaların kalınlık artımı oranlarına ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27. Kalınlık artımı oranlarına ait bulgular (%)

Levha Grubu	2 saat			24 saat			Levha grubu	2 saat			24 saat		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V		\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
C ₁	21,2	1,7	8,1	25,7	1,7	6,5	NC ₂	27,6	2,2	7,9	32,7	2,9	8,9
C ₂	22,0	2,0	8,9	26,6	2,6	9,9	NC ₃	23,8	1,5	6,4	28,3	2,1	7,5
C ₃	24,7	1,8	7,2	29,1	1,8	6,2	NC ₄	25,0	1,9	7,4	28,7	2,8	9,8
C ₄	25,8	1,7	6,7	29,7	3,0	10,1	GA ₁	17,3	1,4	7,9	21,5	1,6	7,5
EA ₁	19,8	1,5	7,3	24,8	2,0	8,0	GA ₂	17,2	1,1	6,2	21,2	1,6	7,6
EA ₂	22,2	2,3	10,1	25,2	2,2	8,6	GA ₃	19,6	1,7	8,5	23,3	2,6	11,3
EA ₃	19,8	1,8	8,9	23,5	1,5	6,6	GA ₄	18,4	1,6	8,7	22,4	1,5	6,8
EA ₄	18,3	1,1	6,3	23,6	2,0	8,4	GB ₁	18,0	1,7	9,4	23,3	1,9	8,2
EB ₁	20,5	1,9	9,0	22,6	2,0	8,9	GB ₂	19,2	1,4	7,3	23,5	1,8	7,6
EB ₂	20,9	1,6	7,9	24,3	1,9	7,8	GB ₃	20,1	1,7	8,4	25,4	2,1	8,3
EB ₃	15,5	1,2	7,7	21,4	2,4	11,2	GB ₄	18,9	1,3	6,8	23,3	1,6	6,7
EB ₄	16,0	1,5	9,5	20,8	1,8	8,6	GC ₁	22,3	1,5	6,5	26,7	2,0	7,4
EC ₁	21,6	1,5	7,0	26,3	1,9	7,3	GC ₂	21,1	1,6	7,5	26,2	1,5	5,7
EC ₂	23,4	2,0	8,7	28,0	2,1	7,6	GC ₃	20,3	1,3	6,3	25,1	2,6	10,3
EC ₃	21,7	1,3	6,2	26,1	2,1	7,9	GC ₄	19,5	1,4	7,2	23,0	1,7	7,4
EC ₄	23,0	1,8	7,7	27,1	2,6	9,6	MC	14,2	0,9	6,1	17,1	1,4	7,9
NA ₁	22,5	1,8	8,2	26,2	1,8	7,0	ME ₁	12,5	0,8	6,7	16,2	1,3	8,2
NA ₂	24,8	2,4	9,7	28,8	2,2	7,7	ME ₂	12,2	0,6	5,3	16,0	1,0	6,2
NA ₃	21,2	2,0	9,3	24,6	1,5	6,3	ME ₄	14,1	1,2	8,2	17,3	1,6	9,2
NA ₄	22,7	1,7	7,4	25,7	1,8	7,1	MN ₁	11,7	0,8	6,7	15,5	1,2	7,5
NB ₁	22,7	1,3	5,8	26,9	2,1	7,8	MN ₂	12,9	1,0	7,9	16,4	1,3	7,7
NB ₂	21,0	1,4	6,7	25,5	1,8	6,9	MN ₄	14,7	1,3	8,8	18,0	1,2	6,7
NB ₃	18,1	1,7	9,5	21,6	2,1	9,5	MG ₁	11,0	0,8	6,9	15,2	0,9	6,2
NB ₄	18,9	1,3	7,1	22,2	1,7	7,7	MG ₂	12,4	0,9	7,1	15,3	1,2	7,9
NC ₁	27,0	1,9	7,1	31,7	3,4	10,7	MG ₄	13,8	1,3	9,2	16,7	0,8	4,8

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda kalınlık artımı oranlarına; nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve suda bekletme süresinin etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 28’de verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve suda bekletme süresinin tekli, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı türü*vermikülit oranı, nano katkı türü* suda bekletme süresi, nano katkı oranı*vermikülit oranı, nano katkı oranı*suda bekletme sürelerinin ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranı, nano katkı türü*nano

katkı oranı*suda bekletme süresi, nano katkı türü*vermikülit oranı*suda bekletme süresi ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranı* suda bekletme sürelerinin üçlü etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Vermikülit oranı* suda bekletme süresinin ikili etkileşimi ve nano katkı oranı*vermikülit oranı*suda bekletme süresinin üçlü etkileşimleri ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 28. Kalınlık artımı oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	1788,315	2	894,157	271,242	***
Nano katkı oranı (B)	3622,814	2	1811,407	549,489	***
Vermikülit oranı (C)	184,055	3	61,352	18,611	***
Suda bekletme süresi(D)	5439,804	1	5439,804	1650,161	***
A*B İnt.	687,188	4	171,797	52,115	***
A*C İnt.	733,989	6	122,332	37,109	***
A*D İnt.	62,137	2	31,068	9,425	***
B*C İnt.	147,857	6	24,643	7,475	***
B*D İnt.	83,887	2	41,944	12,724	***
C*D İnt.	6,211	3	2,070	0,628	Ö.D
A*B*C İnt.	386,013	12	32,168	9,758	***
A*B*D İnt.	76,245	4	19,061	5,782	***
A*C*D İnt.	78,204	6	13,034	3,954	***
B*C*D İnt.	39,619	6	6,603	2,033	Ö.D
A*B*C*D İnt.	145,216	12	12,101	3,671	***
Hata	3692,113	1120	3,297		
Toplam	676485,84	1200			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x < 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 29. Kalınlık artımı oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.	Vermikülit oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	C	0	B
OM NK	B	1	B	10	C
Na NK	D	2	A	15	A
GNP	A	4	D	20	A

Kalınlık artım oranına; nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü ve suda bekletme süresinin etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 30’da verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü, suda bekletme süresinin tekli, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı türü* suda

bekletme süresi, nano katkı oranı* suda bekletme süresi ve tutkal türü*suda bekletme süresinin ikili etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur Nano katkı türü*nano katkı oranı* suda bekletme süresinin üçlü etkileşimi %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*tutkal türü, nano katkı oranı*tutkal türünün ikili, nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türü, nano katkı türü*tutkal türü* suda bekletme süresi, nano katkı oranı*tutkal türü* suda bekletme süresinin üçlü ve nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türü* suda bekletme süresinin dördü etkileşimleri ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur.

Tablo 30. Kalınlık artımı oranlarına nano katkı türü, nano katkı oranı, tutkal türü ve suda bekletme süresinin etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	654,551	2	327,276	149,907	***
Nano katkı oranı (B)	1001,367	21	500,683	229,336	***
Tutkal türü (C)	1992,732	1	1992,732	912,762	***
Suda bekletme süresi(D)	9893,712	4	9893,712	4531,773	***
A*B İnt.	116,301	2	29,075	13,318	***
A*C İnt.	2,052	2	1,026	0,470	Ö.D
A*D İnt.	362,851	2	181,425	83,101	***
B*C İnt.	8,595	2	4,297	1,968	Ö.D
B*D İnt.	124,988	1	62,494	28,625	***
C*D İnt.	35,404	4	35,404	16,217	***
A*B*C İnt	11,077	4	2,769	1,268	Ö.D
A*B*D İnt	36,074	2	9,019	4,131	*
A*C*D İnt	5,348	2	2,674	1,225	Ö.D
B*C*D İnt	6,115	4	3,058	1,401	Ö.D
A*B*C*D İnt	31,568	560	7,892	3,615	Ö.D
Hata	1222,585	600	2,183		
Toplam	234332,11				

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 31'de verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların kalınlık artışı değerleri daha düşük bulunmuştur.

Tablo 31. Kalınlık artımı oranlarına nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	C
OM NK	B	1	A
Na NK	D	2	B
GNP	A	4	D

3.2.2. Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

3.2.2.1. Eğilme Direnci Testine Ait Bulgular

Levhalarının eğilme direnci değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	Levha grubu	\bar{X}	S	V
C ₁	10,51	1,41	13,41	NC ₂	7,26	1,27	17,49
C ₂	9,47	1,18	12,46	NC ₃	6,35	0,94	14,80
C ₃	7,63	1,04	13,62	NC ₄	6,32	0,88	13,92
C ₄	6,36	0,66	10,37	GA ₁	12,08	1,30	10,75
EA ₁	11,11	1,48	13,32	GA ₂	10,60	1,32	12,46
EA ₂	9,74	1,26	12,93	GA ₃	10,02	1,63	16,27
EA ₃	7,83	1,12	14,30	GA ₄	9,42	1,42	14,86
EA ₄	7,91	1,02	12,90	GB ₁	11,48	1,44	12,54
EB ₁	11,48	0,90	8,01	GB ₂	9,46	1,43	15,12
EB ₂	11,46	1,56	13,61	GB ₃	9,98	1,58	15,83
EB ₃	10,24	1,24	12,10	GB ₄	8,79	1,25	14,22
EB ₄	8,30	1,26	15,18	GC ₁	11,36	1,51	13,29
EC ₁	8,90	1,11	12,47	GC ₂	9,36	1,59	16,99
EC ₂	8,44	1,28	15,17	GC ₃	8,27	1,43	17,28
EC ₃	6,71	1,19	17,69	GC ₄	8,03	1,15	14,32
EC ₄	6,92	1,06	15,31	MC	11,24	1,56	13,88
NA ₁	10,00	0,89	8,90	ME ₁	12,26	1,15	9,38
NA ₂	9,09	1,09	11,99	ME ₂	12,84	1,81	14,10
NA ₃	7,30	0,97	13,28	ME ₄	12,61	1,46	11,58
NA ₄	7,92	0,92	11,62	MN ₁	12,74	1,98	15,54
NB ₁	8,91	1,16	13,02	MN ₂	12,54	1,59	12,68
NB ₂	7,69	1,14	14,82	MN ₄	12,37	1,74	14,06
NB ₃	6,84	0,84	12,28	MG ₁	13,59	1,71	12,58
NB ₄	7,03	1,19	16,92	MG ₂	12,45	1,78	14,30
NC ₁	8,06	1,19	14,78	MG ₄	11,78	1,94	16,52

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda eğilme direnci değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 33'te verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranının tekli, nano katkı türü*nano katkı oranı ve nano katkı türü*vermikülit oranının ikili etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı oranı*vermikülit oranının ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranının üçlü etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 34'te verilmiştir.

Tablo 33. Eğilme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	434,450	2	217,225	134,706	***
Nano katkı oranı (B)	222,505	2	111,252	68,990	***
Vermikülit oranı (C)	653,463	3	217,821	135,076	***
A*B İnt.	109,593	4	27,398	16,990	***
A*C İnt.	40,111	6	6,685	4,146	***
B*C İnt.	20,276	6	3,379	2,096	Ö.D
A*B*C İnt.	31,661	12	2,638	1,636	Ö.D
Hata	903,048	580	1,163		
Toplam	49656,245	600			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 34. Eğilme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.	Vermikülit oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	C	0	A
OM NK	B	1	A	10	B
Na NK	D	2	A	15	C
GNP	A	4	D	20	D

Eğilme direnci değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 35'te verilmiştir

Tablo 35. Eğilme direnci değerlerine nano katkı, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	82,950	2	41,475	17,439	***
Nano katkı oranı (B)	58,751	2	29,375	12,352	***
Tutkal türü (C)	239,821	1	239,821	100,839	***
A*B İnt.	17,136	4	4,284	1,801	Ö.D
A*C İnt.	76,123	2	38,061	16,004	***
B*C İnt.	13,118	2	6,559	2,758	Ö.D
A*B*C İnt.	31,020	4	7,775	3,261	*
Hata	665,913	280	2,378		
Toplam	40374,854	300			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün tekli etkisi ve nano katkı türü*tutkal türünün ikili etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı ve nano katkı oranı*tutkal türünün ikili etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 36'da verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların eğilme direnci değerleri daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 36. Eğilme direnci değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	B
OM NK	B	1	A
Na NK	C	2	A
GNP	A	4	B

3.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulgular

Levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 37'de verilmiştir.

Tablo 37. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	Levha grubu	\bar{X}	S	V
C ₁	1365,80	195,28	14,30	NC ₂	1035,60	156,07	15,08
C ₂	1191,11	165,22	13,87	NC ₃	808,65	115,04	14,23
C ₃	1082,20	133,53	12,23	NC ₄	870,55	103,84	11,93
C ₄	1001,13	140,57	14,04	GA ₁	1611,06	174,03	10,80
EA ₁	1404,29	172,32	12,27	GA ₂	1412,95	169,71	12,02
EA ₂	1302,29	168,06	12,90	GA ₃	1377,65	242,33	17,59
EA ₃	1114,20	121,29	10,89	GA ₄	1271,77	215,05	14,91
EA ₄	1135,66	169,44	14,92	GB ₁	1555,70	239,26	15,38
EB ₁	1431,05	157,99	11,04	GB ₂	1358,37	161,78	11,91
EB ₂	1355,57	171,18	12,63	GB ₃	1362,49	201,87	14,82
EB ₃	1223,98	161,82	13,22	GB ₄	1141,02	164,48	14,42
EB ₄	1150,04	161,36	14,03	GC ₁	1510,73	199,86	13,23
EC ₁	1248,48	102,56	15,22	GC ₂	1315,71	157,28	11,95
EC ₂	1207,99	166,70	13,79	GC ₃	1210,67	200,26	16,54
EC ₃	1119,12	190,01	17,03	GC ₄	1097,45	160,36	14,61
EC ₄	1054,96	95,11	9,02	MC	1590,83	155,33	9,76
NA ₁	1215,75	107,44	8,92	ME ₁	1708,08	200,76	11,75
NA ₂	1078,95	160,44	14,87	ME ₂	1837,38	224,52	12,22
NA ₃	1188,30	149,26	12,56	ME ₄	1845,05	220,01	11,92
NA ₄	1093,57	137,10	13,80	MN ₁	1795,54	253,35	14,11
NB ₁	1144,21	131,01	11,45	MN ₂	1676,56	151,03	9,01
NB ₂	1056,17	185,89	17,60	MN ₄	1630,15	209,21	12,83
NB ₃	1007,96	140,20	13,91	MG ₁	1923,47	297,01	15,44
NB ₄	947,75	128,88	13,60	MG ₂	1735,37	215,65	12,43
NC ₁	1060,81	161,72	15,24	MG ₄	1689,98	226,71	13,41

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 38’de verilmiştir.

Tablo 38. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	8733056,774	2	4366528,387	149,136	***
Nano katkı oranı (B)	1834576,612	2	917288,306	31,329	***
Vermikülit oranı (C)	6083801,915	3	2027933,972	69,263	***
A*B İnt.	443904,083	4	110976,021	3,790	**
A*C İnt.	649565,983	6	108260,997	3,698	***
B*C İnt.	200485,710	6	33414,285	1,141	Ö.D
A*B*C İnt.	470763,356	12	39230,280	1,340	Ö.D
Hata	16396143,35	560	29278,827		
Toplam	902941297,1	600			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$, *: $0,01 \leq x \leq 0,05$ **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranının tekli etkisi ve nano katkı türü*vermikülit oranının üçlü etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranının ikili etkileşimi ise %1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı oranı*vermikülit oranının ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranı üçlü etkileşimleri %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 39’da verilmiştir.

Tablo 39. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.	Vermikülit oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	C	0	A
OM NK	B	1	A	10	C
Na NK	D	2	A	15	B
GNP	A	4	C	20	D

Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 40’ta verilmiştir.

Tablo 40. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	2845506,313	2	1422753,156	33,381	***
Nano katkı oranı (B)	551045,692	2	275522,846	6,464	***
Tutkal türü (C)	9150480,430	1	9150480,430	214,688	***
A*B İnt.	386148,776	4	96537,194	2,265	Ö.D
A*C İnt.	1267697,454	2	633848,727	14,871	***
B*C İnt.	65089,582	2	32544,791	0,764	Ö.D
A*B*C İnt.	382224,903	4	95556,226	2,242	Ö.D
Hata	11934222,50	280	42622,223		
Toplam	748435636,4	300			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün tekli etkisi ve nano katkı türü*tutkal türünün ikili etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı ile nano katkı

oranı*tutkal türünün ikili ve nano katkı oranı*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimleri ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 41’de verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların eğilmeye elastikiyet modülü değerleri daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 41. Eğilmeye elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	B
OM NK	B	1	A
Na NK	C	2	A
GNP	A	4	B

3.2.2.3. Yüze Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Bulgular

Levhaların yüze dik çekme direnci değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 42’de verilmiştir.

Tablo 42. Yüze dik çekme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	Levha grubu	\bar{X}	S	V
C ₁	0,37	0,02	5,63	NC ₂	0,24	0,03	10,81
C ₂	0,33	0,02	7,44	NC ₃	0,19	0,01	7,08
C ₃	0,30	0,03	11,7	NC ₄	0,21	0,01	6,39
C ₄	0,27	0,01	4,11	GA ₁	0,46	0,02	4,59
EA ₁	0,37	0,03	6,84	GA ₂	0,39	0,02	5,31
EA ₂	0,34	0,02	5,36	GA ₃	0,42	0,03	8,15
EA ₃	0,29	0,02	7,62	GA ₄	0,36	0,02	6,58
EA ₄	0,32	0,04	12,51	GB ₁	0,42	0,03	8,28
EB ₁	0,41	0,03	7,05	GB ₂	0,39	0,03	7,16
EB ₂	0,36	0,03	7,88	GB ₃	0,37	0,02	6,49
EB ₃	0,34	0,02	7,29	GB ₄	0,32	0,03	8,62
EB ₄	0,31	0,03	8,90	GC ₁	0,40	0,04	10,10
EC ₁	0,33	0,03	8,77	GC ₂	0,34	0,03	9,49
EC ₂	0,31	0,03	10,43	GC ₃	0,36	0,04	11,58
EC ₃	0,28	0,02	6,66	GC ₄	0,31	0,02	7,62
EC ₄	0,26	0,02	8,90	MC	0,42	0,04	9,73
NA ₁	0,34	0,02	6,52	ME ₁	0,47	0,03	6,05
NA ₂	0,30	0,02	6,73	ME ₂	0,51	0,05	8,86
NA ₃	0,32	0,04	12,05	ME ₄	0,45	0,04	9,67
NA ₄	0,26	0,03	9,85	MN ₁	0,46	0,04	7,69
NB ₁	0,32	0,02	7,25	MN ₂	0,46	0,03	7,58
NB ₂	0,29	0,03	11,37	MN ₄	0,45	0,06	12,66
NB ₃	0,28	0,03	9,47	MG ₁	0,53	0,06	12,02

Tablo 42'nin devamı

NB ₄	0,24	0,01	6,01	MG ₂	0,48	0,06	13,25
NC ₁	0,27	0,04	14,25	MG ₄	0,44	0,04	8,64

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S : standart sapma, V : varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda yüzeye dik çekme direncine; nano katkı türü ve nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 43'te verilmiştir.

Tablo 43. Yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	1,034	2	0,516	881,24	***
Nano katkı oranı (B)	0,321	2	0,160	273,841	***
Vermikülit oranı (C)	0,506	3	0,169	288,016	***
A*B İnt.	0,068	4	0,017	28,84	***
A*C İnt.	0,035	6	0,006	10,005	***
B*C İnt.	0,014	6	0,002	4,065	***
A*B*C İnt.	0,052	12	0,004	7,467	***
Hata	0,328	560	0,001		
Toplam	65,589	600			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 44. Yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.	Vermikülit oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	C	0	A
OM NK	B	1	A	10	B
Na NK	D	2	B	15	C
GNP	A	4	D	20	D

Yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 45'te verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün tekli etkisi, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı türü*tutkal türü ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimleri %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı oranı*tutkal türü ikili etkileşimi ise %5 yanılma olasılığı

ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 46’da verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 45. Yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	0,234	2	0,117	115,104	***
Nano katkı oranı (B)	0,126	2	0,063	62,032	***
Tutkal türü (C)	0,575	1	0,575	566,275	***
A*B İnt.	0,06	4	0,015	14,694	***
A*C İnt.	0,091	2	0,045	44,722	***
B*C İnt.	0,003	2	0,001	1,474	Ö.D
A*B*C İnt.	0,019	4	0,005	4,617	***
Hata	0,284	280	0,001		
Toplam	53,998	300			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 46. Nano katkı türü ve nano katkı oranının yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	C	0	B
OM NK	B	1	A
Na NK	C	2	A
GNP	A	4	B

3.2.3. Formaldehit Emisyonuna Ait Bulgular

Levhaların formaldehit emisyonuna ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 47’de verilmiştir.

Tablo 47. Formaldehit emisyonuna ait bulgular ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	Levha grubu	\bar{X}	S	V
C ₁	3,42	0,10	2,98	GA ₄	5,15	0,12	2,26
C ₄	4,01	0,12	2,95	GB ₁	3,79	0,12	3,23
EA ₁	3,81	0,11	3,01	GB ₄	4,41	0,10	2,22
EA ₄	4,48	0,14	3,10	GC ₁	3,75	0,15	4,07
EB ₁	3,31	0,12	3,71	GC ₄	3,54	0,12	3,46

Tablo 47'nin devamı

EB ₄	3,85	0,09	2,44	MC	4,03	0,11	2,79
EC ₁	4,60	0,10	1,98	ME ₁	4,13	0,09	2,18
EC ₄	4,51	0,13	2,93	ME ₂	3,88	0,13	3,33
NA ₁	4,58	0,19	4,21	ME ₄	4,40	0,14	3,24
NA ₄	5,24	0,12	2,20	MN ₁	4,47	0,12	2,75
NB ₁	4,78	0,15	3,16	MN ₂	3,82	0,10	2,66
NB ₄	4,69	0,13	2,86	MN ₄	3,87	0,17	4,39
NC ₁	4,87	0,08	1,62	MG ₁	4,52	0,15	3,32
NC ₄	5,38	0,16	3,03	MG ₂	4,29	0,11	2,55
GA ₁	4,63	0,11	2,37	MG ₄	3,98	0,14	3,47

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda formaldehit emisyonuna; nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 48'de verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve vermikülit oranının tekli etkisi, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı oranı*vermikülit oranlarının ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranının üçlü etkileşimi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*vermikülit oranının ikili etkileşimi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur.

Tablo 48. Formaldehit emisyonuna nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	7,273	2	3,636	208,451	***
Nano katkı oranı (B)	2,385	2	1,193	68,364	***
Vermikülit oranı (C)	2,126	1	2,2126	121,857	***
A*B İnt.	5,748	4	1,437	82,370	***
A*C İnt.	0,010	2	0,005	0,292	Ö.D
B*C İnt.	0,667	2	0,334	191,31	***
A*B*C İnt.	0,914	4	0,229	13,103	***
Hata	0,698	40	0,017		
Toplam	1152,946	60			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 49'da verilmiştir. Vermikülit kullanımı ile formaldehit emisyonu değerlerinde artış meydana gelmiştir.

Tablo 49. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda nano katkı türü ve nano katkı oranının oranının formaldehit emisyonuna etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	A	0	A
OM NK	B	1	D
Na NK	D	2	B
GNP	C	4	C

Formaldehit emisyonuna nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 50’de verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü ve nano katkı oranının tekli etkisi, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı türü*tutkal türü, nano katkı oranı*tutkal türünün ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Tutkal türünün etkisi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağının belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 51’de verilmiştir.

Tablo 50. Formaldehit emisyonuna nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	1,318	2	0,659	36,349	***
Nano katkı oranı (B)	1,362	2	0,681	37,552	***
Tutkal türü (C)	0,045	1	0,045	2,495	Ö.D
A*B İnt.	2,921	4	0,730	40,279	***
A*C İnt.	2,482	2	1,241	68,47	***
B*C İnt.	0,391	2	0,196	10,793	***
A*B*C İnt.	1,112	4	0,278	15,43	***
Hata	0,725	40	0,018		
Toplam	1043,675	60			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Tablo 51. Tutkal türüne bağlı olarak nano katkı türü ve nano katkı oranının formaldehit emisyonuna etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	A	0	A
OM NK	B	1	D
Na NK	D	2	B
GNP	C	4	C

3.2.4. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yapılan Testlere Ait Bulgular

3.2.4.1. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilme Direnci Testine Ait Bulgular

Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların eğilme direnci değerlerine ait ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı ve kontrol levhalarına göre değişim oranları Tablo 52’de verilmiştir.

Tablo 52. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	DO (%)	Levha grubu	\bar{X}	S	V	DO (%)
C ₁	8,20	0,99	12,06	-21,95	MC	9,07	0,98	10,79	-19,32
EA ₁	10,31	1,45	14,05	-7,19	ME ₁	11,55	1,49	12,92	-5,81
EB ₁	8,88	1,32	14,89	-22,68	ME ₂	10,27	1,19	11,58	-20,00
EC ₁	6,35	0,58	9,13	-28,71	ME ₄	9,39	1,17	12,50	-25,51
NA ₁	7,87	1,28	16,23	-21,30	MN ₁	10,78	1,80	16,74	-15,38
NB ₁	6,70	0,83	12,37	-24,76	MN ₂	10,22	1,26	12,48	-18,50
NC ₁	5,17	0,64	12,40	-35,80	MN ₄	9,70	1,31	13,46	-21,59
GA ₁	9,74	1,41	14,53	-19,40	MG ₁	13,00	2,04	15,72	-4,32
GB ₁	8,16	0,76	9,31	-28,91	MG ₂	10,82	1,21	11,18	-13,07
GC ₁	7,74	1,05	13,61	-31,85	MG ₄	9,19	1,37	14,96	-21,99

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı, DO: değişim oranı

Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların eğilme direnci değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 53’te verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün tekli, nano katkı türü*tutkal türü ikili etkileşimi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türü üçlü etkileşimi %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı ve nano katkı oranı* tutkal türünün ikili etkileşimi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur.

Tablo 53. Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların eğilme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	86,2384	2	43,142	23,503	***
Nano katkı oranı (B)	235,828	2	117,914	64,237	***
Tutkal türü (C)	300,446	1	300,446	163,676	***
A*B İnt.	10,421	4	2,605	1,419	Ö.D
A*C İnt.	27,961	2	13,981	7,616	***
B*C İnt.	3,986	2	1,993	1,086	Ö.D
A*B*C İnt.	23,951	4	5,998	3,262	*
Hata	403,836	220	1,836		
Toplam	21523,297	240			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 54'te verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların eğilme direnci değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 54. Hızlandırılmış yaşlandırma testi sonrası nano katkı türü ve nano katkı oranının eğilme direnci değerlerine etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	B	0	C
OM NK	A	1	A
Na NK	B	2	B
GNP	A	4	D

3.2.4.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilmede Elastikiyet Modülü Testine Ait Bulgular

Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı ve kontrol levhalarına göre değişim oranları Tablo 55'te verilmiştir.

Tablo 55. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha Grubu	\bar{X}	S	V	DO (%)	Levha Grubu	\bar{X}	S	V	DO (%)
C ₁	877,58	96,15	10,96	-35,75	MC	1244,98	188,79	15,16	-21,74
EA ₁	1064,45	142,07	13,34	-24,20	ME ₁	1522,57	191,91	12,60	-10,86
EB ₁	962,36	104,90	10,90	-32,75	ME ₂	1301,88	155,98	11,98	-29,14
EC ₁	773,68	110,66	14,30	-38,03	ME ₄	1230,83	166,94	13,56	-33,29
NA ₁	896,98	86,10	9,60	-26,22	MN ₁	1458,16	204,31	14,01	-18,79
NB ₁	692,82	97,53	14,07	-39,45	MN ₂	1227,14	144,48	11,77	-26,81
NC ₁	534,19	69,09	12,93	-49,64	MN ₄	1124,65	121,46	10,80	-31,01
GA ₁	1055,50	131,35	12,44	-34,48	MG ₁	1661,30	217,33	13,08	-13,63
GB ₁	932,01	141,63	15,20	-40,09	MG ₂	1430,64	233,21	16,30	-17,56
GC ₁	753,39	96,01	12,74	-50,13	MG ₄	1165,24	115,24	9,89	-31,05

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı, DO: değişim oranı

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilmede elastikiyet modülü değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, Tablo 56'da verilmiştir.

Tablo 56. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi uygulanmış levhaların elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	1334978,86	2	667489,428	28,202	***
Nano katkı oranı (B)	4321170,20	2	2160585,10	91,286	***
Tutkal türü (C)	11731204,0	1	11731204,0	495,650	***
A*B İnt.	104942,194	4	26235,548	1,108	Ö.D
A*C İnt.	188707,349	2	94353,675	3,986	*
B*C İnt.	65893,475	2	32946,737	1,392	Ö.D
A*B*C İnt.	112645,475	4	28161,317	1,190	Ö.D
Hata	5207030,41	220	23668,320		
Toplam	24519920,9	240			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; $*: 0,01 \leq x \leq 0,05$; $** : 0,001 < x < 0,01$; $***: x \leq 0,001$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün etkisi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*tutkal türünün ikili etkileşimi %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı oranı*tutkal türünün ikili etkileşimi ve nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimi %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağını belirlemek için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 57'de

verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 57. Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	B	0	B
OM NK	A	1	A
Na NK	C	2	B
GNP	A	4	C

3.2.4.3. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yüzeye Dik Çekme Direnci Testine Ait Bulgular

Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarının yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait ortalama, standart sapma, varyasyon katsayısı ve kontrol levhalarına göre değişim yüzdesi değerleri Tablo 58’de verilmiştir.

Tablo 58. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerine ait bulgular (N/mm²)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	DO (%)	Levha grubu	\bar{X}	S	V	DO (%)
C ₁	0,23	0,02	9,90	-37,17	MC	0,32	0,03	10,72	-23,31
EA ₁	0,25	0,02	9,20	-32,88	ME ₁	0,39	0,05	12,39	-17,31
EB ₁	0,34	0,05	14,40	-17,36	ME ₂	0,36	0,03	8,03	-29,34
EC ₁	0,19	0,02	11,18	-42,85	ME ₄	0,28	0,03	11,62	-37,75
NA ₁	0,23	0,03	13,29	-31,87	MN ₁	0,37	0,04	12,07	-20,43
NB ₁	0,18	0,02	8,80	-44,17	MN ₂	0,35	0,05	13,87	-24,52
NC ₁	0,14	0,02	12,71	-47,91	MN ₄	0,30	0,04	13,69	-32,34
GA ₁	0,32	0,04	11,60	-29,38	MG ₁	0,42	0,06	13,11	-20,53
GB ₁	0,28	0,03	12,01	-33,73	MG ₂	0,36	0,03	7,41	-24,58
GC ₁	0,20	0,02	11,45	-49,52	MG ₄	0,29	0,04	15,09	-34,20

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı, DO: değişim oranı

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerine; nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 59’da verilmiştir.

Tablo 59. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	0,103	2	0,052	35,848	***
Nano katkı oranı (B)	0,385	2	0,192	133,814	***
Tutkal türü (C)	0,586	1	0,586	407,961	***
A*B İnt.	0,062	4	0,016	10,79	***
A*C İnt.	0,057	2	0,29	19,963	***
B*C İnt.	0,010	2	0,05	3,464	*
A*B*C İnt.	0,036	4	0,09	6,345	***
Hata	0,316	220	0,01		
Toplam	21,904	240			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün tekli etkisi, nano katkı türü*nano katkı oranı, nano katkı türü*tutkal türünün ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*tutkal türünün ikili etkileşimi %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Farklılığın kaynağının belirlenmesi amacıyla Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 60'ta verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 60. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	B	0	C
OM NK	A	1	A
Na NK	B	2	B
GNP	A	4	D

3.2.5. Termal Özellikler ve Yangın Dayanımına Ait Bulgular

3.2.5.1. Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizlerine (DTG) Ait Bulgular

Levhalarının Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) analizlerine ait bulgular Tablo 61' de verilmiştir.

