

**NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLERLE MODİFİYE
EDİLEN FF VE MUF TUTKALLARININ AHŞAP
KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**2018
DOKTORA TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

Mehmet Erdal KARA

**NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLERLE MODİFİYE EDİLEN FF VE MUF
TUTKALLARININ AHŞAP KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Mehmet Erdal KARA

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Temmuz 2018

Mehmet Erdal KARA tarafından hazırlanan “NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLERLE MODİFİYE EDİLEN FF VE MUF TUTKALLARININ AHŞAP KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ

Tez Danışmanı, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Orman Endüstri Mühendisliği Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 27/07/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Musa ATAR (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (ASÜ)

Üye : Prof. Dr. Hakan KESKİN (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Suat ALTUN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YÖRÜR (KBÜ)

İmzası

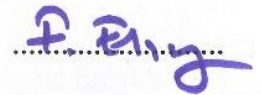


...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mehmet Erdal KARA

ÖZET

Doktora Tezi

NANOTEKNOLOJİK ÜRÜNLERLE MODİFİYE EDİLEN FF VE MUF TUTKALLARININ AHŞAP KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Mehmet Erdal KARA

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ

Temmuz 2018, 145 sayfa

Bu çalışmada, nano ürünlerden SiO_2 ve TiO_2 ile modifiye edilmiş fenol formaldehit (FF) ve melamin üre formaldehit (MUF) tutkalları kullanılarak, Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana mattf.*) ve Titrek kavak (*Populus tremula*) ağaç türlerinden elde edilen LVL ve GLULAM lamine malzemelerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, göknar ve kavak ağaç türlerinden hazırlanan deney örnekleri %2, %4 oranında SiO_2 ve TiO_2 nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkalları ile yüksek frekanslı presde yapıştırılarak LVL ve GLULAM lamine malzemeler elde

edilmiştir. Elde edilen lamine malzemelere; TS EN 323-1'e göre hacim yoğunluk belirleme, TS EN 317'ye göre 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık ve ağırlık artışı, TS 4894 EN 120 E1: $\leq 8,0$ 'e göre serbest formaldehit tayini, TS EN 319'a göre levha yüzeyine dik yönde çekme direnci, TS EN 310'a göre eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, TS 10506'ya göre vida tutma mukavemeti, TS EN 205'e göre yapışma direnci, TS 2595'e göre liflere paralel yönde basınç direnci ve TS 2477'ye göre dinamik eğilme (şok) direnci testleri uygulanmıştır. Yapılan testler ve istatistiksel analizler sonucunda nano ürün kullanımının fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine olumlu yönde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçları grup içi kontrol örnekleri ile karşılaştırarak her bir deneye ait nano ürün etki seviyesi belirlenmiştir. Buna göre, fiziksel özelliklerde en yüksek etkilere %58,90 azalış ile %4-TiO₂MUF-kavak-LVL'de, serbest formaldehit değerlerinde, Mekanik özelliklerde en yüksek etkilere %118,09 artış ile %4-SiO₂FF-kavak-LVL'de yüzeye dik yönde çekme direnci değerlerinde tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; nano ürünlerle modifiye edilmiş tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine malzemelerin ağaç malzemeye göre daha yüksek performansa sahip, insan sağlığına ve çevreye duyarlı ürün gruplarının üretilebileceği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonunda, düşük yüzdeli SiO₂ nano ürünle modifiye edilen ve MUF tutkalı kullanılarak kavak ağacından üretilen LVL'lerin kullanılması tavsiye edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Nano ürün, tutkal, lamine malzeme, fiziksel ve mekanik özellikler, termal ve morfolojik özellikler, GLULAM, LVL.

BilimKodu : 1204.5.0

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EFFECTS OF PF AND MUF ADHESIVE MODIFIED WITH NANOTECHNOLOGY PRODUCTS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD COMPOSITES

Mehmet Erdal KARA

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Industrial Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Ayhan OZCIFCI

July 2018, 145 Page

In this study, the effects of the phenol formaldehyde (PF) and melamine urea formaldehyde (MUF) glues modified by nano-technological products (SiO_2 and TiO_2) on the physical, mechanical and thermal properties of the laminated wood materials made from Uludağ fir (*Abies bornmülleriana mattf.*) and Titrek poplar (*Populus tremula*) were investigated.

For this purpose, laminated veneer lumber (LVL) and glued laminated timber (GLULAM) were produced from fir and poplar wood bonded by PF and MUF adhesives modified with 2% and 4% SiO_2 and TiO_2 in high frequency press. There

were some properties of these materials tested based on some standards such as density (TS EN 323-1), 24 hours water retentive thickness swelling and water immersion (TS EN 317), free formaldehyde amount (TS 4894 EN 120 E1: $\leq 8,0$), tensile strength perpendicular to the specimen surface (TS EN 319), modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) (EN 310), screw withdrawal resistance (TS 10506), adhesion resistance (TS EN 205), compression strength parallel to grain according to (TS 2595), dynamic bending (shock) strength in (TS 2477). The results obtained were compared with control samples and the significant effects of interactions among the factors were determined. The results showed that the highest effects in the free formaldehyde values as the physical properties were observed in the 4%-TiO₂ MUF-poplar-LVL with 58,90% decrease. In the case of mechanical properties, the highest effects were obtained in the tensile strength values in the perpendicular direction in the 4%-SiO₂ PF-poplar-LVL with the increase of 118,09%.

Overall, it has been determined that laminated materials bonded with the glues modified with nano-technological products have higher physical and mechanical performance than the other wood materials. These products also show better sensitivity to human health and environment than the other wood materials. In this respect, it is recommended that LVLs produced from poplar wood using MUF graft modified with low percentage SiO₂ nano product need to be chosen for better performance.

Key Words : Nano product, glue, laminated material, physical and mechanical properties, GLULAM, LVL.

Science Code : 1204.5.064

TEŞEKKÜR

“Nano Teknolojik Ürünlerle Modifiye Edilen FF ve MUF Tutkallarının Ahşap Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi” isimli bu çalışma, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora tezimin çalışmalarında benden ilgi ve desteğini esirgemeyen tez çalışmamın sonuçlandırılmasında değerli bilgi ve tecrübeleri ile bana her konuda yardımcı olan Danışman Hocam Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ’ye sonsuz teşekkür ederim.

Tez jürimde bulunan ve tezimi sonuçlandırmamda gösterdikleri ilgi ve alakadan dolayı Prof. Dr. Musa ATAR’a, Doktora çalışmam boyunca bana her konuda yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YÖRÜR’e, teze ait test çalışmalarında verdiği desteklerden dolayı Doç. Dr. Suat ALTUN’a, tezin hazırlanmasında tecrübelerinden istifade ettiğim Dr. Öğr. Üyesi Alperen KAYMAKCI’ya, tezin bulgular ve istatistiksel analizinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Oytun Emre SAKICI’ya çok teşekkür ederim.

Lamine ağaç malzemelerin hazırlanması ve preslenmesi işlemlerinde yardımcı olan Bulut Kontraplak ve Kaygusuzlar Orman Ürünleri firma yetkililerine ve çalışmakta olduğum Kastamonu SFC Entegre Orman Ürünleri ve Sanayi A.Ş. ailesindeki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunar, bu çalışmanın bilim dünyasına faydalı olmasını temenni ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLERDİZİNİ	xii
ÇİZELGELERDİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GENEL BİLGİLER	1
1.1. NANOTEKNOLOJİ	3
1.2. ORMAN ENDÜSTRİSİNDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI	7
1.3. NANOPARTİKÜLLER.....	8
1.3.1. Titanyum Dioksit (TiO ₂).....	11
1.3.2. Silisyum Dioksit (SiO ₂)	11
1.4. TUTKALLAR.....	12
1.4.1. Melamin Üre Formaldehit (MÜF)	12
1.4.2. Fenol Formaldehit (FF).....	13
1.5. ODUN KOMPOZİTLERİ	13
1.6. ODUN KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	14
1.6.1. Yapısal Levha Ürünleri.....	14
1.6.2. Odun Dışı Ürün Kompezitleri	14
1.6.3. Yapısal Kompozit Levha Ürünleri.....	15
1.6.3.1. Yapısal Kompozit Keresteler (SCL).....	15
1.6.3.1.1. Paralel Strand Lumber (PSL).....	15
1.6.3.1.2. Glued Laminated Timber (GLULAM)	16
1.6.3.1.3. Laminated Strand Lumber (LSL)	17
1.6.3.1.4. Laminated Veneer Lumber (LVL).....	18
1.6.3.1.5. Oriented Strand Lumber (OSL)	20

1.7. LAMİNASYON TEKİNİĞİ	21
1.7.1. Laminasyon Yönteminin Avantajları.....	22
1.6.2. Laminasyon Yönteminin Dezavantajları	23
 BÖLÜM 2	25
LİTERATÜR ÖZET	25
 BÖLÜM 3	38
MATERYAL METOD.....	38
3.1. AĞAÇ MALZEME	38
3.2. TUTKALLAR	39
3.3. NANO ÜRÜNLER.....	40
3.4. DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI.....	41
3.5. DENEY ÖRNEKLERİNİN TUTKALLANMASI.....	41
3.6. DENEY ÖRNEKLERİNİN ÜRETİLMESİ	42
3.7. DENEY VE METODLAR	43
3.7.1. Deney Numunelerinin Boyutlarının Ölçülmesi	44
3.7.1.1. En-Boy ve Kalınlık Ölçme	44
3.7.1.2. Tam Kuru Yoğunluk.....	45
3.7.2. Fiziksel Özelliklere Ait Deneyler	45
3.7.2.1. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Kalınlık Artışı	45
3.7.2.2. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Ağırlık Artışı.....	46
3.7.2.3. Serbest Formaldehit Testi	47
3.7.3. Mekanik Özelliklere Ait Deneyler.....	48
3.7.3.1. Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci	49
3.7.3.2. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü	50
3.7.3.3. Vida Tutma Mukavemeti	51
3.7.3.4. Yapışma Direnci	53
3.7.3.5. Liflere Paralel Basınç Direnci	54
3.7.3.6. Dinamik Eğilme (Şok) Direnci	55
3.7.4. Nanopartikül İlaveli FF-MUF'un Termal ve Morfolojik Özellikleri	57

3.7.4.1. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	57
3.7.4.2. Morfolojik Özellikleri (SEM).....	58
3.8. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	59
BÖLÜM 4	60
BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	60
4.1. TUTKAL VE LAMİNE MALZEMELERE AİT BULGULAR	60
4.1.1. Nano Ürünlerle Modifiye Edilen Tutkalların Özellikleri	60
4.1.2. Lamine Malzemelerin Ortalama Yoğunluk Değerleri	61
4.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR.....	62
4.2.1. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Kalınlık Artışı	62
4.2.2. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Ağırlık Artışı.....	65
4.2.3. Serbest Formaldehit Testi	68
4.3. MEKANİK ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR	69
4.3.1. Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci	69
4.3.2. Eğilme Direnci.....	72
4.3.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü	75
4.3.4. Vida Tutma Mukavemeti	78
4.3.4.1. Boyuna Yönde Katmanlara Paralel Vida Tutma Mukavemeti.....	78
4.3.4.2. Enine Yönde Katmanlara Paralel Vida Tutma Mukavemeti.....	81
4.3.4.3. Boyuna Yönde Katmanlara Dik Vida Tutma Mukavemeti.....	84
4.3.5. Yapışma Direnci	87
4.3.6. Liflere Paralel Basınç Direnci	90
4.3.7. Dinamik Eğilme (Şok) Direnci.....	93
4.4. TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLER.....	96
4.4.1.Termogravimetrik Analiz (TGA).....	96
4.4.2. Morfolojik Analiz (SEM).....	100
4.5. LAMİNE MALZEMELERE AİT OPTİMUM DEĞERLER	104
BÖLÜM 5	106
TARTIŞMA VE SONUÇ	106

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	132
ÖNERİLER.....	132
KAYNAKLAR.....	134
ÖZGEÇMİŞ	145



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Nano, mikro ve makro boyuttaki cisimler.....	5
Şekil 1.2. Yüzey hacim oranı ilişkisi.....	10
Şekil 1.3. PSL ile yapılmış yapılar	16
Şekil 1.4. GLULAM ile yapılmış yapılar	17
Şekil 1.5. LSL ile yapılmış yapılar	18
Şekil 1.6. LVL ile yapılmış yapılar	20
Şekil 1.7. OSL ile yapılmış yapılar	20
Şekil 3.1. Ağaç malzemelerde kesme ve soyma işlemi.....	38
Şekil 3.2. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan tutkallar	39
Şekil 3.3. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan nano ürünler	40
Şekil 3.4. Ağaç malzeme ve kaplamaların kurutulması	41
Şekil 3.5. Deney malzemelerinin tutkallanması	42
Şekil 3.6. Deney örneklerinin preslenmesi.....	43
Şekil 3.7. 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık ve ağırlık artışı testi	46
Şekil 3.8. Serbest formaldehit testi.....	48
Şekil 3.9. Yüzeye dik yönde çekme direnci testi.....	49
Şekil 3.10. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü testine ait görünüm.....	50
Şekil 3.11. Boyuna ve enine yönde katmanlara paralel ve dik vida tutma testine ait çizimler	52
Şekil 3.12. Boyuna ve enine yönde katmanlara paralel ve dik vida tutma mukavemeti testi	52
Şekil 3.13. Yapışma direnci testinin numune boyutları	54
Şekil 3.14. Yapışma direnci testi.....	54
Şekil 3.15. Liflere paralel basınç direnci testi	55
Şekil 3.16. Dinamik eğilme (şok) direnci testi.....	56
Şekil 3.17. Nano ürün takviyeli tutkal karışımları	58
Şekil 3.18. Etüv ve (SEM) görüntü cihazı.....	59

Sayfa

Şekil 4.1. 24 saat bekletme sonucu kalınlık artışı	63
Şekil 4.2. 24 saat bekletme sonucu ağırlık artışı	66
Şekil 4.3. Serbest formaldehit değerleri	68
Şekil 4.4. Yüzeye dik yönde çekme direnci	70
Şekil 4.5. Eğilme direnci	73
Şekil 4.6. Eğilmede elastikiyet modülü	76
Şekil 4.7. Boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma	79
Şekil 4.8. Enine yönde katmanlara paralel vida tutma	82
Şekil 4.9. Boyuna yönde katmanlara dik vida tutma	85
Şekil 4.10. Yapışma direnci	88
Şekil 4.11. Liflere paralel basınç direnci	91
Şekil 4.12. Dinamik eğilme (şok) direnci	94
Şekil 4.13. FF'nin TGA eğrileri	96
Şekil 4.14. MÜF'nin TGA eğrileri	98
Şekil 4.15. MÜF tutkalına ait SEM görüntüleri	101
Şekil 4.16. FF tutkalına ait SEM görüntüleri	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Tutkalların kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	39
Çizelge 3.2. Nanoürünlere (SiO ₂ ve TiO ₂) ait özellikler.....	40
Çizelge 3.3. Deney örnekleri üzerinde yapılan test ve standartlar	44
Çizelge 4.1. Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkalının özellikleri.....	60
Çizelge 4.2. Nano ürünlerle mdifiye edilen lamine malzemelerin ortalama yoğunluk değerleri	61
Çizelge 4.3. 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	62
Çizelge 4.4. 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	63
Çizelge 4.5. 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışına ait ortalama değerler ..	64
Çizelge 4.6. 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	65
Çizelge 4.7. 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	66
Çizelge 4.8. 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışına ait ortalama değerler ..	67
Çizelge 4.9. Yüzeye dik yönde çekme direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	69
Çizelge 4.10. Yüzeye dik yönde çekme direnci artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	70
Çizelge 4.11. Yüzeye dik yönde çekme direnci artışına ait ortalama değerler	71
Çizelge 4.12. Eğilme direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	72
Çizelge 4.13. Eğilme direnci artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	73
Çizelge 4.14. Eğilme direnci ait ortalama değerler	74
Çizelge 4.15. Eğilmede elastikiyet modülü direnci artışı etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	75
Çizelge 4.16. Eğilmede elastikiyet modülü artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	76
Çizelge 4.17. Eğilmede elastikiyet modülü artışına ait ortalama değerler	77
Çizelge 4.18. Boyuna yönde katmanlara paralel vida çekme direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	78

Çizelge 4.19. Boyunayönde katmanlara paralel vida çekme direnci etkilerine ilişkin sonuçlar	79
Çizelge 4.20. Boyuna yönde katmanlara paralel vida çekme ait ortalama değerler ..	80
Çizelge 4.21. Enineyönde katmanlara paralel vida çekme direnci varyans analizi sonuçları	81
Çizelge 4.22. Enineyönde katmanlara paralel vida çekme direnci etkilerine ilişkin sonuçlar	82
Çizelge 4.23. Enineyönde katmanlara paralel vida çekme ait ortalama değerler	83
Çizelge 4.24. Boyunayönde katmanlara paralel vida çekme direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	84
Çizelge 4.25. Boyunayönde katmanlara paralel vida çekme direnci etkilerine ilişkin sonuçlar	85
Çizelge 4.26. Boyunayönde katmanlara paralel vida çekme ait ortalama değerler ..	86
Çizelge 4.27. Yapışma direnci artışı etkilerine ilişkin çokluyaryans analizi sonuçları	87
Çizelge 4.28. Yapışma direnci artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	88
Çizelge 4.29. Yapışma direnci artışına ait ortalama değerler	89
Çizelge 4.30. Liflere paralel basınç direnci artışı etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	90
Çizelge 4.31. Liflere paralel basınç direnci artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	91
Çizelge 4.32. Liflere paralel basınç direnci artışına ait ortalama değerler	92
Çizelge 4.33. Dinamik eğilme (şok) direnci artışı etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları	93
Çizelge 4.34. Dinamik eğilme (şok) direnci artışı etkilerine ilişkin sonuçlar	94
Çizelge 4.35. Dinamik eğilme (şok) direnci artışına ait ortalama değerler	95
Çizelge 4.36. FF'in TGA eğirisine ait veriler	97
Çizelge 4.37. MÜF'ün TGA eğirisine ait veriler	98
Çizelge 4.38. Lamine malzemelerin fiziksel ve mekanik mukavemetlerine ait optimum değerler.....	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	: Alüminyum sülfat
bar	: Basınç
cm	: Santimetre
cm^2	: Santimetrekare
cm^3	: Santimetreküp
C	: Karbon
CeO_2	: Seryum oksit
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece
dk.	: Dakika
Do	: Tam kuru yoğunluk
F	: Kuvvet
F_{max}	: Kırılma anındaki maksimum kuvvet
FF	: Fenol formaldehit
Fe_3TiO_3	: Demir titanyum dioksit
g	: Gram
gcm^3	: Gram santimetreküp
H	: Hidrojen
Hg	: Homojenlik grubu
kg	: Kilogram
mg	: Miligram
m	: Metre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
mm	: Milimetre
mm^2	: Milimetrekare

MHz	: Megahertz
MPa	: Megapascal
MÜF	: Melamin üre formaldehit
nm	: Nanometre
N	: Newton
N/mm ²	: Newton milimetrekare
O	: Oksijen
Ort.	: Ortalama
p	: Önem düzeyi
sn	: Saniye
SiO ₂	: Silisyum dioksit
TiO ₂	: Titanyum dioksit
ÜF	: Üre formaldehit
UV	: Ultraviyole (Morötesi)
Zn	: Çinko oksit

KISALTMALAR

AR-GE	: Araştırma-Geliştirme
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DIN	: Deutch Industrie Normen(Alman Endüstri Normları)
DSC	: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)
EWP	: Engineered Wood Products (Sağlamlaştırılmış Ağaç Malzeme)
EDS	: Enerji Saçınım Spektrometresi (Energy Dispersive Spectroscopy)
GLT	: Glued Laminated Timber (Yapıştırılmış Lamine Kereste)
GLULAM	: Glulam Laminated Lumber (Lamine Ahşap Kereste-Kiriş)
HDF	: High Density Fiberboard (Yüksek Yoğunluklu Liflevha)
HMTA	: Hegzametilen Tetramin
ISO	: International Organization for Stand. (Uluslararası Standartlar Örgütü)
LPBD	: Liflere Paralel Basınç Direnci
LSL	: Laminated Strand Lumber (Yönlendirilmiş Lamine Kereste)
LVL	: Laminated Veneer Lumber (Lamine Ahşap Kaplama)

MAM	: Mühendislik Ürünü Ağaç Malzeme
MD	: Mikrodalga
MDF	: Medium Density Fiberboard (Orta Yoğunluklu Liflevha)
OSL	: Oriented Strand Lumber (Yönlendirilmiş Kereste)
PSL	: Paralel Strand Lumber (Paralel Yönlendirilmiş Kereste)
SCL	: Structural Composite Lumber (Yapısal Kompozit Kereste)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SPSS	: Statistical Package for Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paket)
TAM	: Tabakalı Ağaç Malzeme
TGA	: Thermogravimetric Analysis (Termogravimetrik Analiz)
TKK	: Tabakalı Kaplama Kereste
TS	: Türk Standardı
TS EN	: Türk Standardı Avrupa Normu
YF	: Yüksek Frekans

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

Son yıllarda dünya genelinde orman kaynaklarının bilinçsiz tüketimi, doğal felaketler ve orman endüstrisinde her geçen gün artan kapasite kullanımı nedeniyle istenilen özelliklerde ağaç malzemenin tedarik edilmesini güçleştirmiştir. Mevcut kaynaklarında korunması, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için birçok önlem alınmış olsa da henüz istenilen düzeyde bir başarı sağlanabilmiş değildir. Özellikle odun hammaddesindeki küresel darboğazlar, günden güne artan maliyetler ve kimyasal malzeme tedarikindeki güçlükler nedeniyle işletmeler kalite ve kapasite faktörlerini göz önünde tutarak daha ekonomik ve çok amaçlı kullanım özelliği olan nanoteknolojik ürün gruplarını kullanmaya önem vermeye başlamışlardır.

Ağaç malzemenin diğer mühendislik malzemelerine göre doğal olması, kolay işlenmesi, doğada çok miktarda bulunması, çevre dostu olması, fiyatının ucuz olması, farklı renk, tekstür, estetik vb. özelliklere sahip olması gibi birçok üstün özellikleri bulunmaktadır. Bu üstün özelliklerin mantar ve böcekler tarafından kolay tahrip edilmesi, biyolojik dayanımın zayıf olması ve yeterli boyutsal kararlılık gösterememesi nedeniyle farklı üretim teknikleri ile değişik formlarda kompozit ya da lamine malzemelere dönüştürülerek kullanıma yoluna gidilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1997; Risbrudt, 2005).

Kompozit terimi iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturdukları yeni malzeme grubunu ifade etmektedir. Odun kompozitleri ise ağaç malzemelerin aynı ya da başka bir materyal ile uygun tutkallar kullanılarak yapıştırılması sonucu elde edilen yeni malzemeleri ifade eder (Güller, 2001). Odun kompozitleri mühendislik ürünü ağaç malzemeler olarak da tanımlanabilir. Ağaç malzemedeki olumsuzluklar üretim sırasında yapılan müdahalelerle giderilebilmekte ve ağaç malzemeye göre daha üstün bir malzeme grubu elde edilebilmektedir. Gelişen

teknolojiye paralel olarak nanoteknoloji alanındaki yenilikler farklı üretim yöntemlerinin, farklı hammadde ve malzeme gruplarının oluşmasına olanak sağlamıştır. Nanoteknoloji alanındaki çok hızlı gelişmeler nedeniyle, bu teknolojinin gelecekteki yeni bir sanayi devriminde itici güç olacağına inanılmaktadır. Bu teknoloji birçok endüstriyi yeniden şekillendirecek büyük bir fırsat olarak akademik çevrede ve dünyada hızla artan bir ilgi görmektedir (Bardak ve ark, 2016).