Tablo 61. TGA-DTG analizine ait bulgular

Levha grubu	T _{%10} ¹ (°C)	T _{%50} ² (°C)	T _o ³ (°C)	T _e ⁴ (°C)	Tmax ⁵ (°C)	580°C'deki kalıntı (%)
C ₁	248	348	305,30	367,50	353,62	23,416
C ₄	252	356	273,00	311,95	280,22	32,627
EA ₁	247	346	298,64	331,01	312,57	24,161
EA ₄	259	354	315,02	362,02	352,52	29,972
EB ₁	253	347	328,65	354,95	348,87	23,743
EB ₄	259	360	298,93	365,41	351,76	35,353
EC ₁	253	346	278,82	319,19	288,23	22,603
EC ₄	258	356	255,29	282,24	257,81	31,546
NA ₁	243	346	297,19	319,91	305,47	23,953
NA ₄	256	355	318,29	361,84	350,69	31,531
NB ₁	248	346	309,69	365,11	358,91	22,735
NB ₄	257	363	285,44	330,72	299,47	37,117
NC ₁	250	346	299,34	365,85	347,34	22,935
NC ₄	258	357	303,45	363,60	348,05	32,967
GA ₁	252	346	303,86	359,28	341,45	22,303
GA ₄	258	360	306,23	354,41	336,02	35,545
GB ₁	248	346	298,73	354,84	328,14	23,482
GB ₄	260	360	317,14	359,49	348,89	35,377
GC ₁	245	346	328,79	357,65	351,65	23,599
GC ₄	250	356	303,08	366,47	356,56	33,060
MC	257	353	343,01	370,23	369,12	25,458
ME ₁	261	353	347,02	376,17	375,36	25,544
ME ₂	257	352	333,85	355,12	349,35	25,593
ME ₄	260	353	314,07	337,20	324,15	26,639
MN ₁	258	352	308,71	365,40	350,41	25,975
MN ₂	257	352	322,15	363,46	356,54	25,417
MN ₄	253	353	326,22	363,63	357,39	24,902
MG ₁	255	352	312,46	365,03	356,84	24,935
MG ₂	253	352	308,66	366,56	349,88	24,842
MG ₄	255	352	308,68	367,51	356,08	24,130

^{1,2}: %10 ve %50 ağırlık kayıplarının meydana geldiği sıcaklıklar;

^{3,4,5}: Bozunma başlama sıcaklığı; bozunma bitiş sıcaklığı, maksimum bozunma sıcaklığı

3.2.5.2. Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testine Ait Bulgular

Levhalarının LOI testi değerlerine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 62'de verilmiştir.

Tablo 62. Limit oksijen indeksi (LOI) değerlerine ait bulgular (%)

Levha grubu	\bar{X}	S	V	Levha grubu	\bar{X}	S	V
C ₁	32,7	0,2	0,7	GA ₄	33,5	0,3	0,8
C ₄	33,1	0,2	0,5	GB ₁	32,8	0,1	0,4
EA ₁	33,0	0,1	0,4	GB ₄	33,5	0,3	0,8
EA ₄	33,4	0,3	0,9	GC ₁	32,6	0,2	0,6
EB ₁	33,2	0,3	0,8	GC ₄	33,0	0,2	0,5
EB ₄	33,7	0,2	0,5	MC	34,0	0,1	0,4
EC ₁	32,5	0,1	0,8	ME ₁	34,3	0,2	0,6
EC ₄	33,0	0,2	0,7	ME ₂	34,5	0,2	0,6
NA ₁	32,9	0,1	0,5	ME ₄	34,0	0,1	0,4
NA ₄	33,2	0,2	0,6	MN ₁	34,2	0,2	0,6
NB ₁	32,7	0,1	0,4	MN ₂	34,2	0,2	0,6
NB ₄	33,2	0,2	0,7	MN ₄	33,7	0,3	0,8
NC ₁	32,4	0,1	0,4	MG ₁	34,5	0,2	0,5
NC ₄	32,8	0,2	0,7	MG ₂	34,2	0,1	0,4
GA ₁	33,2	0,2	0,6	MG ₄	33,8	0,2	0,7

\bar{X} : Aritmetik ortalama, S: standart sapma, V: varyasyon katsayısı

Üre formaldehit kullanılan levhalarda LOI değerlerine, nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisini belirlemek için ise çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 63'te verilmiştir.

Tablo 63. LOI değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	0,936	2	0,468	15,834	***
Nano katkı oranı (B)	4,487	2	2,244	75,887	***
Vermikülit oranı (C)	4,637	1	4,639	156,918	***
A*B İnt.	0,654	4	0,164	5,534	***
A*C İnt.	0,01	2	0,001	0,018	Ö.D
B*C İnt.	0,270	2	0,135	4,569	*
A*B*C İnt.	0,074	4	0,018	0,623	Ö.D
Hata	2,365	80	0,030		
Toplam	109100,593	100			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; ***: $x \leq 0,001$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve vermikülit oranının tekli etkisi ve nano katkı türü*nano katkı oranının ikili etkileşimi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı oranı*vermikülit oranının ikili etkileşimi ise %5 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*vermikülit oranının ikili ve

nano katkı türü*nano katkı oranı*vermikülit oranının üçlü etkileşimi %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur. Farklılığın kaynağının belirlenmesi için Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 64’te verilmiştir. Vermikülit kullanımı ile LOI değerlerinde artış meydana gelmiştir.

Tablo 64. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda LOI değerlerine Nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	B	0	B
OM NK	A	1	A
Na NK	B	2	A
GNP	A	4	C

LOI değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış, sonuçlar Tablo 65’te verilmiştir.

Tablo 65. LOI değerlerine nano katkı türü, nano katkı oranı ile tutkal türünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Nano katkı türü (A)	0,873	2	0,437	15,675	***
Nano katkı oranı (B)	4,808	2	2,404	86,310	***
Tutkal türü (C)	40,055	1	40,055	1438,069	***
A*B İnt.	0,722	4	0,181	6,480	***
A*C İnt.	0,014	2	0,007	0,248	Ö.D
B*C İnt.	0,038	2	0,019	0,680	Ö.D
A*B*C İnt.	0,132	4	0,033	1,185	Ö.D
Hata	2,228	80	0,028		
Toplam	112078,33	100			

Ö.D: Önemli değil; $x > 0,05$; *: $0,01 \leq x \leq 0,05$; **: $0,001 < x < 0,01$; ***: $x \leq 0,001$

LOI değerlerine ait çoğul varyans analizi sonuçlarına göre; nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün tekli etkisi ve nano katkı türü*nano katkı oranının ikili etkileşimi %0,1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur. Nano katkı türü*tutkal türü, nano katkı oranı*tutkal türünün ikili ve nano katkı türü*nano katkı oranı*tutkal türünün üçlü etkileşimi %5 yanılma olasılığı ile anlamsız bulunmuştur.

Farklılığın kaynağının belirlenmesi amacıyla Duncan testi uygulanmış, sonuçlar Tablo 66'de verilmiştir. Melamin formaldehit kullanılan levhaların LOI değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 66. Tutkal türüne bağlı olarak LOI değerlerine nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisine ait Duncan test sonuçları

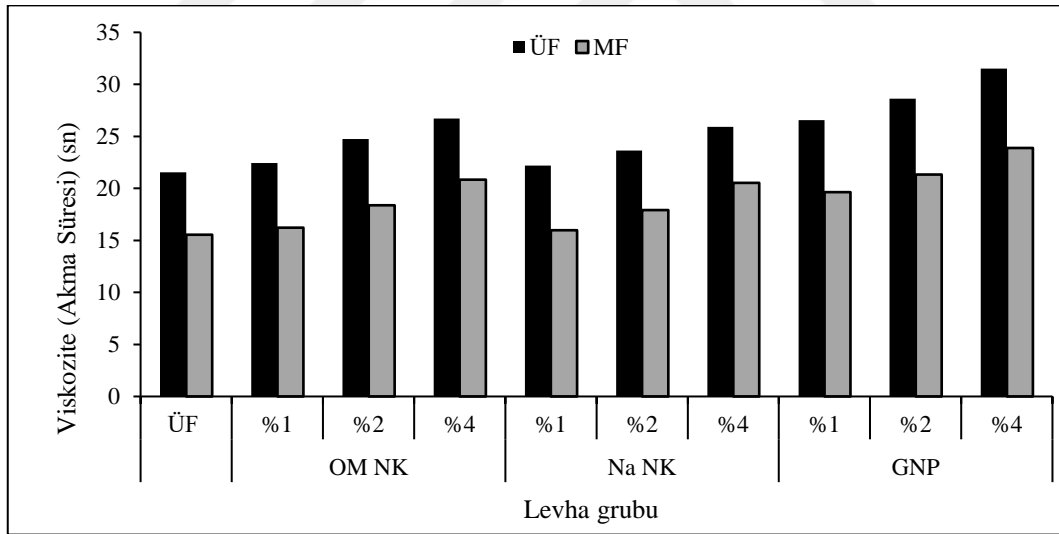
Katkı türü	H.G.	Katkı oranı (%)	H.G.
Nano katkısız	B	0	B
OM NK	A	1	A
Na NK	B	2	A
GNP	A	4	C

4. İRDELEME

Deneme levhalarının üretimi; üç farklı nano katkı (organo modifiye nanokil (OM NK), sodyum hidrofilik nanokil (Na NK), grafen nanoplatelet (GNP)), üç farklı nano katkı kullanım oranı (%1, %2 ve %4), üç farklı vermikülit kullanım oranı (%10, %15 ve %20) ve 2 farklı tutkal türü (üre ve melamin formaldehit) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde üretilen levhaların çeşitli teknolojik özelliklerine ait değişimler grafiklerle açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1. Viskozite (Akma Süresi) Tayinine Ait Bulguların İrdelenmesi

Deneme levhalarının üretiminde kullanılan tutkal karışımlarının viskozite (akma süresi) değerlerine ait sonuçlar Şekil 43'te verilmiştir.



Şekil 43. Tutkal karışımlarının viskozite (akma süresi) değerleri

Üre formaldehit ile hazırlanan karışımların akma süreleri; 21,54 ile 31,51 sn arasında, melamin formaldehitli karışımların ise 15,54 ile 23,87 sn arasında bulunmuştur.

Viskozite değeri tutkalın polimerizasyon derecesini göstermekte olup, düşük olması tutkalın yongalara aşırı penetrasyonuna neden olur ve tutkal tüketimi artar. Öte yandan yüksek viskozite akış ve tutkallama problemlerine neden olur [189].

Çalışmada nano katkı oranı arttıkça tutkalların viskozitelerinin de arttığı belirlenmiştir. OM NK ile Na NK tutkal karışımlarının akma süreleri arasında anlamlı bir fark bulunmazken, GNP kullanımı ile en yüksek akma süreleri elde edilmiştir. Tutkal ile nano katkı arasındaki reaksiyon viskoziteyi artırmakta ve karmaşık bir polimer yapısı oluşmaktadır. Bu çözeltideki tutkal zincirlerinin hareketliliğinin azalmasına [190] ve nano katkıların tutkal çözeltisinin kendi suyunu emerek viskozitenin artmasına sebep olmaktadır [191].

Rao vd. [192] fenol formaldehit ve karbon elyafı kompozit malzeme üretiminde OM NK kullanımının termal ve mekanik özelliklere etkisini inceledikleri çalışmada; nanokil ilavesinin viskozite değerlerini önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir. Nanokilin fenolik reçine ile etkileşime girdiğinde kil tabakalarında meydana gelen monomer sıkışmaları kil tabakalarını şişmekte ve viskoziteyi artırdığını belirtmişlerdir [193].

Younesi-Kordkheili vd. [194] üre-gliksalatlı lignin-formaldehit tutkalına nanokil katkısının etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada nanokil ilavesi ile viskozitenin arttığını belirlemişlerdir.

Younesi-Kordkheili [195] başka bir çalışmada; lignin üre-gliksallı tutkalların fiziksel ve mekanik özelliklere nanokil ilavesinin etkisini araştırmış, nanokil oranı arttıkça tutkalın viskozite ve katı madde miktarının arttığını belirlemiştir.

Melamin üre formaldehit tutkalına nanokil ilavesinin levha özelliklerine etkisinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada nanokil kullanımının artması ile tutkal viskozitelerinin de arttığını belirlemişlerdir [196].

Üre formaldehit kullanılan MDF'lerin özelliklerine çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ilavesinin etkisinin araştırıldığı çalışmada; nanotüp ilavesinin viskoziteyi arttığı, ancak tutkal konsantrasyonunun pulverzasyonu etkileyecek kadar bozulmadığı gözlenmiştir [197].

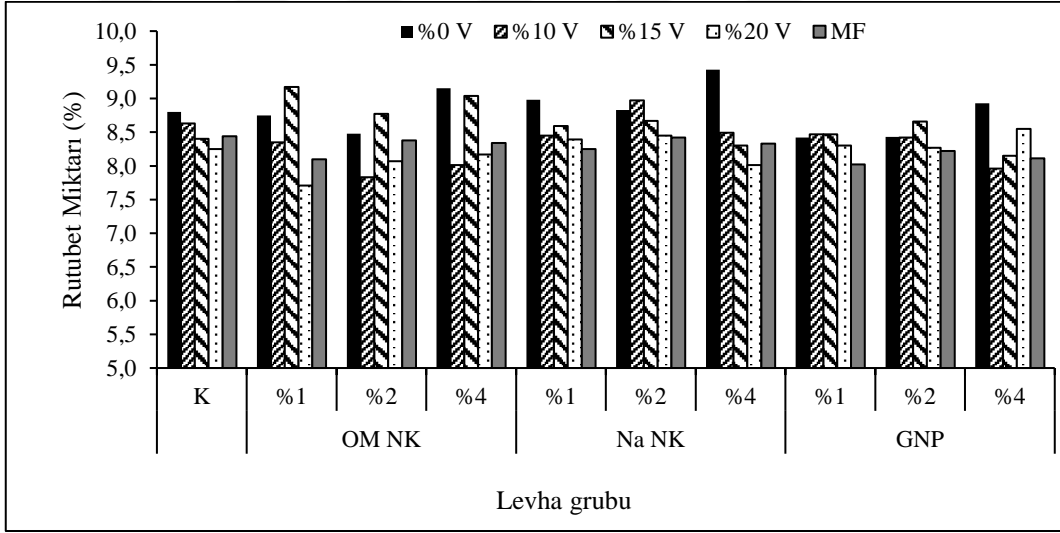
Çalışmada tutkal karışımlarının viskozite değerlerinin literatür bilgileri ile uyum gösterdiği, nano katkı oranı arttıkça viskozite değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

4.2. Levhaların Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi

4.2.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulguların İrdelenmesi

4.2.1.1. Rutubet Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün rutubet değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Levhaların rutubet değerlerinin %7,71 ile %9,43 arasında değiştiği belirlenmiştir. TS EN 312 [37] standardına bu değerlerin %9±4 arasında olması gerekmektedir. Denemeler sonucunda elde edilen tüm değerler standarda uyum göstermektedir. Levhalara ait rutubet değerleri Şekil 44'te verilmiştir.



Şekil 44. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün rutubet değerlerine etkisi

En düşük rutubet değeri %1 OM NK ve %20 vermikülit kullanılan levha grubunda (EA₄: %7,71), en yüksek değerler ise sadece %4 Na NK kullanılan levha grubundan elde edilmiştir (NC₁: %9,43).

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda nano katkı oranının rutubet değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. GNP ile üretilen levhaların rutubet değerleri en düşük bulunmuştur. Vermikülit kullanımı ile rutubet değerlerinde azalma olmuştur.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde, GNP ve OM NK kullanılan levhaların rutubet değerleri kontrol levhalarına göre düşük bulunmuştur. Na NK kullanımı ile anlamlı bir değişim meydana gelmemiştir. Nano katkı oranının etkisinde %1 ve 2 kullanım ile rutubet değerlerinde azalma gözlenirken, %4 kullanımda artış meydana gelmiştir. Tutkal türünün rutubet değerlerine etkili olduğu ve melamin formaldehit kullanımı ile rutubet değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.

Nanokillerin rutubete karşı bariyer oluşturma kapasiteleri; polimer tipi, kil içeriği, nano partikülün en-boy oranı, kilin kompozit içerisindeki dağılımı, kil tabakaları ile polimer arasındaki çapraz bağlanma yoğunluğu, net kürlenme derecesi ve kil trombositlerinin toplam yüzey alanına bağlı olarak farklılık gösterir [198, 199].

Imran vd. [200] karbon esaslı epoksi kompozitlerde nanokil ilavesinin rutubet almayı engelleme kapasitesine etkisini araştırdığı çalışmalarında nanokil oranının %2'ye çıkarılmasıyla rutubet alma oranlarında azalma meydana geldiğini raporlamışlardır.

Tutkala ilave edilen nano partiküller tutkallama sonrasında yongalarının etrafını sararak bariyer oluşturmakta ve rutubet girişini engellemektedir. Ayrıca nano katkıların boyutlarının çok küçük olması sebebiyle tutkal partiküllerinin yüzey alanını artırıp ve liflerin daha iyi bağlanmasını sağlayarak rutubetin içeri girmesine engel olmaktadır [201].

Won vd. [202] çalışmalarında alimüna takviyeli çift katmanlı grafenler (2LG) ile esnek şeffaf ve yüksek rutubete karşı çok dayanıklı bariyerler üretmiş ve grafen alimüna tabakasının yüksek bir rutubet dayanımı sağladığını ve özellikle OLED ekranlarının üretiminde önemli bir alternatif hammadde olacağını dile getirmişlerdir.

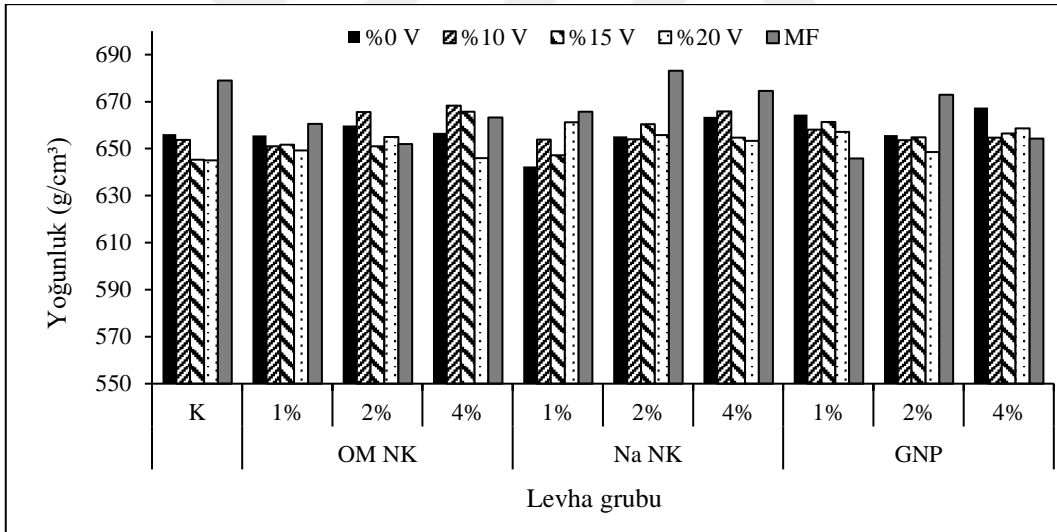
Çalışmamızda elde edilen sonuçlar literatüre uyum göstermektedir. Nano katkı kullanımı levhaların rutubet dayanımını arttırmıştır.

Ham vermikülitin yüksek sıcaklıklarda dahi maksimum %7'ye kadar rutubet alabilmekte olduğu belirtilmektedir [203]. Denemelerde vermikülit kullanımının artması ile levhaların rutubet değerlerinde azalma gözlenmiştir. %20 oranında vermikülit kullanımı ile en düşük rutubet değerleri elde edilmiştir.

4.2.1.2. Yoğunluk Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Yoğunluk odun kompozitlerinin teknolojik özelliklerini önemli derecede etkileyen bir faktördür. Ayrıca kullanım yerindeki dayanım özelliklerini de etki etmektedir. Yoğunluk değerleri Şekil 45’te verilmiştir.

Levhaların gerçekleşen yoğunluk değerleri 642,41-683,08 gr/cm³ arasında bulunmuştur. Çalışmada hedeflenen yoğunluk değeri 650 gr/cm³’dür. Hedef yoğunluk değeri ile en düşük yoğunluk değeri arasında %1,17’lik, en yüksek yoğunluk değeri arasında ise %4,83’lük sapma meydana gelmiştir. İstatistiksel analizlere göre nano katkı türü, nano katkı oranı ile vermikülit oranının 0,05 hata payı ile levha yoğunluk değerlerine etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda yoğunluk değerleri daha yüksek bulunmuştur. Levhalar arasındaki istatistiksel olarak anlam ifade etmeyen yoğunluk farklılıkları özellikle serme sırasında meydana gelmiş olabilir.

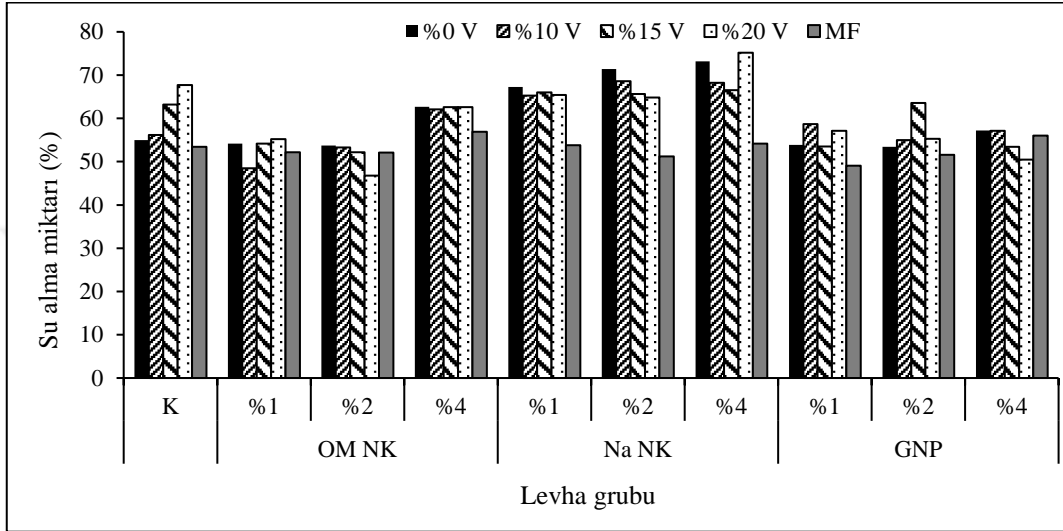


Şekil 45. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün yoğunluk değerlerine etkisi

Yoğunluğun levha özelliklerine etkisinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada, yoğunluk değerleri arasındaki farkın %10’dan fazla olması durumunda fiziksel ve mekanik özelliklerin istatistiksel olarak etkilendiği belirlenmiştir [204]. Deneme levhalarında yoğunluk değerlerindeki değişimlerinin %10’dan az olduğu görülmektedir.

4.2.1.3. Su Alma Oranlarına Ait Bulguların İrdelenmesi

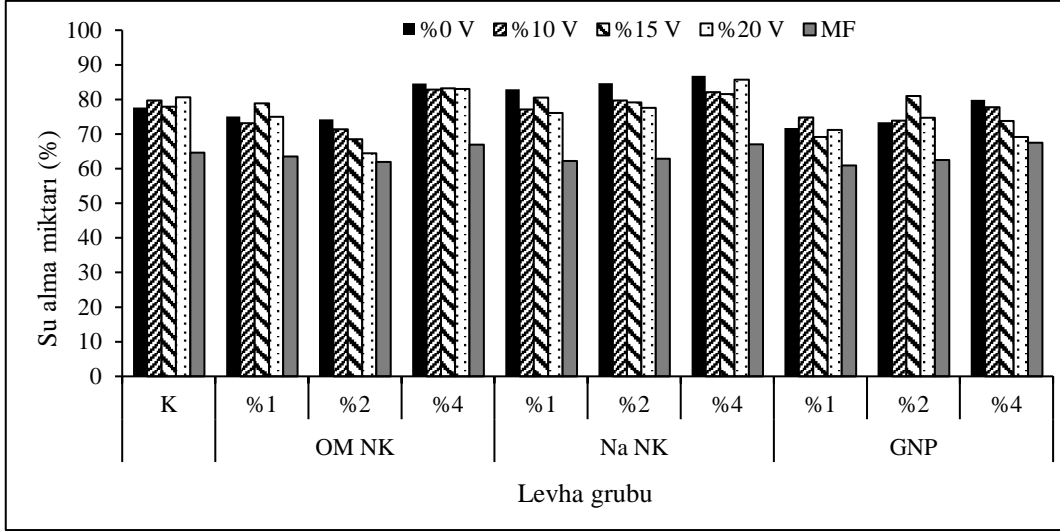
Suda bekletme süresi, nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün su alma oranı değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. 2 ve 24 saatlik su alma oranları Şekil 46 ve 47’de verilmiştir.



Şekil 46. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün 2 saatlik su alma oranlarına etkisi

Suda bekletme süresinin levhaların su alma oranlarına etkili olduğu belirlenmiştir. Süre arttıkça su alma oranı artmaktadır. 2 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranı melamin formaldehit ile üretilen, %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1 : %49,1) en yüksek değer ise %4 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levha grubunda (NC_4 : %75,2) elde edilmiştir.

24 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranları melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1 : %60,1) en yüksek değer ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda (NC_1 : %86,8) elde edilmiştir.



Şekil 47. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün 24 saatlik su alma oranlarına etkisi

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda en düşük değerler GNP kullanılan levhalarda en yüksek değerler ise Na NK kullanılan levhalarda bulunmuştur. OM NK kullanımında su alma oranlarının düşük olduğu belirlenmiştir. Nano katkı kullanımının su alma oranını etkilediği; %1 ve 2 nano katkı kullanımının su alma oranını azalttığı, %4 kullanımının ise değerleri artırdığı gözlenmiştir. %15 ve %20 oranında vermikülit kullanımı su alma oranlarını azaltmıştır.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; %1 ve %2 nano katkı kullanımının su alma oranına önemli bir etkisinin olmadığı, %4 kullanımının ise arttığı belirlenmiştir. En düşük su alma GNP ile üretilen levhalarda elde edilirken, en yüksek değer Na NK ile üretilen levhalarda bulunmuştur. Na NK nanokil kullanımı levhaların boyutsal kararlılığını olumsuz etkilemiştir.

GNP kullanılan levhalarda katkı oranının artmasıyla su alma oranlarında artış meydana gelmiştir. En iyi sonuç nano katkı oranı %1 olan levhalarda elde edilmiştir. Bu durum; viskozitenin artmasına bağlı olarak tutkalın püskürtülmesi sırasında pulverizasyonda azalma olması ve tutkalın yonga içerisine dağılımının zorlaşmasından kaynaklanabilir.

Melamin formaldehit tutkalı ile üretilen levhaların su alma oranları üre formaldehit ile üretilen levhalardan daha düşük çıkmıştır. Melamin formaldehit odunun serbest hidroksil grupları ile kovalent bağları oluşturarak su absorplama kapasitesini azaltmaktadır [205]. Genel olarak %1 ve %2 nano katkı kullanımının su alma oranlarını azalttığı belirlenmiştir. %4 katkı kullanımını ise su alma oranları artmıştır.

Nanokillerin modifiye edilmesi polimerler ile uyumluluğunu arttırdığı ve daha yüksek performans vermesini sağladığı bilinmektedir [117]. Üre formaldehit tutkalı kullanılan levhalarda kullanılan killerin modifiye edilmesi ile levhaların boyutsal kararlılıkları daha da artmıştır.

Ahşap malzemede su alma, su moleküllerinin selüloz ve hemiselülozda bulunan serbest hidroksil gruplarına bağlanmasıyla olmaktadır [206]. Odunun traheid ve/veya trahelerinin boru şeklindeki yapısı, kılcal hareket (kapilarite) ile suyun penetrasyonunu hızlandırmaktadır. Yongalevha, MDF veya OSB gibi ahşap esaslı kompozitler ıslak ve kuru koşullarda su alarak şişmeye, su vererek daralmaya maruz kalmaktadır [207]. Tutkala nano katkı eklenmesiyle suyun levha içerisine girişi engellenmekte ve difüzyon daha zor hale gelmektedir [208]. Nano katkılar levha içerisindeki hava boşluklarını daraltır. Bu suyun nüfus edebileceği alanların azalmasına neden olabilir [209]. Böylece levhanın su geçirgenliği azalmış olur.

Salari vd. [210] çalışmalarında pavlonya yongaları kullanarak ürettikleri OSB levhalarında %1, %3 ve %5 oranında modifiye edilmiş nanokil kullanmış ve nanokil oranının artmasıyla su alma ve kalınlık artımı değerlerinin azalttığını belirlemişlerdir.

Madhoushi vd. [211] atık odun tozu ve nanokil kullanımının OPK özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada; nanokil oranının %2'ye çıkarılmasıyla hücre içerisindeki boşlukların dolması ve su alma için boşluk alanının azalmasına bağlı olarak boyutsal kararlılığı arttırdığını belirlemişlerdir.

Ghofrani vd. [212] ayçiçeği sapı ve üre formaldehit ile üretilen yonga levhalarda nano TiO₂ kullanımının etkisini araştırmış ve %8'e kadar nanokil ilavesinin su alma ve kalınlık artışı değerlerini azalttığını belirlemişlerdir. Ayrıca masif odun örneklerinde de boyutsal kararlılığı arttırmak için nano parçacıkların kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Nano gümüş kullanımı ile odun örneklerinin boyutsal kararlılıkları artmıştır [88].

Nano Cu kullanımı ve presleme süresinin MDF özelliklerine etkisinin incelendiği bir çalışmada 5 dakikalık presleme süresi ve % 6 oranında nano Cu kullanımının levhaların boyutsal kararlılığını arttırdığı belirlenmiştir [213]. Vermikülit kullanımı ile su alma oranlarında azalma gözlenmiş ancak kullanım oranlarının etkisinin anlamlı bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiştir.

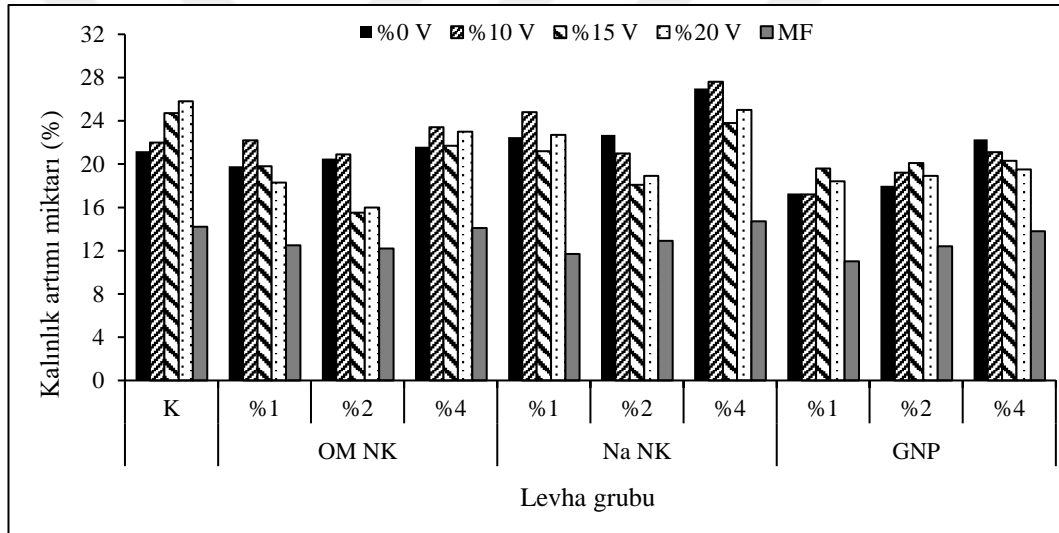
Ghofrani vd. [214] levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine nano ve mikro boyutta genişletilmiş vermikülit kullanımının etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada; % 10 ve %20

oranında mikro boyutta vermikülit kullanarak 3 tabakalı levhaların su alma ve kalınlık artımı oranlarının azaldığını ve boyutsal kararlılığın arttığını belirlemişlerdir.

Su alma oranı değerleri incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Nano katkı ve vermikülit kullanımı levhaların su alma oranlarında iyileşme sağlamıştır.