Malzemelerin atomik ve moleküler boyutlardan itibaren başlanarak işlenmesi, konvansiyonel yöntemlerle üretilen malzemelere göre daha sağlam ve hafif ürünlerin elde edilmesini sağlayacaktır. Bu ürünlerin, daha az hata yapma oranları ve daha kolay uygulanabilir özellikleri ile gelecekte birçok endüstriyel süreç köklü yenilikler katacaktır. Bu üstün özellikleri ile nano tüpler, elyaflar, lifler ve kaplama malzemeleri farklı üretim tekniklerinin gelişmesine imkan verecektir (Akgün, 2008).

Nanoteknoloji ile üretilen ürünler günümüzde orman ürünleri endüstrisinde başlangıç düzeyinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle gerek endüstri kuruluşlarında gerekse akademik olarak üniversitelerde çok ciddi çalışmalar ve inovasyonlar yapılmaktadır. Nanoteknolojik ürünler ile modifiye edilen lamine ağaç malzemeler masif malzemelere göre daha yüksek fiziksel, mekanik ve morfolojik özelliklere sahip, çevre dostu yeni odun kompozit malzemelerinin GLULAM (Glued Laminated Timber), LVL (Laminated Veneer Lumber), PSL (Parellel Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber) ve OSL (Oriented Strand Lumber) üretilmesine olanak sağlamıştır.

Nano boyutlu partiküllerin orman ürünleri endüstrisinde kullanımı oldukça yeni ve popüler bir konudur, ancak halen AR-GE ve başlangıç aşamasındadır. Bu alanda yapılan çalışmaların artırılması önem arz etmektedir. Nano boyutlu partiküllerin orman ürünleri endüstrisinde kullanımının yaygınlaşması amacıyla yapılan çalışmaların desteklenmesi ve ivme kazandırılması ülkemiz 2023 vizyonu için son derece önemlidir. Son 5 yılda bu alanda farkındalık oluşturmak amacıyla yapılan bazı önemli araştırma ve çalışmalar genel olarak ahşap plastik kompozitler, MDF, yongalevha, kontrplak, OSB ve HDF gibi odun kompozitleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir.

Yapısal amaçlı kullanılan Glulam, PSL, OSB ve LVL gibi kompozit malzemeler ile nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar genel itibariyle sınırlı kalmıştır. Bundan dolayı; bu çalışmanın amacı yukarıda bahse geçen nanoteknolojik ürünlerden olan SiO₂ ve TiO₂ ile modifiye edilen (FF) ve (MUF) tutkalları kullanılarak göknar ve kavak ağaç türlerinden elde edilen lamine ağaç malzemelerin (GLULAM ve LVL) mekanik, fiziksel ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Böylece nano ürünlerin kullanılması ile üretilen lamine ağaç malzemelerin kullanım yeri ve amacına göre daha ekonomik ve performansı yüksek farklı odun kompozit malzemeleri üretilmesinin önünü açması bakımından önemli olacaktır.

1.1. NANOTEKNOLOJİ

Yunanca “nannos” kelimesinden gelen ve “cüce” anlamına karşılık gelen nano, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri olarak tarif edilmekte ve çoğunlukla metre ile birlikte kullanılmaktadır. Nanometre, 5 ila 10 atomun peşi sıra dizilmesinden oluşan, metrenin 1 milyarda biri ölçüsüne karşılık gelen uzunluğu temsil etmektedir. İnsan saç telinin çapının yaklaşık 50 bin, dna molekülünün ise 2,5 nanometre olduğu varsayılırsa, oldukça küçük bir ölçekten bahsedilmektedir (Poole ve Owens, 2003).

Nanoteknoloji 1-100 nanometre (nm) ölçek arasında bulunan malzemeler, sistemler ve işlemler ile ilgilidir. Bir nm bir mikrometrenin (µm) binde biri, bir milimetrenin milyonda biri ve bir metrenin (mm) milyarda biridir (Alfadul ve Elneşwy, 2010).

Nanoteknoloji ile ilgili ilk olarak ünlü fizikçi Richard Feynman 1959’da katıldığı bir kongrede “Aşağıda daha çok yer var. Atomları tek tek istediğimiz gibi düzenleyebilseydik ne olurdu?” diyerek nanoteknoloji hakkındaki vizyonu ortaya koymuştur (Körözlü, 2016). “Nanoteknoloji” kavramı; nano ve teknoloji kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Teknoloji, yaralı ürünler üretmeye ve tasarlamaya yarayan bilgiler bütünüdür (Ayhan, 2002; Celep, 2007). Nano, Yunanca “cüce” demektir. İnsan saç telinin çapının yaklaşık 100.000 nanometre olduğu düşünülürse ne kadar küçük bir ölçekten bahsedildiği daha rahat anlaşılabilir. Diğer bir ifadeyle, bir nanometre içine yan yana ancak 2-3 atom dizilebilir (Akbaş ve Özarslan, 2007; Bayındır, 2006; Çıracı, 2005).

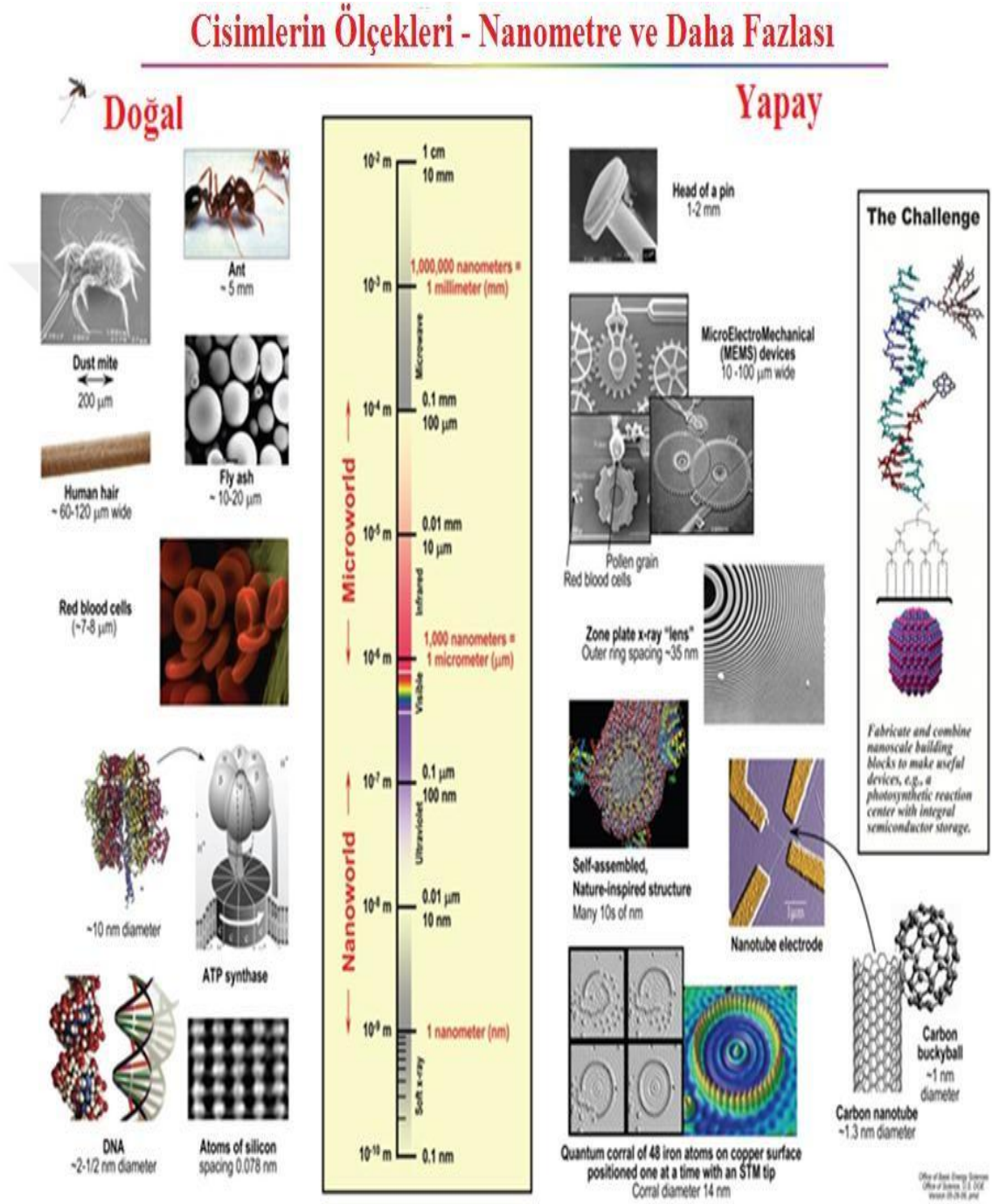
Daha geniş bir ifadeyle nanoteknoloji maddelerin atomik moleküler boyutta yani nano boyutta mühendisliğin yapılmaması olarak tanımlanmaktadır. Bu sayede, elde edilen nano boyuttaki yeni maddelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak farklı özelliklerinin açığa çıkartılarak daha işlevsel malzemelerin ve sistemlerin geliştirilmesi sağlanabilir (Kut ve Güneşoğlu, 2005; Erem ve Özcan, 2013).

Nanobilim ve nanoteknoloji 1 ile 100 nm boyutundaki maddelerden elde edilen yeni yapıların analizini ve kontrol edilmesini içerir. Nanobilim fizik, kimya, biyoloji ve malzeme bilimlerinin doğru yöntemlerini kullanarak atomların ve maddenin nano boyutlarda yeniden dizilişi ve karakteristiğini inceler. Nanoteknoloji ise nano biliminin bulgularını ve geliştirdiği yöntemleri mühendislik disiplini ile ürüne dönüştürerek moleküler boyutlardaki malzemelerin yapısını incelemek için araştırmacılara kolaylık sağlar. Örneğin, ürünlere nano-moleküllerin eklenmesi sayesinde ısı ve ateşe karşı direnç, daha iyi fiziksel ve mekanik özellikler, termal performans ve gazlara karşı daha yüksek direnç sağlanabilir (Çeliker, 2005).

Nanoteknoloji nanobilimin, biyolojiden bilgi teknolojilerine kadar birçok alanda fonksiyonel bir çalışma faaliyetlerini barındıran bir bilim dalı olarak ifade edilmektedir. Bir nanometre, bir metrenin milyarda biri, diğer bir ifadeyle, insanın saç telinden 80.000 kez daha incedir. Nanobilimin en önemli ayırt edici özelliği nano boyutlardaki fonksiyonellik ve teknik olarak anlaşılabilir ve kontrol edilebilir olmasıdır. Bu özelliği sayesinde sadece yeni materyalleri değil, aynı zamanda yeni prosesleri, yeni formları ve eski malzemelerin yeni fonksiyonellikleri ile de ilgilidir (Çıracı, 2005; Jones et al. 2005).

Nanoteknoloji sayesinde günümüzde elektronik, optik, nano biyolojik sistemler, nano ilaçlar ve sağlık, enerji, kimya, fizik, boya, batarya, bilgisayar ve bilişim teknolojisinde vb. alanda malzeme üretimi ve uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, nano boyutlarda yapılan malzeme ve cihazların özelliklerinin bilinmesi, araştırılması, tasarımı ve üretimi için nanoteknoloji, birçok alanda çalışması gereken önemli bir konudur (Guozhong,2004).

Gelecek yıllarda lignoselülozik esaslı ürünlerin daha etkin bir şekilde üretilmesi için, çalışmalar, hızlı bir şekilde ahşap esaslı malzemelerin mikronaltı (sub-micron) seviyede yapısının araştırılmasına yönelmiştir. Nanometre boyutundaki nesnelerin makro ve mikro objeler ile görsel karşılaştırılması Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Nano, mikro ve makro boyuttaki cisimler (Usa Doe, 2006).

Nanoteknoloji günümüzde çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bunlar; insan vücudunda hücreler düzeyinde işlev gösteren cihazlar, atıkları çok faydalı ürünlere dönüştürebilen malzemeler bunlardan sadece birkaçıdır (Hongladarom, 2009).

Nanoteknolojinin amacı, moleküler ölçekte çalışarak, moleküler yapısı yenilenmiş büyük yapılar elde etmektir. Bu nedenle malzemelerin nanometrik boyuttaki özellikleri, aynı malzemenin makro boyuttaki özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Nano kompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşan malzemelerdir. Bir taneciğin nano olarak belirtilebilmesi için en az bir boyutunun nanometre seviyesinde olması gerekir. Nano kompozitlerin malzemelere kazandırdığı en önemli üstünlükler; modülü arttırması, direncinin arttırması, termal stabilitesini arttırması ve yanmaya karşı direncinin artması ve boyut stabilizasyonunun iyileştirmesi olarak sıralanabilir (Anonim, 2011a).

Nanoteknoloji alanındaki bilimsel gelişmeler sayesinde bu ürünler günlük yaşantımıza daha fazla girmiştir. 2011 yılında nano ürünlerin dünyadaki üretimi 1.7 milyar \$ ve son 5 yıl içerisindeki büyüme oranı %10.4 olarak tespit edilmiştir. 2016 yılı itibariyle ise nano materyal pazarın artan taleplerine bağlı olarak 5.8 milyar \$ ve büyüme hızının %23'lere ulaşacağı ön görülmektedir (Anonim, 2016b).

Türkiyede nanoteknoloji dünyadaki gelişmelere nispeten başlangıç aşamasında olup, toplumun güvenlik, sağlık ve refah düzeyinin arttırılması, rekabetçi ve sürdürülebilir bir kalkınma hedefi doğrultusunda çok önemli gelişmeler olacaktır. Dünya’da 1990’lı yılların başlarında gelişmekte olan nanoteknoloji ve nanobilim yaklaşımları Türkiye’de 2000’li yılların başından itibaren somut çalışmalar ve adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu somut adımlardan başında ve hepsinden önemlisi 2023 yılı Türkiye vizyonuna ulaşılmasında nanoteknoloji gerekli ve öncelikli faaliyet alanlarından biri olarak tanımlayan Vizyon 2023 Strateji Belgesidir (Tüsiad, 2008). Ülkemizde ise T.C. Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Bilkent Üniversitesi’nde sunulan bir proje aracılığıyla ulusal nitelikte bir nanoteknoloji araştırma merkezi kurulması için destek sağlamış ve Ankara’da Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) kurulmuştur (Çıracı, 2006).

Ülkemizin köklü üniversitelerinde (ODTÜ, İTÜ, TUBİTAK, İstanbul, Hacettepe, Sabancı, Koç, Gebze Yüksek Teknoloji) nanoteknoloji laboratuvarları oluşturulmuş olup arge faaliyetlerine devam edilmektedir. Üniversitelerin yanı sıra bazı özel sektör işletmeleri de kendi bünyelerinde nanoteknoloji alanında araştırma ve geliştirme faaliyetlerini yürütmektedir (Tüsiad, 2008). İstanbul Üniversitesi tarafından desteklenen araştırma projeleri kapsamında Orman Endüstri Mühendisliği Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı bünyesinde "Nanoteknoloji Laboratuvarı" ve nano ürünlerle modifiye edilmiş ahşap kompozit malzemelerin ve ahşap tutkalların (thermosetting polimerler) üzerine araştırmalar yapan ilk "Termal Analiz Laboratuvarı" kurulmuştur.

1.2. ORMAN ENDÜSTRİSİNDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Nano ürünler henüz araştırma geliştirme aşamasında olmasına rağmen ambalaj, gıda, sağlık, otomotiv, inşaat, sensörler ve elektronikler birçok alanda ticari olarak uluslararası pazarlarda kendine yer bulmaya başlamıştır. Nanoteknoloji diğer alanlarda olduğu gibi orman ürünleri sanayinde hammadde üretiminden polimer ve polimer esaslı yapıştırıcılar, kimyasllarla birlikte ahşap ve ahşap esaslı kompozit malzemeler üretimlerine yönelik yeni yaklaşımlara ve kağıt ürünleri için yeni uygulamalara, fonksiyonel nanolignoselüloziklerin yeni nesillerine kadar tüm yönleriyle dönüştürme potansiyeline sahiptir (Candan, 2012). Nanoteknoloji için diğer önemli kullanım alanları arasında, ahşap esaslı malzemelerin yapıştırılmasında tutkal ile modifiye edilerek kullanılmaktadır. Bu sayede elde edilen lamine malzemelerin yapışma, eğilme ve elastikiyet, vida tutma vb mekanik özelliklerde, kalınlık artışı ve su alma ve serbest formaldehit emisyon değerlerinin iyileştirilmesigibi fiziksel özelliklerde, ısı ve yanmaya karşı termal direnç özelliklerinin iyileştirilmesinde, kullanıldağı görülmektedir (Jones et al. 2005).

Nanobilim ve nanoteknoloji, günümüzde geldiği nokta itibariyle, multi-disipliner yönünü pratikte sektörel alanda kanıtladığı gibi kısa süre içinde orman ürünleri endüstrisinin de öncelikleri arasına girmiştir. Nanoteknoloji, endüstriyel alanda lazerlerin, mikrosensörlerin, mikromakinaların, optoelektronik elemanların ve komponentlerinin uygun şekilde bir araya getirilerek üretilme imkan ısığlarken,

ahşap ve mobilya sanayiinde de ağaç işleme ve mobilya üretim makinalarına, kimyasallardan tutkallara, mobilya tekstilinden duvar boyalarına kadar hemen hemen her ürün nanoteknoloji uygulanarak daha uygun niteliklerde üretilmekte ve sektörün kullanımına sunulmaktadır (Anonim, 2016a).

Nanoteknoloji, yeni veya geliştirilmiş yaklaşımı ile ahşap esaslı lamine malzemelerin üretimini kolaylıkla sağlayabileceği düşünülmektedir. Nanoteknoloji, kullanılmaya uygun farklı hammadde türlerinden odun kompozit ve kâğıt ürünleri için yeni uygulamalara, fonksiyonel nanoboyutta lignoselüloziklerin yeni jenerasyonlarına kadar uzanan bütün yönleriyle orman ürünleri endüstrisini dönüştürebilir (Jones et al. 2005). Nanoteknolojinin orman ürünleri endüstrisinde önemli bir etkiye sahip olduğu ancak bunun yakın gelecekte değil, uzun dönem içinde gerçekleşebileceği ifade edilmektedir (Roughley, 2005). Nanoteknolojinin faydalarının endüstriye aktarılması ve tanıtılması, zaman ve uygulama açısından her ne kadar güç görülsede halen kullanımda olan hammaddelerin geliştirilmesi suretiyle nanoteknolojinin endüstriyi olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, nanoteknoloji, orman ürünleri endüstrisinin amaçlarına ulaşmasında yardımcı olabilecek çok büyük bir potansiyele sahip görülmektedir (AF&PA, 2006).

Nanoselülozlignoselülozik hammadde kaynaklarından elde edilebilen ve fiziksel, kimyasal ve morfolojik özellikleri bakımından elde edilen son ürünler üzerine olumlu etkiler kazandıran ve orman ürünleri alanında bu potansiyeli ile büyük önem arz eden bir hammadde kaynağıdır. Nanoselülozlar farklı boyutlarda, farklı özellikleri ve farklı üretim yöntemleri içermesi bakımından mikrofibrillenmiş selüloz, nanokristalin selüloz ve bakteriyel nanoselüloz olarak üç farklı özellikte üretilmektedirler (Tozluoğlu vd. 2015).

1.3. NANOPARTİKÜLLER

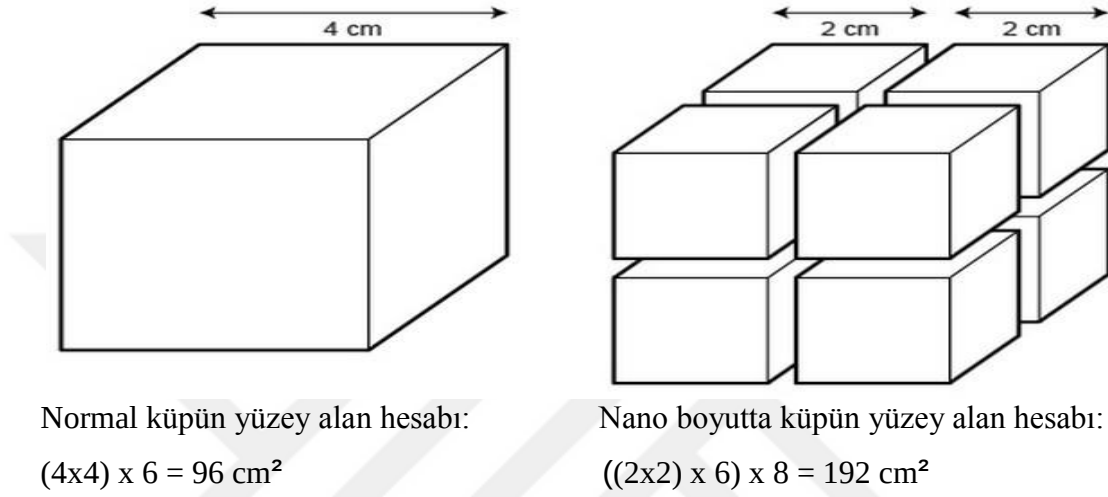
Günümüzde nanoteknoloji hızla çok sayıda endüstriyi değiştirmektedir. Bu değişim merkezinde nanomalzemelerin özellikleri ve karakteristikleri vardır. Sıkı rekabet koşulları ve daha yüksek kalite gereksinimleri üreticileri sürekli yeni ürünler geliştirmeye zorlamaktadır (Dikensoy, 2010).

Nano ölçekteki malzemeler, ana malzemenin moloküler haldeki özelliklerinden çok daha farklı yapısal özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle yüzey davranışların kütsel malzeme davranışlarını baskıladığı düşünölmektedir. Yüz nanometreden daha küçük boyutlara sahip olan malzemeler, kütsel haldeki malzemelere göre toplam hacimlerine göre çok daha büyük oranda yüzey alanlarına sahiptirler. Bu sayede kompozit malzemelerde nanoparçacıkların kullanımı, bunların sertliğini artırabilir ve/veya ağırlıklarını düşürebilir. Ayrıca, nano ürün parçacıklarının kullanımı ile elde edilecek malzemelerin kimyasal ve termal dayanıklılıklarını artırabilir (Tüsiad, 2008).

Kütsel malzemedeki daha büyük parçacıklar ile kıyaslandığında, nanopartiköller (nanoparçacıklar) tamamen yeni ya da gelişmiş (boyut, dağılım, morfoloji, faz, vb. dayalı) niteliklere sahip olmaktadır. Nanopartiköllerin boyutları azaldıkça yüzey hacim oranı artmaktadır (Fiedler ve diğ. 2006; Tüsiad, 2008). Nano ürünlerin polimer dolgusu olarak kullanılması ile geniş yüzey alanlarında, güçlü polimer dolgu etkileşimini sağlayarak daha düşük seviyelerdeki nano kullanımlarında daha efektif güçlendirmeye imkan tanıyarak malzemenin performansı arttırmaktadır. Ayrıca daha az malzeme kullanım buna ilaveten daha az malzeme kullanımına imkan tanıyarak üretim maliyetlerinin azalmasını sağlar. Silikat nanomalzemelerin tabaka halindeki yapılara sahip bulunması ve polimerik malzemeye göre düşük oranda silikat ilavesine rağmen daha büyük özgül alan elde edilebilir (Tüsiad, 2008).