4.2.1.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranlarına Ait Bulguların İrdelenmesi

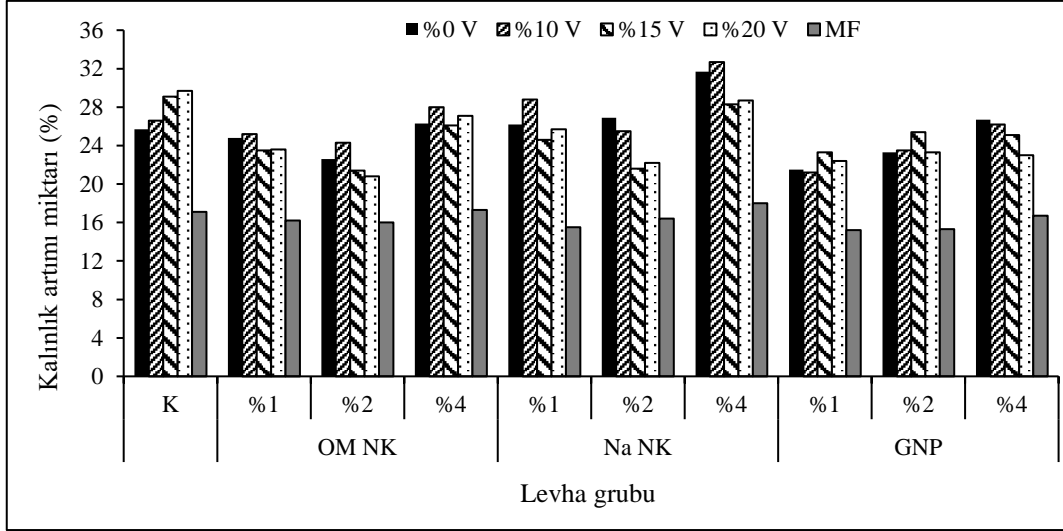
Suda bekletme süresi, nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün kalınlık artımı üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. 2 ve 24 saatlik kalınlık artımı değerleri Şekil 48 ve 49'da verilmiştir.



Şekil 48. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün 2 saatlik kalınlık artımı değerlerine etkisi

Suda bekletme süresinin kalınlık artımı değerlerine etkili olduğu, süre arttıkça kalınlık artımı oranlarının arttığı belirlenmiştir. 2 saat suda bekletme ile en düşük kalınlık artımı değeri melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG₁: %11), en yüksek değeri ise üre formaldehit ile %4 Na NK ve %10 vermikülit kullanılan levhalarda (NC₄: %27,6) elde edilmiştir.

24 saat suda bekletmede en düşük kalınlık artımı melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG₁: %15,2), en yüksek değeri ise %4 Na NK ile %10 vermikülit kullanılan levhalarda (NC₄: %32,7) elde edilmiştir.



Şekil 49. Nano katkı türü, nano katkı oranı vermikülit oranı ve tutkal türünün 24 saatlik kalınlık artımı değerlerine etkisi

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda en düşük kalınlık artımı GNP kullanılan levhalarda elde edilmiştir. OM NK kullanılan levhaların kalınlık artımı değerleri kontrol grubuna göre daha düşük, Na NK kullanılan levhaların ise daha yüksek bulunmuştur. %1 ve %2 nano katkı oranı kalınlık artımı değerlerinde iyileşme sağlarken, %4 kullanımı ise sonuçları olumsuz etkilemiştir. %10 vermikülit kullanımında kalınlık artımı değerlerini olumsuz etkilerken, %15 ve %20 kullanımında ise değerlerde iyileşme gözlenmiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; GNP ve OM NK kullanımı ile kalınlık artımı değerleri kontrol grubuna göre azalma, Na NK kullanımı ile ise artış gözlenmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımı ile kalınlık artımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

TS EN 312 [37]'de yongalevhaların kalınlık artımı sınır değerleri %15 olarak verilmektedir. Endüstride su alma ve kalınlık artımını kontrol edebilmek için parafin gibi higroskopik maddeler kullanılmaktadır [17, 215]. Bu çalışmada su itici bir katkı maddesi kullanılmamış olup, kalınlık artımı değerleri standartta belirtilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca üretim bandında kullanılan pres şartları da kalınlık artımı üzerinde etkilidir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda kalınlık artımı değerleri daha iyi sonuçlar vermiştir. Zira melamin formaldehit yüksek boyutsal kararlılığı ve dış ortam şartlarına

dayanımı ile üre formaldehite göre daha avantajlıdır [54]. Ayrıca %1 ve %2 nano katkı kullanımı da kalınlık artımı değerlerinde iyileşme sağlamıştır.

Selülozik malzemeler hidrojen bağlarıyla su moleküllerini çeken polar gruplara sahip olduklarından suya karşı dirençleri düşük olup, hücre çeperleri ve lif polimer ara yüzünde rutubet oluşumu meydana gelmektedir. Kompozitlere nano katkı ilavesi ile suyun içeri girişi engellenmektedir [211].

Levha preslenmesi sırasında ısı ve basıncın etkisiyle yongaların hücre çeperleri çökmekte ve/veya çatlaklar oluşmaktadır. Bu durum rutubet ile temasta olan odun kompozitlerinin boyutsal kararlılığının bozulması ve şişmesinin temel nedenini oluşturmaktadır. Yongada oluşan bu çatlak ve suyun taşınma yolları nano katkılar tarafından kapatılarak su almayı engelleyici etki gösterebilmektedir [216].

Ashori ve Nourbakhsh [217] MDF üretiminde Na⁺ NK ilavesinin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisini araştırmış ve üre formaldehit tutkalına %2, %4, %6 ve %8 oranında nanokil kullanmışlardır. %8 nanokil kullanımı kalınlık artımını %20 oranında azaldığını belirlemişlerdir.

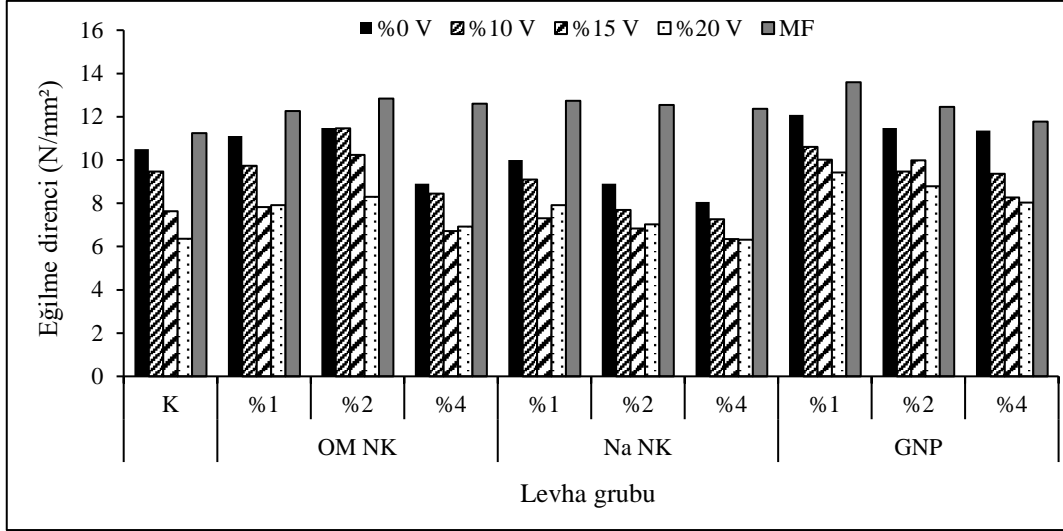
Kozłowski vd. [218] üre formaldehit kullandıkları levhalarda vermikülit kullanımının fiziksel ve mekanik özelliklere etkisini araştırmış, vermikülit kullanımı ile kalınlık artımında %68'lik, su almada ise %63'lük iyileşmenin olduğunu gözlemişlerdir.

Literatürde odun kompozitlerinde çeşitli minerallerin boyutsal kararlılığını olumlu etkilediği belirtilmektedir. Örneğin; dolomit kullanılan çalışmada dolomit miktarının %40'a kadar artmasıyla kalınlık artımında %38'lik, su almada ise %30'luk iyileşme gözlenmiştir. Zeloit ilavesinin MDF özelliklerine etkisinin belirlendiği çalışmada ise; üre formaldehit içerisine %12 zeloit ilavesi ile kalınlık artımında %56'lık, su almada ise %72,5'luk iyileşme olduğu raporlanmıştır. Nano katkı ve vermikülit kullanımının kalınlık artış oranına etkisi incelendiğinde literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir [219, 220].

4.2.2. Mekanik Özelliklere Ait Bulguların Değerlendirilmesi

4.2.2.1. Eğilme Direnci Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilme direnci değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Eğilme direnci değerleri Şekil 50'de verilmiştir.



Şekil 50. Nano katkı türü, nano katkı oranı vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilme direnci değerlerine etkisi

Levhalarda en yüksek eğilme direnci melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG_1 : $13,59 \text{ N/mm}^2$), en düşük ise üre formaldehit ile %4 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir (NC_4 : $6,32 \text{ N/mm}^2$).

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek eğilme direnci değerleri GNP kullanılan levhalarda bulunmuştur. OM NK kullanılan levhaların eğilme direnci değerleri kontrol levhalarına göre yüksek çıkmıştır. Na NK kullanımı ile eğilme direnci azalmıştır. En yüksek eğilme direnci değerleri %1 ve %2 nano katkı kullanımında elde edilirken, %4 nano katkı kullanımında ise değerlerde azalma meydana gelmiştir. Eğilme direnci değerlerinde %1 GNP kullanılan levha grubunda (GA_1) %15'lik bir artış olurken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (EB_1) %9'luk bir artış olmuştur.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranı etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; GNP ve OM NK kullanılan levhaların eğilme direnci değerleri kontrol levhalarına göre yüksek bulunmuştur. Na NK kullanımı ile anlamlı bir değişim meydana gelmemiştir. Nano katkı oranının etkisinde %1 ve %2 kullanım ile eğilme direnci değerlerinde artış gözlenirken %4 kullanımda anlamlı bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda tüm nano katkı tür ve oranlarının eğilme direnci değerlerinde artış sağladığı belirlenmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhaların eğilme direnci değerleri üre formaldehit ile üretilen levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1) eğilme direnci değerlerinde

%20'lik artış meydana gelirken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (ME₂) %14'lük artış olmuştur.

Kürlenmiş melamin formaldehit tutkalı içerisinde metilol köprüler dışında eter köprüleri bulunduğundan, melamin formaldehit ile üretilen levhaların mekanik özellik ve suya karşı dirençleri de artmaktadır [221].

TS EN 312 [37]'de kuru şartlarda genel amaçlı kullanılan (P1) yongalevhaların minimum eğilme direnci değerini 12,5 N/mm² olarak verilmiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhaların değerlerinin standartların altında olduğu gözlenmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhaların ise %2 ve %4 OM NK, %1 ve %2 Na NK ve %1 ve %2 GNP kullanılan levha gruplarında eğilme direnci değerleri standarda uygun bulunmuştur.

Odun kompozitlerinde tutkal ve odun yongaları arasındaki bağlanma mineral katkılara göre daha güçlüdür. İnorganik katkı maddesinin yongaları sarması durumunda yonga tutkal bağı zayıfladığından direnç özelliklerini düşürmektedir [222].

Elde edilen sonuçlar literatüre uyum göstermekte, vermikülitin kullanım oranının artmasıyla eğilme direnci değerleri azalma göstermiştir. Bu durumun; vermikülit kullanımının artmasıyla bağlanmanın sağlanması için gerekli olan yüzey alanının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Vermikülit kullanımı arttıkça yongaların tutkal bağlanma alanı azalmaktadır.

Nano malzemelerin tanecik boyutunun mekanik özellikler üzerindeki etkisi esas olarak mikro yapıya yansımaktadır. Nano katkıların boyutları küçüldükçe yüzey aktiviteleri artmaktadır. Zira küçük boyutları ile kompozit yapısındaki matrisin gözeneklerini doldurup, boşlukları azaltabilmekte ve mekanik özelliklerini iyileştirebilmektedir [223].

OM NK nanokil kullanılan levhalarda %2 den, GNP kullanılan levhalarda ise %1 den sonra eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Yüksek oranda nanokil ilavesi ile tutkal içerisinde topaklanmalar meydana gelmekte olup, tutkal hattının daha kırılğan olmasına ve yapışma direncinin azalmasına neden olabilmektedir [224].

Nanokillerin polimer özelliklerine olan katkısı homojen karışım yapabilme durumu (dispersiyon kalitesi) ve ara yüzey uyumuna göre değişim göstermektedir [225]. Kil modifikasyonu nanokillerin üre formaldehit ile uyumunu (dağılma ve homojen karışım sağlama kapasitesini) önemli derece etkilemiştir. Kil tabakaları arasındaki mesafenin artması; polimerlerin kil galerileri arasına daha kolay girmesi ve bağlanmayı arttırmasını sağlar. Na NK için kil galerileri arasındaki mesafe 0,89-0,92 nm arasındadır [226]. OM NK için kil galerileri arası daha fazladır (3-4 nm) [227].

GNP ilavesi ile eğilme direnci değerlerinde kontrol levhalarına göre artış gözlenmiştir. Literatürde GNP'lerin sağladıkları yüksek özgül yüzey alanları ve 2D geometrisi sayesinde polimer özelliklerini geliştirmede önemli bir avantaj sağlamaktadır [228].

Muñoz ve Moya [229] nanokil ilavesinin kontrplak üretiminde fiziksel ve mekanik özelliklere etkisini belirledikleri çalışmada, üre formaldehit tutkalına %0,75, %1, %1,5 ve %2 oranında nanokil katkısının mekanik özellikleri etkilediğini, en iyi özellikleri %0,75 oranında nanokil kullanımının verdiğini belirtmişlerdir.

Ashori ve Nourbakhsh [217] nanokil ilavesi ve pres sıcaklığının yongalevhaların mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada, en iyi mekanik direnç değerlerini %6 nanokil kullanımında elde etmişlerdir. Nanokil oranının artmasıyla mekanik özellikler kötüleşmiş, pres sıcaklığının artması ise özellikleri olumlu etkilemiştir.

Liu vd. [230] pres parametreleri ve %1,5 TiO₂/Nanokil ilavesinin melamin üre formaldehit emdirilmiş kağıtlarla kaplanan yongalevhaların performans özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada, nano katkı kullanımının mekanik özellikleri arttırdığını belirlemişlerdir. En yüksek eğilme direnci değerleri 180°C sıcaklık 40 sn pres süresi ve 3 MPa pres basıncı koşullarında elde edilmiştir.

Hosseyini vd. [231] nanokil oranı ve karıştırma yönteminin yongalevhaların mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada, kil oranının artması ile mekanik özelliklerde artış meydana geldiğini belirlemişlerdir. Karıştırma yönteminin de etkili olduğu, ultrasonikasyon yöntemiyle karıştırma işleminin mekanik karıştırma işlemine göre özellikleri daha çok arttırdığını raporlamışlardır.

GNP ilavesinin odun plastik kompozitlerinin özelliklerine etkisini incelemek için yapılan çalışmada, %12 nano katkı ilavesiyle eğilme direnci değerlerinde %30 oranında iyileşme, termal iletkenlik değerlerinde ise %200 oranında artış olduğunu belirlemişlerdir. GNP ilavesinin odun-plastik arasındaki uyumu arttırdığı belirlenmiştir [232].

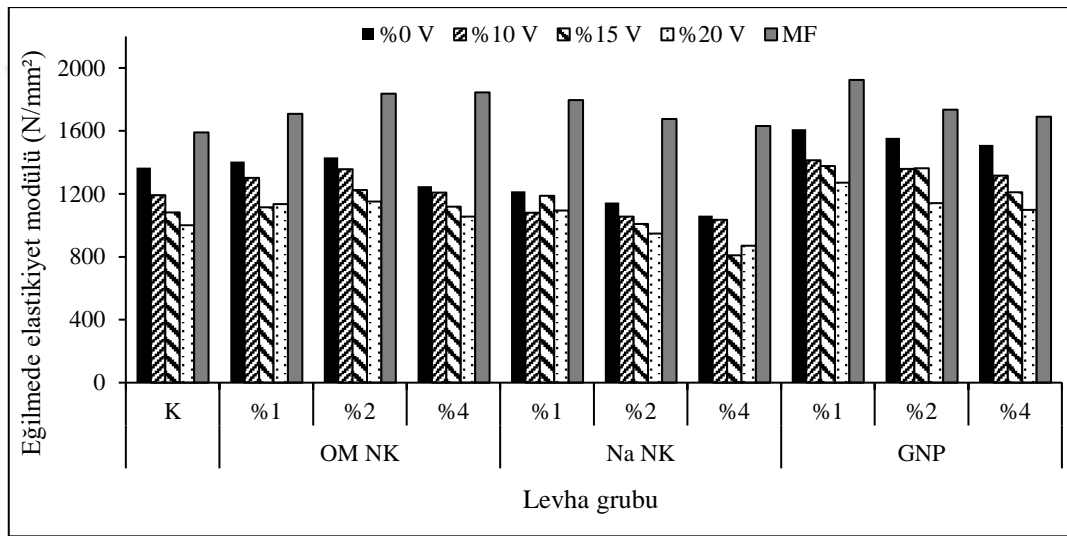
Ghofrani vd. [214] yongalevha üretiminde nano ve mikro boyutta vermikülit kullanımının teknolojik özelliklere etkisini araştırdıkları çalışmalarında, %20'ye kadar vermikülit kullanımıyla mekanik ve fiziksel özelliklerde azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Çalışmamızda; nano katkıların eğilme direnci değerlerine etkisi incelendiğinde literatüre uyumlu sonuçlar göstermiştir.

4.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 51’ de verilmiştir.

En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG_1 : 1923,47 N/mm²), en düşük değer ise %4 Na NK ve %15 vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir (NC_3 : 808,65 N/mm²).



Şekil 51. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilmede elastikiyet modülü değerlerine etkisi

Üre formaldehit ile vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri GNP kullanılan levhalarda belirlenmiştir. OM NK kullanılan levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri kontrol levhalarına göre yüksek bulunurken, Na NK kullanımında ise değerlerde azalma meydana gelmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımı ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış gözlenirken, %4 oranında kullanımında anlamlı bir değişme gözlenmemiştir. Vermikülit kullanımının artmasıyla eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde %1 GNP kullanılan levha grubunda (GA_1) %18’lik bir artış olurken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (EB_1) %5’lik bir artış olmuştur.

Tutkal türü, nano katkı türü, nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; GNP ve OM NK kullanılan levhalarında eğilmede elastikiyet modülü değerleri

kontrol levhalarına göre yüksek bulunurken, Na NK kullanımında ise anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımını eğilmede elastikiyet modülü değerlerini arttırırken, %4 kullanımında ise anlamlı bir değişim gözlenmemiştir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üre formaldehit ile üretilen levhalara göre daha yüksek bulunmuştur. %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG₁) eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde %21'lik artış meydana gelirken, %4 OM NK kullanılan levha grubunda (ME₄) %16'lık artış olmuştur

TS EN 312 [37]' de kuru şartlarda kullanılan iç donanım uygulamaları (mobilya dâhil) levhaları için (P2) minimum eğilmede elastikiyet modülü değerini 1800 N/mm² olarak vermiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhalar standart değerleri sağlayamamıştır. Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise %2 ve %4 OM NK ve %1 GNP kullanılan levha gruplarında standarda uygun değerler elde edilmiştir.

Literatürde; ahşap kompozitlerde nanokil kullanımının gerilmelerin malzeme boyunca dağılmasını kolaylaştırarak mukavemet özelliklerinde iyileşme sağlandığı belirtilmektedir [233]. Nanokiller, yapısı gereği yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahiptir. Bu da tutkal ile nanokil matrisinde geniş bir ara yüz alanına yol açmaktadır. Ayrıca, kompozitlerde polimer zincirlerinin kil trombosit galerileri içinde hapsolması nedeniyle son derece güçlü bir yapı oluşmakta olup, bu güçlü yapı mekanik özellikleri olumlu etkilemektedir [229].

OM NK'lerde silikat tabakaları arası uzaklık 38-40 Å iken modifiyesiz nanokillerde bu uzaklık 15 Å civarındadır [234]. Nanokiller modifiye edildiklerinde yapılarındaki sodyum ve kalsiyum iyonları basit bir yer değişim reaksiyonu gösterir. Bu yüzeylerin organofilik özellik göstermesi ve dağılmasının kolaylaşmasını sağlar [235].

Çalışmamızda elde edilen sonuçlar incelendiğinde özellikle üre formaldehit ile üretilen levha gruplarında literatüre uygun olarak OM NK kullanımının özelliklerini daha olumlu etkilediği belirlenmiştir.

Tüm GNP kullanım oranlarında eğilme direnci değerleri kontrol levhasına göre artış göstermiştir. Zira GNP'ler yüksek yüzey alanına sahip olduklarından ara yüz boyunca daha fazla kuvvet aktarmakta ve polimerin özelliklerini önemli ölçüde geliştirmektedir [236, 237].

Candan ve Akbulut [238] çeşitli nano katkıların levha özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmada, üre formaldehit tutkalına %1 ve %3 oranında nano SiO₂ nano Al₂O₃ ve nano ZnO ilave etmişler ve %3 nano ZnO ilavesi hariç diğer tüm nano katkıların mekanik özelliklerini olumlu etkilediğini raporlamışlardır. %1 nano SiO₂ ve %1 nano Al₂O₃ kullanımının en iyi yapışma mukavemeti ve vida tutma direnci sağladığını belirtmişlerdir.

Lei vd. [239] Na NK ilaveli üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhaların mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada, az oranlarda nanokil kullanımının dahi yongalevha ve kontrplaklarda mekanik dirençlerini önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir.

Xian vd. [240] üre formaldehit ve melamin formaldehit tutkalına ilave edilen modifiyeli ve modifiyesiz nanokillerin yongalevhaların mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, nanokil ilavesinin tutkal özelliklerini geliştirdiğini belirlemişlerdir. %2 nanokil ilavesi ile en yüksek mekanik özellikler elde edildiğini raporlamışlardır.

Üre formaldehit tutkalına ilave edilen çift duvarlı karbon nanotüp ilavesinin MDF üretiminde; nano katkı oranının artmasıyla mekanik özelliklerde artış görüldüğünü belirlemişlerdir. En yüksek artış %0,52 nano katkı kullanımında elde edilmiştir [197].

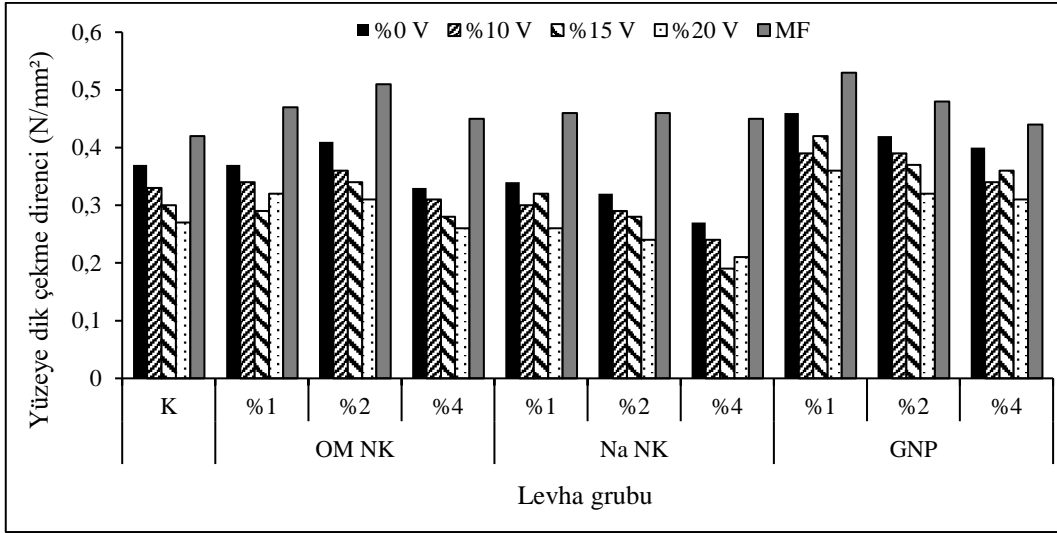
GNP kullanımının OPK özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmada en yüksek mekanik özellikler %0,8 GNP kullanımında gözlenmiştir. Yüksek oranda (%3-%5) GNP kullanımında polimer yapısında yığılmalar meydana gelmiş ve direnç değerleri azalmıştır [101].

Nano vollastonit kullanımının yongalevhalarda mekanik özelliklere etkisinin araştırıldığı çalışmada, %5, %10, %15 ve %20 oranında nano vollastonit kullanımının bağlanma direncini arttırdığı ve mekanik özellikleri olumlu etkilediği belirlenmiştir. Kullanım oranının artmasıyla levha içerisinde mikro boşlukların arttığı ve tutkal adezyonunun azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek mekanik direnç özellikleri %15 oranında katkı kullanımı ile elde edilmiştir [241].

Çalışmamızda elde edilen sonuçlar incelendiğinde eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarının yapılan literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu, uygun oranda nano katkı kullanımı ile direnç özelliklerinin arttığı belirlenmiştir.

4.2.2.3. Yüze Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün yüze dik çekme direnci değerlerine etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek yüze dik çekme direnci değeri melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda ($MG_1: 0,53 \text{ N/mm}^2$), en düşük değer ise üre formaldehit, %4 Na NK ve %15 vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir ($NC_4: 0,19 \text{ N/mm}^2$). Yüze dik çekme direnci değerleri Şekil 52'de verilmiştir.



Şekil 52. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün yüzeye dik çekme direnci değerlerine etkisi

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda GNP ve OM NK kullanılan levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri kontrol levhalarına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Na NK kullanımında ise azalma gözlenmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımı ile yüzeye dik çekme direnci değerleri artarken, %4 kullanım oranında ise azalma meydana gelmiştir. Vermikülit miktarının artmasıyla yüzeye dik çekme direnci değerleri azalmıştır. Yüzeye dik çekme direnci değerlerinde %1 GNP kullanılan levha grubunda (GA₁) %24'lük bir artış olurken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (EB₁) %11'lik bir artış olmuştur.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; GNP ve OM NK kullanılan levhalarda yüzeye dik çekme direnci değerleri kontrol levhalarına kıyasla yüksek bulunurken, Na NK kullanımında ise anlamlı bir değişim olmamıştır. %1 ve %2 nano katkı kullanımı yüzeye dik çekme direnci değerlerini arttırmış, %4 kullanımı ise anlamlı bir değişim sağlamamıştır.

TS EN 312 [37]'de minimum yüzeye dik çekme direnci değeri kuru şartlarda kullanılan genel kullanım amaçlı levhalar için (P1); 0,28 N/mm², kuru şartlarda kullanılan iç donanım uygulamaları (mobilya dâhil) için levhalar için ise (P2) 0,4 N/mm² olarak verilmiştir.

Üre formaldehit ile üretilen levhalarda vermikülit kullanılmayan ve %10 vermikülit kullanılarak üretilen levhaların değerleri P1 sınıfı gereksinimlerini karşılamaktadır. GNP kullanılan levhaların hepsi P1 sınıfı gereksinimlerini karşılarken %1 ve %2 GNP nano katkı

kullanılan levhalarda (GA₁ ve GB₁) P2 sınıfı gereksinimlerinin karşıladığı belirlenmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda yüzeye dik çekme direnci değerleri 0,42 ile 0,53 N/mm² arasında değişmekte olup, P1, P2, P4 ve P6 kullanım koşullarını da karşılamaktadır.

Melamin formaldehit ile üretilen levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri daha yüksek bulunmuştur. %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG₁) yüzeye dik çekme direnci değerlerinde %11'lik artış meydana gelirken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (ME₂) %9'luk artış olmuştur. Melamin formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkalları suda daha az çözünür, bu nedenle daha yüksek yapışma mukavemetine sahiptir [53].

Nanokil kullanımı ile nanokil yapısında bulunan Al(OH)₃ (alüminyum hidroksit) içerisindeki alüminyum iyonları lignindeki metoksi gruplarıyla, diğer taraftan hidroksil grupları ise ligninle bağ yapmaktadır. Bu ikili bağlanma mekanizması sonucu kompozit yapısı güçlenmekte ve mekanik özellikler artmaktadır [242].

Tutkal karışımında nano katkıların kullanılması, polar moleküler zincir etrafında bir bağlantı ara yüzü oluşturabilir ve moleküler zincir arasındaki moleküller arası bağları kuvvetlendirir. Böylece tutkalın kararlılığı ve dayanıklılığı artırabilir [243]. Öte yandan, nano katkıların üre formaldehit tutkalında oluşturduğu yüzey artışı, onun yongalar ile daha iyi bağlanması ve mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlayabilir. Nano katkı ilavesinin yapışma ve kohezyon kuvvetini dolayısı ile yüzeye dik çekme direnci değerlerini de arttırdığı belirlenmiştir [231].

Kil modifikasyonu sırasında kullanılan iyonlar kolayca yer değiştirebilme özelliğine sahip olduklarından kompozit içerisindeki kil galerileri genişleyerek tabakalar arasındaki mesafenin artması, bağlı olarak da monomer veya polimerlerin nano kompozit hazırlanmasında daha kolay karışmasını sağlamaktadır [244].

Zhou vd. [196] Na NK ve OM NK katkılı melamin üre formaldehit tutkalı ile üretilen yongalevhaların direnç özelliklerini araştırdıkları çalışmada, %1 OM NK kullanımının yüzeye dik çekme direnci değerlerini %12,5 oranında, %1 Na NK kullanımının ise %3 oranında arttırdığını raporlamışlardır. %5 Na NK kullanımında ise yüzeye dik çekme direnci değerleri %36 oranında azalmıştır.

Karbon nano tüp ilavesi ve pres koşullarının MDF özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, nano katkı kullanımının mekanik özellikleri arttırdığı belirlenmiştir. En yüksek mekanik özellikler %3,5 nano katkı kullanımı ve 232 saniye presleme süresinde elde edilmiştir. En uygun üre formaldehit kullanım oranı ise %8,18 olarak bulunmuştur. [245].

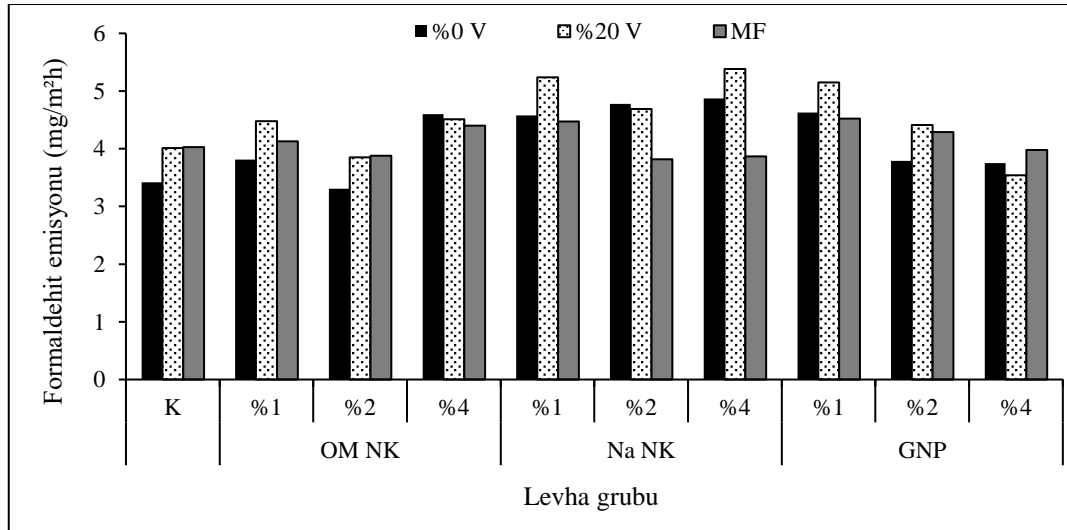
Çalışmamızda elde edilen yüzeye dik çekme direnci değerleri yapılan literatür çalışmalarına uyum göstermekte olup, nano katkı ve vermikülit kullanımı levhaların iç yapışma direncini önemli miktarda etkilemiştir.