Nanopartiköllerin sentezi ve bu yapıların ortaya koyduğu olağandışı davranış ve özellikler nedeniyle yüksek aktiviteli katalizörler, optik uygulamalar için özel teknolojik ürünler ile birlikte süperiletkenler, aşınmaya dayanıklı katkıları, yüzey aktif maddeler, ilaç taşıyıcıları ve özel teşhis aletleri gibi birçok teknolojik ve farmakolojik ürünlerin hazırlanması ve üretilmesinin önünün açmıştır. Aynı zamanda malzemelerin nanoboyut ölçeğinde karşılaştırılması kontrolü nanotaşıyıcıları, sensörler, nanomakinalar ve yüksek yoğunluklu veri depolama aygıtları gibi kendine özgü işlevselliğe sahip minyatürleştirilmiş cihazların üretilmesine imkan vermektedir (Gürmen ve Ebin, 2008;Liveri, 2006).

Nanopartiküllerin sahip oldukları en önemli özelliklerden biri de boyutlarının küçültülebilmelerinden kaynaklanmaktadır. Bir parçacık nano boyuta indirildiğinde hacim başına daha büyük bir yüzey alanı elde edilir. Daha da önemlisi parçacık yüzeyinde molekül veya atom oranlarında yüksek bir artış olur (Dongguang vd., 2002). Şekil 1.2’de Yüzey hacim oranı ilişkisi verilmiştir.



Şekil 1.2. Yüzey hacim oranı ilişkisi (Bardak ve ark, 2016).

Nanopartiküllerin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi tutkal uygulamalarına nano ölçekte yeni olanaklar sunmuştur. Nanopartikül takviyesi ile tutkalların geliştirilmesi günümüzde malzeme bilimi ve mühendisliğin en çok araştırılan konuları arasında yer almaktadır (May vd. 2010).

Yapılan çalışmalarda polimer malzemelerin nanopartiküller ile yüklendiğinde daha yüksek mekanik mukavemet, ısı, iletkenlik ve geliştirilmiş elektriksel performans gösterdiği belirlenmiştir. Yapıştırıcı formülasyonlarında tercih edilen başlıca nano dolgu malzemeleri şunlardır: Silis, alüminyum oksit, magnezyum oksit, titanyum dioksit, zirkonyum oksit, gümüş, bakır ve nikeldir (Licari ve Swanson, 2016). Bu çalışmada nano ürün olarak kullanılan ve orman endüstrisinde ve diğer alanlarda kimyasal özellikleri üstün performansları bakımından en çok tercih edilen TiO_2 ve SiO_2 kullanılmıştır.

1.3.1. Titanyum Dioksit (TiO₂)

Titanyum dioksit (TiO₂) birçok kullanım alanında tercih edilen bir metal oksittir. Doğal olarak meydana gelen, titanyum dioksit (TiO₂); titania olarakta bilinmekte, doğada saf olarak bulunmamakta ve demir titanyum dioksit (Fe₃TiO₃) cevherlerinden üretilmektedir. Isı ve ışık stabilitesi yüksek olan titanyum dioksit; su ve organik çözücülerde çözünmemekte, hidroflorik asit ve sıcak derişik sülfürik asit çözeltisinde ise yavaş çözünmektedir. Sertleşmiş reçinelerde hava şartlarına dayanımı artırır. Yoğunlukları 20 °C de 3,5-4 gr/cm³ olup erime sıcaklığı 1830 °C dir. Titanyum dioksit termoset reçine bileşimlerinde çeşitli metal oksitleri dolgu malzemesi veya beyaz pigment olarakta bilinir ve önemli bir UV absorbiyıcısı olarak kullanılır. Gözüken bölgede yüksek geçirgenlik ve kırılma indisine sahip olması gibi birçok özelliğı sayesinde optik uygulamalarda, fotovoltaiik veya elektrokromik aygıtlarda, sensörlerde, kozmetikte en çok tercih edilen bir malzemedir. (Elim vd. 2003), (Lee vd. 2001),

1.3.2. Silisyum Dioksit (SiO₂)

Silisyum yeryüzünde en fazla bulunan ve yarıiletken özelliğı sahip elementlerden biridir. Transistör, Diyot ve hafızalarda kullanılablmesinin pratik oluşu, entegre devrelerin ve bilgisayarların silisyum teknolojisi üzerine inşa edilmesini sağlamıştır. Kristalleşmiş silisyum, gri-kahverengi renkte, oldukça sert ve metal parlaklığındadır. Fiziksel ve kimyasal özellikleri yönüyle karbona benzeyen silisyum, doğada serbest olarak bulunmaz. Dünyadaki oksijenden sonra doğada en çok bulunan element olup, oksijenle bileşik yaparak oluşturduğu, silis ya da kuvars olarak bilinen silisyum dioksit (SiO₂) biçiminde görülür. Yoğunlukları 20 °C de 2,34 g/cm³ olup erime sıcaklığı 1420 °C dir. Silisyum dioksit düşük termal genleşme katsayısına sahiptir ve yüksek erime sıcaklığı nedeniyle ısıya karşı dayanıklıdır. Cam ve çimento gibi malzemelerin temel bileşenini silisyum dioksit oluşturmaktadır. Saf kristal halindeki kuartzların bileşiminden oluşan kristalleşmiş silisyum dioksit, bu sebeple saydam ve renksiz camı oluşturur; cam bardaklar, şişeler ve pencere camı üretiminde kullanılmaktadır (Özüğür, 2012).

1.4. TUTKALLAR

Günümüzde genel amaçlı yapıştırıcı olarak orman endüstrisinde termoset reçineler kullanılmaktadır. Bunlar; genellikle üre üre formaldehit (ÜF), fenol formaldehit (FF), melamin-üre formaldehit (MÜF), resorsin formaldehit, ve izosiyanat tutkallarıdır. Üre formaldehit tutkalının suya karşı zayıf karakterli olması nedeniyle tutkal çözeltisine doğrudan melamin ilavesinin önemli fayda sağladığı rapor edilmiştir (Demirkır ve ark., 2005; Tan ve Çolakoğlu, 2010).

Ağaç malzemede fiziksel ve mekanik özellikleri etkileyen önemli faktörlerden biride tutkaldır. Bunlar, genellikle tutkal türü, karakteristik yapısı, tutkal üretim reçetesi formülü (viskozite, dolgu ve katkı maddesinin miktarları) ve yüzeye sürülen tutkal miktarı (tutkal katman kalınlığı) ve tatbik şeklidir. En uygun değerler tutkal-ağaç türü dolgu maddesi cinsi ve pres teknolojisine bağlı olarak denemelerle belirlenmiştir (Çolakoğlu, 1998). Düzgün yüzeylere sahip malzemelerin yapıştırılmasında yeterli basınç tatbik edildiğinde, tutkalın bir yüzeyden diğer yüzeye transferi daha homojen olmakta ve yapışma direncinde daha iyi sonuçlar elde edilmektedir (Yörür, 2010).

1.4.1. Melamin Üre Formaldehit

Melamin Üre Formaldehit (MÜF) tutkalı tedarikçi firma tarafından, mobilya ve ağaç sanayi için suya dayanıklı E1 kontrplak üretiminde kullanılan tutkal olarak tanımlanmıştır. MÜF tutkalı Termoset polimerlerden olup, toz veya çözelti halindeki üre ile melamin formaldehitin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Piyasada ticari olarak genellikle toz halinde satılır. Su ve dış hava şartlarına karşı dirençli bir tutkaldır. Genellikle laminat kaplamaların üretiminde kullanılır.

MÜF reçineleri daha çok iç ortamlardaki rutubetli alanlarda kullanılacak odun kompozit levhalarının üretiminde, düşük ve yüksek basınçlı kâğıt laminatların üretiminde kullanılmaktadır. ÜF reçinesine göre en önemli üstünlüğü suya karşı çok daha dirençli olmasıdır. Yaygın kullanımı ve ekonomik önemine rağmen, ÜF tutkalına göre, bu yapıştırıcıya literatürde daha az yer ayrılmıştır (Çolakoğlu ve ark, 2002). MÜF tutkalının formaldehit emisyonu ÜF tutkalından daha düşüktür ve daha fazla higroskopisiteye sahiptir (Kalaycıoğlu ve Özen, 2010).

1.4.2. Fenol Formaldehit

Fenol formaldehit tutkalı (FF) fenol ile formaldehitin katalizörler yardımıyla kondenzasyonu ile elde edilmektedir. FF tutkalı üretici firma tarafından, uygun sertleştirici ile birlikte dış cephelerde ve tabakalı kontrplak üretiminde kullanılan tutkal olarak tanımlanmıştır. Fenol formaldehit tutkalı koyu renklidir. Suyu ve açık hava koşullarına karşı dayanıklı bir yapışma sağlamaktadır. Fenol ve formaldehitin kondenzasyonu asidik veya alkali ortamda gerçekleşir ve sonuçta novalak ve resol adlı tutkallar oluşur (Kalaycıoğlu ve Özen, 2010).

1.5. ODUN KOMPOZİTLERİ

Odun kompozitleri terimi oldukça yeni bir terimdir. Ahşap panel endüstrisinde çok küçük partiküllerin olduğu liflerden yada daha büyük boyutlu ve geniş malzemelerin yapıştırılmasıyla oluşturulan bir çok malzeme farklı adlarda ifade edilmektedir. Farklı isimlerle ifade edilen bu ürünlerin odun kompozitleri başlığı altında değerlendirilmesi son 25-30 yılı kapsamaktadır (Maloney, 1986). Genel olarak, kompozit terimi farklı özelliklere sahip iki yada daha fazla materyalin yapıştırılarak bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzemeleri ifade etmektedir (Mallick, 1997). Odun kompozitleri ise odunsu materyalin başka bir odunsu bir materyal ya da odunsu olmayan başka bir malzeme ile uygun yapıştırıcılar kullanılarak birleştirilmesiyle elde edilen malzemeleri ifade eder. Kompozitler sadece levha ürünlerine yönelik değil aynı zamanda odun ve diğer malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan ürünleri de ifade etmektedir. Bu ürünler lif levhadan lamine malzemelere kadar geniş bir dağılım göstermektedir (Anonim, 1999).

Mühendislik ürünü ağaç malzeme (MAM)'ın kullanılan hammadde türü ve üretim yöntemine göre farklılık gösterdiğini, bu ürünlerin yapısal kompozit kereste ürünleri tutkallanmış kaplama, kaplama şeritleri veya şerit yongaların son ürününün boyuna paralel olacak şekilde sıcaklık ve basınç altında preslenerek kereste formu verilmesi ile üretildiğini belirtmiştir. Ayrıca, yapısal kompozit kereste ürünlerinin ticari alanda çeşitli türleri mevcut olduğunu bu ürünlerin genel olarak üretim sürecine göre adlandırıldığını, piyasada bu ürünlerin çeşitli emprenye maddeleri ile işlem görmüş türlerinin olduğunu ifade etmiştir (Enam, 2008).

Oduna ait özellikler aynı türe ait ağaçlara arasında yada aynı ağacın değişik kısımlarında farklılıklar oluşabildiği için kompozit malzemelerin özelliklerinden farklıdır. Odun kökenli kompozit malzemelerin özellikleri lif, yonga, kaplama vb. seviyesinde incelenir. Bu tür malzemelerin özellikleri üretim projesindeki işlemlere müdahale edilerek (bu elemanların kombinasyonları, kullanılan madde miktarı, işlem süreleri, tabakaların organizasyonu vb.) değiştirilebilir (Maloney, 1986).

1.6. ODUN KOMPOZİTLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Odun kompozitlerin orman ürünleri endüstrisinde, inşaat sektöründe, yapısal iç ve dış mekânlarda birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bu nedenle ürünün özelliği, yoğunluğu, kullanılan yapıştırıcının cinsi ve miktarı önem arz etmektedir. Odun kompozit malzemeler kullanım yerinde su, yangın ve çevresel etkilere karşı direncini arttırmak amacıyla ilave işlemler görmektedir. Günümüzde bazı kompozit malzemeler birlikte gruplandırılıp “Engineered Wood Products (EWP)” olarak adlandırılır. Örneğin, kontrplak, çeşitli yapı levhaları, lamine edilmiş ağaç malzeme, yongalevha, MDF gibi kompozitler son zamanlarda “engineered wood products” (sağlamlaştırılmış ahşap malzemesi) olarak tanımlanmaktadır (Güller 2001). Odun esaslı kompozit malzemeleri; levha ürünleri, yapısal kompozitler, mekanik olarak lamine edilmiş elemanlar, kalıplanmış ürünler, odun-odun dışı ürün kompozitleri şeklinde sınıflandırmıştır (Berlung ve Rowell, 2005).

1.6.1. Yapısal Levha Ürünleri

Kontrplak, Kontrtabla, Yongalevha (particleboard), Etiket yongalevha (waferboard), Şerit yongalı levha (flakeboard), OSB (oriented strand board), Lif levha (MDF, HDF, İzolasyon levhası) (Güller 2001).

1.6.2. Odun Dışı Ürün Kompozitleri

Yapıştırıcı olarak inorganik maddelerin kullanıldığı kompozitler (Alçılı levhalar, magnezyum çimentolu levhalar, portland çimentolu levhalar), Odun lifi-termoplastik kompozitleri (Yüksek termoplastik içerikli kompozitler, düşük termoplastik içerikli kompozitler, dokunmamış tekstil tipi kompozitler) (Güller 2001).

1.6.3. Yapısal Kompozit Levha Ürünleri

Yapısal kompozit keresteler (SCL) [PSL (Parallel Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber), OSL (Oriented Strand Lumber), LVL (Laminated Veneer Lumber), GLULAM (Glued Laminated Timber)], Yapısal levha ürünleri [Yapısal kontrplaklar, yapısal flakeboardlar (waferboard,OSB)], Ahşap I kirişler, COM-PLY keresteler (Güller, 2001).

1.6.3.1. Yapısal Kompozit Keresteler (SCL)

SCL, (Structural Composite Lumber) masif elemanların su iticiliği yüksek hidrofobik özellikli tutkallarla kereste şeklinde birleştirilmesiyle oluşturulan ürünlere verilen genel bir addır. Hem iğne yapraklı hem de yapraklı ağaç odunları kullanılarak üretimleri yapılmaktadır. Odun kompozit malzemelerin en önemli avantajı küçük boyutlu ve değeri düşük ağaç malzemelerden büyük boyutlarda ve teknolojik özellikleri daha yüksek uygun ürünlerin yapılmasıdır. Bu ürünler yaklaşık 35 yıldır üretilmekte olup Türkiye’de bu ürünlerin üretimine başlanmıştır (Anonim, 2006). Bunlar; PSL (Paralel Strand Lumber), GLULAM (Glued Laminated Timber), LSL (Laminated Strand Lumber), LVL (Laminated Veneer Lumber), OSL (Oriented Strand Lumber) dir (Güller, 2001;Sizüçen, 2008).

1.6.3.1.1. Paralel Strand Lumber (PSL)

PSL Parallam ticari adıyla bilinse de paralel şerit kereste (PŞK) olarak da anılmaktadır. İlk olarak Kanada’daki Mac Millan Bloedel Ltd. şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu ürün küçük boyutlu kaplama parçalarının büyük boyutlu (ticari kereste boyutlarında) parçalar haline getirilip birbirine paralel yapıştırılması ile elde edilen bir üründür. Üretimi LVL üretimine benzer olup, önce yuvarlak odunlardan 3 mm kalınlıkta soyma kaplamalar sonsuz bant kaplama şeritler şeklinde kesilerek yaklaşık 20 mm genişlikte ve en az 600 mm uzunlukta olacak şekilde yonga haline getirilmektedir. Üretilen malzemenin maksimum enine kesit boyutları 280x485 mm kadar olup, boyu ise 20 m’ye kadar uzamaktadır (Sizüçen, 2008).

PSL üretiminde farklı ağaç türleri kullanılabilmesine rağmen halen ABD’de kullanılan iğne yapraklı ağaç türlerinden Douglas Göknarı, Güney Çamları, Batı Tsugası ve Lale ağacı’ tomruklarından üretilmektedir. Dış ortamlarda kullanılacak (PŞK) üretimlerinde de diğer üretimlerde olduğu gibi genellikle suya dayanıklı fenol formaldehit (FF) tutkalı kullanılmaktadır. Özel ekipmanlar ile yönlendirilerek elde edilen yonga taslağı mikrodalga enerjili sürekli preste (Continuous pres) üretilip istenilen ebatlarda ebatlandırılıp değerlendirilmektedir (Haygreen and Bowyer, 1996 ;Çolakoğlu, 2005). Şekil 1.3’de PSL’ den yapılmış yapı görünüşleri verilmiştir.



Şekil 1.3. PSL ile yapılmış yapılar (Anonim, 2008a).

1.6.3.1.2. Glued Laminated Timber (GLULAM)

GLULAM ilk kez 1893 yılında İsviçre Basel’de bir oditoryumun yapılmasında ahşap kerestelerden daha uzun boyutlar elde etmek için uc uca, yan yana, alt alta ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanı olarak kullanılmıştır. Kavisli elemanlarda 1 inch (2.54 cm), az kavisli ya da düz elemanlar için 2 inch (5.08 cm $\cong$ 5 cm) kalınlıkta keresteler kullanılmaktadır (Sizüçen, 2008). Ticari ismi tabakalı ağaç malzeme (TAM) olarakda bilinmektedir. Bu ürünlerin imalatının çeşitli avantajlar sağladığını, ahşabın tüm özelliklerine ve avantajlarına sahip olduğunu, ve farklı yapısal bileşenlerle bir araya getirmenin kolay olduğunu belirtmiştir (Dorn ve diğ, 2014). Birçok teknoloji, kontrplak, OSB, lamine kereste (GLULAM) ve lamine ahşap kaplama kereste (LVL), özelliklerini iyileştirmek için geliştirilmiştir (Mohamad vd. 2011).

GLULAM yatay, dikey ve eğimli elamanların lif yönü birbirine paralel olarak dizayn edilerek genellikle yapısal alanlarda yüksek yük taşıyıcı malzemeler olarak kullanılırlar. Bu nedenle katlardaki elamanların lif yönünün birbirine paralel olarak düzenlenmesi daha yaygındır. Eğimli elemanlarda ise lif yönünün paralel olarak düzenlenmesi bir zorunluluktur. Bu konuyla ilgili önemli gelişmelerden biri de liflerin plastiklerle modifiye edilerek enine kesitte daha çok düşük kalitede ahşap malzeme kullanmak suratiyle yüksek dirençli ve sert ürünler elde etmek mümkün olmuştur (Haygreen and Bowyer, 1996; TS 3842 1983; Göker, 2000; Moslemi, 1990). Şekil 1.4’de GLULAM’dan yapılmış yapı görünümleri verilmiştir.



Şekil 1.4. GLULAM ile yapılmış yapılar (Anonim, 2008b).

1.6.3.1.3. Laminated Strand Lumber (LSL)

LSL, ticareti yapılmaya başlanan en son ahşap mühendislik malzemesidir. Görünümü OSB’ye benzer. OSB üretiminde kullanılan teknolojiye benzer bir teknoloji kullanılarak elde edilen LSL uzunluğu 300 mm kalınlığı ise 0,7 mm ile 1,2 mm olan odun yongalarından yapılır. LSL yonga boyutları OSB yongalarından daha uzundur. Fakat PSL yongalarından kısadır. Yongaların uzunluğu ve son ürünün boyuna paralel olarak yönlendirilmiş olmaları LSL’nin boyuna yöndeki mukavemetin artış nedenidir. LSL üretiminde kullanılan tomrukların LVL ve PSL’nin aksine silindirik olmasına gerek yoktur. Pekçok türe ait daha küçük ve eğri tomruklar LSL üretiminde kullanılabilir (Haygreen and Bowyer, 1996).

LSL üretim teknolojisinde belirleyici iki önemli özellik vardır. Bunlardan ilki bağlayıcı olarak polimer-difenilmetan-di-isosiyanat tutkalı şerit yongaların üzerine püskürtülerek uygulanmaktadır. LSL'nin birleştirme malzemeleri ile oluşturduğu mekanik birleşme direnci mükemmeldir. Boyutsal kararlılığı (özellikle kalınlıkça genişlemesi) LVL ve PSL kadar iyi değildir. Yatırım masrafları LVL ile karşılaştırıldığında LVL için kurulacak tesis için gerekli paranın iki katı kadardır. Düşük değerli sert ağaç odunlarından üretilebilir. Kiriş ve direk olarak kullanılır. Masif haldeki keresteden daha yüksek dirence sahiptir (Çolakoğlu, 2005). Şekil 1.5'de LSL'den yapılmış yapı görünüşleri verilmiştir.



Şekil 1.5. LSL ile yapılmış yapılar (Anonim, 2008a).

1.6.3.1.4. Laminated Veneer Lumber (LVL)

Piyasada lamine ahşap kaplama (LVL) (Laminated Veneer Lumber) yada micro-am olarak bilinmektedir. ABD, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Finlandiya, İsveç, Japonya ve Endonezya'da daha fazla olmak üzere birçok ülkede üretimi yapılmaktadır. Türkiye'de bazı kontrplak fabrikalarında bükme mobilya üretiminde kullanılmak üzere az miktarda üretilmektedir. LVL, iki ya da daha fazla soyma kaplama katın tutkallanarak ve katların lif yönü birbirine paralel ya da dik gelecek şekilde birleştirilmesiyle elde edilen bir malzemedir. Kaplamaların kalınlıkları, 2,5 mm ile 6,4 mm arasında değişmektedir. Ancak genelde 3,0-3,2 mm kalınlıklar kullanılmaktadır. LVL, kalınlıkları ise normalde 19-45 mm arasında olup, fakat istenirse 89 mm kalınlığa kadar üretilebilir (Çolakoğlu, 2005; Sizüçen, 2008).

LVL üretiminde genelde düşük kalitedeki kaplamalar orta tabakada kullanılmaktadır. Direnç özelliğine göre genelde üç sınıfa ayrılmaktadır. Ayrıca dış tabakadaki kaplamaların görünüş ve renklerine göre sınıflara ayrılmaktadır. Laminasyonda farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir. LVL kalınlıkları çoğu zaman standart kontrplak kalınlıklarından fazla olması nedeni ile presleme süresini azaltmak için mikro dalga yöntemi ile ön ısıtma ya da yüksek frekanslı ısıtma işlemi uygulanabilir. Pres sıcaklığı 125-150°C arasında değişmektedir (Sizüçen 2008).

LVL üretiminde yapıştırıcı olarak genelde fenol formaldehit kullanılmakta olup, kullanım yerlerine göre melamin formaldehit, melamin-üre formaldehit ve poliüretan tutkalları tercih edilebilir. Yapıştırıcının tatbik edilebilmesi kontrplak üretiminde kullanılan yöntemlerden silindirlerle süzme, perdeleme (akma) ya da püskürtme yöntemleri yapılmaktadır. Katı haldeki tutkal miktarı LVL'nin ağırlığının % 6-7'si kadardır. İşletme şartlarına göre LVL üretiminde hem sabit hem de fasılasız-kesintisiz presler kullanılabilmektedir. Kullanılacak tutkal türüne ve üretilecek panellerin kalınlığına göre presleme şartları değişiktir. LVL için hammadde olarak Amerika'da Douglas ve Güney çamları, Avrupa'daki fabrikalar ise Norveç ladini ve çamı tercih etmektedirler. Bunları dışarıda muhtemel odun türleri olarak; sitka ladini, sahil çamı, radiata çamı, veymut çamı, rubber wood, okalıptus, kavak ve söğüt gösterilebilir (Sizüçen 2008).

Masif ağaç malzemeye göre, estetik, ekonomik ve teknolojik özellikleri bakımından daha üstün olan lamine ağaç malzemelerin, LVL (Laminated Veneer Lumber) mobilya üretiminde özellikle mukavemet gerektiren iskelet elemanlarında tercih edilmesi önerilmiştir. LVL'ler genelde yapısal ya da yapısal olmayan konstrüksiyon amaçları ile kullanılmaktadır. Ancak Türkiye'de bu tür kullanım alanı şimdilik yaygın değildir. Laminasyonlar mobilyacılıkta, yer döşemesi olarak, I kirişlerin kenarlarında kullanılmaktadır. Bir kısmı da bina konstrüksiyonlarında direk olarak kullanılmaktadır. Çok az kısmı da yapı iskelesi kalası ve değişik formlarda beton kalıbı olarak üretilmektedir (Çolakoğlu, 2005). Şekil 1.6'da LVL üretiminden yapılmış yapı görünüşleri verilmiştir.



Şekil 1.6. LVL ile yapılmış yapılar (Anonim, 2008c).

1.6.3.1.5. Oriented Strand Lumber (OSL)

LSL' nin bir değişik tipide OSL (Oriented Strand Lumber) dir. Genellikle her ikisininde benzer ürün olduğu da belirtilir. Şerit yongaların yönlendirilmesi OSB'ye benzerdir. OSB levha halinde üretilir. OSL ise kalın prizmalar şeklinde üretilerek kereste boyutlarına biçilir. OSL diğer lamine ürünlere göre yeni olması nedeniyle halen geliştirilmektedir. OSL 300 mm uzunluktaki yongaların aynı doğrultuda yönlendirilmesi ile üretilmektedir. Bu ürünün gelecekte diğer yapısal kompozit kerestelere alternatif olacağı düşünülmektedir (Maloney, 1996; Haygreen and Bowyer, 1996). Şekil 1.7'de OSL ile yapılmış yapı görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 1.7 OSL ile yapılmış yapılar (Anonim, 2008d).

1.7. LAMİNASYON TEKNİĞİ

Günümüzde lamine ağaç malzeme üretimlerindeki gelişmeler daha ekonomik hammadde ve yapıştırıcı kullanılmasına ve bu sayede yüksek kalitede ve katma değerli ürünlerin elde edilmesine önemli fırsat ve olanaklar sağlamıştır. Laminasyon genel olarak çok tabakalı malzeme üretim tekniği olarak tanımlanabilir. Bu üretim tekniğinde temel amaç elde edilen yeni kompozit malzemenin direnç, stabilite, ses ve ısı yalıtımı, görünüş gibi teknolojik özelliklerinin iyileştirilmiş olmasıdır. Laminasyon tekniğinde GLULAM, LVL, PSL ve LSL gibi mühendislik ürünü ahşap yapı malzemelerinin üretimleri söz konusudur (Mengeloğlu ve Kurt, 2004).

Masif ağaç malzemenin büyük boyutlu ve kavisli elemanlarda yekpare kullanılması, ekonomiklik ve teknik yönden pek uygun değildir. Çünkü yapısal olarak ağaç malzemede bünyesindeki budak, çatlak, lif düzensizlikleri vb. kusurların tamamen giderilememesi fire oranı artışına neden olduğun ekonomik değildir. Ayrıca eğri forma göre kesilen ağaç malzemede diyagonal liflik oluşacağından direncini olumsuz etkiler. Bu olumsuzlukların giderilmesi yönelik laminasyon tekniği kullanılmaktadır. Bu sayede büyük boyutlu ağaç malzemelerden yüksek kalitede ve istenilen şekilde lamine masif ağaç malzeme üretilebilmektedir (Karayılmazlar vd, 2007).

Laminasyon tekniği ile küçük boyutlu ağaç malzemelerden istenilen form ve ebatlarda yüksek kalitede lamine ağaç malzeme üretmek mümkündür. Bu teknik sayesinde ağaç malzemenin kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkan sağlamakta ve üretilen lamine malzemenin kalite özellikleri masif ağaç malzemedan daha iyi olmaktadır. Düzgün malzemelerden elde edilen lamine ağaç malzeme, katları arasında farklı kalınlık ve renkte ağaç malzemelerden oluşturulduğu için estetik değeri de yüksektir (Keskin ve Togay, 2004). Lamine ahşap, kesme, soyma ve biçme yöntemleriyle elde edilen ağaç levhalarının, aralarına yapıştırıcılar sürülerek düz ya da kalıp içerisinde sıcak veya soğuk preslenmesiyle elde edilmektedir. Bu sayede ağaç malzeme israfı önlenmekte, katlar arası homojen presleme için düzgün ayarlamalar yapılarak istenilen biçimde yapı elemanı elde edilmektedir. Lamine ağaç malzemeler yardımıyla açık alanlar kolonsuz ve güvenli bir şekilde geçilebilmektedir (Sizüçen, 2008).

Lamine ağaç taşıyıcı elemanlar ilk defa 1893 yılında İsviçre’de kilise direklerinin yapımında kullanılmıştır. Birinci Dünya Savaşı sırasında bu teknikten uçak yapımında yararlanılmıştır. ABD’de, ilk lamine ağaç taşıyıcı örneği inşaat sektöründe denenmiştir. Daha sonraları spor salonları, yüzme havuzları, okul, eğlence yerleri ve fabrika binalarının yapımında kullanılmıştır. Laminasyon teknikleri İkinci Dünya Savaşı sırasında sentetik tutkalların geliştirilmesiyle yüksek direnç gerektiren köprü, kule ve liman inşaatı yapımı vb. alanlarda hızlı bir gelişme göstermiştir. Polimer tutkallarının kullanılması sonucunda da dış hava şartlarına dayanıklı lamine ağaç malzemeler üretmek mümkün olmuştur. Laminasyon tekniğinde ağaç malzemeden sonra en önemli yapı elemanı ağaç malzemelerin direnç özellikleri üzerine etkisi olan yapıştırıcılarıdır. Yapıştırıcılarla küçük boyutlu parçalara farklı birleştirme teknikleri uygulanarak büyük boyutlu ağaç malzeme elde edilmektedir (Keskin, 2001).

Ülkemizde genellikle kontrplak üretiminde yerli ağaç olarak daha çok kavak, kayın ve çam türlerinin yanı sıra birçok yabancı menşeli ağaç türleride bu üretimlerde değerlendirilmektedir (Çolakoğlu, 1996). Egzotik ağaçlardan okaliptüsün odun esaslı kompozit malzemelerin üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir (Çolak vd. 2003; Kurt vd. 2008). Eucalyptus grandis kaplamalarından üretilen LVL’nin eğilme özellikleri (Bal ve Bektaş, 2012) tarafından çalışılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

1.7.1. Laminasyon Yönteminin Avantajları

1. Kullanım yeri ve amacına göre masif ağaç malzemelerden elde edilecek ürünler sınırlı iken laminasyon yönteminde daha geniş ve uzun ebatlarda malzemeler elde etmek mümkündür.
2. Geniş yüzeyli yapılarda kubbe, piramit, tonoz vb. geometrik yapı ve şekil oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.
3. Yapısal amaçlı tasarımlarda, basınç ya da yüke bağlı olarak kesit alanında değişiklik yapılabilmektedir. Örneğin; kavisli elemanların yüke maruz kaldığı yerlerde (kritik kesitte) daha büyük boyut kullanılabilmektedir.

4. Masif malzeme, bünyesindeki kusurlarından (budak, çatlak, kurt yeniği, lif kıvrıklığı, çürüklük, reaksiyon odunu, vb.) arındırılarak değerlendirilebilir.
5. İç tasarım ve mimaride istenilen stilde ve formlarda kullanım imkanı sağlar.
6. En ve boy birleştirme yüklerinin uygulanması ile daha küçük ebatlardaki (minimum 20 cm) ağaç malzemelerin kullanımına olanak sağladığından fire oranı düşmektedir.
7. Lamine malzeme katlarında farklı kalınlık ve renkte ağaç malzeme kullanım kolaylığı sağladığından daha fazla görsellik ve estetiklik sağlanabilir.
8. Tabakalı ağaç malzeme aynı tür masif ağaç malzemeye göre boyutsal olarak daha karardır. Bunun nedeni lamine ağaç malzemenin ara yüzlerinde kullanılan yapıştırıcının hidrofobiklik (su itici) özelliğidir.
9. Kolon, kiriş, kemer, makas ve aşık gibi parçaların üretimi yapılabilmekte, bu parçaların birleştirilmesinde kullanılacak metal bağlantı aparatların tamamının üretimi yapılabilmektedir (Öztürk,2005; Karayılmazlar vd, 2007).

1.7.2. Laminasyon Yönteminin Dezavantajları

1. Lamine malzemelerin tutkallanmaya hazırlığı ve tutkallama işlemi ek bir işçilik maliyeti getirmektedir. Fakat bu durum aynı ebatlardaki masif malzemeye göre kabul edilebilir.
2. Lamine edilecek ağaç malzemenin belirli sonuç rutubete kadar kurutulması gerektiğinden kurutma tesisi ve ek bir işçilik maliyeti gerektirmektedir.
3. Kaliteli lamine ağaç malzemenin üretilmesi imalatı sırasında yapılan bütün işlemlerin özenle ve dikkatli bir şekilde yapılmasına bağlı olmasıdır.

4. Lamine ağaç malzemelerin direnci, en-boy birleştirmede ve yapıştırma da kullanılan tutkalın kalitesine de bağılıdır. Yüksek direnç özelliklerine sahip tutkalların fiyatlarının fazla olması ilave bir maliyete neden olmaktadır.
5. Lamine ağaç malzeme üretimi için, işletme tesis kurulumlarının özel planda yapılması, yeni teknolojik ekipmanlara ihtiyaç duyulması ve yetişmiş nitelikli personele duyulan ihtiyaç dezavantaj olmaktadır.
6. Büyük boyutlu ve kavisli taşıyıcı lamine malzemelerin nakliyesinde zorluklar yaşanmaktadır (Öztürk,2005; Karayılmazlar vd, 2007).



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Nanoteknolojinin çok çeşitli alanlarda hızlı bir şekilde yaşamımıza girdiğini, özellikle bilişim haberleşme olmak üzere savunma sanayi, uzay ve uçak teknolojileri ve hatta moloküler biyoloji ve gen mühendisliğine kadar uzandığını belirtilmiştir. Nanoteknoloji üzerine gelecek yıllarda yeni pazarlar oluşacağı bu yönde Avrupa’da, ABD’de ve Japonya’da yüzlerce nanoteknoloji araştırma merkezi, üniversitelerde bölümler kurulduğunu ve uzman kadroların bu merkezlerde, ulusal ve ticari çıkarlarına yönelik olarak bilgi ve teknoloji ürettikleri gerçeği çok açık bir şekilde görüldüğünü ifade etmiştir (Anonim, 2004).

Nanoteknoloji alanındaki yaşanan çok hızlı gelişmeler bu teknolojinin gelecekteki yeni bir sanayi devriminde itici güç olacağına inanılmaktadır. Bu teknoloji birçok endüstriyi yeniden şekillendirecek büyük bir fırsat olarak akademik çevrede ve dünyada hızla artan bir ilgi görmektedir. Yakın gelecekte, bir ülkenin nanoteknolojik seviyesi o ülkenin gücünün bir göstergesi olabilecektir (Anonim, 2016a).

Nanoteknolojinin yeni bir bilim ve teknoloji olmadığını bilakis gelişmiş teknolojilerle farklı özelliklere sahip tamamen teknolojik yeni ürün ve malzemelerin üretilmesi amacına yönelik olduğunu belirtmiştir (Khandve, 2014).

Nanoteknolojinin orman ürünleri endüstrisinde kullanılması ile yüksek dirençli, suya karşı yüksek dayanımlı ve yanmaya karşı dayanıklı malzemeler üretilebilir. Yeni tip yapıştırıcı ve yüzey kaplama malzemeleri, yüksek biyolojik dayanım, rutubete ve çürümeye karşı dayanım ile yangın geciktirici özellik sağlanabilir. Ahşap malzemenin korunmasında titanyum dioksit, çinko oksit ve diğer nanomalzemeler günümüzde kullanılan kimyasalların yerini alabilir (Jones vd. 2005).

Nano takviyeli kompozit malzemeler yada nano parçacıkların özel malzemelerle muamele edilerek elde edilen yeni ürünlerin sertlik, yapışma, elastikiyet modülü vs gibi mekanik özellikleri üzerine etkisi olduğu belirtilmiştir (Guo vd. 2014).

Nanopartiküllerinin ahşap malzeme için UV korumasında kullanılabilmesine yönelik yapılan çalışmada yüzey kaplaması içerisinde %1 oranında CeO_2 nano ürün kullanılması ile ahşap malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmiştir. Bunun dışında, sıvı yüzey kaplamasının hidrofilik özelliklerinin önemli ölçüde modifiye edildiği ve suya karşı göstermiş olduğu dirençte de olumlu yönde iyileşmeler görülmüştür (Boehm, 2005).

Nano SiO_2 'nin üre-formaldehit ile modifiye edilen polimer kompozitlerin özellikleri üzerine etkisini araştırdığı nano-UFP ile modifiye edilmiş ahşabın yapışma mukavemetinin belirgin şekilde arttığı, su emme değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca düşük pres basıncı ve ısıtma sıcaklıklarında yüksek mukavemetli ahşap malzemelerin elde edilebileceğini belirtmişlerdir (Jiang, vd. 2013).

Çin kavağı (*Populus tomentosa*) triploid klonlarından elde edilen ağaç malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için, üre-formaldehit (UF) reçinesi içerisine modifiye edici nano SiO_2 ve birleştirici ajan maddeleri ve alev geciktiriciler kullanılarak elde edilen ağaç kompozit malzemelerin su alma, oksijen endeksi ve sertliği ölçülmüştür. Sonuç olarak, modifiye edici nano SiO_2 ve diğer birleştirici maddelerin kavak ağacının su alma ve arttırılmış alev direnci ve sertliğini azalttığını tespit etmiştir. Ayrıca, nano SiO_2 ahşabın sertliğini arttırmada belirgin bir etki gösterdiğini, boyutsal stabilitesini ve genel özelliklerini iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır (Shi vd. 2007).

Silisyum dioksit SiO_2 nanopartiküllerin nişasta bazlı ahşap tutkalı üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, SiO_2 nanopartikülleri içermeyen kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, %10 nanopartikül içeren tutkalların kuru halde %50,1 ve yaş halde %84,0 makaslama direncinin arttığı saptanmıştır. Ayrıca su dayanımının da %20 artışı belirtilmiştir (Wang vd, 2011).

Kontrplak endüstrisinde günümüzde kullanılan yapıştırıcıların farklılık gösterdiğini, genel amaçlı kontrplaklar için üre formaldehit, yapı kontrplakları içi ise fenol formaldehit reçinelerinin kullanıldığını, üre formaldehit reçinesinin suya karşı direncinin düşük olduğundan tutkal çözeltisine doğrudan melamin ilavesinin önemli fayda sağladığını rapor etmişlerdir (Demirkır vd. 2005; Tan vd. 2010).

FF tutkalı ile üretilen LVL ve Glue Laminated Timber (GLT)'lerin özellikleri üzerine pres basıncı ve kaplama kalınlığının etkisi incelemiştir. Çalışma sonucunda, pres basıncının GLT'yi ve LVL'lerin özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini yüksek basınçlarda elde edilen lamine levhaların kalınlık artışı, su alma değerleri ve mekanik özellikler arasında anlamlı ilişkiler olduğunu ifade etmişlerdir (Kurt ve Çil, 2012).

Okalıptüs, kayın ve kavak soyma kaplamaları ile üre formaldehit, melamin üre formaldehit ve fenol formaldehit tutkalları kullanılarak üretilen tabakalı kaplama kerestelerin hava kurusu, yoğunluk, denge rutubeti, kalınlığına şişme ve su alma özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, tutkal türünün denge rutubet miktarını etkilediği ve FF ile elde edilen levhaların en yüksek, MÜF ile yapıştırılan levhaların en düşük denge rutubeti miktarına sahip olduğu görülmüştür. Kalınlığına şişme ve su alma yüzdelerinde ise tutkal türüne göre FF ile üretilen levhalar en yüksek MÜF ile üretilen levhalar en düşük olduğu, ağaç türüne göre kalınlığına şişme kayında en yüksek kavakta en düşük, su alma ise kayın ile okalıptüste benzer olduğu açıklanmıştır (Bal ve Bektaş, 2013).

Orta yoğunluklu liflevha (MDF) 'nin sıcak preslenmesi sırasında ısı transferini iyileştirmek için kuru lif ağırlığına oranla verilen UF reçineye %0.5 ve %1,0 Al_2O_3 nanopartikülleri eklenmiştir. Nanopartiküllerinin eklenmesi ve ayrıca UF/ Al_2O_3 reçinesinin ekzotermik sertleştirme reaksiyonundan dolayı ısı transferi gelişmiştir. Geliştirilmiş ısı transferi sayesinde özellikle levhaların orta tabakasının, UF'nin kurlenmesine ve bu sayede elde edilen levhaların fiziksel özelliklerden kalınlık artışı ve mekanik özelliklerden eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yapışma dirençleri üzerine olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen deney örneklerinin yapışma direncinin kontrol örneklerine göre %0,5 ve %1,0 nanopartikül ilavesinde sırasıyla %7,6 ve %34,3 bir artış olduğunu belirtmişlerdir (Kumar vd. 2013).

Nano ürünlerden TiO_2 ve SiO_2 %2, %4, %6, %8 oranında fenol formaldehit (PF) ve melamin üre formaldehit (MUF) tutkalları ile modifiye edilmiş Uludağ göknarı ve Titrek kavak ağaç türlerinden elde edilen lamine edilmiş levhaların yapışma direnci üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, FF ve MUF tutkalı içersine yüksek nano ilavesinin lamine malzemelerin yapışma direnci üzerine olumlu etki yaptığı belirtilmiştir. Buna göre FF tutkalına yüksek oranda SiO_2 nano ürün katılarak göknar ağaçından üretilen lamine ağaç malzemelerin yapışma direnci, kontrol örneklerine göre yaklaşık %40, MUF tutkalına yüksek nano malzeme ilavesi ile kavak ağacından elde edilen lamine malzemelerin yapışma direncini %30 iyileştirdiğini belirtmişlerdir (Özçifçi vd. 2018).

Karaçam ve karaağaç odunlarını boron bileşikleri, Di amonyum fosfat ve Tanalith-C 3310 ürünleri ile emprenye edildikten sonra, fenol formaldehit ve melamin formaldehit tutkallarıyla yapıştırarak yapışma dirençleri üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek yapışma direncine melamin formaldehit ile yapıştırılmış karaağaç kontrol örneklerinde tespit etmiştir. Ayrıca emprenye edilen örneklerin hepsinde yapışma direncinin düştüğünü belirtmiştir (Özçifçi, 2006).

Tutkal içersine %0, %0,5, %1 ve %2 oranında nano SiO_2 ilave edilerek yapılan kontroplakların yapışma dirençleri incelenmiştir. Sonuç olarak, %1'e kadar nano ürün kullanıldığında yapışma mukavemetini önemli derecede iyileştirdiğini, nano SiO_2 daha fazla kullanılması durumunda ise panellerin yapışma direncini düştüğünü tespit etmişlerdir (Xu HN vd. 2011).

Lamine malzemelerin yapışma direnci üzerine birçok faktör etkili olmakla birlikte en önemlileri; ahsaptan kaynaklanan faktörlerler olarak; kullanılan ahşap malzemenin yapısı yada kullanılan ağaç türü, ahşap malzemenin yüzey yapısı ve yüzey düzgünlüğü, üretim yönteminden kaynaklanan faktörler olarak; laminasyon işlemi gerçekleştirilirken kullanılan pres basıncı ve pres süresi, tutkaldan kaynaklanan faktörler olarak; laminasyonda kullanılan tutkalın vizkozitesi, molekül ağırlığı, dağılması, katı madde miktarı, pH oranı ve uygulama şekli, yayılma oranı, türü, miktarı ve sürme çeşidi, ve kullanım yerinden kaynaklanan faktörler olarak; kullanılacağı ortamda odunun fiziksel olarak değişkenliği, çevre faktörleri,

bulunduğu ortamda maruz kaldığı yükler, bulunduğu ortamdaki nem ve sıcaklık empenyeli ve empenyesiz oluşu ahşap malzemenin yapışma direncini değiştiren faktörlerdir olarak açıklamıştır (Rowell, 2005).

Üre formaldehit tutkalı içerisine %0, %1, %3, %5 oranında nanokil ilave edilerek iki farklı presleme sürelerinde 7 ve 10 dak. elde edilen yönlendirilmiş (OSB) levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Test sonuçlarından düşük presleme sürelerinde ve UF reçinesine %5 oranında nanokil kullanılması ile elde edilen levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirdiği ve formaldehit emisyon değerlerini %40 oranında düşürdüğü görülmüştür. Mekanik direnç özellikleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak, eğilme direncinde 21 N/mm² ile %15, elastikiyet modülünde 2600 N/mm² ile %10, yüzeye dik yönde çekme (iç yapışma) değerlerinde ise 0,60 N/mm² ile %50, vida çekme dirençlerinde %20-25 oranında artışların olduğu, fiziksel özelliklerden 24 saat kalınlık artışı ve su emme değerlerinde de yaklaşık %5-10 oranında iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, aynı nanokil kullanım oranlarında presleme süresinin artması ile mekanik ve fiziksel özelliklerde olumsuz etkiye neden olduğu açıklanmıştır (Salari vd. 2012).

Nanoteknolojik ürünlerle istenilen özelliklerde geliştirilmiş yeni kompozit malzemeler üretmek amacıyla yapılan çalışmada ÜF ve MÜF tutkalı içersine %0, %1 ve %3 oranlarında nano-silisyumdioksit SiO₂, nano-alüminyum oksit Al₂O₃ ve nano-çinko oksit ZnO ile güçlendirerek ahşap panel sandviç levhalar ve laminat parkeler üretmiştir. Test sonuçlarından %3 nano ZnO haricinde, nano SiO₂ ile nano Al₂O₃'in düşük oranlarda kullanılması levhaların mekanik özelliklerden çekme direnci, eğilme direnci elastikiyet modülü ve vida çekme dirençlerini iyileştirdiği görülmüştür. Nano SiO₂ ile nano Al₂O₃'in düşük oranlarda kullanılması ile sandviç levhaların kalınlığına şişme miktarında maksimum azalma sağlanmıştır. Ayrıca, yüzeye dik yönde çekme direnci ve vida tutma direncinde en iyi sonuçlara %1 oranında nano SiO₂ veya nano Al₂O₃ kullanılarak üretilen yonga levha kompozitlerinde görülmüştür. Nano ZnO ve nano Al₂O₃'in uygun oranlarda kullanılması ile sandviç levhaların ve laminat parkelerin formaldehit emisyonu değerlerinde önemli azalmaların olduğunu tespit etmiştir (Candan, 2012).

Endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp, nano boyutlarda kil ve hegzagonal bor nitrid gibi güçlendirici dolgu materyalleri (%1.5, %3 ve %4.5 oranlarında) kullanılarak ahşap plastik nanokompozitler üretilmiştir. Elde edilen bu malzemelerin termogravimetrik analiz (TGA), dinamik mekanik analiz (DMA) ve mekanik özelliklerden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve şok direnci fiziksel özelliklerden kalınlığına şişme ve su alma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda endüstriyel dolgu malzemelerinin ahşap plastik nanokompozitlerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi olduğunutespit etmiştir (Kaymakcı, 2015).