4.2.3. Formaldehit Emisyonuna Ait Bulguların İrdelenmesi

Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit kullanımı ve tutkal türünün formaldehit emisyonuna etkili olduğu belirlenmiştir. Levhaların formaldehit emisyonu değerleri Şekil 53'te verilmiştir.

En yüksek formaldehit emisyonu üre formaldehit ile %4 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levhalarda (NC_3 : $5,38 \text{ mg/m}^2\text{h}$), en düşük değer ise üre formaldehit ile %2 OM NK nanokil kullanılan levhalarda elde edilmiştir (EB_1 : $3,31 \text{ mg/m}^2\text{h}$).

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda nano katkı türü ve oranının artmasıyla formaldehit emisyonunda artış meydana gelmiştir. OM MK kullanılan levhaların formaldehit emisyonu Na NK ve GNP kullanılan levhalara kıyasla daha düşük bulunmuştur. Sadece %2 OM NK kullanılan levhalarda formaldehit emisyonunda %3,2'lik azalma meydana gelmiştir.



Şekil 53. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün formaldehit emisyonuna etkisi

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; nano katkı türü ve oranının artmasıyla formaldehit emisyonunda artış

meydana gelmiştir. Tutkal türlerinin formaldehit emisyonu üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise nano katkı oranının formaldehit emisyonuna daha olumlu etki yaptığı belirlenmiştir. %2 OM NK, %2 ve %4 Na NK ve %4 GNP kullanımı ile kontrol grubuna göre daha düşük formaldehit emisyonu elde edilmiştir. %2 OM NK kullanılan levha grubunda (ME₂) formaldehit emisyonunda %3,7'lik, %2 Na NK kullanılan levha grubunda (MN₂) ise %5,2' lik azalma meydana gelmiştir.

ISO 12460-3 [144] standardına göre katkısız üre formaldehit (3,42 mg/m²h) ve %2 OM NK katkılı üre formaldehit ile üretilen levhaların (3,31 mg/m²h) E1 (<3,5 mg/m²h) formaldehit sınıfında olduğu diğer levhaların ise E2 (>3.5 mg/m²h; ≤ 8 mg/m²h) emisyon sınıfında olduğu belirlenmiştir (3,54-5,38 mg/m²h).

Nano katkıların temel uçucu organik bileşik ve formaldehit emisyonunu azaltma mekanizması; gaz absorplama ve bariyer oluşturma yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Nano katkıları iyi bir dispersiyon sağlayarak formaldehit emisyonunu düşürücü etki yapmaktadır [246].

Nano katkıların gaz bariyeri özelliklerini belirleyen; dolgu maddesinin en boy oranı, yapısı, polimer yapısının iç bariyer özelliği ve dispersiyonun "kalitesi" (aglomerasyon/spesifik ara yüz, serbest hacim ve dolgu trombositlerinin oryantasyonu) olmak üzere üç ana etken bulunmaktadır [247].

Nanokiller yaklaşık 1 nm kalınlık, son derece geniş yüzey alanına ve en boy oranlarına sahip silika trombositleri gibi tabaka yığınlarından oluşmaktadır. Nanokil tabakaları kompozit içerisinde gaz bariyeri oluşturduğundan uçucu organiklerin akış yolunu dolambaçlı hale getirir ve emisyon hızını yavaşlatır. Buda formaldehit salınımını azaltıcı etki yapmaktadır. Ayrıca nanokil karışımının homojen olması durumunda nanokil tabakalarının formaldehit absorplama kabiliyetide formaldehit emisyonunun azalmasına sebep olmaktadır [210].

Melamin formaldehit ve %4 GNP kullanılan levhalarda formaldehit emisyonunda düşük bir miktar azalma meydana gelmiştir. Bu GNP katkıların bariyer özelliğinden kaynaklanabilir. Ancak çalışma genel olarak dikkate alındığında GNP kullanımının formaldehit emisyonunu azaltıcı etkisi olmadığı belirlenmiştir. İki boyutlu Sp² hibridize karbon atomları tabakası yapısından oluşan grafen esaslı nano katkıları üstün mekanik, termal iletkenlik ve elektriksel özelliklere sahip olup, moleküller arasında oluşan güçlü Van Der Waals kuvveti sayesinde kolayca toparlanma eğilimi sağlamaktadır. Bu sebeple grafen esaslı

malzemelerin uçucu organik bileşik absorbe edebilmesi zordur. Grafenin uçucu organik bileşik ve formaldehit gibi gazları tutma yeteneğinin arttırılabilmesi için oksijen içeren fonksiyon grupları taşıyan (hidroksil, karboksilik, karbonil grupları vb.) grafen oksit türevi malzemeler geliştirilmiştir [248].

Nano katkı kullanımının belirli bir oran üzerine çıkması üre ile formaldehit arasındaki reaksiyon kinetiğinin kısmen bozulmasına bağlı olarak daha fazla serbest formaldehit molekülü oluşabilmekte ve bunun sonucu olarak formaldehit emisyonunun artmasına sebep olabilmektedir [249].

Vermikülit kullanımı uçucu organik bileşik değerlerini olumsuz etkilemiştir. İnorganik katkıların fazla kullanılması ahşap yüzeylerinden reçine penetrasyonunu güçleştirmektedir. Böylece tutkal ile yonga arasındaki temas alanı azalmakta ve kenetlenme zayıflamakta ve uçucu organik bileşik çıkışında artış olmaktadır [251].

Wibowo vd. [252] üre formaldehit tutkalına eklenen metal iyon modifiyeli nanokilin kontrplaklarda uçucu organik bileşik emisyonuna etkisini araştırdıkları çalışmada, nanokil oranının artması ile uçucu organik bileşik değerlerinde önemli miktarda azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir. Çapraz bağ yoğunluğunun artmasına bağlı olarak üre formaldehit oligomerlerinin daha fazla serbest formaldehit ile reaksiyona girmesi sonucu uçucu organik bileşik değerlerinin azaldığı belirtilmiştir.

Nanokiller silikat katmanlarından oluşmaktadır. Fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen modifiye silikat tozu katkılı kontrplakların uçucu organik bileşik değerlerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada; silikat toz konsantrasyonunun artması ile emisyon değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Silikatların içerisinde bulunan ve serbest boşluklar içeren silisyum ve alüminyum kafes yapısının formaldehiti absorplama kabiliyetinin bu azalmada etkili olduğu belirtilmiştir [252].

Liu ve Zhu [253] yongalevhaların kaplanmasında kullanılan emprenyeli kâğıtların hazırlanmasında melamin üre formaldehit içerisinde TiO_2 ve nanokil kullanımının formaldehit ve uçucu organik bileşik emisyonuna etkilerini araştırdıkları çalışmada; nano katkıların aktif gruplar ile reaksiyona girmesi sonucu tutkal performansının arttığı belirlenmiştir.

Nano katkı kullanılmış kâğıtlarda formaldehit emisyonlarının azalmasının kullanılan nanopartiküllerin absorplama yeteneğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nano katkılar serbest formaldehiti tutkaldan emebilirler. Ayrıca, nanopartiküllerin bariyer

özellikleri koruyucu etkileri nedeniyle panellerin formaldehit emisyonlarını da azaltıcı etki yapmaktadır.

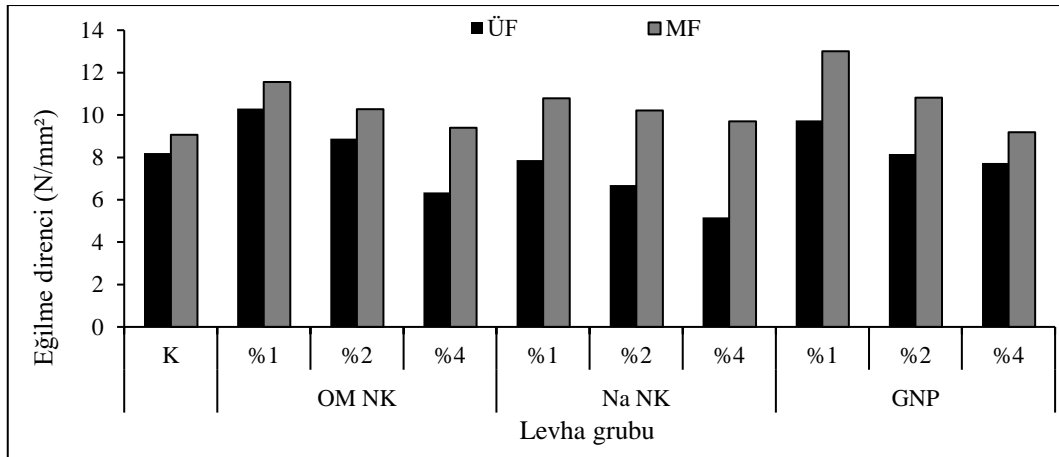
Çalışmamızın sonuçları incelendiğinde, özellikle melamin formaldehit tutkalı ile üretilen levhalar için nano katkıların formaldehit emisyonu değerlerine etkisi literatürle uyum gösterdiği belirlenmiştir.

4.2.4. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yapılan Testlere Ait Bulguların İrdelenmesi

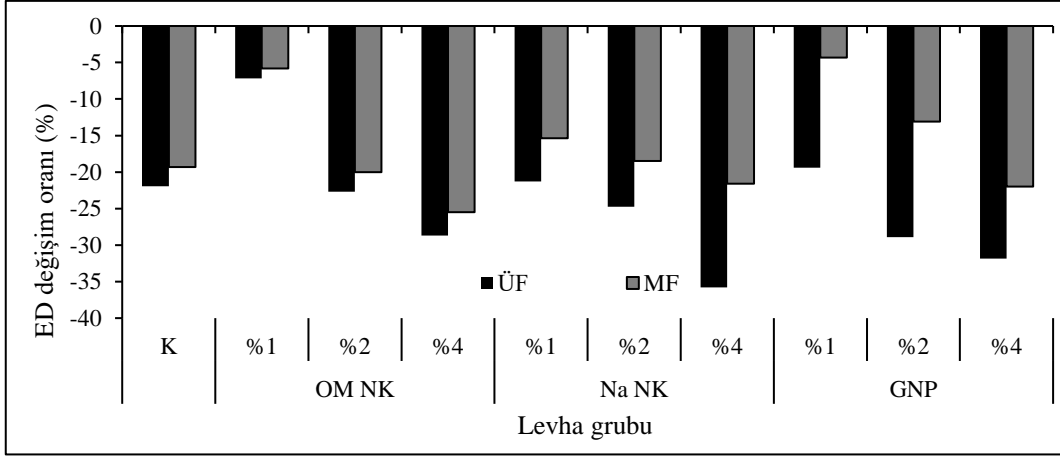
4.2.4.1. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilme Direnci Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarda nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün eğilme direnci değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Yaşlandırılmış levhaların eğilme direnci değerleri ve değişim yüzdeleri Şekil 54 ve 55'te verilmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu levhaların eğilme direnci değerleri incelendiğinde en yüksek değer melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG_1 : 13 N/mm²), en düşük değer ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda (NC_1 : 5,17 N/mm²) elde edilmiştir.



Şekil 54. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerleri



Şekil 55. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerlerindeki değişim

İstatiksel analiz sonuçlarına göre; OM NK ve GNP kullanılan levhalarda eğilme direnci değerleri kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunmuştur. Na NK kullanılan levha grubunda ise anlamlı bir değişim meydana gelmemiştir. %1 nano katkı kullanımı ile üretilen levhaların hızlı yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerleri kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunurken, %2 nano katkı kullanılanlarda da kontrol grubuna kıyasla artış meydana gelmiştir. %4 nano katkı kullanımı ile eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma ile tüm levhaların eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, nano katkı kullanımının azalma oranını etkilediği belirlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu eğilme direnci değerlerindeki değişim oranları (direnci değerlerindeki azalmalar) incelendiğinde en yüksek değişim oranı üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda (NC_1 : - %35,8), en az değişim oranı ise melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG_1 : - %4,32) elde edilmiştir.

Üre formaldehit ile üretilen levhalarda %1 OM NK, %1 Na NK ve %1 GNP, melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise %1 OM NK ve Na NK ile %1 ve %2 GNP kullanılan grupların eğilme direnci değerlerinde kontrol gruplarına kıyasla daha az düşüş (değişim) olmuştur.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası mekanik özelliklerde azalmanın yaşlandırmanın kondisyonlama kademesinde levha rutubet içeriğinin değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yaşlandırma döngüsü ile levhaların rutubetleri sürekli değişmekte olup, levhalar sürekli daralma ve genişleme etkisinde kalmaktadır. Bunun sonucunda yongalar arasındaki tutkal hattında gerilmeler meydana gelmekte ve bağları zayıflatmaktadır. Bu

gerilmelere bağılı olarak levha içerisine daha fazla su nüfus etmekte ve yapışma kuvveti azalmaktadır [254, 255].

Nanokiller su buharı difüzyonunu önemli derece azaltmaktadır. Bu etki nanokil trombositlerinin hizalanmasına bağılı olarak kıvrımlı yol teorisi ile açıklanmaktadır. İnterkalasyon (araya girme) reaksiyonunun sonucunda, moleküler difüzyon için etkili yol uzunluğu artar, yol oldukça kıvrımlı hale gelir ve film boyunca gaz ve nem geçişinin etkisi azalır. Trombosit miktarı arttıkça bariyer özellikleri güçlenir [256].

GNP'nin polimerdeki ana etkisi UV enerjisinin emilmesi ve oksidasyon oluşturan radikallerin süpürülmesidir. GNP kullanımı ile polimer yapının sertliği arttırmakta ve fotooksidasyon etkisi azaltmaktadır. Karbon katkı miktarı arttıkça tutkal içerisinde yeterli dağılım sağlamaz ve gerekli yüzey alanı koruyucu tabakasının oluşamayabilir. Homojen karışım sağlanamadığında ise UV ışığının yeterli derece absorbe edilememesi daha çok dağılmasına ve UV stabilizasyonunun kötü olmasına neden olmaktadır [257].

Nanokillerin OPK'larda hızlı yaşlandırma sonrası performanslarının belirlendiği çalışmada; %2 ve %4 oranında katkı kullanılmış ve 2000 saat test süresi uygulanmıştır. Sonuçta %4 nanokil ilavesi ile yaşlandırmanın olumsuz etkilerinde azalma gözlenmiştir. Buna sebebinin; nanokil ilavesinin mikro boşlukları ve lif lümenlerini doldurması sonucu suyun daha derine geçişinin engellenmesi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca karbonil grup oluşumunda da azalma meydana gelmiştir. Buda oksidasyon ürünlerinin miktarının da azalmasına neden olmuştur [258].

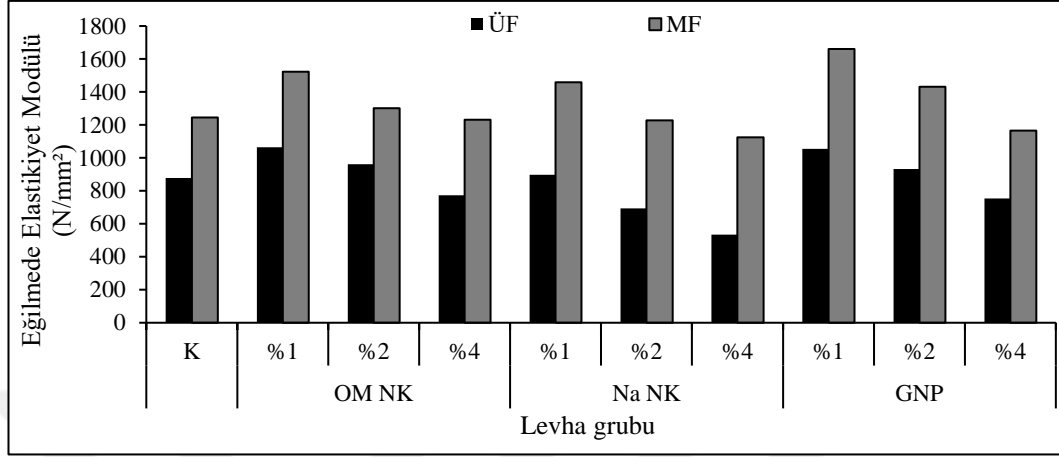
Najafabadi vd. [259] cam elyafı/epoksi/organo nanokil ilaveli nano kompozitlerde hızlı yaşlandırma sonrası özelliklerdeki değişimi inceledikleri çalışmada, kompozitler 100 saat süreyle UV radyasyonuna maruz bırakılmıştır. XRD analizleri %1-3 oranında nanokil kullanımında homojen bir karışım elde edildiğini, %4 nanokil kullanımında ise homojen karışım elde edilemediği için özelliklerin bozulduğunu göstermiştir.

Literatürle uyumlu olarak nano katkı kullanımı levhaların yaşlandırma işlemi sonrası direnç özellikleri üzerinde olumlu etki yapmıştır.

4.2.4.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

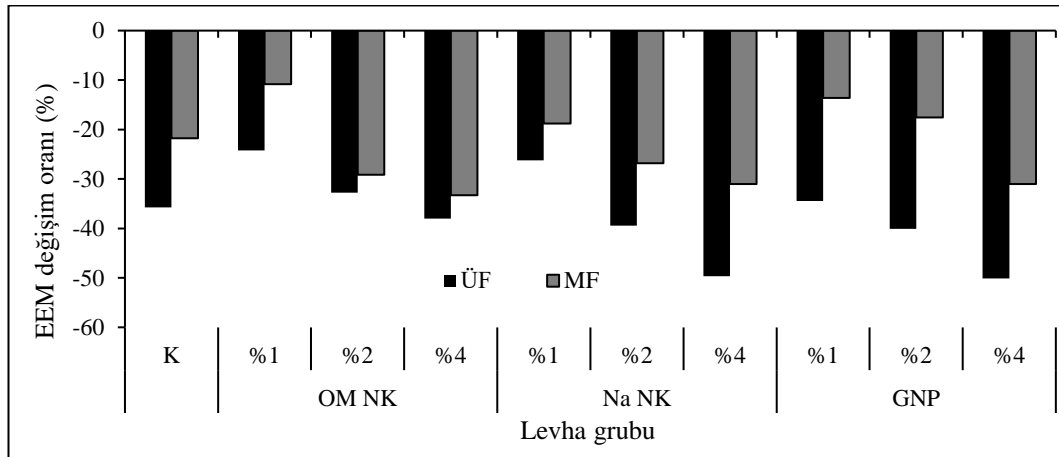
Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarda nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün eğilmede elastikiyet modülüne etkili olduğu belirlenmiştir. Eğilmede

elastikiyet modülü değerleri ve değerlerdeki değişim (direnç değerlerindeki azalmalar) Şekil 56 ve 57’de verilmiştir.



Şekil 56. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilmede elastikiyet modülü değerleri

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan (MG_1 : 1661,3 N/mm²), en düşük değerler ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan (NC_1 : 534,19 N/mm²) levhalarda elde edilmiştir.



Şekil 57. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki değişim

İstatiksel analiz sonuçlarına göre; OM NK ve GNP kullan levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerleri kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunmuştur. Na NK kullanılan levhalarda ise kontrol grubuna kıyasla azalma olmuştur. %1 nano katkı kullanılan eğilmede

elastikiyet modülü değerleri kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunmuştur. %2 nano katkı kullanımında kontrol grubuna kıyasla anlamlı bir fark bulunmazken, %4 nano katkı kullanımında değerler azalmıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma ile tüm levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, nano katkı kullanımının azalma oranını etkilediği belirlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki değişim (direnç değerlerindeki azalmalar) incelendiğinde en yüksek değişim üre formaldehit ile %4 GNP kullanılan levhalarda (NC₁: - %50,13), en düşük değişim ise melamin formaldehit ile %1 OM NK kullanılan levhalarda (EA₁: - %10,86) elde edilmiştir.

Üre formaldehit ile %1 ve %2 OM NK, %1 Na NK ve %1 GNP kullanılarak üretilen levhalarda, melamin formaldehit ile %1 OM NK, %1 Na NK, %1 ve %2 GNP kullanılarak üretilen levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde kontrol gruplarına kıyasla direnç kaybı oranının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Üre formaldehit tutkalı kullanımında nanokil katkısı termal ve UV dayanım özelliklerini önemli derece arttırmaktadır [261]. Ancak çok fazla miktarda nanokil kullanımında karışımın homojenliği bozulduğu için hidrofilik ve nanokiller arasındaki etkileşimler azalarak su iletim hızını arttırmaktadır. Buda hızlandırılmış yaşlandırma sonucunda nanokillerin bariyer özelliğinin azalmasına neden olmaktadır [256].

Grafen esaslı nano katkılar kil esaslı nano katkılara göre çok daha yüksek yüzey alanı sağlama yeteneğine sahip olup, rutubet bariyeri oluşturma potansiyeli yüksektir [261]. Çalışmada; %1 GNP kullanımı ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki kayıp oranı kontrol grubuna kıyasla düşüktür. Nano katkı oranı %4'e çıktığında direnç değerleri daha olumsuz etkilenmiş olup, sonuçlar literatüre uygun çıkmıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma testi uygulanan OPK'larda nanokil kullanımı etkisinin belirlendiği çalışmada; örnekler 2000 saat UV ve kondenzasyon döngüsüne maruz bırakılmış ve su alma oranlarının testten sonra arttığı, mekanik özelliklerin azaldığı gözlenmiştir [262].

Woo vd. [263] epoksi ve OM NK ile üretilen kompozitlere hızlandırılmış yaşlandırma (fotodegradasyon) etkisini araştırmış ve 300 saatlik UV uygulamasından sonra kontrol ve nano katkı kullanılan kompozitlerde mikro çatlak oluşumu gözlemişlerdir. En-boy oranına bağlı olarak yüksek nanokillerin bariyer özellikleri güçlü olduğundan saf epoksiye kıyasla daha az renk değişikliği ve daha fazla yüzeysel çatlakların oluştuğu dile getirilmiştir.

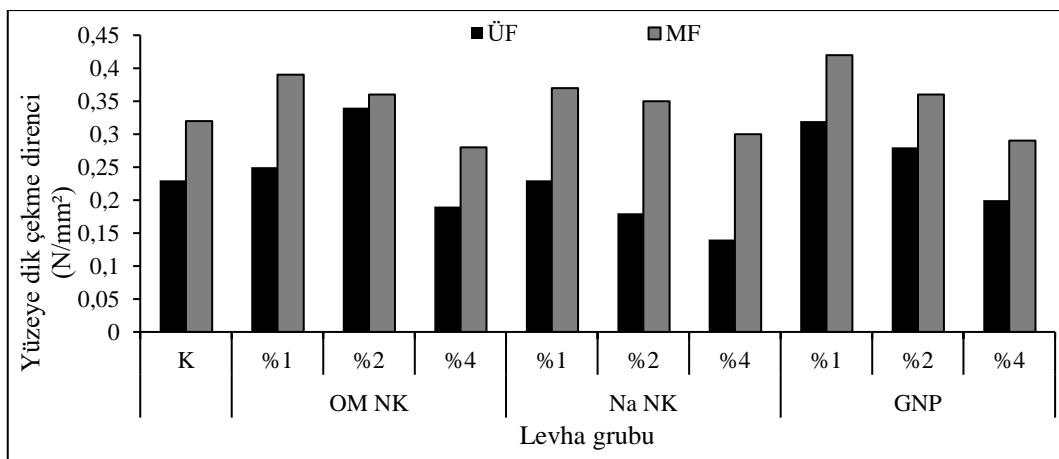
Rutubet; serbest radikal oluşumu ve iyonların hareketliliğini arttırdığından bozunma sürecini hızlandırırken, nanokil nemin bozucu etkisini sınırlamakta ve bozunmaya karşı direnç kazandırmaktadır. Genel olarak nano katkı kullanımının yaşlandırma işlemi sonrası direnç özelliklerine literatürde verilen çalışmalara uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2.4.3. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yüzeye Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

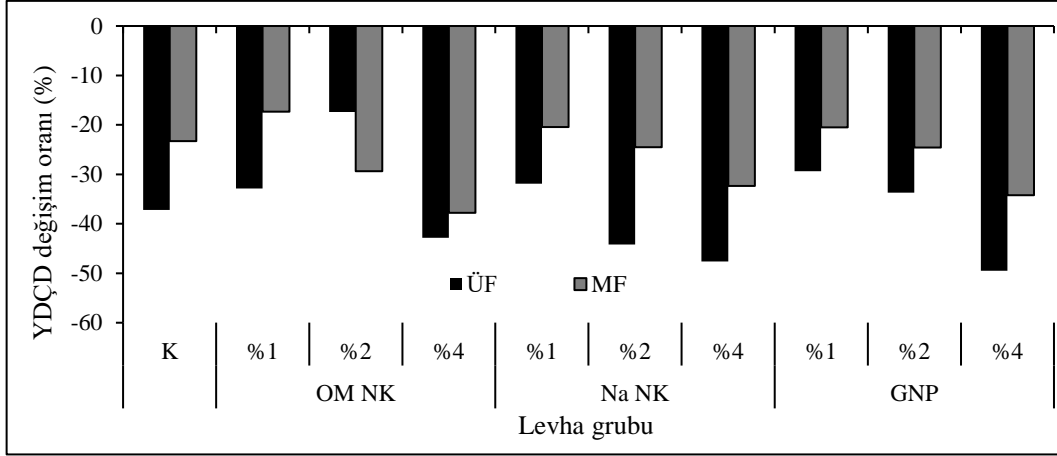
Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarda nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün yüzeye dik çekme direnci değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri Şekil 58 ve 59'da verilmiştir.

En yüksek yüzeye dik çekme direnci değerleri melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda ($0,42 \text{ N/mm}^2$), en düşük değerler ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda ($0,14 \text{ N/mm}^2$) belirlenmiştir.

İstatiksel analizlere göre; en yüksek yüzeye dik çekme direnci değerleri GNP ve OM NK kullanılan levhalarda elde edilirken en düşük değerler Na NK kullanılan levhalarda elde edilmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanılan levhalarda yüzeye dik çekme direnci değerleri kontrol levhalarına kıyasla yüksek bulunmuş, sadece %4 nano katkı kullanımında değerlerde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 58. Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerleri



Şekil 59. Hızlı yaşlandırma sonrası yüzeye dik çekme direnci değerlerindeki değişim

Hızlandırılmış yaşlandırma ile tüm levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, nano katkı kullanımının azalma oranını etkilediği belirlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu değişim oranları (direnci değerlerindeki azalmalar) değerlendirildiğinde en yüksek değişim oranı üre formaldehit ile %4 GNP kullanılan levhalarda (NC₁: - %49,52), en az değişim oranı ise melamin formaldehit ile %1 OM NK kullanılan levha grubunda (EA₁: - %17,31) elde edilmiştir

Üre formaldehit ile %1 ve %2 OM NK, %1 Na NK, %1 ve %2 GNP kullanılarak ve melamin formaldehit ile %1 OM NK, %1 Na NK, %1 ve %2 GNP kullanılarak üretilen levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinde kontrol gruplarına kıyasla direnci kaybı oranının daha fazla azalma olduğu belirlenmiştir.

Polimer kompozitler yoğun UV radyasyonuna maruz kaldığında polimer yapılarda malzeme kırılabilirliği ve mikro çatlaklar gelişmektedir. Bunun en yaygın sonucu mekanik direnci kayıplarıdır. Ancak; başlangıç periyodunda UV enerjisini azaltan nanokil katkılarının kullanımının malzeme dayanımını arttırdığı görülmüştür [265]. Nanokillerin silikat katmanları bariyer etkisi oluşturarak yaşlandırma kaynaklı oluşan bozulmalara karşı koruma sağlamaktadır. Böylece daha az mikro çatlak oluşmakta ve mekanik özellikler daha az etkilenmektedir [260]. En yeni karbon malzemelerden olan grafen, fiziksel ve kimyasal fotostabilizasyon mekanizmalarının benzersiz kombinasyonu sayesinde yüksek bir UV stabilizatörü potansiyeline sahiptir. Grafen UV absorplama, perdeleme ve radikallerin süpürülmesi etkisi göstermekte ve düşük moleküler bileşiklerin veya oksijen gibi gazların

polimerlere difüzyonuna karşı fiziksel bir bariyer oluşturan büyük boyutlu özgül yüzey alanı oluşturmaktadır [257, 265].

Polimerik malzemelerin dış ortam koşullarında bozunma reaksiyonu UV radyasyonu ve oksijen varlığı ile gerçekleşmektedir. Grafen plakaları oksijen moleküllerine fiziksel bir engel koymakta olup, UV ışığının iletimini de engeller. Buda fotodegradasyon ürünlerinin oluşmasını kısıtlar ve bozunma gecikir [266].

Nano TiO₂ ve nanokil ile üretilen ahşap polimerde kompozitler UV yaşlandırmanın fiziksel özelliklere etkisinin araştırıldığı çalışmada, nano katkı kullanımı ile ağırlık kaybı, karbonil indeksi, lignin indeksi ve kristallik indeksi değerlerinde daha düşük değerler elde edildiği belirtilmiş ve nano TiO₂ ve nanokil kullanımı mekanik özelliklere ait değerlerdeki azalma oranını düşürmüştür [267].

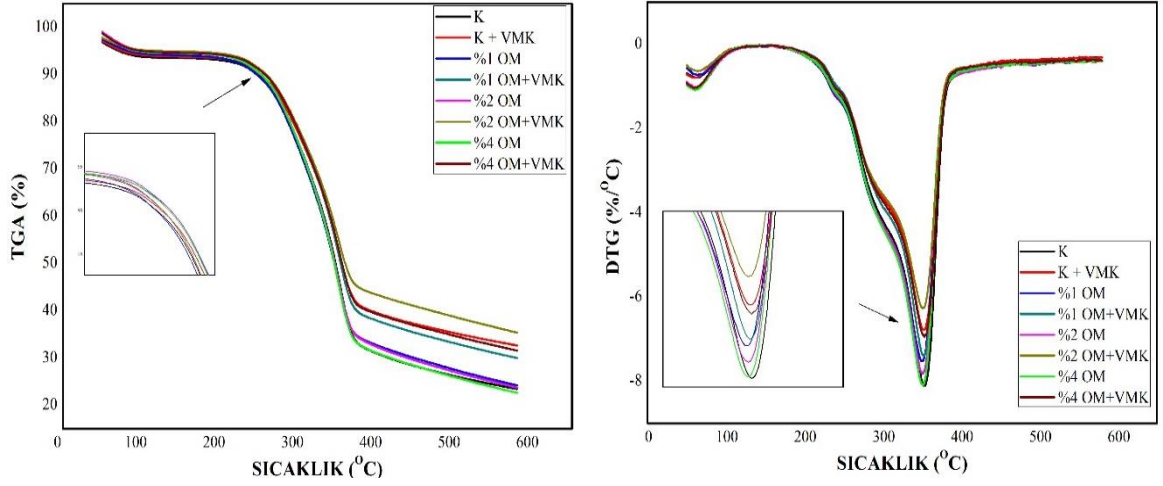
Karbon nanotüp kullanılan lif katkılı polimer kompozitlerde UV radyasyonunun liflere paralel çekme direnci değerlerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, nano katkı kullanımının direnç kaybını azalttığı belirlenmiştir. UV radyasyonu sonrası %0,25, %0,50 ve %1 nano katkı kullanımı ile liflere paralel çekme direnci değerleri artış göstermiştir. Mikro yapısal analizler (dinamik mekanik analiz) ile nano katkıların UV radyasyonunun neden olduğu polimer omurga yapısının bozulmasına karşı gösterdiği direnç ile UV radyasyonunun kompozitlerin yapısının bozulmasını azalttığı belirlenmiştir [268].

Çalışmamızda nano katkı türü ve nano katkı kullanım oranının hızlı yaşlandırma (UV) sonrası levhaların mekanik özelliklerine etkisi incelendiğinde sonuçların literatürle uyumlu olduğu gözlenmiştir. Nano katkı kullanım oranı azaldıkça levhaların dış ortam dayanımları olumlu etkilemiştir.

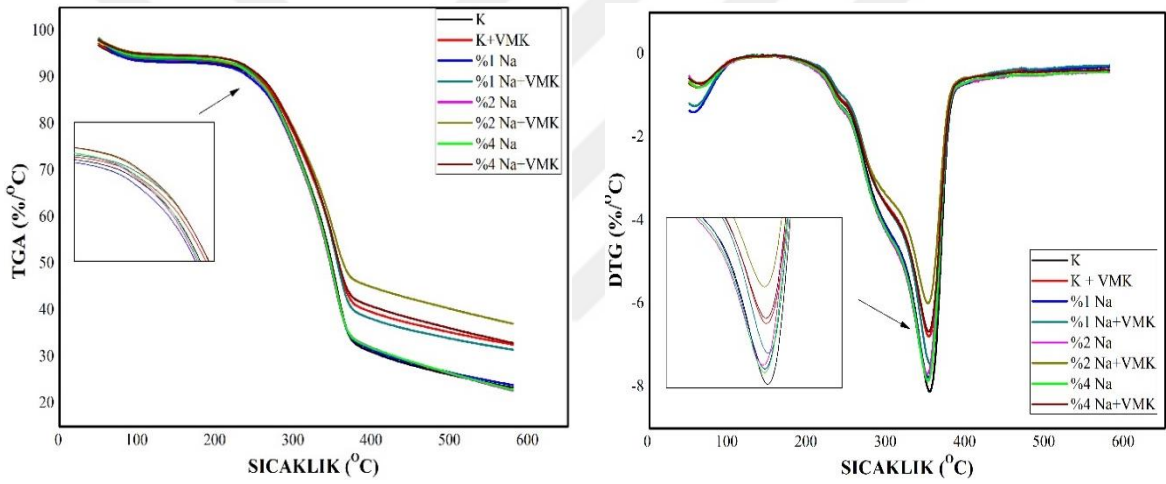
4.2.5. Termal ve Yangın Dayanımı Özelliklerine Ait Bulguların Değerlendirilmesi

4.2.5.1. Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizi (DTG) Bulgularının İrdelenmesi

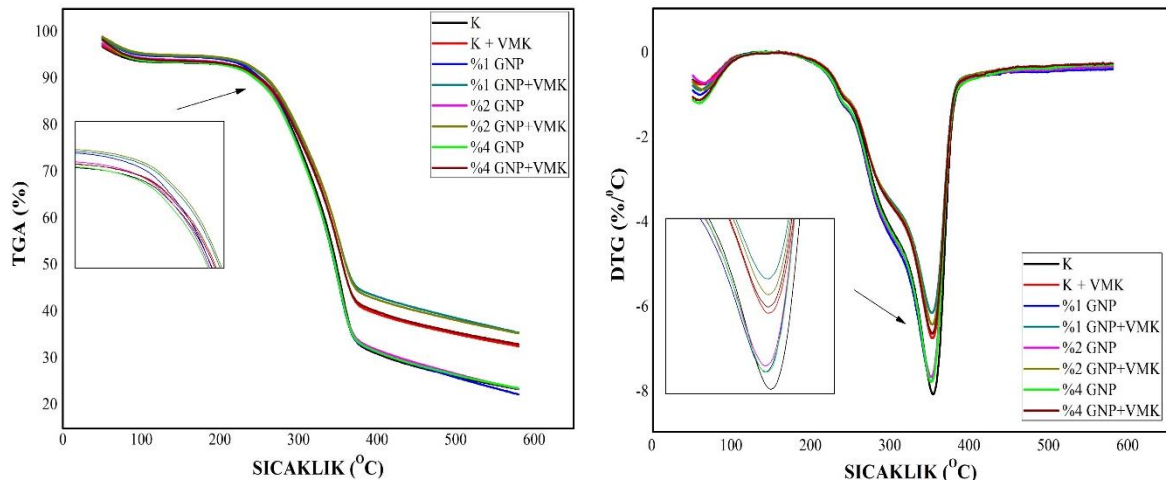
Üre formaldehit ve vermikülit kullanılan levha gruplarına ait TGA ve DTG eğrileri Şekil 60, 61 ve 62’de verilmiştir. TGA analizi sonucu 580°C’ de en düşük kalıntı miktarı %1 GNP kullanılan levhalarda (GA₁: %22,303), en yüksek kalıntı miktarı ise %2 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levhalarda (NB₄: %37,117) belirlenmiştir.



Şekil 60. Üre formaldehit kullanılan levhalarda TGA ve DTG eğrileri (OM NK)

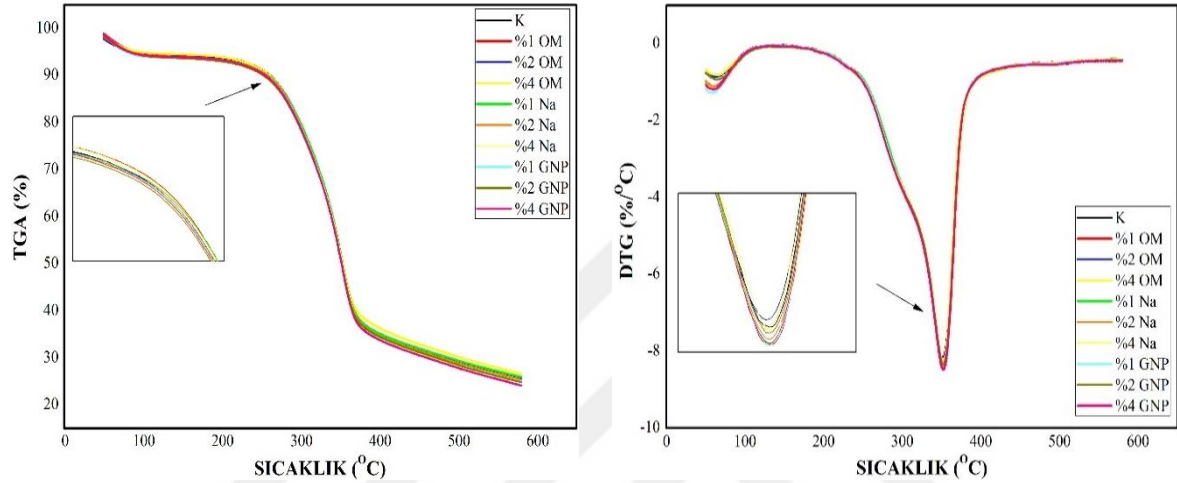


Şekil 61. Üre formaldehit kullanılan levhalarda TGA ve DTG eğrileri (Na NK)



Şekil 62. Üre formaldehit kullanılan levhalarda TGA DTG eğrileri (GNP)

Melamin formaldehit kullanılan levha gruplarına ait TGA ve DTG eğrileri Şekil 63'te verilmiştir. 580°C'de kalıntı miktarı en düşük %4 GNP kullanılan levhalarda (MG₄: %24,13), en yüksek kalıntı miktarı ise %4 OM NK kullanılan levhalarda (ME₄: %26,639) bulunmuştur.



Şekil 63. Melamin formaldehit kullanılan levhalarda TGA ve DTG eğrileri

100 °C'ye kadar ısınma sırasında meydana gelen ağırlık kayıpları levha içerisindeki rutubetin buharlaşmasından kaynaklanır. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda en düşük buharlaşma miktarı vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir. En yüksek ağırlık kaybı ısının 200-400 °C arasında olduğu süreçte gerçekleşmiştir. Odun esaslı malzemeler ısıtılmaya başladıklarında rutubet buharlaşmasını takiben yapılarındaki hemiselüloz (180-350°C), selüloz (275-350°C) ve lignin (250-500°C) temel bileşenleri bozulmaya başlar [269].

İlk bozunma sıcaklığı; levhanın bozulmaya başladığı noktayı göstermektedir ve termal kararlılığının göstergelerinden birisidir. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda kontrol grubunun ilk bozunma sıcaklığı 305,30 °C olarak belirlenmiştir. Bu değerler; %1 OM NK ile %20 vermikülit (EA₄) için 315,02°C, %2 OM NK (EB₁) için 328,65°C, %1 Na NK ile %20 vermikülit (NA₄) için 318,29°C, %2 Na NK (NB₁) için 309,68°C, %1 GNP ile %20 vermikülit (GA₄) için 306,23°C, %2 GNP ile %20 vermikülit (GB₄) için 317,14°C ve %4 GNP (GC₁) için 328,79°C olup, ilk bozunma sıcaklıkları kontrol levhalarına kıyasla daha yüksek çıkmıştır.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise kontrol levhasının ilk bozunma sıcaklığı 343,01°C bulunmuştur. %1 OM NK kullanılan levhalarda (ME₁: 347,02°C) ilk bozulma sıcaklığında kontrol levhasına göre artış belirlenmiştir.

Üre formaldehit ile üretilen levhalarda 580°C'deki kalıntı madde miktarları incelendiğinde sadece nano katkı kullanılan levhalarda yakın değerler elde edilmiştir. En yüksek kalıntı madde miktarı %1 Na NK kullanılan levhalarda bulunmuştur (NA₁: %24,161). Vermikülit kullanılan levhalarda ise kalıntı madde miktarı önemli bir artış göstermiştir. En yüksek kalıntı madde miktarı %2 MN NK ile %20 vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir (EB₄: %37,117). Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise kalıntı madde miktarları birbirine yakın çıkmış olup, en yüksek kalıntı miktarı %4 OM NK kullanılan levhalarda bulunmuştur (ME₄: %26,639).

DTG eğrileri incelendiğinde genel olarak üre formaldehit kullanılan levhalarda nano katkı ve vermikülit kullanımı ile ısıl bozunma sırasında oluşan ağırlık kaybı hızlarında yavaşlama (piklerin uzunluklarında kısalma) olduğu görülmektedir. Vermikülit kullanımı ile levhaların ilk %10'luk ve sonra da %50'lik ağırlık kaybı elde edilen sıcaklık değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Vermikülit kimyasal olarak inert bir malzeme olup, 800 °C'de kalıntı miktarı 96,5 °C'dur [271]. Bu nedenle kalıntı madde miktarları vermikülit kullanımı ile önemli derecede artmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalma durumunda daha az termal genişleme gösteren vermikülit ısı ve alevin levhaya nüfus etmesini engelleyici ve yavaşlatıcı etki yapmaktadır [271]. Vermikülitin silikat katmanlarının yüksek en/boy oranına sahip olması kompozitin antioksidasyon özelliği ve termal kararlılığı arttırabilmektedir.

Nanokiller, sağladıkları geniş yüzey alanı ve iyi şekilde dağılmış olan silikat tabakaların yangın ve yanma sırasında oluşan uçucu maddelere karşı bariyer etkisi oluşturmaktadır. Nanokil katkılı kompozitlerde silikatların koruyucu tabakaları termal oksidatif bozunmayı geciktirici etki yapmaktadır. Ayrıca kil tabakaları üzerindeki asidik bölgelerinde termal oksidatif stabiliteyi arttırabileceği belirtilmiştir [272, 273].

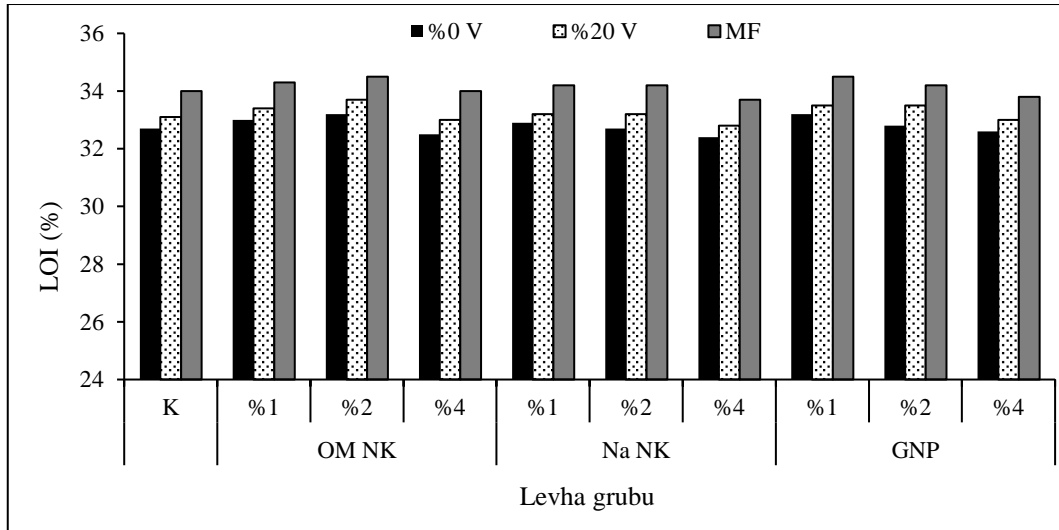
Grafen esaslı nano malzemelerle üretilen kompozitlerde kömür tabakası oluşumu; yüksek sıcaklığa maruz kalan malzemenin bozunmasından kaynaklanan uçucu ürünlerin çıkışını yavaşlatan bir termal izolatör görevi yapar. Ayrıca grafen tabakaları oksijene karşı bariyer özelliği göstererek termal bozunmayı azaltıcı etki gösterir [275]. Bir çalışmada; nanokil ve nano SiO₂ gibi nano katkıların üre formaldehit tutkalında termal stabiliteye etkisi incelenmiş ve tutkalın termal stabilitesindeki artışın, makro moleküllere ısı difüzyonunu engelleyen silikat tabakalarının dağılmasından ve bariyer etkisi oluşturmamasından

kaynaklandığı belirlenmiştir [276-278]. GNP'ler, bariyer etkileri ve polimerlerin ayrışmasını başlatan serbest radikallerin uzaklaştırılması nedeniyle termal stabiliteyi geliştirmektedir. Ayrıca homojen karışımın sağlanması durumunda ısı iletimi ve dolayısı ile ısının homojen yayılımını sağlayarak termal dayanımı arttırmaktadır [279].

Kontrol levhalarının bozunma sıcaklıkları incelendiğinde; üre formaldehit ile üretilen kontrol levhalarında 305,3 °C olan değer, melamin formaldehit ile üretilen levhalarda 343,01 °C bulunmuştur. Genel olarak melamin formaldehit ile üretilen levhaların bozunma sıcaklıkları daha yüksek çıkmıştır. 580 °C'deki kalıntı miktarları incelendiğinde melamin formaldehit ile üretilen levhalarda kalıntı miktarı daha yüksek çıkmıştır. Melamin formaldehit tutkalının termal kararlılığının üre formaldehit tutkalına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.2.5.2. Limit Oksijen İndeks (LOI) Ait Bulguların Değerlendirilmesi

Elde edilen sonuçlarda nano katkı türü, nano katkı miktarı, vermikülit oranı ve tutkal türünün levhaların LOI değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Levha gruplarının LOI değerleri Şekil 64'te verilmiştir.



Şekil 64. Nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün LOI değerlerine etkisi

En yüksek LOI değeri melamin formaldehit tutkalı ile %2 OM NK (EB₁) ve %1 GNP (MG₁) nano katkı kullanılarak üretilen levhalarda elde edilirken (%34,5), en düşük değer üre formaldehit tutkalı ile %4 Na NK kullanılarak üretilen levhalarda elde edilmiştir (%32,4).

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek LOI değerleri OM NK ve GNP kullanılan levhalarda belirlenmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımı LOI değerlerinde artış sağlarken, %4 nano katkı kullanımında LOI değerleri azalma göstermiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; OM NK ve GNP ile üretilen levhalarda daha yüksek LOI değerleri elde edilmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımında LOI değerleri artış gösterirken, %4 kullanım oranında LOI değerleri azalma göstermiştir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda üre formaldehit ile üretilenlere kıyasla daha yüksek LOI değerleri elde edilmiştir. Bu melamin formaldehitin üre formaldehit tutkalına göre daha yüksek termal dayanıma sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Zira melamin formaldehit yüksek dayanıma sahip, yangın ve ısı dayanımı yüksek bir aminoplastik tutkal [279] olup, iyi alev geciktirici özellikleri; yanma sırasında nitrojen gazının salınmasına ile [280] yapısında oluşan 3 boyutlu metilen bağlar ve oksimetilen bağlı triazin halkasından kaynaklanmaktadır. Tersiyer nitrojen triazin halka yapılarının yanma sırasında sabit karbon tabakaları oluşturması çok kolaydır. Buda alevlerin yayılmasını önleyebilmektedir. Ayrıca; su, karbon dioksit ve amonyak gibi salınan küçük moleküller ısının bir kısmını almaktadır. Bu aynı zamanda yapının karbonizasyonunu sağladığı için melamin formaldehit kendi kendine sönme etkisi de gösterebilmektedir [280, 281].

Vermikülit kullanımı ile LOI değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Silikat tabakalarından oluşan vermikülitin kullanımı ısının iletim hızını yavaşlatmakta ve levhalarda yanmanın daha yavaş gerçekleşmesini sağlamaktadır. Vermikülit; silikon ve demir, alüminyum ve magnezyum gibi çok sayıda metal iyonundan oluşmaktadır. Bu iyonlar vermikülitin alev geciktirme özelliğini güçlendirmektedir. Ayrıca kalıntı madde miktarının da yüksek olması yanma dayanımı üzerine olumlu etki etmektedir [283].

Genişletilmiş vermikülit ile işlenmiş kontrplağın termal bozunması ve yangın performansının incelendiği çalışmada, vermikülit kullanımının LOI değerlerinde artışa sebep olduğu ve yüksek sıcaklık derecelerinde termal aktivasyon enerjisinin düştüğü belirlenmiştir [282].

Termal analiz sonuçlarına göre vermikülit kullanılan levhalarda kalıntı madde miktarı melamin formaldehit ile üretilen levhalara göre daha yüksek olmasına rağmen, LOI değerleri

daha düşük bulunmuştur. Vermikülitin sadece orta tabakada kullanılması ile alevin malzemenin dış kısmında ilerlemesi kolaylaşmış ve yanmayı engelleyici etkinliğini azaltmıştır.

Wang vd. [283] yaptıkları çalışmada geliştirilmiş vermikülit kullanımının MDF'lerin termal ve yangın dayanımı özelliklerine etkisini incelemiş ve vermikülit kullanımının artmasıyla LOI değerlerinin arttığını gözlemişlerdir. Vermikülitin silikat katmanlarının düşük permabilitesi, oksijenin levhalara nüfus etmesini engellemiştir [284].

Nano katkıların alev geciktirici etkisi; yanma sırasında oluşturduğu kömür tabakası ile doğrudan ilişkilidir. Bu kömür tabakası hem alev geciktirici etki yapmakta hemde yanma için gerekli olan gazlar ile malzeme arasında yalıtkan bir bariyer tabakası oluşturmaktadır [285]. Silikat esaslı nano katkıların yanmaya karşı direnç artışı; nano kompozit yapının termal koruma sağlayan silikat karbon bariyeri oluşturacak şekilde çökmesi ve yanıcı gazın buharlaşma oranını yavaşlatması ile sağlanmaktadır [286].

Giudice ve Pereyra [287] silikat ile emprenye edilmiş odunun yangın dayanımı özelliklerini geliştirdiğini belirtmişlerdir. Deka ve Maji [288] OPK üretiminde nanokil ve nano TiO₂ kullanımının LOI değerlerine etkisini araştırdıkları çalışmada, nano katkı ilavesinin LOI değerlerini arttırdığını belirlemişlerdir. Yüksek konsantrasyonlu TiO₂ kullanımında ise değerlerde azalma meydana gelmiştir. Nanokil kullanımı malzemenin alev dayanımını arttıran silikat tabakası oluşturmaktadır. Silikat tabakaları tarafından sağlanan kırımlı yol, kompozitin yanmasını hızlandıran oksijene ve ısıya daha iyi bariyer özelliği sağlamaktadır [289].

Çoban ve Aytaç [290] OM NK ilavesinin plastikleştirilmiş polilaktik asit'in alev geciktiricilik özelliklerine etkisinin belirlenmesi çalışmalarında, nanokil ilavesi ile LOI değerlerinde artış meydana geldiğini belirlemişlerdir. Nanokilin yangın performansı üzerine yapılan çalışmalarda uygun oranda nanokil ilavesinin ısı salınım değerlerinin azalttığı, kömür oluşumunu sağlayarak kütle enerji transferini azaltıcı etki yaptığı belirlenmiştir. Yanma sırasında malzeme yüzeyinde oluşan camsı tabaka yanıcı oksijenin temasını engelleyici etki yapmaktadır [291].

Çalışmalar yüksek ısı iletkenlik, yüksek mukavemet ve esneklik gibi özellikler gösteren karbon esaslı nano malzemelerin iyi bir alev geciktirici özellik sağladığını göstermiştir. Karbon esaslı nano malzemeler yanmayı gerçekleştirirken bir ısı bariyeri oluşturarak ısının levhaların iç kısımlarına daha geç ulaşmasını sağlamaktadır [292, 293].

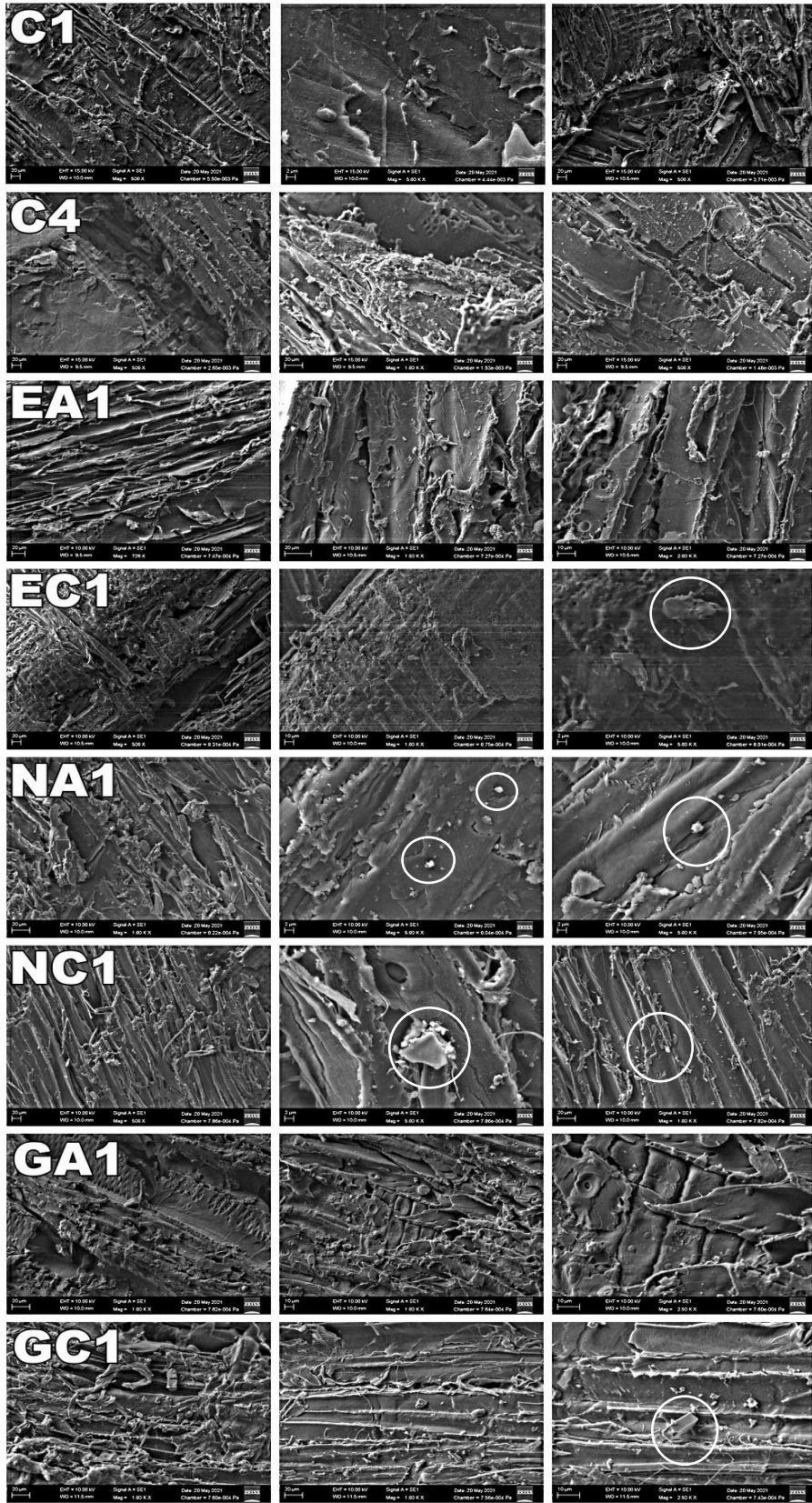
GNP ilavesinin yongalevha üretiminde yağın performansı üzerine etkisinin incelendiği çalışmada GNP ile kaplanmış numunelerin ısı yayma oranları, odun yongalarının doğrudan GNP ile karıştırılmasıyla yapılan numunelere göre daha düşük bulunmuştur. GNP ilavesi ile levhaların yangın dayanımı performansında artış meydana gelirken, duman emisyonu çıkışında artış olduğu raporlanmıştır [294]. GNP'nin alev üzerindeki karbon bariyeri etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmada ise, %1 GNP ilavesi ile termal oksidasyonun engellenmesine bağlı olarak LOI değerlerinde de artış meydana geldiği belirlenmiştir [295]. Çalışmamızın LOI değerlerinin literatür çalışmaları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

4.2.6. Morfolojik Özelliklere (SEM) Ait Bulguların İncelenmesi

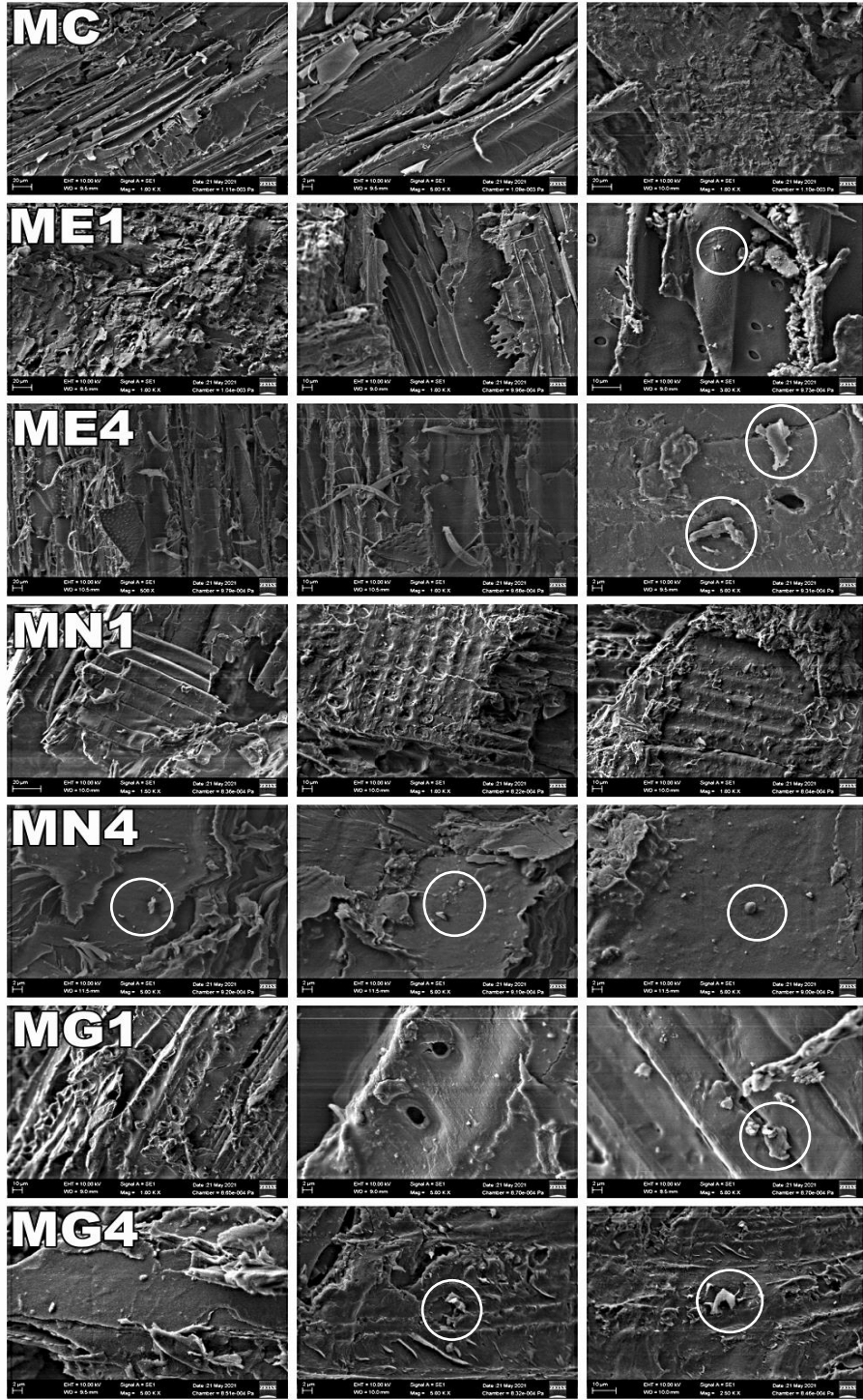
Üre ve melamin formaldehit tutkalları kullanılarak üretilen levhalara ait SEM görüntüleri Şekil 65 ve 66'da verilmiştir. Vermikülit kullanımı ile yongalar arası bağlanmanın yeterince sağlanmadığı görülmektedir. Yongaların birbirleriyle temas yüzeylerinin azalması levhaların mekanik özelliklerin azalmasına neden olabilmektedir. Vermikülit kullanım oranı arttıkça silika tanelerinin homojen dağılımı azalmış, topaklanma eğilimi göstermiş ve tutkallama kalitesinin düşmesine sebep olmuş olabilir.

Nano katkıların düşük oranlarda kullanımları genel olarak daha homojen bir dağılım göstermektedir. Buda yeterli yüzey alanının sağlanmasını ve bariyer etkilerinin oluşmasını sağlayabilmektedir. Düşük oranda nano katkı kullanımı ile daha az boşluklu yüzey yapısı oluşturduğu, nano katkı oranının %4'e çıkması ile kil ve grafen nano plaka tanelerinin daha belirgin olarak şeklinde topaklanma ve aglomera (yığın) yaptığı görülmektedir. Bu topaklanmalara bağlı olarak levha içerisinde mikro boşluklar oluşmakta ve tutkalın adezyon özellikleri de olumsuz etkilenebilmektedir.

GNP'lerin SEM görüntüleri incelendiğinde kullanım miktarının artması ile topaklanmaların arttığı gözlenirken genel olarak yer yer homojen dağılım yer yer ise aglomera oluşumu görülmektedir. Grafen taneciklerinin karışım içerisinde topaklanması sonucu yapı içerisinde tutunması azaltmakta ve bazı polar gruplar ile etkileşime girerek özellikleri olumsuz etkilemektedir [296]. %1 GNP kullanımının her iki tutkal türü için de en yüksek mekanik ve fiziksel özellikleri sağladığı görülmektedir. GNP kullanım miktarının artması ile Van Der Waals kuvvetlerinin etkisi ile topaklanma eğilimi artış göstermektedir. SEM görüntüleri içerisinde topaklanmaların olduğu noktalar daire içerisinde gösterilmiştir.



Şekil 65. Üre formaldehit kullanılan levhaların SEM görüntüleri



Şekil 66. Melamin formaldehit kullanılan levhaların SEM görüntüleri

5. SONUÇLAR

5.1. Viskozite (Akma Süresi) Tayinine Ait Sonuçlar

Üre formaldehit ile hazırlanan karışımların akma süreleri; 21,54 ile 31,51 sn arasında değişirken, melamin formaldehit ile hazırlanan karışımların süreleri 15,54 ile 23,87 sn arasında bulunmuştur. Nano katkı oranı arttıkça tutkalların viskozitelerinin de arttığı belirlenmiştir. %4 nano katkı kullanımı ile en yüksek değerler elde edilmiştir. Tutkal çözeltilerinin viskozitesinin en yüksek olduğu karışım GNP kullanımı ile elde edilmiştir.

5.2. Levhaların Özelliklerine Ait Sonuçlar

5.2.1. Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar

5.2.1.1. Rutubet Değerlerine Ait Sonuçlar

Levhaların rutubet değerlerinin %7,71-%9,43 arasında değiştiği belirlenmiştir. Rutubet değerleri TS EN 312 (2015) [37] standardına uygunluk göstermektedir (%9±4).