Nano SiO₂, nano Al₂O₃ve nano ZnO'nun %0, %1 ve %3 yükleme seviyelerinde farklı kompozitlerin yapışma değerlerinin araştırıldığı çalışmada en yüksek yapışma direnci değerlerinin 2.45 N/mm² ile nano Al₂O₃ (%3) ile güçlendirilen levhalarda tespit edilmiştir. En yüksek artış oranının ise %21,8 ile nano Al₂O₃ (%1) ve nano SiO₂ (%1) kullanılarak üretilen yongalevhalar da görüldüğü belirtilmiştir. Kontrplaklarda ise kontrol grubu ile kıyaslandığında yapışma direncindeki maksimum artışın, %60 ile nano Al₂O₃ (%3) ile güçlendirilen levhalarda olduğu olduğu belirtilmiştir (Candan ve Akbulut, 2015)

Selüloz elyafı ile güçlendirilmiş FF tutkalının kullanılması ile elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerden çekme ve basınç dirençleri üzerine etkisinin yanı sıra termal özelliklerinden termo gravimetri analizi (TGA) ile mikroyapıları ve kompozit yüzeylerini incelemek için taramalı elektron mikroskobu SEM ölçümleri yapıp kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan testler ve analizler sonucunda mekanik özelliklerde iyileşmelerin olduğu fenol formaldehitdeki termal stabilitesinin artarak (TGA) 400 ile 500 °C bozunduğu genel olarak, güçlendirilmiş fiber kompozitlerin (SEM) görüntüsünün fenol-formaldehit reçinesi ile doğrusal bir yapıda homojen gruplar halinde başarılı bir şekilde düzenlenmiş olduğu görülmüştür (Pugazhenth and Kumar, 2017).

Fenol formaldehit tutkalının termal stabilitesi üzerine, nano SiO_2 'nin etkisinin araştırıldığı çalışmada fenol formaldehit tutkalı içerisine %2 oranında nano SiO_2 ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan nano SiO_2 'nin, kompozit malzemenin termal stabilitesini belirgin bir şekilde artırdığını belirtmişlerdir (Yu vd. 2011).

Üre formaldehit tutkalı içerisine düşük miktarlarda nanopartikül Al_2O_3 ilavesi katılarak yapıştırılan ahşap malzemelerin makaslama direnci üzerine etkisinin belirlendiği çalışma sonucunda nanopartikül takviyeli tutkalla yapıştırılan lamine malzemelerin makaslama direnci üzerine belirgin bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir (Maminski vd. 2007).

Yapılan araştırma ile nano-silikanın üre formaldehit reçinesinin yapışma direncinin iyileştirilmesinde ve formaldehit emisyonu'nun azaltılmak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Shi vd. 2004).

Benzer başka bir çalışmada üre formaldehit tutkalı nano SiO_2 ile modifiye edilerek yapıştırılan kontrplak levhaların formaldehit salınımı ölçülmüştür. Çalışma sonucunda nano SiO_2 kullanımının kontrplakların formaldehit miktarı değerlerini düşürdüğü, dolayısıyla toksisiteyi azalttığı kaydedilmiştir (Guidi ve Qiaojia, 2005).

Nanomalzemelerin kullanımı ile ahşap kompozitlerde formaldehit vb. zararlı gazların emisyon değerlerinin azalmasına ilişkin nano malzemelerle yapılan başka bir çalışmada üre formaldehit tutkalını alüminyum oksit nanopartiküller ile modifiye edilmiştir. Çalışma sonunda Al_2O_3 nanopartiküllerin ÜF tutkalındaki serbest formaldehiti %5 ile %10 arasında absorbe ettiği tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak da tutkalın insan sağlığı için olumsuz etkisini önemli derecede düşürdüğü ifade edilmiştir (Dudkin vd, 2006).

Üre formaldehit tutkalı nano SiO_2 içeren heksametilen tetramin (HMTA), melamin ve etilen üre (EU) ile modifiye edilerek tutkalların termal analizleri (TGA), (FTIR) ve serbest formaldehit değerleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, nano SiO_2 ile modifiye edilen ÜF tutkalının diğer gruplar ile kıyaslandığında %6 ile en düşük serbest formaldehit değerine sahip olduğu bildirilmiştir. Termal analizler sonucunda

toplam ağırlık kaybının sırasıyla saf üre formaldehit tutkalı, nano SiO₂-HMTA, nano SiO₂-melamin ve nano SiO₂-etilen üre için sırasıyla %77,9-%52,3-%59,5 ve %48,5 olduğu belirtilmiştir (Samarzija-Jovanovic vd, 2011).

Kompozit odun panellerinden açığa çıkan formaldehitin yayılması esasen bu panellerin üretiminde bağlayıcı tutkal olarak üre formaldehit tutkalı kullanımı ile ilgilidir. Bu tutkalın yüksek reaktifliği ve düşük fiyatı ile kullanımının yaygın olması sonucu olarak, reaksiyona girmemiş serbest formaldehit varlığı ve hidrolize karşı direncinin düşük olması formaldehit emisyonuna neden olmaktadır. Düşük seviyede üre melamin formaldehit tutkalları (ÜMF), veya yüksek seviyede melamin üre formaldehit tutkalları (MÜF) melamin kullanımı ile üretilen tutkal kopolimerleri hidrolitik stabiliteyi geliştirmektedir, fakat çok düşük formaldehit emisyon değerleri açısından kesin olmayan bir durum içermektedir (Anonim, 2008e).

Fenol formaldehit tutkalı kullanılarak kayın ve kavak soyma kaplamalarından üretilen tabakalı lamine ağaç malzeme ile masif ağaç malzemelerin vida tutma direnci belirlenmiş ve karşılaştırmıştır. Denemeler masif ağaç malzemelerde teğet yüzeylerde ve radyal yüzeylerde yapılmıştır. Sonuç olarak, masif ağaç malzemelerin vida tutma direncinin teğet yüzeylerde radyal yüzeylerden yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek vida tutma direnci kayın-MAM'da teğet yüzeyde (40,2 N/mm²) ve en düşük ise teğet yüzeyde (12,2 N/mm²) ölçülmüştür. Kavaktan elde edilen tabakalı kaplama kerestenin vida tutma direnci masif kavaktan daha yüksek ölçülmüştür. Ancak, kayından elde edilen masif ağaç malzemenin vida tutma direnci kayından elde edilen tabakalı kaplama keresteye göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu farklılığın temel nedeninin kavak odununun kayına göre düşük yoğunluğa sahip olması ve TKK üretimi esnasında uygulanan pres basıncının yoğunlaştırma etkisinden kaynaklanması olarak açıklanmıştır (Bal vd. 2013).

Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), sarıçam (*Pinus sylvestris* Lipsky), meşe (*Quercus borealis* Lipsky), kestane (*Castanea sativa*) ve ceviz (*Junglans regia*) malzemelerinin radyal, teğet ve boyuna yönde vida tutma mukavemetleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, en yüksek vida tutma mukavemeti ceviz, en düşük ise kestane odunlarında tespit edilmiştir. Ağaç malzemelerin özgül ağırlığı

arttıkça, vida tutma direnci de artış olduğu, radyal yönde çekme, teğet ve boyuna yönde çekmeye kıyasla, teğet yönde çekme de boyuna yönde çekmeye kıyasla daha yüksek vida tutma direncine sahip olduğu bildirilmiştir (Çağatay vd. 2012).

Kavak ve kayın kaplamaları ile yapılan bir çalışmada poliüretan ve polivinilasetat tutkalları kullanılarak Tabakalı Kaplama Kereste (TKK) üretilmiş ve malzemenin vida tutma direnci araştırılmıştır. Çalışma sonunda radyal yönde daha yüksek vida tutma mukavemeti tespit edilmiştir (Celebi ve Kılıç, 2007).

Doğu kayını ve sarıçam odunlarından hazırlanan PVAc ve Desmodur-VTKA tutkallarının kullanılması elde edilen lamine malzemelerin (LVL) için vida tutma mukavemeti testleri yapılmıştır. Testler ASTM-D 1037-91 standardına göre belirlenmiştir. Çalışma sonunda, en yüksek vida tutma mukavemetlerine D-VTKA ve 17x17 vida ile bağlanmış 4 mm kalınlığında kayında (22,32 N/mm²); en düşük 20x45 ile PVAc yapıştırıcı ile bağlanmış 5 mm çam için (6,74 N/mm²) olarak belirlenmiştir (Güntekin vd, 2005).

Üç farklı ağaç türlerinden Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kavak (*Populus nigra*) odunlarından hazırlanan, polivinilasetat (PVAc) ve üre-formaldehit (ÜF) tutkallarıyla yapıştırılmış lamine malzemelerin (LVL), liflere dik ve paralel doğrultudaki alyan vida tutma performansları, masif ağaç malzemelerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda, kayın odununda masif malzemeler lamine malzemelerden daha yüksek vida tutma mukavemeti gösterirken, sarıçamda genel itibariyle aynı değerler, kavak odununda ise masif malzemelere göre, PVAc ve ÜF tutkallarından elde edilen lamine malzemelerde sırasıyla; %30 ve %40 artış tespit edilmiştir. Bu sayede özgül ağırlığı düşük olan ağaç malzemelerde lamine malzeme kullanımı mukavemet değerlerini arttırmakta ve kullanım açısından daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Efe vd. 2009).

Doğu kayını (*Fagus orientalis lipsky*), Ladin (*Picea orientalis lipsky*.) ve etiket yongalı levha (Waferboard: WFB)'ların liflere paralel ve dik vida tutma mukavemetleri farklı vida tipleri (17x17, 20x20, 20x35) ile belirlenmiştir. Çalışma sonunda en yüksek vida tutma değerlerine liflere dik yönde kayın odununda 20x35

vida ile (17,67 N/mm²) vermiştir. En düşük vida tutma değerleri ise liflere paralel yönde Waferboard levhalarında 20x20 vida ile (4,44 N/mm²) tespit edilmiştir (Özçifci ve Doğanay, 1998).

Uludağ göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve meşe (*Quercus petraea* spp.) ağaçlarının farklı kaplama kalınlıklarında MF ve FF tutkalları ile üç, dört ve beş katmanlı vidalı tip, pilot delik ve tabaka kalınlığının lamine kaplama lumbers (LVL) içindeki bazı vidaların çekme dayanımı üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Test sonuçlarına göre, en yüksek vida çekme direncinin 3,5 mm 16 vida ile 4 mm kaplama kalınlığına sahip meşe örneklerinde elde edildiği, en düşük ise, MF ile 5 mm kaplama kalınlığına sahip 4,0x50 vida ile Uludağ göknarı için elde edildiği bulunmuştur. Vidaların takılması sırasında yüzeylerin ayrılmasını önlemek ve aynı zamanda maksimum çekme kuvveti elde etmek için uygun boyutta pilot deliklerin kullanılması tavsiye etmiştir (Özçifci, 2009).

Yapılan benzer çalışmada sarıçamdan ve kavak odunlarından elde edilen LVL'lerin kontrol örneklerine göre, sarıçamdan elde edilen değerlerin de kavak odununa göre eğilme direncinin daha yüksek çıkması sarıçamın kavağa göre yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir (Keskin vd. 2003).

Kontrplağın vida çekme dirençleri üzerine kılavuz deliğinin, vida tipinin, vidalama yönünün, suda bekletmenin ve yapıştırıcı türünün etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kılavuz deliğinin çapı, testlerde kullanılan vida çapının %80'i olacak şekilde delme işlemi yapılmış ve Polivinil asetat (PVAc) ve Poliüretan (PÜ) tutkalları kılavuz deliklerine enjekte edilerek çapları sırasıyla 3,5 mm ve 4 mm olmak üzere 2 tip vida ile deney örneklerinin yüzeyinden ve kenarından vidalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarından en yüksek vida çekme değerlerine kılavuz deliği açılmayan, vida çapı 4 mm olan, (PVAc) tutkalının kullanıldığı, suda bekletilmemiş örneklerde yüzeyden uygulanan vida çekme testlerinde kenar'a göre %33 artış tespit edilmiştir. Ayrıca, suda bekletilmiş örnekler incelendiğinde daha düşük vida çekme mukavemetleri görülmüştür. Lakin vida çapı arttıkça vida çekme mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir (Yörür vd. 2017).

Biçilmiş kayın ve kavak kaplamaları, MF tutkalı kullanarak dört farklı tipte yedi tabakalı LVL'ler üretmiştir. LVL'ler her dış tabaka için iki adet kaplama ve iç tabaka için üç adet kaplama olacak şekilde oluşturulmuştur. Test sonuçlarından mekanik özelliklerden; yapışma mukavemeti, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci sırasıyla standartlarına göre belirlenmiştir. Çalışma sonucunda fiziksel ve mekanik özellikler bakımından en yüksek değerlerin tamamı kayın kaplamalarından üretilen LVL'lerde en düşük değerlerin tamamınında kavak kaplamalarından üretilen LVL'lerde tespit etmişlerdir (Atar vd, 2016).

Hızlı gelişen I-214 (*Populus X Euramericana*) klonundan elde edilen soyma kaplamalar, fenol formaldehit (FF) ve melamin üre formaldehit (MUF) tutkalıyla tutkallanarak farklı basınç (2,5-5-7,5-10-12,5-15 kg/cm²) ve sıcaklık altında preslenerek üretilen tabakalanmış kaplama keresteler (TAK)'ların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri belirlenmiştir. Sonuç olarak, pres basıncının artması tabakalar arasındaki tutkal katman kalınlığının azalmasına neden olmuş ve tutkalın oduna nüfuzunu artması sağlanarak TAK'ların fiziksel özelliklerden (kalınlık ve ağırlık artışı), mekanik özelliklerden (eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel ve dik basınç direnci, dinamik eğilme (Şok) direnci) değerlerinin arttığını belirtmiştir (Çil, 2012).

Kayın, kavak ve sarıçamdan elde edilen MAM ile TKK'nın eğilme direnci, basınç direnci, çekme direnci, yarıлма direnci ve makaslama direnci üzerine yapılan bir araştırma sonucunda elde edilen örneklerin bazı mekanik özelliklerinin MAM'da diğer bazı mekanik özelliklerin ise TKK'da daha yüksek olduğunu belirtilmiştir (Erdil vd, 2009).

Üç farklı melez kavak klonlarından fenol formaldehit reçinesiyle üretilen tabakalanmış kaplama kerestelerden (TAK) elde edilen bazı fiziksel özelliklerinden, rutubet miktarı, tam kuru yoğunluk ve boyutsal stabilite ve mekanik özelliklerden eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve yapışma direnci testleri yapılarak TAK üretimi için en uygun klon türü belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre, TAK'ların fiziksel ve mekanik özellikleri, yapıldığı kerestelerin özelliklerinden daha yüksek bulmuştur (Meriç, 2009).

Polivinil asetat tutkalı (PVAc), Poliüretan tutkalı (PÜ) ve D2 tutkalı ile lamine edilmiş farklı tutkal türleri ile kullanılarak 3 katmanlı lamine edilmiş sarıçam (*Pinus Sylvestris*) ve kayın (*Fagus Silvatica*) odunlarının bazı mekaniksel özellikleri eğilme direnci, liflere yapışma ve liflere paralel basınç testi araştırılmıştır. Eğilme direncinde en yüksek ($92,63 \text{ N/mm}^2$) ile D2 tutkalı ile lamine edilmiş kayın en düşük ise ($58,17 \text{ N/mm}^2$) ile (PVAc) ile lamine edilmiş sarıçam odununda çıkmıştır. Yapışma direnci deneyleri sonucunda en yüksek (PÜ) ile lamine edilmiş kayın odununda ($7,33 \text{ N/mm}^2$), en düşük ise ($5,74 \text{ N/mm}^2$) ile D2 tutkalı ile lamine edilmiş sarıçam odununda görülmüştür. Liflere paralel basınç direncinde en yüksek değerlerin ($42,56 \text{ N/mm}^2$) ile (PÜ) ile lamine edilmiş kayın odunlarında, en düşük basınç direnci ise ($35,15 \text{ N/mm}^2$) ile D2 tutkalı ile lamine edilmiş sarıçam odunlarında olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonunda lamine edilmiş ahşap malzeme kendini temsil eden masif ahşap malzemeye göre mekanik özellikler bakımından daha üstün olduğu görülmüştür (Perçin vd. 2009).

Titrek Kavak (*Populus tremula L.*) odunundan elde edilen soyma kaplamaların fenol formaldehit ile preslenmesiyle elde edilen kompozit kerestelerin (PSL, LSL, LVL) bazı mekanik ve fiziksel özelliklerine ait testler yapılarak kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda eğilme direnci olarak; en yüksek LVL’de ($64,51 \text{ N/mm}^2$), en düşük değer kontrol örneklerinde ($58,26 \text{ N/mm}^2$), Elastikiyet modülünde; en yüksek LSL’de ($8022,48 \text{ N/mm}^2$), en düşük kontrol numunelerinde ($7863,21 \text{ N/mm}^2$), Liflere paralel basınç dirençlerinde; en yüksek LVL’de ($49,87 \text{ N/mm}^2$), en düşük kontrol örneklerinde ($33,63 \text{ N/mm}^2$), Dinamik eğilme (şok) direncinde; en yüksek PSL’de ($0,50 \text{ kgm/cm}^2$), en düşük kontrol örneklerinde ($0,34 \text{ kgm/cm}^2$) tespit edilmiştir (Sizüçen, 2008).

Doğu kayını ve Karakavak ağaç türleri ve PVAc-D4 tipi tutkal ile beş katmanlı olarak elde edilen lamine ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kavak odununun elde edilen lamine ağaç malzemelerin masif kavak odunun elde edilen örneklere göre sırasıyla eğilme direncinde $76,14 \text{ N/mm}^2$, liflere paralel basınç direncinde ise $40,68 \text{ N/mm}^2$ ile yaklaşık %5-10 oranında artış olduğu belirtilmiştir (Keskin ve Togay 2003).

Genel olarak TKK üretimlerinde uygulanan buharlama, soyma ve kurutma gibi bazı aşamalar malzeme yoğunluğunu fazla değiştirmese bile lifler arasındaki bağ zayıflaması sonucu elde edilen lamine malzemelerin mekanik özelliklerinin özellikle şok direncinin masif malzemeye göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Bu durumun sebeplerinden birinde tutkal tabakasının odun tabakasına göre daha rijit olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Çolak vd. 2007).

Yüksek frekanslı kurutma yöntemlerinin avantajı, diğer yöntemlere oranla çok daha kısa sürede kurutma yapılması ve kurutma kusurlarının minimize edilebilmesidir. Yüksek frekanslı yöntemler ile mikro dalga yöntemleri birbirinden ayıran en önemli farkı, ısıtma için kullanılan elektrik akımının dalga özellikleridir. Mikro dalga (MD) yönteminde 915 mHz, 2450 MHz ve 5800 MHz frekansları tercih edilirken, yüksek frekans (YF) yönteminde 13,56 MHz ve 27,12 MHz frekanslarının tercih edildiği belirtilmiştir (Resch, 2006; Antti, 1995).

Günümüzde kullanılan endüstriyel kurutma uygulamalarında ısıtma ağaç malzeme yüzeyinden iç kısımlara doğru olurken YF yöntemlerde ise iç kısımdaki yüksek rutubetin olduğu yerden başlayıp yüzeye doğru ilerlemektedir. Böylece çok daha hızlı ısıtma ve kurutma süresi gerçekleşmektedir (Ünsal vd. 2014).

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1. AĞAÇ MALZEME

Deney örneklerinin hazırlanmasında ağaç malzeme olarak, ülkemiz kompozit kereste endüstrisinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle Titrek kavak (*Populus tremula L.*) ve Uludağ göknarı (*Abie bornmülleriana M.*) odunları tercih edilmiş olup, Kastamonu Taşköprü bölgesinden tamamen tesadufi olarak temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde kerestenin kusursuz olmasına, liflerinin düzgün, budaksız, ardaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. Ağaç malzemelerin ve kaplamaların üretimi içinkesme ve soyma işlemlerine yönelik yapılan hazırlıklar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Ağaç malzemelerdekesme ve soyma işlemi.

3.2. TUTKALLAR

Deney örneklerinin tutkallanmasında kullanılan FF (Polifen 47) ve MÜF (P03) tutkalları Polisan Kimya A.Ş'den temin edilmiştir. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan tutkallar ve yapılan hazırlıklar Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan tutkallar.

Deney örneklerinin üretiminde kullanılan her iki tutkala ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tutkalların kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Ürün Karakteristiği Tutkal Adı:	Birim	Ölçüm Değeri	
		MÜF	FF
Ürün Adı		Müf P03	Polifen 47
Görünüş		Beyaz sıvı	Kırmızı sıvı
Katı Madde	%	54-56	46-48
Formaldehit / Üre Mol Oranı	%	1,15	
Yoğunluk (20 °C)	g/cm ³	1,230-1,240	1,200-1,215
Vizkosite (20 °C)	Cps	100-250	300-600
Akma Zamanı (20 °C, FC4)	sn	20-40	50-90
Jelleşme Zamanı (100 °C) (%10'luk NH ₄ Cl)	sn	70-110	600-1200
Ph		8,5-9,5	10,5-13
Serbest Formaldehit Miktarı	%	0,10 max	1,0 max
Su Toleransı (20 °C)	°C	—	Sonsuz
Depolama Zamanı (20 °C, gün)	gün	30-45	30-45

3.3. NANO ÜRÜNLER

Deney örneklerinin yapıştırılmasında tutkal içerisine katılarak kullanılan nano ürünler titanyum di-oksit (TiO_2) ve silisyum di-oksit (SiO_2) ticari MKnano firmasından temin edilmiştir. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan nano ürünler veyapılan hazırlıklar Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Deney örneklerinin üretiminde kullanılan nano ürünler.

Nano ürünlere ait özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Nano ürünlere (SiO_2 ve TiO_2) ait özellikler.

Ürün Adı: Nano Ürünler	Birim	TiO_2	SiO_2
Görünüş		Beyaz toz	Beyaz-Gri toz
Yoğunluk (20 °C)	g/cm^3	3,5-4,2	2,34
Erime Noktası	°C	1830	1420
Safılık	%	99	99,9
Parça boyutu	nm	50	15
Spesifik yüzey alanı	m^2/g	150	650
Ph		5-10	
Çözünürlük		Su, hidroklorik asit	
Depolama		Serin ve kuru ortam	Serin ve kuru ortam
Taşıma	kg	25 kg ambalaj	30 kg ambalaj

3.4. DENEY ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Deney örneklerinin hazırlanmasında TS EN 386 esaslarına uyulmuştur. Kusurlarından arındırılan Titrek kavakve Uludağ göknarı odunların diri odun kısımlarından kesme ve soyma yöntemi ile elde edilen 800x1000x1,3 mm kaplama ve 100x1000x5,5 mm ebatlarındaki ağaç malzemeler 55 ± 2 °C ve $\% 6\pm 1$ bağıl nem şartlarında hava denge rutubetine kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi yapıldıktan sonra yüzey düzgünlüğü sağlanarak tutkallama işlemine hazır hale getirilen ağaç malzemeler Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Ağaç malzeme ve kaplamaların kurutulması.

3.5. DENEY ÖRNEKLERİNİN TUTKALLANMASI

Göknar ve kavak odunlarından elde edilen kaplama ve ağaç malzemeler yüzey düzgünlüğü sağlanarak tutkallama işlemine hazır hale getirilmiştir. Tutkallama işlemi öncesinde $\%2$, $\%4$, oranlarında $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ nano ürünler ile FF-MÜF tutkalı 5 dakika boyunca el mikseri ile karıştırılmıştır. Karışımı sağlanan yapıştırıcı ve nano ürün karışım kabından $\%0,05$ hassasiyetle terazide tartılarak levha yüzeylerine m^2 'ye 200 g olacak şekilde fırça ile sürülmüştür. Herbir deney için 10’ar adet deney numunesi hazırlanmıştır. Deney malzemelerinin tutkallanması Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Deney örneklerinin tutkalllanması.