Üre formaldehit ile vermikülit kullanılarak üretilen levha gruplarında en düşük rutubet değerleri GNP ve OM NK kullanılan levhalarda elde edilmiştir. Nano katkı oranının rutubet değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Vermikülit miktarının artmasıyla rutubet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük rutubet oranı %20 oranında vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisi incelendiğinde; GNP ve OM NK kullanılan levhalarda rutubet değerleri kontrol grubuna kıyasla daha düşük bulunmuştur. %1 ve %2 nano katkı kullanım oranı ile rutubet değerleri daha düşük çıkmıştır.

Melamin formaldehit ile üretilen levhaların rutubet değerleri üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhalardan daha düşük bulunmuştur. Genel olarak nano katkı kullanımı rutubet değerlerini düşürmüştür.

5.2.1.2. Yoğunluk Değerlerine Ait Sonuçlar

Çalışmada levhaların yoğunluk değeri; 650 gr/cm^3 olarak hedeflenmiştir. Ancak denemeler esnasında çeşitli faktörlerin etkisine bağlı olarak levhaların yoğunluk değerleri $642,41- 683,08 \text{ gr/cm}^3$ arasında gerçekleşmiştir.

Serme işlemi el ile gerçekleştirilmiş olduğundan %100 hassasiyet sağlanamamış olabilir. Hedef yoğunluk değeri ile en düşük yoğunluk değeri ile arasında %1,17'lik, en yüksek yoğunluk değeri arasında ise %4,83'lük sapma meydana gelmiştir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhaların yoğunluk değerleri üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhalara kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

İstatistiksel analize göre nano katkı türü ve oranı ile vermikülit kullanım oranının levhaların yoğunluk değerlerine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

5.2.1.3. Su Alma Oranlarına Ait Sonuçlar

İstatistiksel analizlere göre suda bekletme süresi, nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün su alma oranı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Levhaların suda bekletme süresinin artmasıyla su alma oranlarında artış meydana gelmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranı melamin formaldehit ile üretilen, %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1 : %49,1), en yüksek değer ise %4 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levha grubunda (NC_4 : %75,2) elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranları melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1 : %60,1), en yüksek değer ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan (NC_1 : %86,8) grubunda elde edilmiştir.

Üre formaldehit ile vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda en düşük su alma oranları GNP kullanılan levhalarda elde edilmiştir. OM NK kullanımıyla su alma oranları azalmıştır. En yüksek su alma oranı Na NK kullanılan levhalarda elde edilmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımıyla su alma oranları azalırken, %4 nano katkı kullanımı ile artmıştır. %15 ve %20 vermikülit kullanımıyla su alma oranlarında azalma gözlenmiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisi incelendiğinde; %1 ve %2 nano katkı kullanımının su alma oranlarına önemli bir etkisi olmamıştır. %4 nano katkı kullanımında ise su alma oranları artmıştır. GNP ve OM NK kullanımı ile su alma oranı azalma gösterirken, Na NK kullanılan levhalarda artış göstermiştir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda daha düşük su alma oranları elde edilmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımının su alma oranlarını azalttığı, %4 katkı kullanımının ise arttırdığı belirlenmiştir.

5.2.1.4. Kalınlık Artışı (Şişme) Oranlarına Ait Sonuçlar

İstatistiksel değerlendirmeye göre suda bekletme süresi, nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün kalınlık artımı oranında üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Suda bekletme süresinin artmasıyla kalınlık artımı oranlarında artış meydana gelmiştir.

2 saat suda bekletme ile en düşük kalınlık artımı değeri melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG₁: %11), en yüksek değerler ise üre formaldehit ile %4 Na NK ve %10 vermikülit kullanılan levhalarda (NC₄: %27,6) elde edilmiştir. 24 saat suda bekletmede en düşük kalınlık artımı melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG₁: %15,2), en yüksek değerler ise %4 Na NK ile %10 vermikülit kullanılan levhalarda (NC₄: %32,7) elde edilmiştir.

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda kalınlık artımı oranları GNP ve OM NK kullanımı ile azalırken, Na NK kullanılan levhalarda artış meydana gelmiştir. En düşük kalınlık artımı oranı GNP kullanılan levhalardan elde edilmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımı ile kalınlık artımı oranları azalırken, %4 kullanımında artmıştır. %15 ve %20 vermikülit kullanımında kalınlık artımı oranlarında azalma gözlenmiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisi incelendiğinde; GNP ve OM NK kullanımı ile kalınlık artımı oranları azalmıştır. Na NK kullanımında ise artmıştır. %1 ve %2 nano katkı kullanımında kalınlık artımı oranı daha düşük çıkmıştır.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda kalınlık artımı oranları daha düşük çıkmıştır. Genel olarak %1 ve %2 oranında nano katkı kullanımında değerler daha düşük çıkmıştır. Tüm levhaların kalınlık artımı değerleri TS EN 312 [37]' de belirtilen sınır değerden (%15) daha yüksek bulunmuştur.

5.2.2. Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar

5.2.2.1. Eğilme Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar

İstatistiksel değerlendirmelere göre nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilme direnci değerleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek değerler melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda elde edilirken (MG_1 : 13,59 N/mm²), en düşük değer üre formaldehit ile %4 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir (NC_4 : 6,32 N/mm²).

Üre formaldehit ve vermikülit ile üretilen levhalarda GNP ve OM NK kullanımıyla eğilme direnci değerlerinde artış meydana gelmiş, Na NK kullanımında ise azalma gözlenmiştir. En yüksek eğilme direnci değerleri %1 ve %2 nano katkı kullanımında elde edilirken, %4 nano katkı kullanımında değerler azalmıştır.

Vermikülit kullanım oranının artması ile eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük değerler %20 vermikülit kullanımında gözlenmiştir.

Eğilme direnci değerlerinde %1 GNP kullanılan levha grubunda (GA_1) %15'lik bir artış olurken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (EB_1) %9'luk bir artış olmuştur.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisi incelendiğinde; GNP ve OM NK kullanılan levhaların eğilme direnci değerleri yüksek çıkmıştır. Na NK kullanımı ile anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. %1 ve 2 nano katkı kullanımında eğilme direnci değerleri artarken %4 katkı kullanımında anlamlı bir değişim meydana gelmemiştir.

Melamin formaldehit ve nano katkı kullanılan tüm gruplarda eğilme direnci değerlerinin arttığı belirlenmiş olup, üre formaldehit ile üretilen levhalara göre daha yüksek değerler gözlenmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda %2 OM NK, %1 Na NK ve %1 GNP kullanımı en yüksek eğilme direnci değerlerini vermiştir. %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1) eğilme direnci değerlerinde %20'lik artış meydana gelirken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (ME_2) %14'lük artış olmuştur.

TS EN 312 [57]' de kuru genel kullanım için (P1) yongalevhaların minimum eğilme direnci değerini 12,5 N/mm² olarak vermektedir. Üre formaldehit ile üretilen levhaların değerleri standart değerlerine ulaşamamıştır. Melamin formaldehit ile %2 OM NK, %4 OM NK, %1 Na NK, %2 Na NK ve %1 GNP kullanılan levhalarda ise standarda uygun eğilme direnci değerleri elde edilmiştir.

5.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Sonuçlar

İstatistiksel değerlendirmelere göre nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek değer melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG_1 : 1923,47 N/mm²), en düşük değer ise üre formaldehit ile %4 Na NK ve %15 vermikülit kullanılan levhalarda (NC_3 : 808,65 N/mm²) elde edilmiştir.

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda GNP nano katkı kullanımı ile en yüksek değerler elde edilmiştir. OM NK kullanılan levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerleri artış gösterirken, Na NK kullanımında ise azalmıştır. %1 ve %2 nano katkı kullanımı ile değerler artarken, %4 nano katkı kullanımında ise anlamlı bir değişim meydana gelmemiştir.

Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde %1 GNP kullanılan levha grubunda (GA_1) %18'lik bir artış olurken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (EB_1) %5'lik bir artış olmuştur.

Vermikülit kullanım oranının artması ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük eğilme direnci değerleri %20 vermikülit kullanılan levhalarda elde edilmiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisi incelendiğinde; GNP ve OM NK kullanımında eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış meydana gelmiştir. Na NK kullanımında ise değerlerde azalma meydana gelmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımında eğilmede elastikiyet modülü değerleri artarken, %4 kullanımında anlamlı bir değişim görülmemiştir.

Melamin formaldehit ile üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri daha yüksek bulunmuş olup, nano katkı kullanımı ile tüm gruplarda eğilmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır. Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda %2 OM NK, %4 OM N, %1 Na NK ve %1 GNP kullanımı ile en yüksek değerler elde edilmiştir. %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1) eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde %21'lik artış meydana gelirken, %4 OM NK kullanılan levha grubunda (ME_4) %16'lık artış olmuştur

TS-EN-312 [57]'de kuru iç ortam mobilyada kullanım için (P2) uygun yongalevhaların minimum eğilmede elastikiyet modülü değeri 1800 N/mm² olarak belirlenmiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda standardın altında, melamin

formaldehit ile üretilen levhalarda ise %2 OM NK, %4 OM NK ve %1 GNP kullanılan gruplarda standarda uygun değerler elde edilmiştir.

5.2.2.3. Yüze Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar

İstatistiksel değerlendirmelere göre; nano katkı türü, nano katkı oranı, vermikülit oranı ve tutkal türünün yüze dik çekme direnci değerlerine etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek değer melamin formaldehit ve %1 GNP kullanılan levhalarda (MG_1 : 0,53 N/mm²), en düşük değer ise üre formaldehit ve %4 Na NK ve %15 vermikülit kullanılan levhalarda (NC_3 : 0,19 N/mm²) elde edilmiştir.

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda GNP VE OM NK kullanımının da yüze dik çekme direnci değerleri artarken, Na NK kullanımında azalma meydana gelmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımında yüze dik çekme direnci değerleri artarken, %4 nano katkı kullanımında azalma gözlenmiştir.

Yüze dik çekme direnci değerlerinde %1 GNP kullanılan levha grubunda (GA_1) %24'lük bir artış olurken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (EB_1) %11'lik bir artış olmuştur.

Vermikülit kullanımının artmasıyla yüze dik çekme direnci değerlerinde azalma gözlenmiştir. En düşük değerler %20 vermikülit kullanımında elde edilmiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisi incelendiğinde; GNP ve OM NK kullanımında yüze dik çekme direnci değerlerinde artış gösterirken, Na NK kullanımında anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımı değerleri artarken, %4 kullanımında ise anlamlı bir değişim meydana gelmemiştir.

Melamin formaldehit ve nano katkı kullanılarak üretilen levhalarda tüm gruplarda yüze dik çekme direnci değerlerinde artış gözlenmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhaların yüze dik çekme dirençleri üre formaldehit ile üretilen levhalara göre daha yüksek bulunmuş olup, %2 OM NK, %1 Na NK, %2 Na NK ve %1 GNP kullanımında en yüksek değerler elde edilmiştir. %1 GNP kullanılan levha grubunda (MG_1) yüze dik çekme direnci değerlerinde %11'lik artış meydana gelirken, %2 OM NK kullanılan levha grubunda (ME_2) %9'lük artış olmuştur.

TS-EN-312 [37]'ye göre üre formaldehit ile üretilen levhalar için genel olarak vermikülistsiz ve %10 vermikülit kullanılarak üretilen levhaların değerleri P1 (0,28 N/mm²) sınıfı gereksinimlerini karşılamaktadır. GNP kullanılan levhaların hepsi P1 sınıfı

gereksinimlerini karşılarken %1 ve %2 GNP nano katkı kullanılan levhalarda (GA₁ ve GB₁) P2 (0,4 N/mm²) sınıfı gereksinimlerinin karşılandığı görülmüştür. Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda yüzeye dik çekme direnci değerleri 0,42 ile 0,53 N/mm² arasında değişmekte olup, P1, P2, P4 ve P6 koşullarını karşılamaktadır.

5.2.3. Formaldehit Emisyonuna Ait Sonuçlar

Deneme levhalarının formaldehit emisyonu değerleri incelendiğinde en yüksek değerler üre formaldehit ve %4 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levhalarda (NC₃: 5,38 mg/m²h), en düşük değer ise üre formaldehit ve %2 OM NK nanokil kullanılan vermikülitlessiz levhalarda (EB₁=3,31 mg/m²h) elde edilmiştir.

Üre formaldehit ve vermikülit kullanılarak üretilen levhalarda nano katkı türü ve nano katkı oranının artmasıyla formaldehit emisyonu artmıştır. OM MK kullanılan levhaların formaldehit emisyonu değerleri Na NK ve GNP kullanılan levhalara göre düşük bulunmuştur. Vermikülit kullanımı formaldehit emisyonunda artış meydana getirmiştir. %2 OM NK kullanılan levhalarda formaldehit emisyonu değerlerinde %3,2'lik azalma meydana gelmiştir (EB₁).

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda nano katkı kullanımı formaldehit emisyonu üzerine daha olumlu etki yapmıştır. %2 OM NK, %2 Na NK, %4 Na NK ve %4 GNP kullanımı ile kontrol grubuna göre daha düşük formaldehit emisyonu elde edilmiştir. %2 OM NK kullanılan levha grubunda (ME₂) formaldehit emisyonunda %3,7'lik, %2 Na NK kullanılan levha grubunda (MN₂) ise %5,2'lik azalma meydana gelmiştir.

ISO 12460-3 [144] standardına göre katkısız üre formaldehit (3,42 mg/m²h) ve %2 OM NK katkılı üre formaldehit ile üretilen levhaların (3,31 mg/m²h) E1 (<3,5 mg/m²h) formaldehit sınıfında olduğu diğer levhaların ise E2 (>3.5 mg/m²h; ≤ 8 mg/m²h) emisyon sınıfında olduğu belirlenmiştir (3,54-5,38 mg/m²h).

5.2.4. Hızlandırılmış Yaşlandırma (QUV Test) Sonrası Yapılan Testlere Ait Sonuçlar

5.2.4.1. Hızlandırılmış Yaşlandırma Sonrası Eğilme Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar

İstatistik değerlendirmelere göre hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarda nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün eğilme direnci değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek değer melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (13 N/mm^2), en düşük değer ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda ($5,17 \text{ N/mm}^2$) elde edilmiştir. %1 nano katkı kullanımında hızlandırılmış yaşlandırma sonrası eğilme direnci değerleri kontrol grubu levhalardan daha iyi sonuçlar vermiştir. %2 nano katkı kullanılanlarda da kontrol grubuna kıyasla artış meydana gelirken, %4 kullanımında ise değerlerde azalma gözlenmiştir. OM NK ve GNP kullanılan levhalarda eğilme direnci değerleri kontrol grubuna kıyasla yüksek bulunurken, Na NK kullanımında anlamlı bir değişim olmamıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma ile tüm levhaların eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, nano katkı kullanımının azalma oranını etkilediği belirlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu eğilme direnci değerlerindeki değişim oranları (direnci değerlerindeki azalmalar) incelendiğinde en yüksek değişim oranı üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda (NC_1 : - %35,8), en az değişim oranı ise melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda (MG_1 : - %4,32) elde edilmiştir. %1 OM NK, Na NK ile %1 GNP ve %2 GNP kullanılan grupların eğilme direnci değerlerinde daha az direnci kaybı olmuştur.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası melamin formaldehit ile üretilen levhalarda eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma miktarının üre formaldehit kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda ortalama %24'lük, melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise %16,5'lük bir azalma meydana gelmiştir.

5.2.4.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma İşlemi Sonrası Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Sonuçlar

İstatistiksel değerlendirmeler göre hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarda nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek değer melamin formaldehit ile %1 GNP kullanılan levhalarda ($1661,3 \text{ N/mm}^2$), en düşük değer ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda ($534,19 \text{ N/mm}^2$) gözlenmiştir. %1 nano katkı kullanımında değerlerde artış meydana gelirken, %2 kullanımında anlamlı bir değişim gözlenmemiş, %4 kullanımı ise azalma gözlenmiştir. OM NK ve GNP kullanılan levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerleri kontrol grubuna göre yüksek bulunurken, Na NK kullanılan levhalarda ise azalma meydana gözlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma ile tüm levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, nano katkı kullanımının azalma oranını etkilediği belirlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu eğilmede elastikiyet modülü değerlerindeki değişim (direnc değerlerindeki azalmalar) incelendiğinde en yüksek değişim üre formaldehit ile %4 GNP kullanılan levhalarda (NC_1 : - %50,13), en düşük değişim ise melamin formaldehit ile %1 OM NK kullanılan levhalarda (EA_1 : - %10,86) elde edilmiştir. Üre formaldehit ile %1 OM NK, %2 OM NK, %1 Na NK ve %1 GNP kullanılan ve melamin formaldehit ile %1 OM NK, %1 Na NK ve %1 GNP ve %2 GNP kullanılan levha gruplarında kontrol grubuna kıyasla daha düşük direnc kaybı gözlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası melamin formaldehit ile üretilen levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen azalma miktarının üre formaldehit kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda ortalama %37'lik, melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise %23'lük bir azalma meydana gelmiştir.

5.2.4.3. Hızlandırılmış Yaşlandırma İşlemi Sonrası Yüze Dik Çekme Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar

İstatistiksel değerlendirmelere göre; hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış levhalarda nano katkı türü, nano katkı oranı ve tutkal türünün yüze dik çekme direnci değerleri üzerine etkili olduğu ve en yüksek değer melamin formaldehit ile %1 GNP

kullanılan levhalarda (0,42 N/mm²), en az değerin ise üre formaldehit ile %4 Na NK kullanılan levhalarda (0,14 N/mm²) olduğu belirlenmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanılan levhalarda yüzeye dik çekme direnci değerleri kontrol levhalarına kıyasla yüksek bulunurken, %4 nano katkı kullanımında ise değerlerde azalma gözlenmiştir. En yüksek yüzeye dik çekme direnci değerleri GNP ve OM NK kullanılan levhalarda elde edilirken, en düşük değerler Na NK nanokil kullanılan levhalarda elde edilmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma ile tüm levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, nano katkı kullanımının azalma oranını etkilediği belirlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonucu değişim oranları (direnci değerlerindeki azalmalar) değerlendirildiğinde en yüksek değişim oranı üre formaldehit ile %4 GNP kullanılan levhalarda (NC₁: - %49,52), en az değişim oranı ise melamin formaldehit ile %1 OM NK kullanılan levha grubunda (EA₁: - %17,31) elde edilmiştir. Üre formaldehit ile %1 OM NK, %2 OM NK, %1 Na NK, %1 GNP ve %2 GNP üretilen levhalarda, melamin formaldehit ile %1 OM NK ve %1 Na NK ile %1 GNP ve %2 GNP kullanılan levhalarda kontrol levhasına kıyasla daha düşük direnci kaybı gözlenmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırma sonrası melamin formaldehit ile üretilen levhalarda yüzeye dik çekme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranının üre formaldehit kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda ortalama %37'lik, melamin formaldehit ile üretilen levhalarda ise %26'lık bir azalma meydana gelmiştir.

5.2.5. Termal ve Yangın Dayanımı Özelliklerine Ait Sonuçlar

5.2.5.1. Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analizine (DTG) Ait Sonuçlar

TGA analizine göre üre formaldehit ile üretilen levhalarda 580°C' de kalıntı miktarı en düşük %1 GNP kullanılan levhalarda (GA₁: %22,303), en yüksek %2 Na NK ve %20 vermikülit kullanılan levhalarda (NB₄: %37,117) belirlenmiştir. Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda 580°C' de kalıntı miktarı en düşük %4 GNP kullanılan levhalarda (MG₄=%24,13), en yüksek %4 OM NK kullanılan levhalarda (ME₄=%26,639) belirlenmiştir.

En yüksek ağırlık kaybının 200-400 °C arasında olduğu belirlenmiştir. Üre formaldehit ile üretilen levhalarda kontrol grubunun ilk bozunma sıcaklığı 305,30 °C olarak belirlenmiştir. Bu değerler; %1 OM NK ile %20 vermikülit (EA₄) için 315,02°C, %2 OM NK (EB₁) için 328,65°C, %1 Na NK ile %20 vermikülit (NA₄) için 318,29°C, %2 Na NK (NB₁) için 309,68°C, %1 GNP ile %20 vermikülit (GA₄) için 306,23°C, %2 GNP ile %20 vermikülit (GB₄) için 317,14°C ve %4 GNP (GC₁) için 328,79°C olup, ilk bozunma sıcaklıkları kontrol levhalarına kıyasla daha yüksek çıkmıştır.

DTG eğrileri incelendiğinde üre formaldehit nano katkı ve vermikülit kullanılan levhalarda ısıl bozunmanın etkisiyle oluşan ağırlık kaybı hızında yavaşlama (piklerin uzunluklarında kısalma) olduğu gözlenmiştir. Vermikülit kullanılan levhalarda %10 ve %50'lik ağırlık kaybı oluşturan sıcaklık değerleri kontrol levhalarından daha yüksek çıkmıştır.

Melamin formaldehit ile üretilen levhalarda kontrol levhasının ilk bozunma sıcaklığı 343,01°C bulunmuştur. %1 OM NK kullanılan levhalarda (ME₁)347,02°C olup, ilk bozulma sıcaklığında kontrol levhasına göre artış belirlenmiştir.

Melamin formaldehit tutkalının termal kararlılığının üre formaldehit tutkalına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Üre formaldehit kontrol levhasının bozunma sıcaklığı 305,3 °C iken, melamin formaldehit kontrol levhasında 343,01 °C bulunmuştur.

Nano katkıların etkisi incelendiğinde genel olarak melamin formaldehit ile üretilen levhalarda daha yüksek bozunma sıcaklıkları elde edilmiştir.

5.2.5.2. Limit Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Sonuçlar

İstatistiksel değerlendirmelere göre nano katkı türü, nano katkı miktarı, vermikülit oranı ve tutkal türünün levhaların LOI değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek LOI değeri melamin formaldehit tutkalı ile %2 OM NK (EB₁) ve %1 GNP (MG₁) nano katkı kullanılarak üretilen levhalarda elde edilirken (%34,5), en düşük değer üre formaldehit tutkalı ile %4 Na NK kullanılarak üretilen levhalarda elde edilmiştir (%32,4).

Üre formaldehit ve vermikülit ile üretilen levhalarda en yüksek LOI değerleri OM NK ve GNP kullanılan levhalarda belirlenmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımı LOI değerlerinde artış sağlarken, %4 kullanımında ise değerlerde azalma göstermiştir.

Tutkal türü, nano katkı türü ve nano katkı oranının etkisinin değerlendirildiği istatistiksel analizde; OM NK ve GNP ile üretilen levhalarda daha yüksek LOI değerleri elde

edilmiştir. %1 ve %2 nano katkı kullanımında değerler artış gösterirken, %4 kullanımında ise değerler azalma göstermiştir.

Melamin formaldehit kullanılan levhalarda üre formaldehite kıyasla daha yüksek LOI değerleri elde edilmiştir. Vermikülit kullanımı ile de LOI değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

5.2.6. Morfolojik Özelliklere (SEM) Ait Sonuçlar

Vermikülit kullanımı ile yongalar arası bağlanma yeterince sağlanamamış olduğundan yongaların temas yüzeylerinin azalmasına bağlı olarak mekanik özelliklerde azalma meydana gelmiştir.

Levhalarda yer yer homojen dağılım yer yer ise aglomera oluşumu gözlenmekle birlikte, düşük oranda nano katkı kullanımında genel olarak daha homojen bir dağılım göstermiştir. Yüksek kullanım oranında ise nano katkı partikülleri daha belirgin olarak şeklinde topaklanma ve aglomera (yığın) yaptığı görülmüştür.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada, yongalevha üretiminde farklı nano katkı, vermükülit ve tutkal kullanımının yonga levhaların kalite özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Odun esaslı kompozitler genel olarak tutkalların yonga, lif, kaplama veya kereste gibi çeşitli ürünler ile birleştirilmesiyle üretilen geniş yüzeyli ürünlerdir. En önemli avantajları; istenilen boyut, kalınlık ve kalite sınıflarında üretilebilmeleridir. Ürünün özelliklerine bağlı olarak bazen masif ahşap malzemeye göre daha yüksek mukavemet özellikleri gösterebilmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Fakat masif ahşap ile karşılaştırıldığında dış hava koşullarına dayanımın az olması (kullanılan tutkala bağlı olarak) ve formaldehit emisyonu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu bakımdan nano teknolojinin kullanımı dış hava koşullarına daha dayanıklı ve formaldehit salınım oranı düşük ürün geliştirilmesi için önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Genel olarak nano katkılar düşük kullanım oranlarında bile boyutsal kararlılığı ve mekanik özellikleri olumlu etkilediği bilinmektedir. Çalışmada OM NK için %2, GNP için ise %1 kullanım oranı ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhalarda modifiye nanokil kullanımının özellikleri daha olumlu etkilediği belirlenmiştir. Nanokillere uygulanan modifikasyonlar ile kilin hidrofilik yapısı hidrofobik özellik kazanmakta ve levha içerisine su ve rutubet iletimini zorlaştırdığı gözlenmiştir. Bu bakımdan farklı modifiye nanokillerin odun esaslı kompozitlerde üretimi ile ilgili daha fazla çalışma yapılmalıdır.

Karbon ve grafen esaslı nano katkıların her alanda kullanımı günümüzde giderek popüler hale gelmiştir. Özellikle karbon nanotüplerin ve grafen nanoplateletin sahip olduğu; esneklik, hafiflik, üstün mekanik ve termal özellikleri sayesinde kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Grafen esaslı nano katkılar yüksek en boy oranları etkisiyle daha fazla yüzey alanı sağlamakta ve optimum performansa diğer nano katkılara kıyasla daha düşük kullanım oranlarında ulaşmaktadır. Çalışmada %1 oranında grafen nanoplatelet ilavesi ile mekanik ve fiziksel özelliklerin en fazla artış yaptığı belirlenmiştir. Bu durum dikkate alınarak yeni çalışmalarda daha düşük kullanım oranlarının performansları incelenmelidir.

Vermikülitin nano katkılar ile kullanımında su alma ve kalınlık artımı oranlarının azaltırken mekanik özellikleri de olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Mekanik özelliklerdeki

olumsuz etkisini daha aza indirmek için melamin veya fenol formaldehit ya da izosiyanat gibi daha dirençli tutkallar ile çalışma yapılmalıdır.

Özellikle ucuz olduğundan en çok kullanılan bağlayıcı olan üre formaldehit tutkalından kaynaklanan formaldehit emisyonu odun esaslı kompozitlerin iç mekânlarda kullanımında uzun vadede toksin etki ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır.

Çalışmamızda nanokillerın sahip olduğu silikat tabakaları ile daha fazla gaz bariyer özelliği gösterdiği görülmüştür. Grafen nanoplakaları ise iki boyutlu yapıda olduklarından dolayı önemli bir etki göstermemiştir. Literatür çalışmaları özellikle tünel yapısındaki nano katkıların formaldehit ve VOC salınımını engellemekte daha etkili olduğunu göstermektedir. Bu bakımdan yapılacak yeni çalışmalarda karbon nanotüp ve fullerene gibi nano katkıların kullanımı araştırılmalıdır. Ayrıca çok tabakalı nano grafit, grafitin oksidasyonu ile elde edilen nano grafit oksit, nano aktif karbon gibi karbon esaslı katkıların da formaldehit emisyonu üzerine etkisinin belirlenmesi için yeni araştırmalar da yapılmalıdır.

Ham vermikülit kullanımının formaldehit emisyonu azaltıcı bir etkisi olmamıştır. Yapılacak yeni çalışmalarda ham vermikülit yerine yüksek sıcaklık altında geliştirme özelliğinde ve absorblama kapasitesi daha yüksek olan geliştirilmiş vermikülitin formaldehit emisyonuna etkileri araştırılmalıdır. Ayrıca geliştirilmiş perlit, huntit-manyezit, zeloit ve volastonit gibi mikro ve nano boyutta mineral katkıların da etkilerini belirlemek için çalışmalar yapılmalıdır.

Özellikle üre formaldehit tutkalının dış hava koşullarına karşı dayanımının düşük olması nedeniyle su ve rutubetle temas halinde kullanılacak kompozitlerde üre formaldehit yerine melamin-üre, melamin veya fenol formaldehit tutkalları tercih edilmektedir.

UV yaşlandırma denemelerinde uygun oranda nanokil ve grafit nanoplaka kullanımının özellikle buhar geçirgenliğini ve mekanik özelliklerdeki düşüşü azalttığı belirlenmiştir. Yapılacak yeni çalışmalarda özellikle melamin ve fenol formaldehit gibi dış hava koşullarına dayanıklı tutkallara ilave edilecek nano katkıların uzun süreli yaşlandırma performansları araştırılabilir. Ayrıca yongalevhaların UV ve dış ortam dayanımlarının artırılması için farklı nano katkıların (nano TiO_2 , nano ZnO , nano selüloz ve karbon esaslı nano katkıları) koruyucu etkileri üzerine yeni araştırmalar yapılmalıdır.

Ahşap; her ne kadar yanma sırasında oluşturduğu kömürleşen (karbon) tabaka ile yanmaya karşı dayanım gösterse de yanıcı bir malzeme olup, toplu yaşamın olduğu mekânlarda (yurt binaları, çocuk esirgeme kurumları, yaşlı evleri, otel, hastane. vb.) kullanılacak mobilyalar için yangın dayanımı büyük bir önem arz etmektedir. Özellikle odun

kompozitlerinin toplu yaşam alanlarındaki mobilya ve iç mekân donatılarında kullanılmasında termal ve yangın dayanımlarının artırılması önemli hem önemlidir.

Elde edilen sonuçlarda nano katkıların kullanımının termal ve yangın dayanımı özelliklerine olumlu etkisinin olduğunu göstermiştir. Günümüzde mineral katkıların kolay bulunabilme, düşük maliyet, toksik etki ve duman salınımlarının olmaması, yanmaya karşı dirençleri gibi olumlu özellikleri, bu malzemeleri; kompozitlerde yangın dayanımının artırılması amacıyla yapılan çalışmalarda odak haline getirmiştir. Bu nedenle ülkemizde önemli miktarda rezervleri bulunan kalsit, bentonit, manyezit, perlit, pomza ve dolomit gibi mineraller ile yeterli rezerve sahip fakat kullanımı az olan diyamolit, seplit ve zeloit gibi maden rezervlerinin yangın dayanımını artırıcı olarak odun esaslı kompozitlerde kullanımı ile yeni çalışmalar yapılmalıdır.

Bunlara ek olarak, nano katkıların çeşitli odun ve odun kompozitlerinde yüzey işleme malzemeleri ile kullanılarak dış ortam ve yangın dayanım performanslarının belirlenmesi üzerine araştırmalar yapılabilir.

Bu çalışmanın gelecekteki çalışmalara katkısı olması dileği ile...

7. KAYNAKLAR

1. Hu, N., Composites and Their Properties, BoD–Books on Demand, 2012.
2. Barbero, E.J., Introduction to Composite Materials Design, CRC Press, Florida, 2017.
3. De Moura, M.F. ve Dourado, N., Wood Fracture Characterization, CRC Press, Florida, 2018.
4. Falk, R.H., Wood as a Sustainable Building Material, Forest products journal, 59,9 (2009) 6-12.
5. FAO, Global Forest Products Facts and Figures 2018, FAO Forestry Department, (2019).
6. Kobes, M., Helsloot, I., De Vries, B. ve Post, J.G.J., Building Safety and Human Behaviour in Fire: A Literature Review, Fire Safety Journal, 45,1 (2010) 1-11.
7. Buchanan, A.H. ve Abu, A.K., Structural Design for Fire Safety, John Wiley & Sons, New Jersey, 2017.
8. Peker, H. ve Atılğan, A.J., Doğal Bir Enerji Kaynağı Odun: Yanma Özelliği ve Koruma Yöntemleri, Afyon Kocatepe University Journal of Science Engineering, 15,2 (2015) 1-12.
9. Ren, D. ve Haeri, H., Advanced Material Science and Engineering:(AMSE2016), Shenzhen, China, 8-10 January 2016, World Scientific Publishing Company Pte. Limited, 2016.
10. Bhat, G., Hegde, R.R., Kamath, M. ve Deshpande, B.J., Nanoclay Reinforced Fibers and Nonwovens, Journal of Engineered Fibers Fabrics, 3,3 (2008) 22-34.
11. Sengupta, R., Bhattacharya, M., Bandyopadhyay, S. ve Bhowmick, A.K.J., A Review on the Mechanical and Electrical Properties of Graphite and Modified Graphite Reinforced Polymer Composites, Progress in polymer science, 36,5 (2011) 638-670.
12. Antov, P., Savov, V., Mantanis, G.I. ve Neykov, N., Medium-Density Fibreboards Bonded with Phenol-Formaldehyde Resin and Calcium Lignosulfonate as An Eco-Friendly Additive, Wood Material Science and Engineering, (2020) 1-7.
13. Kılıç, E., Grafen Esaslı Yeşil Nanokompozitlerin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Çeşitli Uygulamalarda Kullanılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.
14. Barbu, M.C., Reh, R. ve Irle, M., Research Developments in Wood Engineering and Technology, Wood-based composites, IGI Global, 2014.