3.6. DENEY ÖRNEKLERİNİN ÜRETİLMESİ

Deney örneklerinin üretilmesinde SONAR marka yüksek frekanslı pres kullanılmıştır. Bu preslerin çalışma esası alt ve üst gövdeye bağlı 1-1,5 mm kalınlığındaki alüminyum kaplı plakalar arasında (anot (+) katot (-) kutuplar arasında oluşan manyetik alan sayesinde ağaç malzeme yüzeylerinde bulunan tutkal içersindeki su moleküllerinin hızlı hareketi sonucu oluşan sürtünme ile ısı oluşturulmasına dayanmaktadır. Oluşan bu ısı sayesinde polimer reaksiyonunu daha hızlı tamamlayarak presleme işlemi diğer yöntemlerine göre daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Tutkallanmış deney örneklerinin yüksek frekanslı pres’de preslenmesi için pres sıcaklığı 130 ± 5 °C ve LVL ve GLULAM için deney taslakları sırasıyla; 800x1000x1,3 mm ebatlarındaki kaplamalardan hazırlanan 17 kat ($1,3 \times 17 = 22,1$ mm) taslak ile 100x1000x5,5 mm ebatlarındaki ağaç malzemelerden 4 kat ($5,5 \times 4 = 22$ mm) olacak şekilde hazırlanmıştır. Presleme işlemi için boyuna yönde üst üste gelecek şekilde hazırlanan deney örnekleri aynı basınç altında ($0,55 \text{ N/mm}^2$) preslenmiştir. Presleme süresi LVL için 3 dakika, GLULAM içinise katmanlar arası kalınlık daha fazla olduğundan 6 dakika olarak belirlenmiştir.

Preslenen deney örnekleri $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\% 65\pm 5$ bağıl nem şartlarında bir hafta boyunca bekletilerek klimate edildiikten sonra zımpara makinesinde 80 kum zımpara bantı ile zımparalanarak yüzey kalitesi ve kalınlık kalibrasyonu sağlanmıştır. Lamine ağaç malzemelerin preslenmesi Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Deney örneklerinin preslenmesi.

3.7. DENEY VE METODLAR

Bu araştırma için elde edilen deney levhalarının fiziksel ve mekanik özelliklerine ait testlerin bir kısmı SFC Entegre Orman Ürünleri Sanayii ve Ticaret A.Ş.’de bir kısmı da Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Termal (TGA) ve morfolojik özelliklere ait test (SEM) analizleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü laboratuvarında yapılmıştır.

Deney levhaları TS EN 325 standartlarında uygun şekilde $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve 65 ± 5 bağıl nemde kondisyonlanmış ve her grup için 10 farklı deney numunesi alınarak yapılmıştır. Nano ürünlerle modifiye edilen tutkallar ile üretilen ahşap lamine malzemeler üzerinde yapılan testlerin adları, kullanılan deney örneklerinin boyutları ve uygulanan standart numaraları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deney örnekleri üzerinde yapılan test ve standartlar.

Deney Adları	Birim	Numune	
		Boyutları (mm)	Standart No
En-Boy ve Kalınlık Ölçümü	mm	50x50x20	TS EN 326-1
Lamine Malzeme Numune Kesimi	mm	50x100x20	TS EN 386
Tam Kuru Yoğunluk Tayini	g/cm ³	20x20x20	TS EN 323-1 (1999)
24 Saat Suda Bekletme Sonucu Kalınlık Artışı	%	50x50x20	TS EN 317 (1999)
24 Saat Suda Bekletme Sonucu Ağırlık Artışı	%	50x50x20	TS EN 317 (1999)
Serbest Formaldehit Testi	mg/100 g	20x25x20	TS 4894, EN 120 E1: ≤8,0
Levha Yüzeyine Dik Yönde Çekme Direnci	N/mm ²	50x50x20	TS EN 319
Eğilme Direnci	N/mm ²	20x360x20	TS EN 310
Eğilmede Elastikiyet Modülü	N/mm ²	20x360x20	TS EN 310
Vida Tutma Mukavemeti	N/mm ²	50x75x20	TS 10506
Yapışma Direnci	N/mm ²	10x150x20	TS EN 205 (2004)
Liflere Paralel Basınç Direnci	N/mm ²	20x30x20	TS 2595 (1977)
Dinamik Eğilme (Şok) Direnci	kg.m/cm ²	20x300x20	TS 2477 (1976)

3.7.1. Deney Numunelerinin Boyutlarının Ölçülmesi

Deney numunelerinin boyutlarının tayini TS EN 325 (Ahşap esaslı levhalar-deney numunelerinin boyutlarının tayini) standardına göre yapılmıştır. Bu standart ahşap esaslı levhalardan alınacak numunelerin en, boy ve kalınlıklarını ölçme metodunu kapsamaktadır.

3.7.1.1. En-Boy ve Kalınlık Ölçme

Deney parçalarından numun alınması, kesilmesi, ölçme sayısı ve ölçme yerlerinin belirlenmesi işlemleri TS EN 326-1 standartında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Deney parçaları, bir atmosferde 20±2 °C sıcaklıkta ve % 65±5 ortalama nispi rutubette sabit kütle durumuna uygun hale getirilmiştir. Ölçme işlemi için enaz 5 mm yüzey genişliğini ölçebilecek 0,1mm okuma hassasiyetli sürmeli kumpas ile ölçülmüştür.

3.7.1.2. Tam Kuru Yoğunluk

Tam kuru yoğunluğun belirlenmesinde TS EN 323-1, (1999) standartında belirtilen esaslara uyularak, 20x30x20 mm ölçülerinde deney örnekleri kullanılmıştır. Hava kurusu haldeki ağırlıkları ve ölçüleri belirlenen deney örnekleri etüve konularak 103 ± 2 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan deney örnekleri 0.01 mm duyarlıklı kumpas ile kalınlık, genişlik ve boyları ölçülmüştür. Ölçüleri belirlenen deney örneklerinin ağırlıkları 0.01 gr duyarlıklı analitik terazide tartılmıştır. Tam kuru yoğunluğun hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$D_0 = \frac{M_0}{V_0} \quad (3.1)$$

Burada;

D_0 = Tam kuru yoğunluk (g/cm³)

M_0 = Tam kuru örnek ağırlığı (g)

V_0 = Tam kuru örnek hacmi (cm³)

3.7.2. Fiziksel Özelliklere Ait Deneyler

Deney numunelerinin fiziksel özelliklerinden; 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı ve ağırlıkça artma özelliklerinin yanı sıra serbest formaldehit değerlerinin belirlenmesine yönelik testler yapılmıştır.

3.7.2.1. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Kalınlık Artışı

24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı testi TS-EN 317 (1999)'de belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanan 50x50x20 mm ebatlarında deney örnekleri kullanılmıştır. Deney parçaları %65±5 nisbi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşınca kadar klimatize edilmiştir. Her deney parçası tam ortasından ± 0,01 mm duyarlılıkta kumpasla ölçüldükten sonra 20 ± 1 °C sıcaklıkta saf suda 24 saat süre ile su yüzeyinden 25 mm aşağıda tutulmuştur.

24 saat sonra sudan çıkarılan numunelerin fazla suları bir bezle alınmış ve kalınlıklar ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Buna göre kalınlık artışı miktarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$K_a = \frac{m_y - e_k}{e_k} \times 100 (\%) \quad (3.2)$$

Burada;

Ka = Kalınlık artımı (%)

my = Suda bekletilen numunelerin kalınlığı (mm)

ek= Klimatize edilmiş durumdaki numune kalınlığı (mm)

24 saat kalınlık artışı ve suda bekletme test cihazı Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık ve ağırlık artışı testi.

3.7.2.2. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Ağırlık Artışı

24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı testi TS-EN 317 (1999)’de belirtilen esaslara uygun olarak hazırlanan 50x50x20 mm ebatlarında deney örnekleri kullanılmıştır. Deney parçaları %65±5 nisbi rutubet ve 20±2 °C sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşınca kadar klimatize edilmiştir. Her deney parçası 0,01 g duyarlılıkta terazide tartıldıktan sonra içerisindeki suyun sıcaklığı 20±1 °C olan termostatlı su banyosuna numuneler birbirine değmeyecek şekilde su yüzeyinden 25 mm aşağıda

tutulmuştur. 24 saat sonra numuneler sudan dışarı alınıp bir bez ile fazla suyu alınmış ve bu durumdaki ağırlıkları 0,01g duyarlılıktaki terazide tartılmıştır. Kullanılan su her defasında değiştirilmiştir. Buna göre 24 saat suda bekletme miktarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 (\%) \quad (3.3)$$

Burada,

G_t = Ağırlık artımı (%)

t_1 = Deney numunesinin suya daldırmadan önceki ağırlığı (g)

t_2 = Deney numunesinin suya daldırıldıktan sonraki ağırlığı (g)

3.7.2.3. Serbest Formaldehit Testi

Serbest formaldehit testi TS 4894 EN 120 E1: $\leq 8,0$ belirtilen esaslara göre yapılmıştır. İlk olarak deney örneklerinden 110 g hassas terazide tartılarak balon jojeye konmuş ve üzerine 600 ml tolüen ilave edilerek perferatör cihazına bağlanmıştır. Daha sonra perferatör cihazının geri dönüş borusuna 2-2,5 cm kalana kadar 1 lt su konmuştur. Soğutucudan sonraki buhar çıkışında beher konulup içine 150-200 ml saf su konup ve bağlantı borusu suyun içine girecek şekilde yerleştirilmiştir. Parferatör düzeneği bu şekilde hazırlanarak bir ısıtıcı ile çözelti 20-25 dakika kaynatıldıktan sonra geri soğutucudan dakikada 70-90 damla gelmeye başladığı andan itibaren 2 saat daha kaynatılmıştır. Sonra ısıtıcı kapatılarak numunenin bir miktar soğuması beklenerek üst kısımdaki 150 ml lik saf su soğutucunun üst kısmından perferatör suyu ölçülü kaba musluk açılarak boşaltılmıştır. Cihaz 2 kez 200 ml saf su ile yıkanıp ve her defasında yıkama suları yan musluk açılarak ölçülü kaptaki çözeltiye aktarılmış ve numune 2 lt ye tamamlanmıştır. Bu aşamadan sonra elde edilen numuneye spektrofotometrik yöntemle bakılarak serbest formaldehit miktarı belirlenmiştir. Serbest formaldehit testi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Serbest formaldehit testi.

Spektrofotometrik Metot: Bu metoda göre, elde edilen perferatör suyu formaldehit kitlerinin ölçüm aralığına bağlı olarak seyreltilmiştir. Seyreltilen numuneden temiz bir pipetle 1 ml alınır ve formaldehit küvet testlerinden birine ilave edilir. LCK 325A formaldehit tamponundan 1ml alınıp karışımın üzerine eklenir. Numune iyice karıştırılarak 40 °C'ye ayarlanmış ısıtıcıda 10 dakika ısıtılır. Sonra numune kendi halinde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Numune spektrofotometrenin küvet yuvasına yerleştirilerek okutma yapılır.

3.7.3. Mekanik Özelliklere Ait Deneyler

Deney numunelerinin mekanik direnç özelliklerinden; yüzeye dik yönde çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, vida tutma direnci, yapışma direnci, liflere paralel yönde basınç direnci, dinamik eğilme (şok) direnci, özelliklerinin belirlenmesine yönelik testler yapılmıştır.

3.7.3.1. Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci

Yüzeye dik çekme direnci testi TS-EN 319’da verilen standartlara uygun olarak sadece LVL deney örneklerinde yapılmıştır. Her bir deney örneğinden 50x50x20 mm hazırlanan deney örnekleri% 65±5 nisbi rutubet ve 20±2 °C sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşıncaya kadar klimatize edilmiştir. Testler İmal marka test makinasında yapılmıştır. Kuvveti uygulayan başlığın hareket hızı, yükü deney boyunca sabit olarak uygulamasına ve 60±10 saniyede, deney parçasını koparacak maksimum kuvvete ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Deney numunesinin kopmasını sağlayan maksimum kuvvet %1 hassasiyetle ölçülerek kaydedilmiştir. Yüzeye dik yönde çekme direnci testi Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Yüzeye dik yönde çekme direnci testi.

Buna göre yüzeye dik çekme direnci aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$f_t = \frac{F_{\max}}{a \times b} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.4)$$

Burada;

F max = Kopma yükü (Newton)

a = Deney numunesinin uzunluğu (mm)

b = Deney numunesinin genişliği (mm)

3.7.3.2. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri TS EN 310 (1999)'da belirtilen esaslara göre 20x20x360 mm deney örnekleri 20±2 °C ve % 65±5 bağıl nem şartlarında denge rutubetine ulaşınca kadar klimatize edilerek %12 rutubete getirilmiştir. Testler İmal marka test makinasında 10 mm/dk. sabit hızda yapılmış olup, deney örneklerinin deformasyon anındaki kuvvetleri ve grafikleri test cihazından bilgisayara aktarılmıştır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10.Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi.

Buna göre her deneye ait eğilme direnci aşağıdaki eşitliğe göre hesap edilmiştir.

$$f_m = \frac{3 \times F_{\max} \times l_1}{2 \times b \times t^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.5)$$

Burada;

f_m = Eğilme direnci (N/mm²)

$F_{\max}$ = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

l_1 = Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b = Deney numunesinin genişliği (mm)

t = Deney numunesinin kalınlığı (mm)

Her deney parçasının eğilmede elâstikiyet modülü aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$E_m = \frac{l_1^3 x (F_2 - F_1)}{4 x b x t^3 x (a_2 - a_1)} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.6)$$

Burada;

l_1 = Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b = Deney numunesinin genişliği (mm)

t = Deney numunesinin kalınlığı (mm)

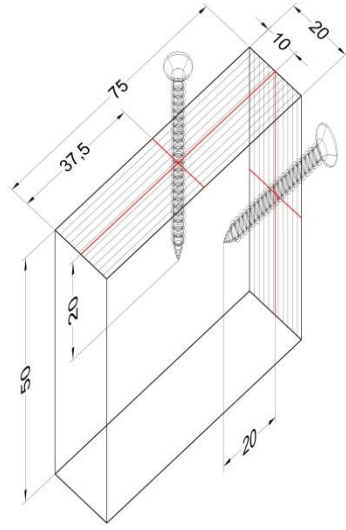
$F_2 - F_1$ = Yük-sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı (Şekil 2.3) Newton

F_1 = Yaklaşık olarak, en büyük kuvvetin % 10'u, F_2 maksimum yükün % 40'ı olmalıdır.

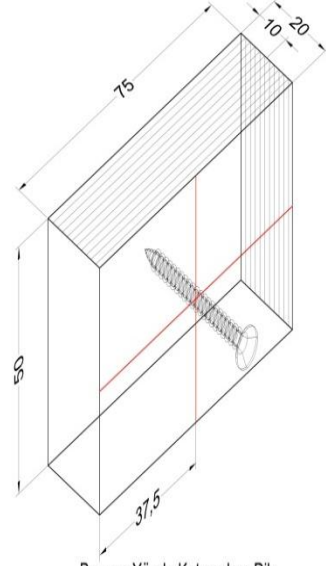
$a_2 - a_1$ = ($F_2 - F_1$) deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışıdır.

3.7.3.3. Vida Tutma Mukavemeti

Vida tutma mukavemetin tayini TS 10506 (1999) sayılı standarta uygun olarak yapılmıştır. 50x75x20 mm ebatlarında hazırlanmış olan deney numuneleri 20 ± 2 °C ve % 65±5 bağıl nem şartlarında denge rutubetine ulaşınca kadar klimatize edilerek %12 rutubete getirilmiştir. Deney örnekleri boyuna yönde katmanlara dik ve paralel, enine yönde katmanlara dik olacak şekilde 3 farklı noktada yapılmıştır. Vidalama işleminde anma boyutu 3,8x40 mm, vida dış açıklığı (vida adımı) 1,4 mm olan çelik vida kullanılmıştır. Deney parçasının yüzey veya kenarından belirlenmesi için ilk olarak vidalar kılavuz (pilot) delikleri vida çapının %80'i kadar ve 5 katı derinlikte (19 ± 1 mm) olacak şekilde ($2,8 \pm 0,1$) mm çapında deney örneklerinin tam orta noktalarına dik olacak şekilde açılmıştır. Hazırlığı tamamlanan deney örnekleri İmal test cihazında 5 mm/dk sabit çekme hızında vida tamamen çıkıncaya kadar bu işlem devam etmiştir. Deney örneklerinin katmanlara paralel ve dik yönlerdeki vida tutma mukavmetlerine ilişkin vida bağlantı yönleri ve ölçüleri Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Boyuna ve Enine Yönde Katmanlara
Paralel Vida Tutma Mukavemeti



Boyuna Yönde Katmanlara Dik
Vida Tutma Mukavemeti

Şekil 3.11. Boyuna ve enine yönde katmanlara paralel ve dik vida tutma testine ait çizimler.

Deney örneklerinin boyuna yönde katmanlara dik ve paralel, enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti testi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Boyuna ve enine yönde katmanlara paralel ve dik vida tutma mukavemeti testi.

Her deney parçasının vida çekme direnci aşağıdaki eşitliğe göre hesap edilmiştir.

$$\sigma_{\varphi} = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{F_{\max}}{h(2\pi r)} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.7)$$

Burada;

σ_{φ} = Çekme gerilmesi (N/mm²),

$F_{\max}$ = Kopma anındaki kuvvet (N),

A= Yapışma yüzey alanı (mm²)

h = Girme derinliği (mm),

$h(2\pi r)$ = Silindir alanı(mm²), dir.

3.7.3.4. Yapışma Direnci

Yapışma direnci testi TS EN 205 (2004) standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. 20x150x10 mm ebatlarında hazırlanmış olan deney örnekleri 20±2 °C ve % 65±5 bağıl nem şartlarında denge rutubetine ulaşmaya kadar klimatize edilerek %12 rutubete getirilmiştir. Testler Üniversal test cihazında statik yükleme ile ölçülmüştür. Numunenin en kesitine homojen ve numuneleri 1,5–2 mm/dakika içinde kopma olacak şekilde sabit bir çekme hızı uygulanmıştır. Kuvvet uygulama eksenini ile deney numunesi ekseninin aynı düşey doğrultuda olmasına dikkat edilmiştir. Deney numunelerinin kopma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden kaydedilmiş olup, yapışma direnci (σ) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{b \times l} \quad (3.8)$$

Burada;

σ = Yapışma Direnci (N/mm²),

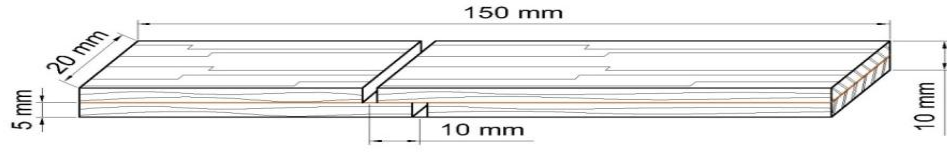
F = Kopma anındaki kuvvet (N),

A= Yapışma yüzey alanı (mm²)

b = Yapışma yüzeyinin genişliği (mm),

l = Yapışma yüzeyinin uzunluğu (mm), dir.

Yapışma direnci testinde kullanılan numune boyutları Şekli 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Yapışma direnci testi numune boyutları.

Yapışma direnci testi Şekli 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Yapışma direnci testi.

3.7.3.5. Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel yönde basınç direnci (LPBD) TS 2595 (1977) sayılı standarta uygun olarak Üniuersal test cihazında yapılmıştır. 20x20x30 mm ebatlarında hazırlanmış olan deney numuneleri 20 ± 2 °C ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında denge rutubetine ulaşınca kadar klimatize edilerek % 12 rutubete getirilmiştir. Numunelerin en kesitine tam ortadan ve numuneleri 1.5-2 dakika içinde ezecek şekilde sabit bir yükleme hızı ayarlanmıştır. Deneyden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı 0,01 duyarlıkta (axb) ölçülüp, uygulanan kuvvet örnek kırılınca kadar devam ettirilmiş ve kırılma anındaki kuvvet ve grafikler test cihazına bağlı bilgisayara aktarılmıştır. Liflere paralel basınç direnci testi Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Liflere paralel basınç direnci testi.

Liflere paralel basınç direnci ($\sigma_w//$) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_w// = \frac{P_{\max}}{a \times b} \quad (3.9)$$

Burada;

$\sigma_w//$ = Liflere paralel basınç direnci (N/mm²)

$P_{\max}$ = Kırılma anındaki en büyük yük (N)

a ve b = Deney parçasının enine kesit alanı (mm²)

3.7.3.6. Dinamik Eğilme (Şok) Direnci

Dinamik eğilme şok direnci ağaç malzemenin ani tesir eden kuvvetlere karşı koyma gücüdür. TS 2477 standartında belirlenen esaslara uyularak yapılmıştır. 20x300x20 mm ebatlarında hazırlanmış olan deney numuneleri 20±2 °C ve % 65±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar klimatize edilerek %12 rutubete ulaşmaları sağlanmıştır. Klimatize işleminden sonra, örneklerin radyal yönü genişlik, teğet yönü de kalınlık alınmak suretiyle boyutları örneğin ortasından ± 0,01 mm duyarlılıkta ölçülmüştür.

Dinamik eğilmede şok direnci deneyi pandülü çekiç kullanılarak yapılmıştır. Örnekler makineye çarpma, radyal yüzeye olacak şekilde yerleştirilmiştir. Dinamik eğilme (şok) direnci testi Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Dinamik eğilme (şok) direnci testi.

Her deney parçasının dinamik eğilme (şok) direnci (sDE) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$sDE = \frac{W}{bxh} \quad (3.10)$$

Burada,

W = Kırılma anında harcanan is (kg.m)

b = Örneğin genişliği (cm)

h = Örneğin yüksekliği (cm)

3.7.4. Nanopartikül İlaveli FF-MUF'un Termal ve Morfolojik Özellikleri

Deney levhalarının üretiminde kullanılan FF ve MUF tutkallarına nano ürün katkı ilavesi sonrasında tutkalların sıcaklık ya da zamana göre termal kararlılıkları termogravimetrik analiz eğrileri (TGA), içyapıdaki morfolojik özelliklerine ait değişimler elektron mikroskop görüntüleri (SEM) kontrol grupları ile karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir.

3.7.4.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

TGA, bir materyalin sıcaklığın bir fonksiyon olduğu ortamda kütlesindeki değişimlerin mg yada % olarak belirlenmesidir. TGA örnek ağırlığının, deney esnasında sıcaklık ya da zamana göre değişiminin ölçümüdür. TGA analizi için, örnekler öğütücü yardımıyla 1mm boyutuna kadar öğütülmektedir. Öğütülmüş parçalar küçük seramik kaplar içerisinde Shimadzu TGA-50 marka test cihazı kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Test süresince örneklerin daha hassas olarak test edilmesi için azot gazı kullanılmış ve test süresince akış hızı 20 mL/min, olarak kullanılmıştır. Test sıcaklığı 10°C/dak.'lık sıcaklık artışı ile oda sıcaklığında 700°C ulaşacak şekilde ayarlanmıştır.