15. Rowell, R.M., Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition, CRC Press, Florida, 2012.
16. Walker, J.C., Primary wood processing: principles and practice, Springer Science & Business Media, Berlin, 2006.
17. Kalaycıoğlu, H., Yonga Levha Endüstrisi Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, (2012).
18. Fan, M., Ndikontar, M.K., Zhou, X. ve Ngamveng, J.N.J., Cement-Bonded Composites Made from Tropical Woods: Compatibility of Wood and Cement, Construction Building Materials, 36 (2012) 135-140.
19. Zabel, R.A. ve Morrell, J.J., Wood Microbiology: Decay and its Prevention, Academic press, Massachusetts, 2012.
20. Ansell, M.P., Wood Composites, Woodhead Publishing, Cambridge, 2015.
21. Hemmilä, V., Adamopoulos, S., Karlsson, O. ve Kumar, A.J., Development of Sustainable Bio-Adhesives for Engineered Wood Panels—A Review, Rsc Advances, 7,61 (2017) 38604-38630.
22. Li, X., Gao, Q., Xia, C., Li, J. ve Zhou, X.J., Urea Formaldehyde Resin Resultant Plywood with Rapid Formaldehyde Release Modified by Tunnel-Structured Sepiolite, Polymers, 11,8 (2019) 1-11.
23. Amini, E., Tajvidi, M., Gardner, D.J. ve Bousfield, D.W.J., Utilization of Cellulose Nanofibrils as a Binder for Particleboard Manufacture, BioResources, 12,2 (2017) 4093-4110.
24. Widyorini, R., Umemura, K., Isnain, R., Putra, D.R., Awaludin, A. ve Prayitno, T.A.J., Manufacture and Properties of Citric Acid-Bonded Particleboard Made from Bamboo Materials, European Journal of Wood and Wood Products, 74,1 (2016) 57-65.
25. Salem, M.Z.M. ve Böhm, M., Understanding of Formaldehyde Emissions from Solid Wood: an Overview, BioResources, 8,3 (2013) 4775-4790.
26. Zhang, X., Zhang, J. ve Wang, R.J., Thermal and Mechanical Behavior of Wood Plastic Composites by Addition of Graphene Nanoplatelets, Polymers, 11,8 (2019) 1-10.
27. Fanger, P.J., What is IAQ?, Indoor Air, 16,5 (2006) 328-334.
28. Irle, M.A., Barbu, M.C., Reh, R., Bergland, L. ve Rowell, R.M.J., Handbook of Wood Chemistry, Wood Composites, R.M. Rowell editor, Second Edition, 323-410, CRC Press, Florida, 2012.

29. Nishimura, T., Wood Composites, Chipboard, Oriented Strand Board (OSB) and Structural Composite Lumber, M.P. Ansell editor, 103-121, Elsevier, Cambridge, 2015.
30. Göker, Y., Kantay, R. ve Kurtoğlu, A., Üç Tabakalı ve Okal Tipi Yonga Levhaların Teknolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar, Yayın no: 367, İ. Ü Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1984.
31. Dos Santos, M.F.N., Rosane Ap G, B., Bezerra, B.S. ve Varum, H.S.J., Comparative Study of the Life Cycle Assessment of Particleboards Made of Residues from Sugarcane Bagasse (*Saccharum spp.*) and Pine Wood Shavings (*Pinus Elliottii*), Journal of Cleaner Production, 64 (2014) 345-355.
32. Azizi, K., Tabarsa, T. ve Ashori, A.J., Performance Characterizations of Particleboards Made with Wheat Straw and Waste Veneer Splinters, Composites Part B: Engineering, 42,7 (2011) 2085-2089.
33. Burnard, M.D. ve Kutnar, A.J., Wood And Human Stress İn The Built Indoor Environment: A Review, Wood Science Technology, 49,5 (2015) 969-986.
34. Kalaycıoğlu, H. ve Nemli, G.J., Producing Composite Particleboard from Kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*) Stalks, Industrial Corps and Products, 24,2 (2006) 177-180.
35. Zhang, L. ve Hu, Y.J., Novel Lignocellulosic Hybrid Particleboard Composites Made from Rice Straws and Coir Fibers, Materials Design, 55 (2014) 19-26.
36. Khazaeian, A., Ashori, A. ve Dizaj, M.Y.J., Suitability of Sorghum Stalk Fibers for Production of Particleboard, Carbohydrate Polymers, 120 (2015) 15-21.
37. TS EN 312, Yongalevhalar-Özellikler, T.S.E, Ankara, 2012.
38. Kusumah, S.S., Umemura, K., Yoshioka, K., Miyafuji, H. ve Kanayama, K.J., Utilization of Sweet Sorghum Bagasse and Citric Acid for Manufacturing of Particleboard I: Effects of Pre-Drying Treatment and Citric Acid Content on the Board Properties, Industrial Crops and Products, 84 (2016) 34-42.
39. Klímek, P., Wimmer, R., Meinschmidt, P. ve Kúdela, J.J., Utilizing Miscanthus Stalks as Raw Material for Particleboards, Industrial Crops and Products, 111 (2018) 270-276.
40. Papadopoulos, A.N., Banana Chips (*Musa Acuminata*) as an Alternative Lignocellulosic Raw Material for Particleboard Manufacture, Maderas Ciencia y tecnología, 20,3 (2018) 395-402.
41. Papadopoulos, A.N., Kyzas, G.Z. ve Mitropoulos, A.C.J., Lignocellulosic Composites from Acetylated Sunflower Stalks, Applied Sciences, 9,4 (2019) 646.
42. Muller, N.E., An Early Example of A Plywood Support for Painting, Journal of the American Institute for Conservation, 31,2 (1992) 257-260.

43. Pizzi, A., Handbook of Adhesive Technology 2, Natural Phenolic Adhesives II: Lignin, A. Pizzi and M. L editors, CRC press, Florida, 2003.
44. Dunky, M.J., Handbook of Adhesive Technology, Adhesives in the Wood Industry, A. Pizzi and K.L. Mittal editors, Second Edition, 872-941, Marcel Dekker Inc., Newyork, 2003.
45. Barbu, M.C., An Overview of The Forestry and Wood Industry Development Worldwide, 26th International Conference on Wood Science and Technology, October 2015, Zagreb, Proceedings Book, 29-38., 2015.
46. Alexandropoulos, D., Nakos, P. ve Mantanis, G., European Approach to Particleboard and MDF Adhesives, 1998 Resin and Blending Seminar-Composite Panel Association (CPA), December 1998, North Carolina, Proceedings Book, 133-141, 1998.
47. Vnučec, D., Kutnar, A. ve Goršek, A.J., Soy-Based Adhesives for Wood-Bonding—A Review, Journal of Adhesion Science Technology, 31,8 (2017) 910-931.
48. Mantanis, G.I., Athanassiadou, E.T., Barbu, M.C. ve Wijnendaele, K.J., Adhesive Systems Used in the European Particleboard, MDF and OSB Industries, Wood Material Science Engineering, 13,2 (2018) 104-116.
49. Grunwald, D., Adhesives for Wood-Based Boards, 1st Euro-Asian International Short-Course on Wood-based Composites, April 2014, Trabzon, 2014.
50. Roffael, E., Dix, B. ve Okum, J.J., Use of Spruce Tannin as A Binder in Particleboards and Medium Density Fiberboards (MDF), Holz als Roh-und Werkstoff, 58,5 (2000) 301-305.
51. Frihart, C.R., Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Wood Adhesion and Adhesives, R. Rowell editor, Second Edition, 255-321, CRC Press, Boca Raton,, 2013.
52. Dinwoodie, J.M., The Properties and Performance of Particleboard Adhesives, Journal of the Institute of Wood Science, 8 (1979) 59-68.
53. Pizzi, A., Advanced Wood Adhesives Technology, CRC Press, Florida, 1994.
54. Pizzi, A. ve Mittal, K.L., Handbook of Adhesive Technology, Revised and Expanded, CRC press, Florida, 2003.
55. Ormondroyd, G.A., Wood Composites, Adhesives for Wood Composites, M.P. Ansell editor, 47-66, Elsevier, Cambridge, 47-66, 2015.
56. Pizzi, A., Handbook of Adhesive Technology, Urea and Melamine Aminoresin Adhesives, Third Edition, 283-321, CRC Press, Boca Raton, 2018.

57. Pizzi, A., Handbook of Adhesive Technology, Melamine-Formaldehyde Resins, A. Pizzi and K.L. Mittal editors, Second Edition, Marcel Dekker, New York, 653-680, 2003.
58. Detlefsen, W.D., Phenolic Resins: Some Chemistry, Technology, and History, 869-945, Elsevier, Amsterdam, 2002.
59. Gardziella, A., Pilato, L.A. ve Knop, A., Phenolic Resins: Chemistry, Applications, Standardization, Safety and Ecology, Springer Science & Business Media, Berlin, 2013.
60. Pizzi, A., Handbook of Adhesive Technology, Phenolic Resins Adhesives: Handbook of Adhesive Technology, Third Edition, 223-263, CRC Press, Boca Raton, 2018.
61. Nuryawan, A. ve Alamsyah, E.M.J., Applied Adhesive Bonding in Science Technology, A Review of Isocyanate Wood Adhesive: A Case Study in Indonesia, H. Öner editor, 73-90, Intech Open, Rijeka, 2017.
62. He, Z. ve Wan, H., Bio-Based Wood Adhesives: Preparation, Characterization, Testing, Bio-Based Wood Adhesives Research: Advances and Outlooks, Z. He editor, 340-355, CRC Press, Florida, 2017.
63. Luo, J., Luo, J., Yuan, C., Zhang, W., Li, J., Gao, Q. ve Chen, H., An Eco-Friendly Wood Adhesive from Soy Protein and Lignin: Performance Properties, Rsc Advances, 5,122 (2015) 100849-100855.
64. Khosravi, S., Nordqvist, P., Khabbaz, F., Öhman, C., Bjurhager, I. ve Johansson, M., Wetting and Film Formation of Wheat Gluten Dispersions Applied to Wood Substrates as Particle Board Adhesives, European Polymer Journal, 67 (2015) 476-482.
65. Li, J., Li, X., Li, J. ve Gao, Q.J., Investigating the Use of Peanut Meal: A Potential New Resource for Wood Adhesives, Rsc Advances, 5,98 (2015) 80136-80141.
66. Yang, I., Han, G.S., Ahn, S.H., Choi, I.G., Kim, Y.H. ve Oh, S.C., Adhesive Properties of Medium-Density Fiberboards Fabricated with Rapeseed Flour-Based Adhesive Resins, The Journal of Adhesion, 90,4 (2014) 279-295.
67. He, Z. ve Cheng, H.N., Bio-Based Wood Adhesives: Preparation, Characterization, Testing, Preparation and Utilization of Water Washed Cottonseed Meal as Wood Adhesives, Z. He editor, 156-178, CRC Press, Florida, 2017.
68. Tousi, E.T., Hashim, R., Bauk, S., Jaafar, M.S., Al-Jarrah, A.M., Kardani, H., Abu Arra, A.M.H. ve Aldroobi, K.S.A., A Study of The Properties of Animal-Based Wood Glue, Advanced Materials Research, 935 (2014) 133-137.
69. Qi, G., Li, N., Sun, X.S. ve Wang, D.J., Bio-Based Wood Adhesives: Preparation, Characterization, Testing, Adhesion Properties of Soy Protein Subunits and Protein Adhesive Modification, Z. He editor, 59-85, CRC Press, Florida, 2017.

70. Zhang, Z. ve Hua, Y., Urea-Modified Soy Globulin Proteins (7s And 11s): Effect of Wettability and Secondary Structure on Adhesion, Journal of the American oil Chemists' Society, 84,9 (2007) 853-857.
71. Nordqvist, P., Thedjil, D., Khosravi, S., Lawther, M., Malmström, E. ve Khabbaz, F., Wheat Gluten Fractions as Wood Adhesives-Glutenins Versus Gliadins, Journal of Applied Polymer Science, 123,3 (2012) 1530-1538.
72. Wan, H., He, Z., Mao, A. ve Liu, X., Bio-Based Wood Adhesives: Testing Synthesis of Polymers from Liquefied Biomass and Their Utilization in Wood Bonding, Z. He editor, 239-259, CRC Press, Florida, 2017.
73. D'Amico, S., Hrabalova, M., Müller, U. ve Berghofer, E., Influence of Ageing on Mechanical Properties of Wood to Wood Bonding With Wheat Flour Glue, European Journal of Wood and Wood Products, 70,5 (2012) 679-688.
74. Roco, M.C., The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 Years, Journal of Nanoparticle Research, 13 (2011).
75. Kelsall, R.W., Hamley, I.W. ve Geoghegan, M., Nanoscale Science and Technology, Wiley Online Library, New Jersey, 2005.
76. Dahman, Y., Nanotechnology and Functional Materials for Engineers, Elsevier, Oxford, 2017.
77. Ramsden, J., Nanotechnology: an Introduction, Second Edition, Elsevier, Cambridge, 2016.
78. Yakar, Z., Nanotechnology 1 Fundamentals of Nanotechnology, Development of Nanotechnology, M. Ersöz, A. Işitan, and M. Balaban editors, Bilal Ofset, Denizli, 2018.
79. www.slideshare.net/JohnsonYesudasAnthon/aerospace-nanotechnology, Aerospace Nanotechnology, 11 Ağustos 2016.
80. www.engineering.stanford.edu/magazine/article/touch-sensitive-plastic-skin-heals-itself, Touch-Sensitive Plastic Skin Heals Itself, 11 Kasım 2012.
81. www.haberturk.com/yuzeylerdeki-virus-ve-bakterilere-karsi-iyonik-nano-gumus-icerikli-sivi-gelistirildi-2819986-teknoloji, 30 Eylül 2020.
82. Hill, C.A., Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, John Wiley & Sons, Chichester, 2006.
83. Taghiyari, H.R., Mobini, K., Sarvari, S.Y., Doosti, Z., Karimi, F., Asghari, M., Jahangiri, A. ve Nouri, P., Effects of Nano-Wollastonite on Thermal Conductivity Coefficient of Medium-Density Fiberboard, Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology, 2,1 (2013).

84. Taghiyari, H.R., Study on the Effect of Nano-Silver Impregnation on Mechanical Properties of Heat-Treated *Populus Nigra*, Wood Science and Technology, 45,2 (2011) 399-404.
85. Taghiyari, H.R., Nanotechnology in Wood and Wood-Composite Materials, Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology, 3,1 (2014).
86. Karimi, A., Taghiyari, H.R., Fattahi, A., Karimi, S., Ebrahimi, G. ve Tarmian, A., Effects of Wollastonite Nanofibers on Biological Durability of Poplar Wood (*Populus Nigra*) Against *Trametes Versicolor*, BioResources, 8,3 (2013) 4134-4141.
87. Akhtari, M., Taghiyari, H.R. ve Kokandeh, M.G., Effect of Some Metal Nanoparticles on the Spectroscopy Analysis of Paulownia Wood Exposed to White-Rot Fungus, European Journal of Wood and Wood Products, 71,2 (2013) 283-285.
88. Taghiyari, H.R., Rangavar, H. ve Bibalan, O.F., Effect of Nano-Silver on Reduction of Hot-Pressing Time and Improvement in Physical and Mechanical Properties of Particleboard, BioResources, 6,4 (2011) 4067-4075.
89. Haghghi, P.A., Taghiyari, H.R. ve Naghi, K.A., The Optimum Level of Nano-Wollastonite Consumption as Fire-Retardant in Poplar Wood (*Populus Nigra*), International Journal of Nano Dimension, 4 (2013) 141-151.
90. Candan, Z. ve Akbulut, T., Developing Environmentally Friendly Wood Composite Panels by Nanotechnology, BioResources, 8,3 (2013) 3590-3598.
91. Geim, A.K., Graphene: Status and Prospects, Science, 324,5934 (2009) 1530-1534.
92. Nakano, H., Tetsuka, H., Spencer, M.J. ve Morishita, T., Chemical Modification of Group IV Graphene Analogs, Science and Technology of Advanced Materials, 19,1 (2018) 76-100.
93. Novoselov, K.S., Geim, A.K., Morozov, S.V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V. ve Firsov, A.A., Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, Science, 306,5696 (2004) 666-669.
94. Lerf, A., He, H., Forster, M. ve Klinowski, J., Structure of Graphite Oxide Revisited, The Journal of Physical Chemistry B, 102,23 (1998) 4477-4482.
95. Liao, C., Li, Y. ve Tjong, S.C., Graphene Nanomaterials: Synthesis, Biocompatibility, and Cytotoxicity, International Journal of Molecular Sciences, 19,11 (2018) 3564.
96. Lu, Y.F., Lo, S.T., Lin, J.C., Zhang, W., Lu, J.Y., Liu, F.H., Tseng, C.M., Lee, Y.H., Liang, C.T. ve Li, L.J., Nitrogen-Doped Graphene Sheets Grown by Chemical Vapor Deposition: Synthesis and Influence of Nitrogen Impurities on Carrier Transport, ACS Nano, 7,8 (2013) 6522-6532.

97. Georgakilas, V., Perman, J.A., Tucek, J. ve Zboril, R., Broad Family of Carbon Nanoallotropes: Classification, Chemistry, and Applications of Fullerenes, Carbon Dots, Nanotubes, Graphene, Nanodiamonds, and Combined Superstructures, Chemical Reviews, 115,11 (2015) 4744-4822.
98. Denis, P.A. ve Iribarne, F., Comparative Study of Defect Reactivity in Graphene, The Journal of Physical Chemistry C, 117,37 (2013) 19048-19055.
99. Wang, S., Tambraparni, M., Qiu, J., Tipton, J. ve Dean, D., Thermal Expansion of Graphene Composites, Macromolecules, 42,14 (2009) 5251-5255.
100. Spyrou, K. ve Rudolf, P., Functionalization of Graphene, An Introduction to Graphene, V. Georgakilas editor, 1-20, Wiley VHC, Weinheim, 2014.
101. Sheshmani, S., Ashori, A. ve Fashapoyeh, M.A., Wood Plastic Composite Using Graphene Nanoplatelets, International Journal of Biological Macromolecules, 58 (2013) 1-6.
102. Esmailpour, A., Majidi, R., Taghiyari, H.R., Ganjkhani, M., Mohseni Armaki, S.M. ve Papadopoulos, A.N., Improving Fire Retardancy of Beech Wood by Graphene, Polymers, 12,2 (2020) 303.
103. Cestari, C.B., Invernizzi, S., Marzi, T. ve Tulliani, J.-M., The Reinforcement of Ancient Timber-Joints with Carbon Nano-Composites, Meccanica, 48,8 (2013) 1925-1935.
104. Kordkheili, H.Y., Farsi, M. ve Rezazadeh, Z., Physical, Mechanical and Morphological Properties of Polymer Composites Manufactured from Carbon Nanotubes and Wood Flour, Composites Part B: Engineering, 44,1 (2013) 750-755.
105. Choi, W., Lahiri, I., Seelaboyina, R. ve Kang, Y.S., Synthesis of Graphene and Its Applications: A Review, Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 35,1 (2010) 52-71.
106. Lawal, A.T., Graphene-Based Nano Composites and Their Applications. A Review, Biosensors and Bioelectronics, 141,111384 (2019) 1-17.
107. Jiménez-Suárez, A. ve Prolongo, S.G., Graphene Nanoplatelets, Applied Sciences, 10,5 (2020) 1-3.
108. www.sec.gov/Archives/edgar/data/1435375/000161577416004372/s102710_ex99-1.htm, XG Sciences Company Overview Presentation, 02.10.2020.
109. Uddin, F., Current Topics in the Utilization of Clay in Industrial Medical Applications, Montmorillonite: An introduction to properties and utilization, M.Z. Petronas editor, Intechopen Limited, London, 2018.

110. Kar, B. ve Rout, D., Polymer Nanocomposites Based on Inorganic and Organic Nanomaterials, Nanoclays: Synthesis, Properties and Applications, S. Mohanty, S.K. Nayak, and S. Kalia editors, 195-214, Scrivener Publishing, Beverly, 2015.
111. Guo, F., Aryana, S., Han, Y. ve Jiao, Y., A Review of The Synthesis and Applications of Polymer–Nanoclay Composites, Applied Sciences, 8,9 (2018) 1696.
112. Meunier, A., Clays, Springer Science & Business Media, Berlin, 2005.
113. Alexandre, M. ve Dubois, P., Polymer-Layered Silicate Nanocomposites: Preparation, Properties And Uses of A New Class of Materials, Materials Science Engineering: R: Reports, 28,2 (2000) 1-63.
114. Raji, M., Mekhzoum, M.M. ve Bouhfid, R., Nanoclay Reinforced Polymer Composites, Nanoclay Modification and Functionalization for Nanocomposites Development: Effect on the Structural, Morphological, Mechanical and Rheological Properties, M. Jawaid, A.K. Qaiss, and R. Bouhfid editors, 1-34, Springer, Singapore, 2016.
115. Grosso, M., Keunings, R., Crescitelli, S. ve Maffettone, P.L., Prediction of Chaotic Dynamics in Sheared Liquid Crystalline Polymers, Physical Review Letters, 86,14 (2001) 3184.
116. Faruk, O. ve Matuana, L.M., Nanoclay Reinforced HDPE as a Matrix for Wood-Plastic Composites, Composites Science Technology, 68,9 (2008) 2073-2077.
117. Yadav, S.M. ve Yusoh, K.B., Modification of Pristine Nanoclay and its Application In Wood-Plastic Composite, e-Polymers, 16,6 (2016) 447-461.
118. Mandal, M., Nath, D. ve Maji, T.K., Wood Polymer Nanocomposites from Functionalized Soybean Oil and Nanoclay, Wood Science and Technology, 52,6 (2018) 1621-1643.
119. Nabil, F.L., Zaidon, A., Anwar, U.M.K., Bakar, E.S., Lee, S.H. ve Paridah, M.T., Impregnation of Sesenduk (*Endospermum Diadenum*) Wood with Phenol Formaldehyde and Nanoclay Admixture: Effect on Fungal Decay and Termites Attack, Sains Malaysiana, 45,2 (2016) 255-262.
120. Guo, G., Park, C.B., Lee, Y.H., Kim, Y.S. ve Sain, M., Flame Retarding Effects of Nanoclay on Wood–Fiber Composites, Polymer Engineering and Science, 47,3 (2007) 330-336.
121. Ismita, N., Shasikant, M.A., Shailendra, K., Shikhar, S. ve Kishan, K., Fire Efficacy Improvement of Particle Boards by Nanoclay, World Journal of Advanced Research Reviews, 4,2 (2019) 90-95.
122. Ahmad, M.B., Hoidy, W.H., Ibrahim, N.A.B. ve Al-Mulla, E.A.J., Modification of Montmorillonite by New Surfactants, Journal of Engineering and Applied Sciences, 4,3 (2009) 184-188.

123. Usmani, M.A., Khan, I., Ahmad, N., Bhat, A.H., Sharma, D.K., Rather, J.A. ve Hassan, S.I., Nanoclay Reinforced Polymer Composites, Modification of Nanoclay Systems: An Approach to Explore Various Applications, M. Jawaid, A.K. Qaiss, and R. Bouhfid editors, 57-83, Springer, Singapore, 2016.
124. Chigwada, G., Wang, D., Jiang, D.D. ve Wilkie, C.A., Styrenic Nanocomposites Prepared Using a Novel Biphenyl-Containing Modified Clay, Polymer Degradation and Stability, 91,4 (2006) 755-762.
125. Majeed, K., Jawaid, M., Hassan, A., Bakar, A.A., Khalil, H.A., Salema, A.A. ve Inuwa, I., Potential Materials for Food Packaging from Nanoclay/Natural Fibres Filled Hybrid Composites, Materials and Design, 46 (2013) 391-410.
126. Maloney, T.M., Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing, Miller Freeman Publication, San Francisco, 1993.
127. Thoemen, H., Irle, M. ve Sernek, M.J., Wood-based panels-An Introduction for Specialist, Brunel University Press, London, 2010.
128. Hemmilä, V., Towards Low-Emitting and Sustainable Particle and Fibreboards: Formaldehyde Emission test Methods and Adhesives from Biorefinery Lignins, PhD Thesis, Linnaeus University Press, Sweden, 2019.
129. Salthammer, T., Mentese, S. ve Marutzky, R., Formaldehyde in the Indoor Environment, Chemical Reviews, 110,4 (2010) 2536-2572.
130. Swenberg, J.A., Kerns, W.D., Mitchell, R.I., Gralla, E.J. ve Pavkov, K.L., Induction of Squamous Cell Carcinomas of the Rat Nasal Cavity by Inhalation Exposure to Formaldehyde Vapor, Cancer Research, 40,9 (1980) 3398-3402.
131. IARC, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-Tert-Butoxypropan-2-Ol, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 88 (2006) 1.
132. Salthammer, T., Formaldehyde Sources, Formaldehyde Concentrations and Air Exchange Rates in European Housings, Building and Environment, 150 (2019) 219-232.
133. WHO, World Health Organization-Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants, Copenhagen, (2010).
134. Li, L., Adamkiewicz, G., Zhang, Y., Spengler, J.D., Qu, F. ve Sundell, J., Effect of Traffic Exposure on Sick Building Syndrome Symptoms Among Parents/Grandparents of Preschool Children in Beijing, China, PLoS One, 10,6 (2015) 1-11.
135. Wei, W., Ramalho, O. ve Mandin, C., Indoor Air Quality Requirements in Green Building Certifications, Building and Environment, 92 (2015) 10-19.

136. Salthammer, T., The Formaldehyde Dilemma, International Journal of Hygiene Environmental Health, 218,4 (2015) 433-436.
137. Huang, L., Mo, J., Sundell, J., Fan, Z. ve Zhang, Y., Health Risk Assessment of Inhalation Exposure to Formaldehyde and Benzene in Newly Remodeled Buildings, Beijing, PLoS One, 8,11 (2013) 1-8.
138. Ding, W., Li, W., Gao, Q., Han, C., Zhang, S. ve Li, J., The Effects of Sealing Treatment and Wood Species on Formaldehyde Emission of Plywood, BioResources, 8,2 (2013) 2568-2582.
139. Xiong, J., Zhang, Y. ve Huang, S., Characterisation of VOC and Formaldehyde Emission from Building Materials in a Static Environmental Chamber: Model Development and Application, Indoor and Built Environment, 20,2 (2011) 217-225.
140. Zhang, H., Zhang, J., Song, S., Wu, G. ve Pu, J., Modified Nanocrystalline Cellulose from Two Kinds of Modifiers Used for Improving Formaldehyde Emission and Bonding Strength of Urea-Formaldehyde Resin Adhesive, BioResources, 6,4 (2011) 4430-4438.
141. Song, W., Zhao, F., Yu, X., Wang, C., Wei, W. ve Zhang, S., Interfacial Characterization and Optimal Preparation of Novel Bamboo Plastic Composite Engineering Materials, BioResources, 10,3 (2015) 5049-5070.
142. ISO 12460-5, Wood-Based Panels - Determination of Formaldehyde Release — Part 5: Extraction Method (Called the Perforator Method), I.S.O., Switzerland, 2015.
143. TS EN 717-1, Ahşap Esaslı Levhalar - Formaldehit Salınımının Tayini - Bölüm 1: Oda Metodu ile Formaldehit Yayılması, T.S.E, Ankara, 2006.
144. ISO 12460-3, Wood-Based Panels — Determination of Formaldehyde Release — Part 3: Gas Analysis Method, I.S.O., Switzerland, 2015.
145. TS EN 717-3, Ahşap Esaslı Levhalar- Formaldehit Ayrışması Tayini- Bölüm 3: Şişe Metodu ile Formaldehit Ayrışması, T.S.E, Ankara, 1999.
146. DD ENV 13419-2, Building Products. Determination Of The Emission of Volatile Organic Compounds. Emission Test Cell Method, B.S.I, Japan, 1999.
147. ASTM D5582, Standard Test Method for Determining Formaldehyde Levels from Wood Products Using a Desiccator, A.S.T.M., United States, 2014.
148. JIS A 1460, Determination Of The Emission Of Formaldehyde From Building Boards - Desiccator Method, J.S.A, Japan, 2015.
149. Solt, P., Konnerth, J., Gindl-Altmatter, W., Kantner, W., Moser, J., Mitter, R. ve Herwijnen, H.W., Technological Performance of Formaldehyde-Free Adhesive Alternatives for Particleboard Industry, International Journal of Adhesion and Adhesives, 94 (2019) 99-131.

150. Park, B.D. ve Jeong, H.W., Hydrolytic Stability and Crystallinity of Cured Urea–Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde/Urea Mole Ratios, International Journal of Adhesion and Adhesives, 31,6 (2011) 524-529.
151. Van Herwijnen, H., Fliedner, E. ve Heep, W., Verwendung Nachwachsender Rohstoffe in Bindemitteln für Holzwerkstoffe, Chemie Ingenieur Technik, 82,8 (2010) 1161-1168.
152. Migneault, S., Koubaa, A., Riedl, B., Nadji, H., Deng, J. ve Zhang, T.S., Potential of Pulp and Paper Sludge as a Formaldehyde Scavenger Agent in MDF Resins, Holzforschung, 65,3 (2011) 403-409.
153. Ghani, A., Ashaari, Z., Bawon, P. ve Lee, S.H., Reducing Formaldehyde Emission of Urea Formaldehyde-Bonded Particleboard by Addition of Amines as Formaldehyde Scavenger, Building and Environment, 142 (2018) 188-194.
154. Hassannejad, H., Shalbfan, A. ve Rahmaninia, M., Reduction of Formaldehyde Emission from Medium Density Fiberboard by Chitosan as Scavenger, The Journal of Adhesion, 96,9 (2018) 797-813.
155. Costa, N., Pereira, J., Ferra, J., Cruz, P., Martins, J., Magalhães, F., Mendes, A. ve Carvalho, L., Sodium Metabisulphite as A Scavenger of Air Pollutants for Wood-Based Building Materials, International Wood Products Journal, 4,4 (2013) 242-247.
156. Bekhta, P., Sedliacik, J., Saldan, R. ve Novak, I., Effect of Different Hardeners for Urea-Formaldehyde Resin on Properties of Birch Plywood, Acta Facultatis Xylogiae Zvolen res Publica Slovaca, 58,2 (2016) 65.
157. Resmi, V.C. ve Narayanankutty, S.K., Effect of Charcoal on Formaldehyde Emission, Mechanical, Thermal and Dynamic Properties of Resol Resin, International Journal of Plastics Technology, 21,1 (2017) 55-69.
158. De Cademartori, P.H.G., Artner, M.A., de Freitas, R.A. ve Magalhães, W.L.E., Alumina Nanoparticles as Formaldehyde Scavenger for Urea-Formaldehyde Resin: Rheological and In-Situ Cure Performance, Composites Part B: Engineering, 176 (2019) 107281.
159. Younesi-Kordkheili, H., Pizzi, A. ve Niyatzade, G., Reduction of Formaldehyde Emission from Particleboard by Phenolated Kraft Lignin, The Journal of Adhesion, 92,6 (2016) 485-497.
160. Tudor, E.M., Barbu, M.C., Petutschnigg, A., Réh, R. ve Krišťák, Ľ., Analysis of Larch-Bark Capacity for Formaldehyde Removal in Wood Adhesives, International Journal of Environmental Research and Public Health, 17,3 (2020) 764.
161. Schwab, H., Marutzky, R. ve Meyer, B., European Regulations for Formaldehyde, Fraunhofer Institute for Wood Research, Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig, Germany, (2012).