Amorf bir polimer olan FF ve MUF'unda termal özellikleri her polimer gibi önemli bir özelliktir. Çünkü tutkalların bozunma sıcaklıkları kullanıldıkları ürünlerin direnç özelliklerini önemli oranda değiştirebilir. TGA yöntemleri polimer nanokompozitlerin mikro yapısının belirlenmesi için gerçekleştiren en önemli testlerden birisidir. Ahşap plastik nanokompozitlerin kullanım alanları düşünüldüğünde özellikle yarı yapısal uygulamalarında termal performansının yüksek oranda stabilite sağlaması arzu edilen bir özelliktir. Ayrıca tutkalların bozunma derecelerinde ısıtılmalarıda tutkalın tutma ve yapıştırma kabiliyetini de büyük oranlarda bozmaktadır (Kaymakcı, 2015).

3.7.4.2. Morfolojik Özellikleri (SEM)

Morfolojik özelliklerden SEM görüntülerinin belirlenmesine yönelik deney örneklerinin elde edilmesinde karışımın daha homojen gerçekleşmesi için 200 g tutkal'a göre ilk olarak %3 oranında sertleştirici amonyum sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) belirlenen oranlarda (%2 ve %4) nano ürünler (TiO_2 ve SiO_2) bir beher içersisinde 1100 dev/dak. mekanik karıştırıcı ile 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra her bir numuneden yaklaşık 30 g nano ürün ilaveli tutkal örneği alınmıştır. Taramalı elektron mikroskopunda (SEM) yapılan görüntü analizleri sayesinde deney örneklerinin içyapısı ayrıntılı şekilde incelenebilmekte, genel morfolojik özellikleri ile içyapıyı oluşturan bileşenlerin yapısal ve dokusal özellikleri, birbirleriyle olan ilişkileri, boyutları, görünür bollukları, yayılım ve dağılımları gibi özellikleri tespit edilebilmektedir (Anonim, 2018). Şekil 3.17'de nano ürünlerle karıştırılarak hazırlanan tutkal örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Nano ürün takviyeli tutkal karışımları.

Alınan tutkal örnekleri etüv cihazında 170 ± 5 °C'de sertleşene kadar bekletilmiştir. Sertleşmiş olan deney örnekleri ilk olarak altın paladyum alaşımı ile iletkenlik kazandırılmak amacıyla kaplanmıştır. Kaplama işlemi Quorum 150R ES cihazı ile vakum atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra deney örneklerinin morfolojilerini incelemek için ZEISS Ultra Plus cihazına yerleştirilerek SEM görüntüleri alınmıştır. Ayrıca, nano partiküllerin dağılımını incelemek amacıyla

SEM-Mapping (Haritalama) işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.18’de nano ürün takviyeli tutkal örneklerinin sertleşmesinin sağlandığı etüv ve SEM görüntü cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.18.Etüv ve (SEM) görüntü cihazı.

3.8. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lamine ağaç malzemeler LVL ve GLULAM’ın fiziksel ve mekanik özellikleri standartlarda belirtilen prosedürlere uygun olarak test edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen veriler istatistik analiz SPSS programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Üretim esnasında kullanılan pres basıncına bağlı olan tutkal ve nano ürün türü ve kullanım oranları lamine kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri çoklu varyans analizi (MANOVA) yapılarak incelenmiş ve istatistiksel olarak birbirlerinden farklı olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Faktörler arası karşılıklı etkileşimin %5 hata payı ile anlamlı olduğu durumlarda DUNCAN testleri yapılarak gruplar arasındaki homojenlik ve varyasyon katsayıları belirlenmiştir.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. TUTKAL VE LAMİNE MALZEMELERE AİT BULGULAR

4.1.1. Nano ürünlerle modifiye edilen tutkalların özellikleri

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MÜF tutkalının yoğunluk, ph ve viskozite'ye ait ortalama değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkalının özellikleri.

Yoğunluk	Ortalama (g/cm ³)		Ph		Viskozite (20 °C) Cps	
	FF	MUF	FF	MUF	FF	MUF
Tutkal						
Kontrol	1,212	1,241	11,45	8,60	838	155
TiO ₂ -%2	1,222	1,251	11,45	8,50	902	175
TiO ₂ -%4	1,221	1,270	11,47	8,45	909	157
SiO ₂ -%2	1,210	1,252	11,36	8,38	1028	209
SiO ₂ -%4	1,200	1,237	11,31	8,41	972	279

Çizelge 4.1'e göre Nano ürünlere modifiye edilen FF ve MÜF tutkalının yoğunluk, ph ve viskozite değerleri kontrol örnekleri karşılaştırıldığında yoğunluk ve ph değerlerinde belirgin artış ve düşüşler görülmez iken viskozite değerlerinde belirgin artışlar görülmüştür. Buna göre, viskozite değerlerinde en yüksek artış FF tutkalında %23,7 ile %2 SiO₂'de görülürken, MUF tutkalında ise %80 ile %4 SiO₂ nano ürün kullanımında tespit edilmiştir. Viskozite artışı tutkal tatbikini her ne kadar güçleştirse de yapılan deneme çalışmalarında yüksek frekanslı preslerde daha kısa presleme süreleri üzerine olumlu etkisi olduğu görülmüştür.

4.1.2. Lamine malzemelerin ortalama yoğunluk değerleri

Nano ürünlerle modifiye edilmeyen tutkalların kullanılması ile elde edilen GLULAM ve LVL'lerin yoğunluklarına ait ortalama değerler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Nano ürünlerle modifiye edilen lamine malzemelerin ortalama yoğunluk değerleri.

Yoğunluk	Ortalama (g/cm ³)							
Ağaç Türü	Gökmar				Kavak			
Lamine Malzeme	GLULAM		LVL		GLULAM		LVL	
Tutkal	FF	MUF	FF	MUF	FF	MUF	FF	MUF
Kontrol	0,407	0,414	0,550	0,543	0,407	0,387	0,592	0,580
TiO ₂ -%2	0,418	0,422	0,552	0,612	0,417	0,408	0,585	0,570
TiO ₂ -%4	0,412	0,421	0,560	0,602	0,413	0,397	0,557	0,607
SiO ₂ -%2	0,411	0,425	0,548	0,553	0,428	0,400	0,577	0,572
SiO ₂ -%4	0,426	0,425	0,542	0,560	0,414	0,402	0,583	0,558

Çizelge 4.2'ye göre nano ürünlerle işlem görmüş FF ve MUF tutkalının kullanılması sonucu elde edilen lamine malzemelerin ortalama yoğunluk değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre en yüksek yoğunluk artışı %12,7 ile %2 TiO₂ nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan gökmar-LVL deney örneklerinde belirlenmiştir. Ayrıca, her iki ağaç ve tutkal türünden elde edilen lamine malzemelerde tüm nano ürün kullanım oranlarında LVL'nin GLULAM'a göre daha yüksek yoğunluk artışlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum LVL deney örneklerinin katman sayısına bağlı olarak birim hacimde daha fazla tutkal içermesi ve üretim esnasında uygulanan pres basıncının yoğunlaştırma etkisi ile açıklanabilir.

4.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR

4.2.1. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Kalınlık Artışı

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürünlerin 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı değerleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	227,138 ^a	39	5,824	16,965	0,000
Kesişim	5180,329	1	5180,329	15090,063	0,000
Ağaç Türü	0,006	1	0,006	0,017	0,896
Lamine Malzeme	85,849	1	85,849	250,076	0,000
Tutkal	3,057	1	3,057	8,906	0,003
Nano Ürün	32,477	4	8,119	23,651	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	24,241	1	24,241	70,613	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	11,462	1	11,462	33,387	0,000
Ağaç Türü * Nano Ürün	1,859	4	0,465	1,354	0,250
Lamine Malzeme * Tutkal	4,180	1	4,180	12,176	0,001
Lamine Malzeme * Nano Ürün	0,988	4	0,247	0,720	0,579
Tutkal * Nano Ürün	3,550	4	0,888	2,585	0,037
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal	2,724	1	2,724	7,935	0,005
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Nano Ürün	13,449	4	3,362	9,794	0,000
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	29,743	4	7,436	21,660	0,000
Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	1,753	4	0,438	1,276	0,279
Ağaç Türü*Lamine Malzeme*Tutkal*Nano Ürün	11,800	4	2,950	8,593	0,000
Hata	123,586	360	0,343		
Toplam	5531,052	400			
Düzeltilmiş Toplam	350,724	399			

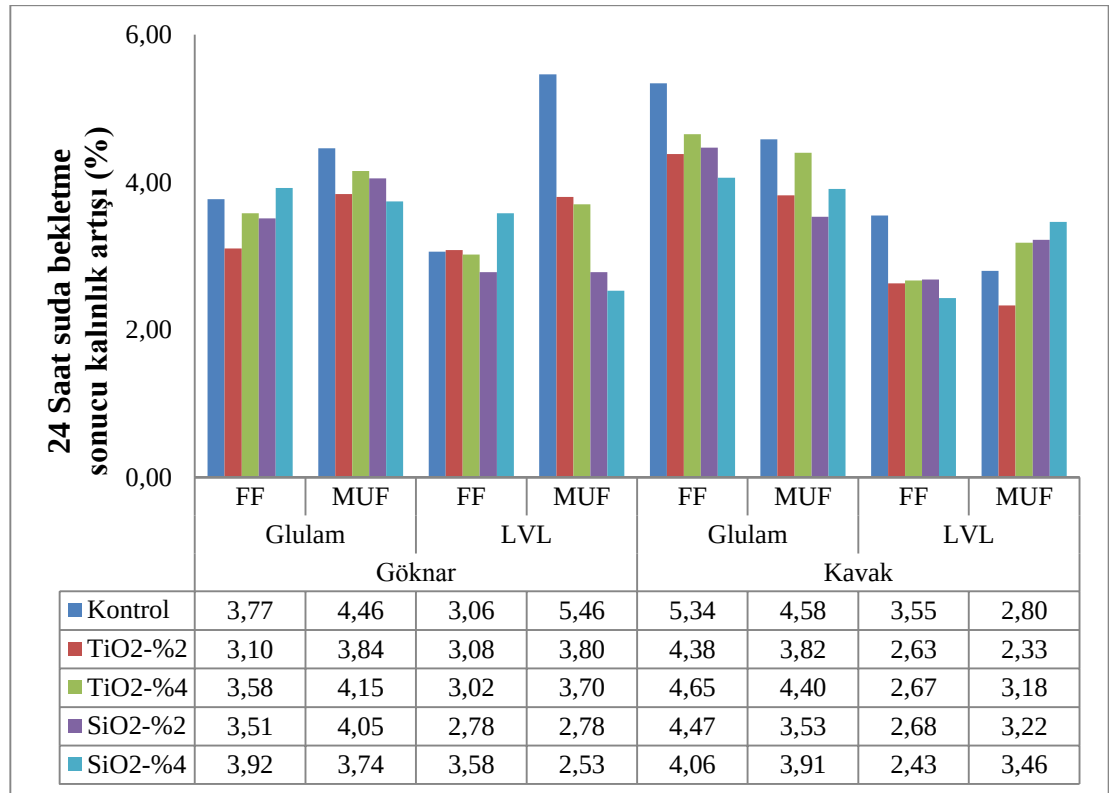
a. $R^2 = 0,648$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,609$)

Analiz sonuçlarına göre 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı değerleri üzerinde, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri ve lamine ağaç malzeme türü bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup ($p < 0,05$) Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (%)	p
Ağaç Türü	Gök nar Kavak	3,59 3,60	0,935
Lamine Malzeme	Glulam LVL	4,06 3,14	0,000
Tutkal	FF MUF	3,51 3,69	0,062
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	4,13 (b) 3,37 (a) 3,67 (a) 3,38 (a) 3,45 (a)	0,000

Çizelge 4.4'e göre lamine malzeme çeşidi bakımından LVL'nin daha düşük kalınlık artışı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Nano ürün maddesi bakımından tüm nano ürünlerin birbirine yaklaşık eşit kalınlık artışı değerlerine sahip olduğu ve kontrol grubundan istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği belirlenmiştir ($p < 0,05$). Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1.24 saat bekletme sonucu kalınlık artışı.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkalları kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemelerin 24 saat suda bekletme sonucu kalınlığına şişme değerleri varyans analizi ile karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5.24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışına ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	3,77	10	8,6	g-k
			TiO ₂ -%2	3,10	10	15,9	c-f
			TiO ₂ -%4	3,58	10	12,4	e-j
			SiO ₂ -%2	3,51	10	8,6	e-i
			SiO ₂ -%4	3,92	10	19,0	i-m
		MUF	Kontrol	4,46	10	12,0	mn
			TiO ₂ -%2	3,84	10	5,4	h-l
			TiO ₂ -%4	4,15	10	9,2	j-n
			SiO ₂ -%2	4,05	10	13,3	i-n
			SiO ₂ -%4	3,74	10	7,8	g-j
	LVL	FF	Kontrol	3,06	10	9,8	c-e
			TiO ₂ -%2	3,08	10	16,0	c-e
			TiO ₂ -%4	3,02	10	20,7	b-e
			SiO ₂ -%2	2,78	10	9,2	a-d
			SiO ₂ -%4	3,58	10	13,0	e-j
		MUF	Kontrol	5,46	10	18,8	o
			TiO ₂ -%2	3,80	10	13,5	h-k
			TiO ₂ -%4	3,70	10	11,3	f-j
			SiO ₂ -%2	2,78	10	9,3	a-d
			SiO ₂ -%4	2,53	10	16,8	a-c
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	5,34	10	29,5	o
			TiO ₂ -%2	4,38	10	17,7	k-n
			TiO ₂ -%4	4,65	10	21,9	n
			SiO ₂ -%2	4,47	10	11,4	mn
			SiO ₂ -%4	4,06	10	13,2	i-n
		MUF	Kontrol	4,58	10	8,6	n
			TiO ₂ -%2	3,82	10	7,7	h-l
			TiO ₂ -%4	4,40	10	24,1	l-n
			SiO ₂ -%2	3,53	10	9,7	e-j
			SiO ₂ -%4	3,91	10	8,8	i-m
	LVL	FF	Kontrol	3,55	10	23,8	e-j
			TiO ₂ -%2	2,63	10	13,5	a-d
			TiO ₂ -%4	2,67	10	16,5	a-d
			SiO ₂ -%2	2,68	10	15,2	a-d
			SiO ₂ -%4	2,43	10	11,2	ab
		MUF	Kontrol	2,80	10	20,1	a-d
			TiO ₂ -%2	2,33	10	25,5	a
			TiO ₂ -%4	3,18	10	12,1	d-g
			SiO ₂ -%2	3,22	10	18,9	d-h
			SiO ₂ -%4	3,46	10	10,0	e-i

4.2.2. 24 Saat Suda Bekletme Sonucu Ağırlık Artışı

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürün kullanımının 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı değerlerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	45244,914 ^a	39	1160,626	51,227	0,000
Kesişim	1136288,843	1	1136288,843	50174,808	0,000
Ağaç Türü	3272,584	1	3272,584	144,507	0,000
Lamine Malzeme	20480,043	1	20480,043	904,332	0,000
Tutkal	2315,486	1	2315,486	102,244	0,000
Nano Ürün	3090,668	4	772,667	34,118	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	9035,738	1	9035,738	398,889	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	604,693	1	604,693	26,701	0,000
Ağaç Türü * Nano Ürün	477,093	4	119,273	5,267	0,000
Lamine Malzeme * Tutkal	37,632	1	37,632	1,662	0,198
Lamine Malzeme * Nano Ürün	1524,342	4	381,085	16,827	0,000
Tutkal * Nano Ürün	912,887	4	228,222	10,078	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal	141,670	1	141,670	6,256	0,013
Ağaç Türü*Lamine Malzeme*Nano Ürün	792,993	4	198,248	8,754	0,000
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	1858,215	4	464,554	20,513	0,000
Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	468,748	4	117,187	5,175	0,000
Ağaç Türü*Lam. Malz.*Tutkal*Nano Ürün	232,123	4	58,031	2,562	0,038
Hata	8152,776	360	22,647		
Toplam	1189686,533	400			
Düzeltilmiş Toplam	53397,690	399			

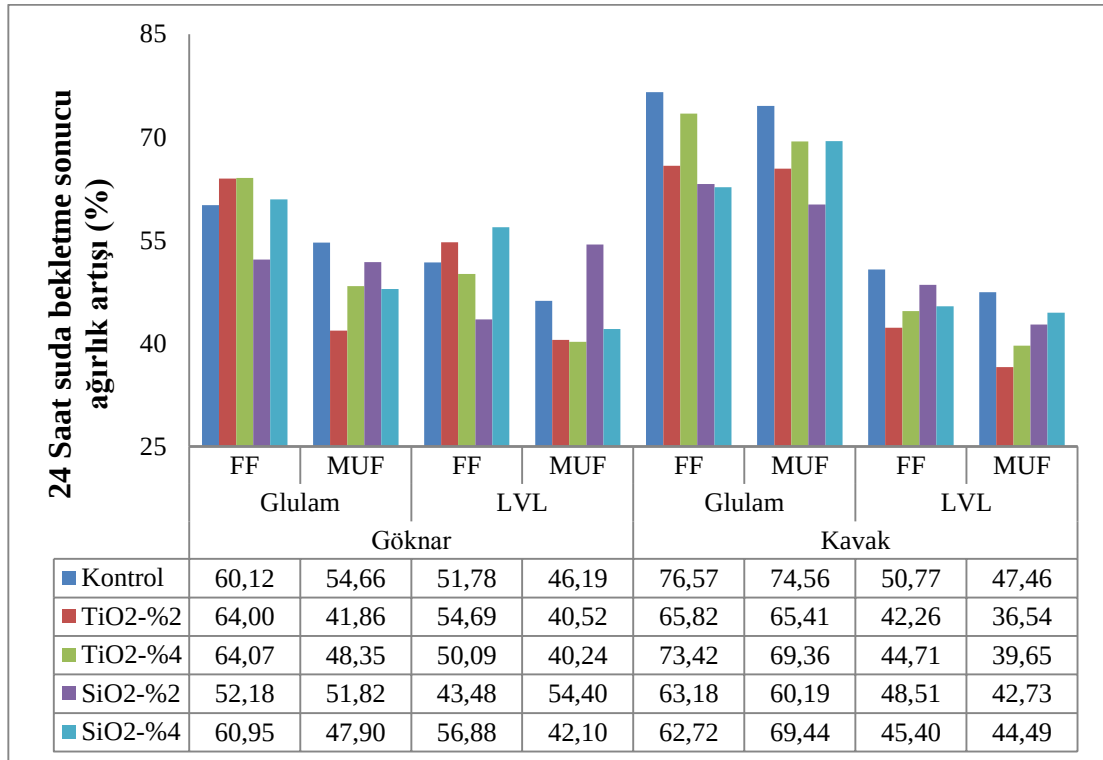
a. $R^2 = 0,847$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,831$)

Analiz sonuçlarına göre 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri ve lamine malzeme bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup ($p < 0,05$) Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (%)	P
Ağaç Türü	Gökmar Kavak	50,44 56,16	0,000
Lamine Malzeme	Glulam LVL	60,45 46,14	0,000
Tutkal	FF MUF	55,70 50,89	0,000
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	57,76 (c) 49,20 (a) 53,73 (b) 52,06 (ab) 53,74 (b)	0,000

Çizelge 4.7'ye göre ağaç türü bakımından gökmar, lamine malzeme bakımından LVL ve tutkal çeşidi olarak ise MUF'un daha düşük 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Nano ürün bakımından ise tüm nano ürünlerin kontrol grubuna göre düşük ağırlık artışına sahip olduğu ($p < 0,05$), nano ürünler arasında ise %2 TiO₂ ve %2 SiO₂ yaklaşık ancak %4 TiO₂ %4 SiO₂'den daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2.24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı.

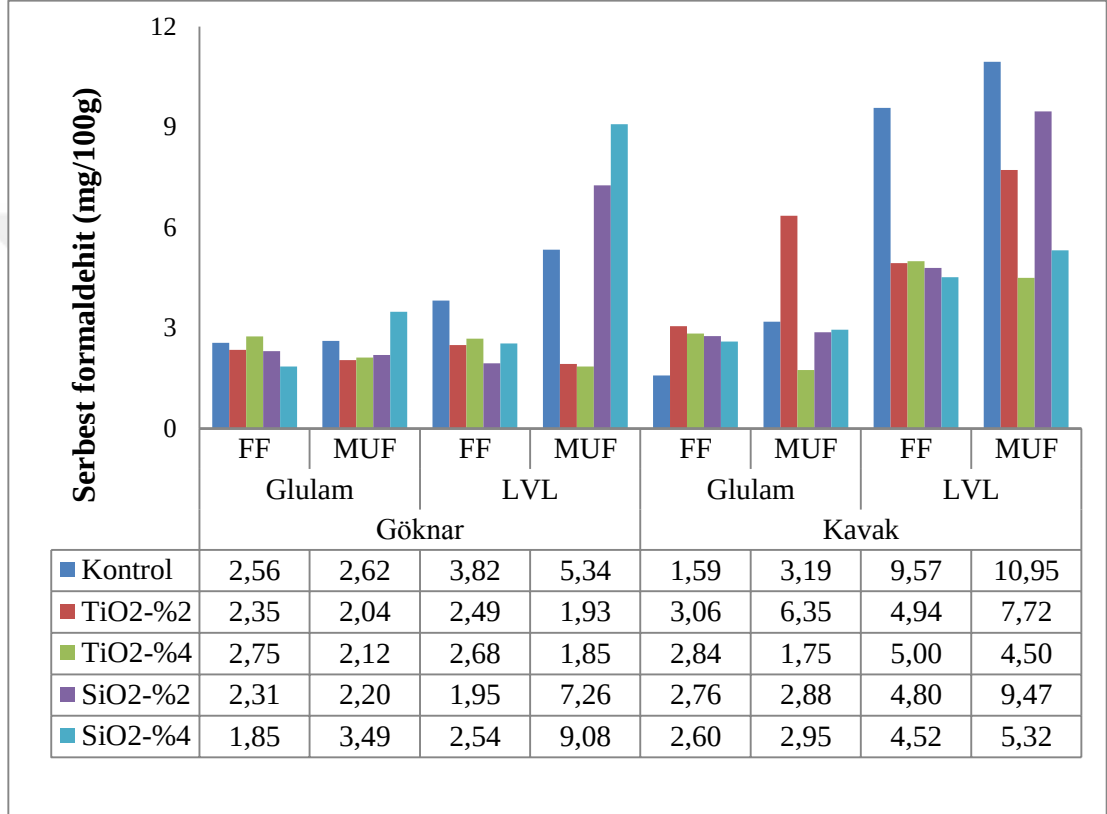
Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkalları kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemelerin 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı değerleri varyans analizi ile karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8.24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışına ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	60,12	10	5,4	no
			TiO ₂ -%2	64	10	6,9	e-j
			TiO ₂ -%4	64,07	10	4,7	o-r
			SiO ₂ -%2	52,18	10	4,1	kl
			SiO ₂ -%4	60,95	10	2,3	n-p
		MUF	Kontrol	54,66	10	8,1	lm
			TiO ₂ -%2	41,86	10	4,5	b-e
			TiO ₂ -%4	48,35	10	4,9	g-k
			SiO ₂ -%2	51,82	10	11	kl
			SiO ₂ -%4	47,9	10	13,1	g-k
	LVL	FF	Kontrol	51,78	10	6,9	kl
			TiO ₂ -%2	54,69	10	16,3	lm
			TiO ₂ -%4	50,09	10	13,3	i-l
			SiO ₂ -%2	43,48	10	2,8	b-g
			SiO ₂ -%4	56,88	10	8,3	mn
		MUF	Kontrol	46,19	10	13,7	e-j
			TiO ₂ -%2	40,52	10	9,8	a-d
			TiO ₂ -%4	40,24	10	5,8	a-c
			SiO ₂ -%2	54,4	10	6,7	lm
			SiO ₂ -%4	42,1	10	11,3	b-e
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	76,57	10	8,3	u
			TiO ₂ -%2	65,82	10	6,7	rs
			TiO ₂ -%4	73,42	10	6,2	tu
			SiO ₂ -%2	63,18	10	4,4	o-r
			SiO ₂ -%4	62,72	10	4,9	o-r
		MUF	Kontrol	74,56	10	6,6	u
			TiO ₂ -%2	65,41	10	6,8	p-s
			TiO ₂ -%4	69,36	10	12,8	st
			SiO ₂ -%2	60,19	10	11,9	n-o
			SiO ₂ -%4	69,44	10	13,3	st
	LVL	FF	Kontrol	50,77	10	10,3	j-l
			TiO ₂ -%2	42,26	10	3,5	b-e
			TiO ₂ -%4	44,71	10	8,5	c-h
			SiO ₂ -%2	48,51	10	5,9	h-k
			SiO ₂ -%4	45,4	10	4,8	d-i
		MUF	Kontrol	47,46	10	15,1	f-k
			TiO ₂ -%2	36,54	10	12,6	a
			TiO ₂ -%4	39,65	10	8,9	ab
			SiO ₂ -%2	42,73	10	8,5	b-f
			SiO ₂ -%4	44,49	10	10,6	b-h

4.2.3. Serbest Formaldehit Değeri

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürün kullanımının serbest formaldehit değerleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan test sonuçlarının ortalama değerleri ve bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Serbest formaldehit.