162. www.ositum.fi/Flec, Materiaalien Vvoc- Ja Voc-Emissiyot, 10 Eylül 2020.
163. Liu, G., Chen, W. ve Yu, J.J., A Novel Process to Prepare Ammonium Polyphosphate with Crystalline Form II and Its Comparison with Melamine Polyphosphate, Industrial Engineering Chemistry Research, 49,23 (2010) 12148-12155.
164. Costes, L., Laoutid, F., Aguedo, M., Richel, A., Brohez, S., Delvosalle, C. ve Dubois, P., Phosphorus and Nitrogen Derivatization as Efficient Route for Improvement of Lignin Flame Retardant Action in PLA, European Polymer Journal, 84 (2016) 652-667.
165. Karastergiou, P. ve Philippou, J.J., Thermogravimetric Analysis of Fire Retardant Treated Particle Boards, Wood Fire Safety Journal, 2000 (2000) 385-394.
166. Basson, G.R. ve Conradie, W.E., Preservative and Fire Retardant Composition and Combination and Process. U.S Patent No. 6, 319, 431 (2001).
167. Mouritz, A.P. ve Gibson, A.G., Fire Properties of Polymer Composite Materials, 143, Springer Science & Business Media, Dordrecht, 2007.
168. Pedieu, R., Koubaa, A., Riedl, B., Wang, X.-M. ve Deng, J.J., Fire-Retardant Properties of Wood Particleboards Treated with Boric Acid, European Journal of Wood and Wood Products, 70,1-3 (2012) 191-197.
169. Esmailpour, A., Taghiyari, H.R., Nouri, P. ve Jahangiri, A.J., Fire-Retarding Properties of Nanowollastonite in Particleboard, Fire Materials, 42,3 (2018) 306-315.
170. Sepet, H., Nano-Partikül Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Nanokompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2014.
171. Çankaya, N. ve Şahin, R., Chitosan/Clay Bionanocomposites: Structural, Antibacterial, Thermal and Swelling Properties, Cellulose Chemistry and Technology, 53,5-6 (2019) 537-549.
172. www.organikmadencilik.com/vermikulit-brosur-2020.pdf, Organik Madencilik 2020, 20 Eylül 2020.
173. <https://nanografi.com/graphene/graphene-nanoplatelet-purity-99-9-size-5-nm-s-a-170-m2-g-dia-30-m/>, Graphene Nanoplatelet, 23 Aralık 2020.
174. ww.pallmann.eu/fileadmin/user_upload/H_998.1_Knife_Ring_Flaker_PZKR_EN.pdf, PALMANN Ring Knife Flaker PZKR /PZSC, 22 Nisan 2021.
175. TS 642 ISO 554, Kondisyonlama ve/veya Deney için Standard Atmosferler-Özellikler, T.S.E., Ankara, 1997.
176. TS EN ISO 2431, Boya Ve Vernikler-Akış Kapları Kullanılarak Akış Süresi Tayini, T.S.E., Ankara, 2019.

177. TS EN 322, Ahşap Esaslı Levhalar-Rutubet Miktarının Tayini, T.S.E., Ankara, 1999.
178. TS EN 323/1, Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini, T.S.E., Ankara, 1999.
179. ASTM D1037, Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-Base Fiberand Particle Panel Materials, A.S.T.M., United States, 2006.
180. TS EN 317, Yongalevhalar ve Liflevhalar, Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, T.S.E., Ankara, 1993.
181. TS EN 310, Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, T.S.E., Ankara, 1999.
182. Fun, T.S. ve Jumaat, M.Z., Comparison of European Standard EN 310 and EN 789 in Determining the Bending Strength and Modulus of Elasticity of Red Seraya (*Shorea spp.*) Plywood Panel: Experimental and Finite Element Analysis, European Journal of Wood Wood Products, 71,4 (2013) 483-490.
183. TS EN 319, Yongalevhalar ve Lif Levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımı Tayini, T.S.E., Ankara, 1999.
184. TS EN ISO 12460-3, Ahşap Esaslı Levhalar - Formaldehit Salımının Belirlenmesi-Bölüm 3: Gaz Analizi Yöntemi, T.S.E., Ankara, 2015.
185. ASTM G 154, Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, A.S.T.M., United States, 2000.
186. Chee, S.S., Jawaid, M., Alothman, O.Y. ve Yahaya, R., Thermo-Oxidative Stability and Flammability Properties of Bamboo/Kenaf/Nanoclay/Epoxy Hybrid Nanocomposites, Rsc Advances, 10,37 (2020) 21686-21697.
187. Suzanne, M., Delichatsios, M.M. ve Zhang, J., Prediction of the Limiting Oxygen Index Using Simple Flame Extinction Theory and Material Properties Obtained from Bench Scale Measurements, Fire Safety Science, 10 (2011) 375-387.
188. ASTM D2863-06a, Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), A.S.T.M., United States, 2006.
189. Da Costa, N.J.A., Adhesive Systems for Low Formaldehyde Emission Wood-Based Panels, PhD thesis, University of Porto, Portuguese, 2013.
190. Qi, G., Li, N., Wang, D. ve Sun, X.S., Development of High-Strength Soy Protein Adhesives Modified with Sodium Montmorillonite Clay, Journal of the American oil Chemists' Society, 93,11 (2016) 1509-1517.

191. Li, Z., Wang, J., Li, C., Gu, Z., Cheng, L. ve Hong, Y., Effects of Montmorillonite Addition on the Performance of Starch-Based Wood Adhesive, Carbohydrate Polymers, 115 (2015) 394-400.
192. Rao, G.R., Srikanth, I. ve Reddy, K.L., Effect of Organo-Modified Montmorillonite Nanoclay on Mechanical, Thermal and Ablation Behavior of Carbon Fiber/Phenolic Resin Composites, Defence Technology, In Press (2020).
193. Knauert, S.T., Douglas, J.F. ve Starr, F.W., The Effect of Nanoparticle Shape on Polymer-Nanocomposite Rheology and Tensile Strength, Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 45,14 (2007) 1882-1897.
194. Younesi-Kordkheili, H., Kazemi Najafi, S. ve Behrooz, R., Influence of Nanoclay on Urea-Glyoxalated Lignin-Formaldehyde Resins for Wood Adhesive, The Journal of Adhesion, 93,6 (2017) 431-443.
195. Younesi-Kordkheili, H., Improving Physical and Mechanical Properties of New Lignin-Urea-Glyoxal Resin By Nanoclay, European Journal of Wood Wood Products, 75,6 (2017) 885-891.
196. Zhou, X., Pizzi, A. ve Du, G., The Effect of Nanoclay on Melamine-Urea-Formaldehyde Wood Adhesives, Journal of Adhesion Science Technology, 26,10-11 (2012) 1341-1348.
197. Kumar, A., Gupta, A. ve Sharma, K.V., Thermal and Mechanical Properties of Urea-Formaldehyde (UF) Resin Combined with Multiwalled Carbon Nanotubes (MWCNT) as Nanofiller and Fiberboards Prepared by UF-MWCNT, Holzforschung, 69,2 (2015) 199-205.
198. Hwang, T., Pu, L., Kim, S.W., Oh, Y.-S. ve Nam, J.-D., Synthesis and Barrier Properties of Poly (Vinylidene Chloride-Co-Acrylonitrile)/SiO₂ Hybrid Composites by Sol-Gel Process, Journal of Membrane Science, 345,1-2 (2009) 90-96.
199. Singh, R.P., Khait, M., Zunjarrao, S.C., Korach, C.S. ve Pandey, G., Environmental Degradation and Durability of Epoxy-Clay Nanocomposites, Journal of Nanomaterials and Molecular Nanotechnology, 2010 (2010) 1-14.
200. Imran, K.A., Hossain, M.K., Hosur, M. ve Jeelani, S., Assessment of Moisture Barrier, Mechanical, and Thermal Property of Base/Nanophased Carbon-Epoxy Composites in Seawater, Journal of Composite Materials, 0,0 (2020) 1-13.
201. Dashti, H., Salehpur, S., Taghiyari, H.R., Far, F.A. ve Heshmati, S., The Effect of Nanoclay on the Mass Transfer Properties of Plywood, Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 7,3 (2012) 853-860.
202. Won, S., Lee, J.Y., Jung, H.J., Hur, M., Kim, K.S., Lee, H.J. ve Kim, J.H., Graphene-Based Stretchable and Transparent Moisture Barrier, Nanotechnology, 29,12 (2018) 125705.

203. <http://vermeko.eu/en/crude-vermiculite/>, Superfine Fraction Crude Vermiculite, 3 Nisan 2021.
204. İstek, A. ve Siradag, H., The Effect of Density on Particleboard Properties, International Caucasian Forestry Symposium, October 2013, Artvin, Proceedings Book: 932-938.
205. Altgen, M., Altgen, D., Klüppel, A. ve Rautkari, L., Effect of Curing Conditions on The Water Vapor Sorption Behavior of Melamine Formaldehyde Resin and Resin-Modified Wood, Journal of Materials Science, 55 (2020) 11253-11266.
206. Gwon, J.G., Lee, S.Y., Chun, S.J., Doh, G.H. ve Kim, J.H., Effects of Chemical Treatments of Hybrid Fillers on the Physical and Thermal Properties of Wood Plastic Composites, Composites Part A: Applied Science Manufacturing, 41,10 (2010) 1491-1497.
207. Ashori, A. ve Nourbakhsh, A., Reinforced Polypropylene Composites: Effects of Chemical Compositions and Particle Size, Bioresource Technology, 101,7 (2010) 2515-2519.
208. Gindl, W., Schöberl, T. ve Jeronimidis, G., The Interphase in Phenol–Formaldehyde and Polymeric Methylene Di-Phenyl-Di-Isocyanate Glue Lines in Wood, International Journal of Adhesion Adhesives, 24,4 (2004) 279-286.
209. Deka, B.K. ve Maji, T.K., Effect of Coupling Agent And Nanoclay on Properties of HDPE, LDPE, PP, PVC Blend and Phargamites Karka Nanocomposite, Composites Science Technology, 70,12 (2010) 1755-1761.
210. Salari, A., Tabarsa, T., Khazaeian, A. ve Saraeian, A., 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 (2012) 513-524.
211. Madhoushi, M., Chavooshi, A., Ashori, A., Ansell, M.P. ve Shakeri, A., Properties of Wood Plastic Composite Panels Made from Waste Sanding Dusts and Nanoclay, Journal of Composite Materials, 48,14 (2014) 1661-1669.
212. Ghofrani, M., Haghdan, S., NicKhah, V. ve Ahmadi, K., Improvement of Physical and Mechanical Properties of Particleboard Made of Apple Tree Pruning and Sunflower Stalk Using Titanium Oxide Nanoparticles, European Journal of Wood Wood Products, 73,5 (2015) 661-666.
213. Rangavar, H., Taghiyari, H.R. ve Mehr, M., Effects of Nanocopper on Physical and Mechanical Properties of Medium-Density Fibreboard, Journal of Tropical Forest Science, 25,2 (2013) 184-192.
214. Ghofrani, M., Ashori, A. ve Mehrabi, R., Mechanical and Acoustical Properties of Particleboards Made with Date Palm Branches and Vermiculite, Polymer Testing, 60 (2017) 153-159.

215. Abdolzadeh, H., Doosthoseini, K., Karimi, A.N. ve Enayati, A.A., The Effect of Acetylated Particle Distribution and Type of Resin on Physical and Mechanical Properties of Poplar Particleboard, European Journal of Wood Wood Products, 69,1 (2011) 3-10.
216. Shi, J., Li, J., Zhou, W. ve Zhang, D., Improvement of Wood Properties by Urea-Formaldehyde Resin and Nano-SiO₂, Frontiers of Forestry in China, 2,1 (2007) 104.
217. Ashori, A. ve Nourbakhsh, A., Effects of Nanoclay as a Reinforcement Filler on The Physical and Mechanical Properties of Wood-Based Composite, Journal of Composite Materials, 43,18 (2009) 1869-1875.
218. Kozłowski, R., Mieleniak, B., Helwig, M. ve Przepiera, A., Flame Resistant Lignocellulosic-Mineral Composite Particleboards, Polymer Degradation Stability, 64,3 (1999) 523-528.
219. Yalçın, Ö.Ü., Kaya, A.İ. ve Şahin, H.T., Mineral Based Boards Made from Lignocellulosic Wastes: 1st Part-Physical And Mechanical Properties, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11,2 142-149.
220. Cavdar, A.D., Torun, S.B., Ertas, M. ve Mengelöglu, F., Ammonium Zeolite and Ammonium Phosphate Applied as Fire Retardants for Microcrystalline Cellulose Filled Thermoplastic Composites, Fire Safety Journal, 107 (2020) 202-209.
221. Ayırlmis, N. ve Nemli, G., Effect of Adhesive Type on the Quality Properties of Particleboard, Machines. Technologies. Materials., 11,7 (2017) 364-365.
222. Ozyhar, T., Application of Mineral Filler in Surface Layer of Three-Layer Particle Board and Its Effect on Material Properties as a Function of Filler Content, International Wood Products Journal, 11,3 (2020) 109-114.
223. Wu, Q., Miao, W.S., Zhang, Y.D., Gao, H.J. ve Hui, D., Mechanical Properties of Nanomaterials: A Review, Nanotechnology Reviews, 9,1 (2020) 259-273.
224. Reis, M.F.C., Lopes, C.B.S., Soares, J.D., Costa, L.J., Guirardi, B.D., Faria, B.F.H. ve Carneiro, A.C.O., Effect of the Addition of Nanoclay (Na⁺ Montmorillonite) on the Urea Formaldehyde Adhesive in Wood Bonded Joints of Eucalyptus sp., Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 11,12 (2017) 51-56.
225. Liang, J.Z., Impact Toughness and Flexural Properties of PPS/GF/Nano-CaCO₃ Ternary Composites, Polymer Plastics Technology Engineering, 47,12 (2008) 1227-1230.
226. Camani, P.H., Toguchi, J.P.M., Fiori, A.P.S. ve dos Santos Rosa, D., Impact of Unmodified (PGV) and Modified (Cloisite 20A) Nanoclays into Biodegradability and Other Properties of (Bio) Nanocomposites, Applied Clay Science, 186 (2020) 105453.

227. Sepet, H. ve Tarakçıoğlu, N., Effect of Nanoclay Addition on Mechanical and Thermal Behavior of Vinyl Ester Based Nanocomposites Obtained by Casting, World Journal of Engineering, 11,1 (2014) 1-8.
228. Saleem, H., Edathil, A., Ncube, T., Pokhrel, J., Khoori, S., Abraham, A. ve Mittal, V., Mechanical and Thermal Properties of Thermoset–Graphene Nanocomposites, Macromolecular Materials Engineering, 301,3 (2016) 231-259.
229. Muñoz, F. ve Moya, R., Effect of Nanoclay-Treated UF Resin on the Physical and Mechanical Properties of Plywood Manufactured with Wood from Tropical Fast Growth Plantations, Maderas Ciencia y Tecnología, 20,1 (2018) 11-24.
230. Liu, Y., Shen, J. ve Zhu, X.D., Evaluation of Mechanical Properties and Formaldehyde Emissions of Particleboards with Nanomaterial-Added Melamine-Impregnated Papers, European Journal of Wood Wood Products, 73,4 (2015) 449-455.
231. Hosseyni, M.J., Mousavi, R.S., Rahimi, S. ve Faezipour, M.M., Effect of Nanoclay Particles on The Properties of Particle Boards, Journal of Basic Applied Scientific Research, 4,3 (2014) 280-287.
232. Zhang, X., Hao, X., Hao, J. ve Wang, Q., Heat Transfer and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites Filled with Flake Graphite, Thermochemica Acta, 664 (2018) 26-31.
233. Ismita, N. ve Lokesh, C., Effects of Different Nanoclay Loadings on the Physical and Mechanical Properties of Melia Composita Particle Board, Bois Forests des Tropiques, 334 (2017) 7-12.
234. Nofar, M., Ozgen, E. ve Girginer, B., Injection-Molded PP Composites Reinforced With Talc and Nanoclay for Automotive Applications, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 33,11 (2020) 1478-1498.
235. Kahraman, H.T. ve Edebali, S., Organo-Modifiye Nanokilin Alternatif Bir Adsorban Olarak Atıksulardan Cr (VI) Uzaklaştırılmasında Kullanımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4,3 (2016) 173-181.
236. Kim, H., Abdala, A.A. ve Macosko, C.W., Graphene/Polymer Nanocomposites, Macromolecules, 43,16 (2010) 6515-6530.
237. Shen, M.Y., Chang, T.Y., Hsieh, T.H., Li, Y.L., Chiang, C.L., Yang, H. ve Yip, M.C., Mechanical Properties and Tensile Fatigue of Graphene Nanoplatelets Reinforced Polymer Nanocomposites, Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology, (2013) 565401.
238. Candan, Z. ve Akbulut, T., Physical and Mechanical Properties of Nanoreinforced Particleboard Composites, Maderas Ciencia y Tecnología, 17,2 (2015) 319-334.

239. Lei, H., Du, G., Pizzi, A. ve Celzard, A., Influence of Nanoclay on Urea-Formaldehyde Resins for Wood Adhesives and Its Model, Journal of Applied Polymer Science, 109,4 (2008) 2442-2451.
240. Xian, D., Semple, K.E., Haghdan, S. ve Smith, G.D., Properties and Wood Bonding Capacity of Nanoclay-Modified Urea and Melamine Formaldehyde Resins, Wood Fiber Science, 45,4 (2013) 383-395.
241. Taghiyari, H.R., Karimi, A. ve Tahir, P.M.D., Nano-Wollastonite in Particleboard: Physical and Mechanical Properties, BioResources, 8,4 (2013) 5721-5732.
242. Taghiyari, H.R., Bari, E., Schmidt, O., Ghanbary, M.A.T., Karimi, A. ve Tahir, P.M.D., Effects of Nanowollastonite on Biological Resistance of Particleboard Made from Wood Chips and Chicken Feather Against *Antrodia Vaillantii*, International Biodeterioration Biodegradation, 90 (2014) 93-98.
243. Yu, Y., Xu, P., Chang, M. ve Chang, J., Aging Properties of Phenol-Formaldehyde Resin Modified by Bio-Oil Using UV Weathering, Polymers, 10,11 (2018) 1183.
244. Bayramoğlu, G. ve Eşiyok, S., Polistiren-Fosfin Oksit Modifiye Kil Nanokompozitleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17,2 (2017) 440-448.
245. Kumar, A., Sharma, K.V., Gupta, A., Tywoniak, J. ve Hajek, P., Optimization of Processing Parameters of Medium Density Fiberboard Using Response Surface Methodology for Multiwalled Carbon Nanotubes as a Nanofiller, European Journal of Wood Wood Products, 75,2 (2017) 203-213.
246. Alemdar, A. ve Beaulieu, G., Reduction of Volatile Organic Compound Emissions (VOC, Odours) for Indoor Wood Products, Project Final Report, FPI-113E, Project No: 201001000201001000 (2010) 1-30.
247. Cui, Y., Kumar, S., Kona, B.R. ve van Houcke, D., Gas Barrier Properties of Polymer/Clay Nanocomposites, Rsc Advances, 5,78 (2015) 63669-63690.
248. Zou, W., Gao, B., Ok, Y.S. ve Dong, L., Integrated Adsorption and Photocatalytic Degradation of Volatile Organic Compounds (VOCs) Using Carbon-Based Nanocomposites: A Critical Review, Chemosphere, 218 (2019) 845-859.
249. Chen, S., Lu, X., Pan, F., Wang, T. ve Zhang, Z., Preparation and Characterization of Urea-Formaldehyde Resin/Reactive Montmorillonite Composites, Journal of Wuhan University of Technology-Material Science Edition, 32,4 (2017) 783-790.
250. Ong, H.R., Khan, M.R., Yousuf, A., Jeyaratnam, N. ve Prasad, D.R., Effect of Waste Rubber Powder as Filler for Plywood Application, Polish Journal of Chemical Technology, 17,1 (2015) 41-47.

251. Wibowo, E.S., Lubis, M.A.R., Park, B.-D., Kim, J.S. ve Causin, V., Converting Crystalline Thermosetting Urea-Formaldehyde Resins to Amorphous Polymer Using Modified Nanoclay, Journal of Industrial Engineering Chemistry, 87 (2020) 78-89.
252. Chubinskii, A., Varankina, G. ve Chauzov, K., Toxicity Reduction and Shortening Process of Gluing Plywood and Particleboard by Modifying Adhesives, Wood, Design and Technology, 3,1 (2014) 5-8.
253. Liu, Y. ve Zhu, X., Measurement of Formaldehyde and VOCs Emissions from Wood-Based Panels with Nanomaterial-Added Melamine-Impregnated Paper, Construction Building Materials, 66 (2014) 132-137.
254. Kajita, H., Mukudai, J. ve Yano, H., Durability Evaluation of Particleboards by Accelerated Aging Tests, Wood Science Technology, 25,3 (1991) 239-249.
255. Özgenç, Ö. ve Nemli, G., Increasing the Outdoor Durability of Urea Formaldehyde Particle Board with New Generation Water-Borne Acrylic Coatings, Sigma, 11,2 (2020) 159-166.
256. Vartiainen, J., Tuominen, M. ve Nättinen, K., Bio-Hybrid Nanocomposite Coatings from Sonicated Chitosan and Nanoclay, Journal of Applied Polymer Science, 116,6 (2010) 3638-3647.
257. Mistretta, M.C., Botta, L., Vinci, A.D., Ceraulo, M. ve La Mantia, F.P., Photo-Oxidation of Polypropylene/Graphene Nanoplatelets Composites, Polymer Degradation Stability, 160 (2019) 35-43.
258. Eshraghi, A., Khademieslam, H., Ghasemi, I. ve Talaiepoor, M., Effect of Weathering on the Properties of Hybrid Composite Based on Polyethylene, Woodflour, and Nanoclay, BioResources, 8,1 (2013) 201-210.
259. Najafabadi, M.A.A., Khorasani, S.N. ve Esfahani, J.M., High Density Polyethylene/Pistachio Shell Flour/Nanoclay Composites-Effect of Accelerated Weathering Conditions on Mechanical Properties, Relative Brightness and Total Colour Change, Polymers Polymer Composites, 25,4 (2017) 299-308.
260. Samaržija-Jovanović, S., Jovanović, V., Petković, B., Jovanović, T., Marković, G., Porobić, S., Papan, J. ve Marinović-Cincović, M., Hydrolytic, Thermal, and UV Stability of Urea-Formaldehyde Resin/Thermally Activated Montmorillonite Nanocomposites, Polymer Composites, 41,9 (2020) 3575-3584.
261. Tan, B. ve Thomas, N.L., A Review of the Water Barrier Properties of Polymer/Clay and Polymer/Graphene Nanocomposites, Journal of Membrane Science, 514 (2016) 595-612.
262. Eshraghi, A., Khademieslam, H. ve Ghasemi, I., Effect of Weathering on Physical and Mechanical Properties of Hybrid Nanocomposite Based on Polyethylene, Woodflour and Nanoclay, Maderas Ciencia y Tecnología, 18,4 (2016) 617-626.

263. Woo, R.S.C., Chen, Y., Zhu, H., Li, J., Kim, J.K. ve Leung, C.K.Y., Environmental Degradation of Epoxy–Organoclay Nanocomposites due to UV Exposure. Part I: Photo-Degradation, Composites Science Technology, 67,15-16 (2007) 3448-3456.
264. Tcherbi-Narteh, A., Hosur, M., Triggs, E., Owuor, P. ve Jelaani, S., Viscoelastic and Thermal Properties of Full and Partially Cured DGEBA Epoxy Resin Composites Modified with Montmorillonite Nanoclay Exposed to UV Radiation, Polymer Degradation Stability, 101 (2014) 81-91.
265. Yoo, B.M., Shin, H.J., Yoon, H.W. ve Park, H.B., Graphene and Graphene Oxide and Their Uses in Barrier Polymers, Journal of Applied Polymer Science, 131,1 (2014).
266. Li, J., Shan, W., Cui, J., Qiu, H., Yang, G., Zheng, S. ve Yang, J., Enhanced Corrosion Resistance and Weathering Resistance of Waterborne Epoxy Coatings with Polyetheramine-Functionalized Graphene Oxide, Journal of Coatings Technology Research, 17,1 (2020) 171-180.
267. Hazarika, A. ve Maji, T.K., Synergistic Effect of Nano-TiO₂ and Nanoclay on the Ultraviolet Degradation and Physical Properties of Wood Polymer Nanocomposites, Industrial Engineering Chemistry Research, 52,38 (2013) 13536-13546.
268. Chennareddy, R., Tuwair, H., Kandil, U.F., ElGawady, M. ve Taha, M.M.R., UV-Resistant GFRP Composite Using Carbon Nanotubes, Construction Building Materials, 220 (2019) 679-689.
269. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Zheng, C., Lee, D.H. ve Liang, D.T., In-depth Investigation of Biomass Pyrolysis Based on Three Major Components: Hemicellulose, Cellulose and Lignin, Energy Fuels, 20,1 (2006) 388-393.
270. Liang, Y., Yu, J., Feng, Z. ve Ai, P., Flammability and Thermal Properties of Bitumen with Aluminium Trihydroxide and Expanded Vermiculite, Construction Building Materials, 48 (2013) 1114-1119.
271. Hodhod, O.A., Rashad, A.M., Abdel-Razek, M.M. ve Ragab, A.M., Coating Protection of Loaded Rc Columns to Resist Elevated Temperature, Fire Safety Journal, 44,2 (2009) 241-249.
272. Qin, H., Zhang, S., Zhao, C., Hu, G. ve Yang, M., Flame Retardant Mechanism of Polymer/Clay Nanocomposites Based on Polypropylene, Polymer, 46,19 (2005) 8386-8395.
273. Song, L., Hu, Y., Tang, Y., Zhang, R., Chen, Z. ve Fan, W., Study on The Properties of Flame Retardant Polyurethane/Organoclay Nanocomposite, Polymer Degradation Stability, 87,1 (2005) 111-116.
274. Liu, S., Yan, H., Fang, Z. ve Wang, H., Effect of Graphene Nanosheets on Morphology, Thermal Stability and Flame Retardancy of Epoxy Resin, Composites Science Technology, 90 (2014) 40-47.

275. Hazarika, A., Mandal, M. ve Maji, T.K., Dynamic Mechanical Analysis, Biodegradability and Thermal Stability of Wood Polymer Nanocomposites, Composites Part B: Engineering, 60 (2014) 568-576.
276. Cai, X., Riedl, B., Wan, H., Zhang, S.Y. ve Wang, X.M., A Study on the Curing and Viscoelastic Characteristics of Melamine-Urea-Formaldehyde Resin in the Presence of Aluminium Silicate Nanoclays, Composites Part A: Applied Science Manufacturing, 41,5 (2010) 604-611.
277. Roumeli, E., Papadopoulou, E., Pavlidou, E., Vourlias, G., Bikiaris, D., Paraskevopoulos, K.M. ve Chrissafis, K., Synthesis, Characterization and Thermal Analysis of Urea-Formaldehyde/Nano SiO₂ Resins, Thermochimica Acta, 527 (2012) 33-39.
278. Zhao, S., Chen, F., Huang, Y., Dong, J.Y. ve Han, C.C., Crystallization Behaviors in the Isotactic Polypropylene/Graphene Composites, Polymer, 55,16 (2014) 4125-4135.
279. Ibeh, C.C., Handbook of Thermoset Plastics, Amino and Furan Resins, H.G. Sidney editor, 72-96, William Andrew Inc., New York, 1999.
280. Xiong, Z., Chen, N. ve Wang, Q., Preparation and Properties of Melamine Formaldehyde Resin Modified by Functionalized Nano-SiO₂ and Polyvinyl Alcohol, Polymers and Polymer Composites, 29,2 (2021) 96-106.
281. Feng, C., Liang, M., Jiang, J., Liu, H. ve Huang, J., Synergistic Effect of Ammonium Polyphosphate and Triazine-Based Charring Agent on the Flame Retardancy and Combustion Behavior of Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer, Journal of Analytical Applied Pyrolysis, 119 (2016) 259-269.
282. Wang, F., Gao, Z., Zheng, M. ve Sun, J., Thermal Degradation and Fire Performance of Plywood Treated with Expanded Vermiculite, Fire Materials, 40,3 (2016) 427-433.
283. Wang, J., Wang, F., Gao, Z., Zheng, M. ve Sun, J., Flame Retardant Medium-Density Fiberboard with Expanded Vermiculite, BioResources, 11,3 (2016) 6940-6947.
284. Zhang, H., Shi, C., Han, J. ve Yu, J., Effect of Organic Layered Silicates on Flame Retardancy and Aging Properties of Bitumen, Construction Building Materials, 40 (2013) 1151-1155.
285. Powell, C.E. ve Beall, G.W., Physical Properties of Polymers Handbook, Physical Properties of Polymer/Clay Nanocomposites, M.E. James editor, 561-575, Springer, Germany, 2007.
286. Hamdani, S., Longuet, C., Perrin, D., Lopez-Cuesta, J.M. ve Ganachaud, F., Flame Retardancy of Silicone-Based Materials, Polymer Degradation Stability, 94,4 (2009) 465-495.
287. Giudice, C.A. ve Pereyra, A.M., Fire Resistance of Wood Impregnated with Soluble Alkaline Silicates, Research letters in Materials Science, 2007 (2007) 031956.

288. Deka, B.K. ve Maji, T.K., Effect of TiO₂ and Nanoclay on the Properties of Wood Polymer Nanocomposite, Composites Part A: Applied Science Manufacturing, 42,12 (2011) 2117-2125.
289. Camino, G., Tartaglione, G., Frache, A., Manfredi, C. ve Costa, G., Thermal and Combustion Behaviour of Layered Silicate-Epoxy Nanocomposites, Polymer Degradation Stability, 90,2 (2005) 354-362.
290. Çoban, M. ve Aytaç, A., Alev Geciktiricilik Özelliği Geliştirilmiş ve Plastikleştirilmiş Poli (Laktik Asit)'In Özelliklerine Farklı Nano Katkıların Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32,4 (2017) 1109-1120.
291. Bourbigot, S. ve Fontaine, G., Flame Retardancy of Polylactide: An Overview, Polymer Chemistry, 1,9 (2010) 1413-1422.
292. Dittrich, B., Wartig, K.A., Hofmann, D., Mülhaupt, R. ve Scharrel, B., Carbon Black, Multiwall Carbon Nanotubes, Expanded Graphite and Functionalized Graphene Flame Retarded Polypropylene Nanocomposites, Polymers for Advanced Technologies, 24,10 (2013) 916-926.
293. Liu, Z.Q., Li, Z., Yang, Y.X., Zhang, Y.L., Wen, X., Li, N., Fu, C., Jian, R.K., Li, L.J. ve Wang, D.Y., A Geometry Effect of Carbon Nanomaterials on Flame Retardancy and Mechanical Properties of Ethylene-Vinyl Acetate/Magnesium Hydroxide Composites, Polymers, 10,9 (2018) 1028.
294. Seo, H.J., Jo, J.M., Hwang, W. ve Lee, M.C., Evaluation of Fire Characteristics for Particle-Board with Exfoliated Graphite Nanoplatelets Added, Journal of the Korean Society of Combustion, 22,4 (2017) 1-8.
295. Ran, S., Chen, C., Guo, Z. ve Fang, Z., Char Barrier Effect of Graphene Nanoplatelets on the Flame Retardancy and Thermal Stability of High-Density Polyethylene Flame-Retarded by Brominated Polystyrene, Journal of Applied Polymer Science, 131,15 (2014) 40520.
296. Kasım, H., Karbon Esaslı Nano Katkılar ile Elektrik İletken Elastomer Nanokompozitler Geliştirilmesi: Statik ve Tekrarlı Dinamik Yükler Altında Elektriksel, Fiziksel ve Mekanik Karakterizasyonu ve Algılama Performansının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdı. 2009 yılında bu bölümden Orman Endüstri Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2009-2010 eğitim-öğretim yılında KTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda İngilizce hazırlık okudu. 2013 yılında KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Bilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamladıktan sonra doktora eğitimine başladı.

2011 yılında Araştırma Görevlisi olarak atandığı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde 2017 yılına kadar görevine devam etti. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Arsin Meslek Yüksekokulu Mobilya Dekorasyon Bölümünde Öğretim görevlisi olarak göreve başlamış olup halen görevine devam etmektedir. İngilizce bilmektedir.