Şekil 4.3’e göre farklı ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddesi kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemelerin serbest formaldehit değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en düşük değerlere kavak odunundan FF tutkalı ile yapıştırılan GLULAM’da, en yüksek kavak odunundan MUF tutkalı ile yapıştırılan LVL kontrol gruplarında tespit edilmiştir. Lamine malzemelerin serbest formaldehit değerlerine etki bakımından kendi grupları içinde karşılaştırıldığında en yüksek etkiye %4 TiO₂ ile işlem gören ve göknar odunundan elde edilen LVL deney örneklerinde, en düşük %2 TiO₂ ile işlem gören ve kavak odunundan elde edilen GLULAM deney örneklerinde tespit edilmiştir.

4.3. MEKANİK ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR

4.3.1. Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci

Lamine ağaç malzemelerin yüzeye dik yönde çekme direncine sadece LVL deney örnekleri üzerinde yapılmıştır. Ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürünlerin yüzeye dik yönde çekme direnci değerlerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Yüzeye dik yönde çekme direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	18,537 ^a	19	0,976	54,960	0,000
Kesişim	374,394	1	374,394	21090,653	0,000
Ağaç Türü	3,575	1	3,575	201,397	0,000
Tutkal	1,855	1	1,855	104,482	0,000
Nano Ürün	3,250	4	0,813	45,771	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	0,197	1	0,197	11,108	0,001
Ağaç Türü * Nano Ürün	2,564	4	0,641	36,113	0,000
Tutkal * Nano Ürün	4,329	4	1,082	60,970	0,000
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	2,766	4	0,692	38,957	0,000
Hata	3,195	180	0,018		
Toplam	396,126	200			
Düzeltilmiş Toplam	21,732	199			

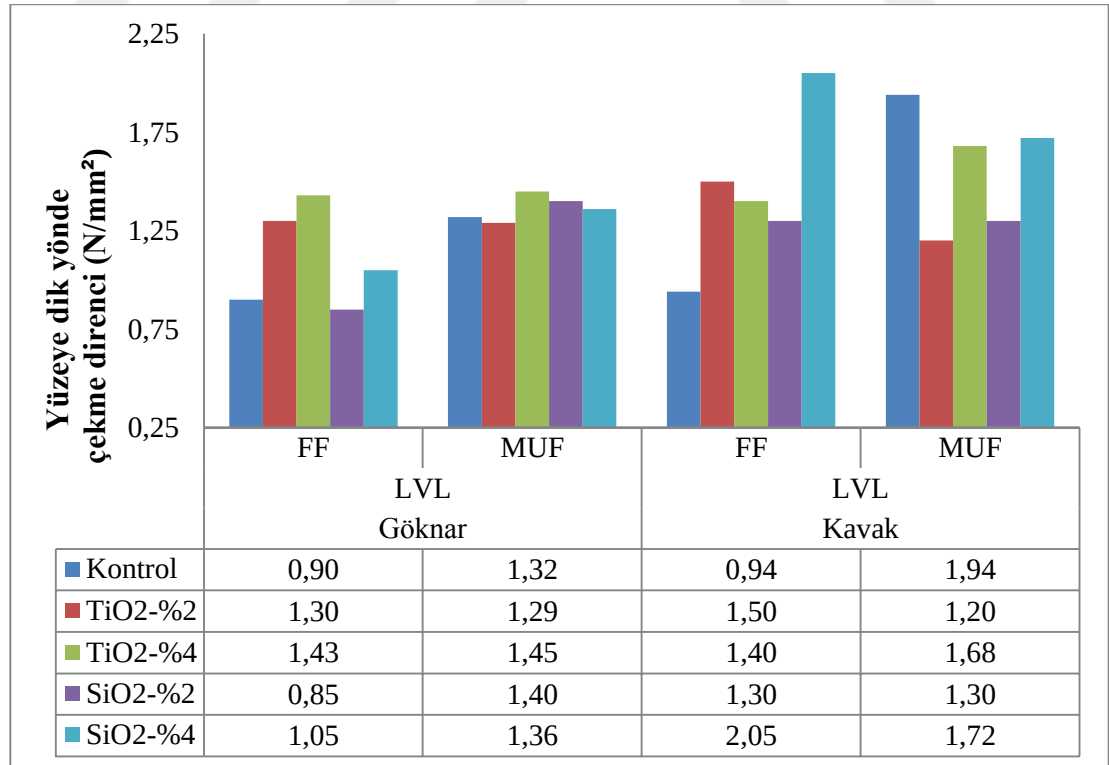
a. $R^2 = 0,853$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,837$)

Analiz sonuçlarına göre LVL lamine malzemelerin yüzeye dik yönde çekme direncideğerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$) Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Yüzeye dik yönde çekme direnci etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Gökmar Kavak	1,23 1,50	0,000
Tutkal	FF MUF	1,27 1,46	0,000
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	1,27 (a) 1,32 (a) 1,49 (b) 1,21 (a) 1,54 (b)	0,000

Çizelge 4.10'a göre LVL lamine malzemelerin yüzeye dik yönde çekme dirençleri üzerine ağaç türü bakımından kavak türünün, ve tutkal çeşidi olarak ise MUF'un ve yüksek oranda nano ürün kullanımında daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Yüzeye dik yönde çekme direnci.

Farklı ağaç türleri ve nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Yüzeye dik yönde çekme direncine ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	LVL	FF	Kontrol	0,90	10	12,6	a
			TiO ₂ -%2	1,30	10	10,7	c-e
			TiO ₂ -%4	1,43	10	16,3	e-g
			SiO ₂ -%2	0,85	10	13,8	a
			SiO ₂ -%4	1,05	10	10,7	b
		MUF	Kontrol	1,32	10	5,8	c-e
			TiO ₂ -%2	1,29	10	9,6	cd
			TiO ₂ -%4	1,45	10	13,5	fg
			SiO ₂ -%2	1,40	10	7,9	d-g
			SiO ₂ -%4	1,36	10	6,4	d-f
Kavak	LVL	FF	Kontrol	0,94	10	4,5	ab
			TiO ₂ -%2	1,50	10	19,8	g
			TiO ₂ -%4	1,40	10	5,3	d-g
			SiO ₂ -%2	1,30	10	11,6	c-e
			SiO ₂ -%4	2,05	10	3,8	ı
		MUF	Kontrol	1,94	10	3,4	ı
			TiO ₂ -%2	1,20	10	10,5	c
			TiO ₂ -%4	1,68	10	5,5	h
			SiO ₂ -%2	1,30	10	6,4	c-e
			SiO ₂ -%4	1,72	10	3,5	h

4.3.2. Eğilme Direnci

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürünlerin eğilme direnci değerlerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Eğilme direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	22301,647 ^a	39	571,837	15,775	0,000
Kesişim	2484940,801	1	2484940,801	68552,203	0,000
Ağaç Türü	1735,847	1	1735,847	47,887	0,000
Lamine Malzeme	7098,315	1	7098,315	195,822	0,000
Tutkal	3675,451	1	3675,451	101,395	0,000
Nano Ürün	702,504	4	175,626	4,845	0,001
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	1862,570	1	1862,570	51,383	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	180,997	1	180,997	4,993	0,026
Ağaç Türü * Nano Ürün	1240,396	4	310,099	8,555	0,000
Lamine Malzeme * Tutkal	1589,418	1	1589,418	43,847	0,000
Lamine Malzeme * Nano Ürün	157,867	4	39,467	1,089	0,362
Tutkal * Nano Ürün	532,224	4	133,056	3,671	0,006
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal	465,675	1	465,675	12,847	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Nano Ürün	402,268	4	100,567	2,774	0,027
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	570,323	4	142,581	3,933	0,004
Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	1823,191	4	455,798	12,574	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	264,601	4	66,150	1,825	0,123
Hata	13049,598	360	36,249		
Toplam	2520292,046	400			
Düzeltilmiş Toplam	35351,245	399			

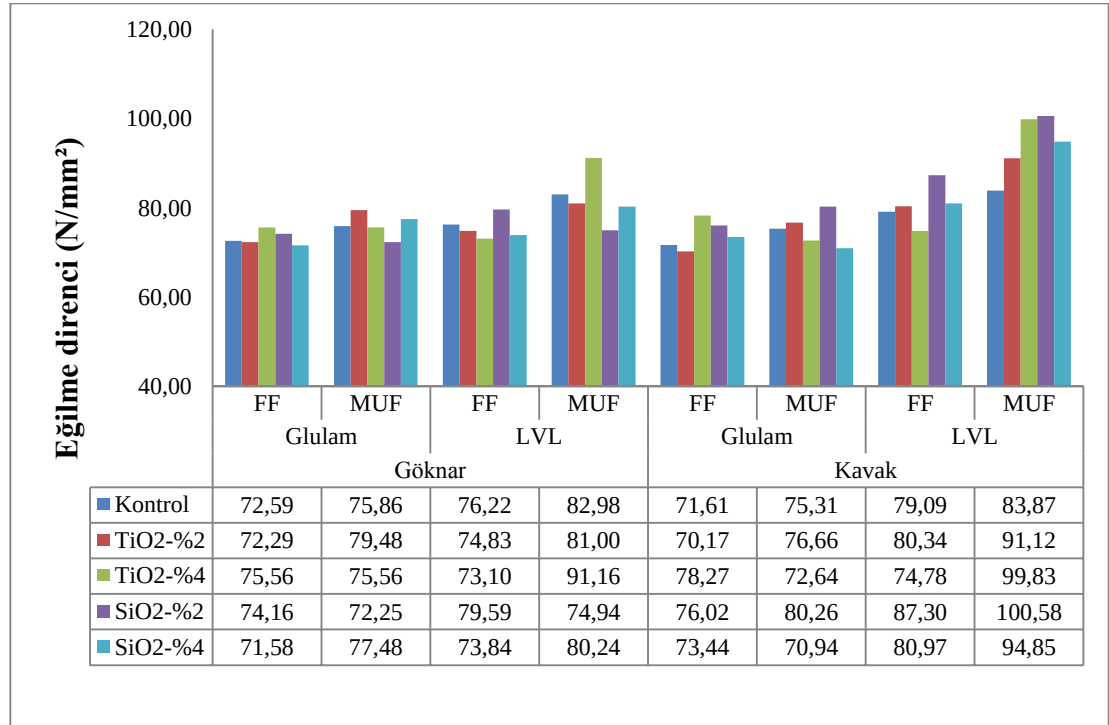
a. $R^2 = 0,631$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,591$)

Analiz sonuçlarına göre eğilme direnci değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri ve lamine malzeme bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$) Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13.Eğilme direnci etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Gök nar Kavak	76,74 80,90	0,036
Lamine Malzeme	Glulam LVL	74,61 83,03	0,000
Tutkal	FF MUF	75,79 81,85	0,000
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	77,19 (a) 78,24 (ab) 80,11 (ab) 80,64 (b) 77,92 (ab)	0,093

Çizelge 4.13'e göre ağaç türü bakımından kavak türünün, lamine malzeme bakımından LVL ve tutkal çeşidi olarak ise MUF'un daha yüksek eğilme direnci değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Nano ürün bakımından ise %2 SiO₂'nin diğer nano ürün yüzdelere göre daha yüksek eğilme direncine sahip olduğu, %2 TiO₂, %4 TiO₂ ve %4 SiO₂'nin ise benzer olup, kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Eğilme direnci.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin eğilme direnci değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.14’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Eğilme direncine ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	72,59	10	9,0	a-d
			TiO ₂ -%2	72,29	10	6,5	a-c
			TiO ₂ -%4	75,56	10	7,9	a-g
			SiO ₂ -%2	74,16	10	8,1	a-f
			SiO ₂ -%4	71,58	10	7,1	ab
		MUF	Kontrol	75,86	10	5,7	a-g
			TiO ₂ -%2	79,48	10	4,8	e-i
			TiO ₂ -%4	75,56	10	10,3	a-g
			SiO ₂ -%2	72,25	10	7,2	a-c
			SiO ₂ -%4	77,48	10	6,4	b-h
	LVL	FF	Kontrol	76,22	10	9,5	a-g
			TiO ₂ -%2	74,83	10	5,8	a-g
			TiO ₂ -%4	73,10	10	8,5	a-e
			SiO ₂ -%2	79,59	10	5,0	e-i
			SiO ₂ -%4	73,84	10	6,6	a-f
		MUF	Kontrol	82,98	10	14,5	h-j
			TiO ₂ -%2	81,00	10	5,5	g-i
			TiO ₂ -%4	91,16	10	5,3	kl
			SiO ₂ -%2	74,94	10	9,2	a-g
			SiO ₂ -%4	80,24	10	7,1	f-i
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	71,61	10	6,0	ab
			TiO ₂ -%2	70,17	10	10,6	a
			TiO ₂ -%4	78,27	10	10,3	c-i
			SiO ₂ -%2	76,02	10	4,1	a-g
			SiO ₂ -%4	73,44	10	4,4	a-e
		MUF	Kontrol	75,31	10	4,4	a-g
			TiO ₂ -%2	76,66	10	3,9	a-h
			TiO ₂ -%4	72,64	10	6,4	a-d
			SiO ₂ -%2	80,26	10	3,9	f-i
			SiO ₂ -%4	70,94	10	3,9	ab
	LVL	FF	Kontrol	79,09	10	5,4	d-i
			TiO ₂ -%2	80,34	10	5,6	f-i
			TiO ₂ -%4	74,78	10	8,2	a-g
			SiO ₂ -%2	87,30	10	4,9	jk
			SiO ₂ -%4	80,97	10	4,6	g-i
		MUF	Kontrol	83,87	10	5,5	ij
			TiO ₂ -%2	91,12	10	7,6	kl
			TiO ₂ -%4	99,83	10	7,8	mn
			SiO ₂ -%2	100,58	10	7,7	n
			SiO ₂ -%4	94,85	10	15,3	lm

4.3.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü ve tutkal çeşidinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine nano ürün maddelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Eğilmede elastikiyet modülü etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	22301,647 ^a	39	571,837	15,775	0,000
Kesişim	2484940,801	1	2484940,801	68552,203	0,000
Ağaç Türü	1735,847	1	1735,847	47,887	0,000
Lamine Malzeme	7098,315	1	7098,315	195,822	0,000
Tutkal	3675,451	1	3675,451	101,395	0,000
Nano Ürün	702,504	4	175,626	4,845	0,001
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	1862,570	1	1862,570	51,383	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	180,997	1	180,997	4,993	0,026
Ağaç Türü * Nano Ürün	1240,396	4	310,099	8,555	0,000
Lamine Malzeme * Tutkal	1589,418	1	1589,418	43,847	0,000
Lamine Malzeme * Nano Ürün	157,867	4	39,467	1,089	0,362
Tutkal * Nano Ürün	532,224	4	133,056	3,671	0,006
Ağaç Türü * Lamine M. * Tutkal	465,675	1	465,675	12,847	0,000
Ağaç Türü * Lamine M. * Nano Ürün	402,268	4	100,567	2,774	0,027
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	570,323	4	142,581	3,933	0,004
Lamine M. * Tutkal * Nano Ürün	1823,191	4	455,798	12,574	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	264,601	4	66,150	1,825	0,123
Hata	13049,598	360	36,249		
Toplam	2520292,046	400			
Düzeltilmiş Toplam	35351,245	399			

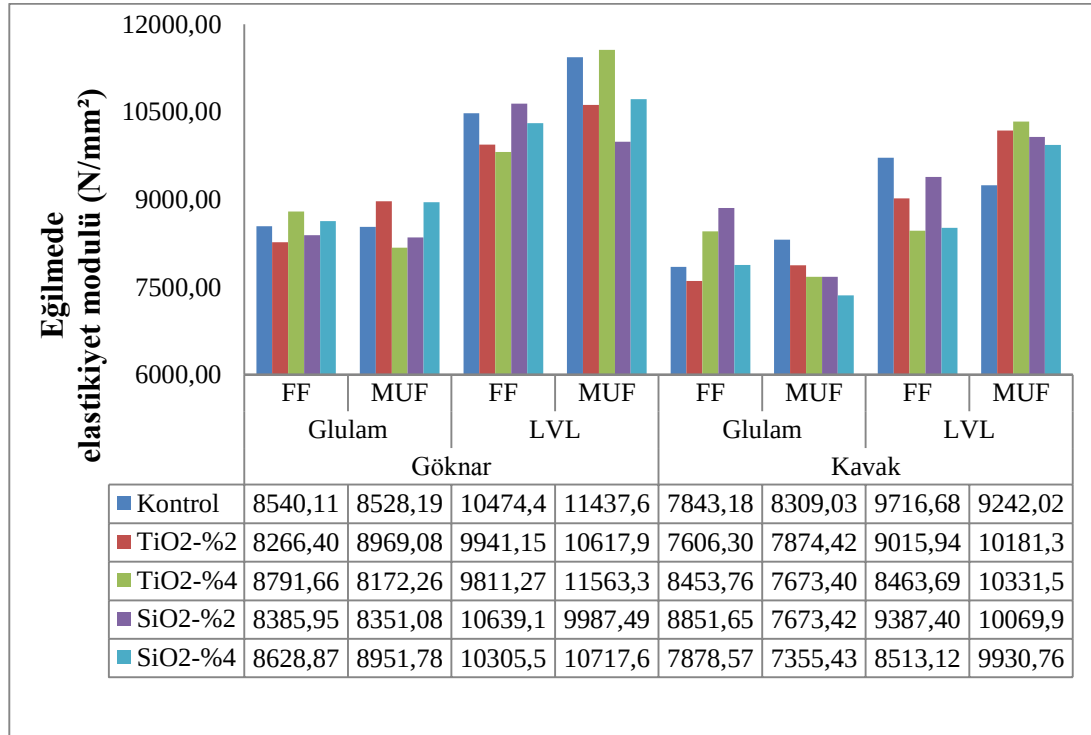
a. $R^2 = 0,805$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,784$)

Analiz sonuçlarına göre eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri ve lamine malzeme bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$) Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16.Eğilmede elastikiyet modülü etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Gök nar Kavak	9554,05 8736,86	0,023
Lamine Malzeme	Glulam LVL	8273,51 10017,40	0,000
Tutkal	FF MUF	8975,74 9315,17	0,005
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	9261,41 (a) 9059,08 (a) 9157,63 (a) 9213,96 (a) 9035,21 (a)	0,727

Çizelge 4.16'ya göre ağaç türü bakımından göknar, lamine malzeme olarak LVL ve tutkal çeşidi olarak ise MUF'un daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Nano ürün maddesi bakımından ise kontrol örnekleri ile nano ürünlerin benzer sonuçlar gösterdiği ve istatistiksel olarak eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında bir etkileşim görülememiştir. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6.Eğilmede elastikiyet modülü.

Nano ürünlerle işlem gören FF ve MUF tutkalları kullanılarak elde edilen lamine ağaç malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Eğilmede elastikiyet modülüne ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	8540,11	10	5,6	e-h
			TiO ₂ -%2	8266,40	10	10,5	c-f
			TiO ₂ -%4	8791,66	10	4,6	f-i
			SiO ₂ -%2	8385,95	10	10,2	c-g
			SiO ₂ -%4	8628,87	10	7,8	e-h
		MUF	Kontrol	8528,19	10	8,8	e-h
			TiO ₂ -%2	8969,08	10	6,5	g-j
			TiO ₂ -%4	8172,26	10	7,3	b-e
			SiO ₂ -%2	8351,08	10	10,8	c-f
			SiO ₂ -%4	8951,78	10	5,6	g-j
	LVL	FF	Kontrol	10474,43	10	7,4	o-r
			TiO ₂ -%2	9941,15	10	4,8	m-o
			TiO ₂ -%4	9811,27	10	4,8	l-n
			SiO ₂ -%2	10639,13	10	3,5	p-r
			SiO ₂ -%4	10305,52	10	5,8	n-r
		MUF	Kontrol	11437,61	10	3,4	s
			TiO ₂ -%2	10617,99	10	3,4	pr
			TiO ₂ -%4	11563,39	10	7,2	s
Kavak	Glulam	FF	SiO ₂ -%2	9987,49	10	4,7	m-o
			SiO ₂ -%4	10717,67	10	6,5	r
		MUF	Kontrol	7843,18	10	6,5	a-c
			TiO ₂ -%2	7606,30	10	3,8	ab
			TiO ₂ -%4	8453,76	10	12,8	d-h
			SiO ₂ -%2	8851,65	10	5,7	f-j
			SiO ₂ -%4	7878,57	10	4,7	a-d
		MUF	Kontrol	8309,03	10	4,7	c-f
			TiO ₂ -%2	7874,42	10	5,0	a-d
			TiO ₂ -%4	7673,40	10	5,2	ab
			SiO ₂ -%2	7673,42	10	3,7	ab
			SiO ₂ -%4	7355,43	10	4,9	a
	LVL	FF	Kontrol	9716,68	10	3,0	k-m
			TiO ₂ -%2	9015,94	10	3,8	h-j
			TiO ₂ -%4	8463,69	10	3,5	e-h
			SiO ₂ -%2	9387,40	10	3,6	j-l
			SiO ₂ -%4	8513,12	10	6,8	e-h
		MUF	Kontrol	9242,02	10	3,8	i-k
			TiO ₂ -%2	10181,32	10	3,5	m-r
			TiO ₂ -%4	10331,59	10	3,6	n-r
			SiO ₂ -%2	10069,92	10	3,8	m-p
			SiO ₂ -%4	9930,76	10	9,9	m-o

4.3.4. Vida Tutma Mukavemeti

Deney örneklerinde vida tutma mukavemeti boyuna ve enine yönde katmanlara paralel, boyuna yönde katmanlara dik olacak şekilde 3 farklı yönde yapılmıştır.

4.3.4.1. Boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürünlerin boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma değerlerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	309,674 ^a	39	7,940	20,320	0,000
Kesişim	11965,098	1	11965,098	30619,125	0,000
Ağaç Türü	54,533	1	54,533	139,551	0,000
Lamine Malzeme	135,616	1	135,616	347,047	0,000
Tutkal	4,594	1	4,594	11,755	0,001
Nano Ürün	3,897	4	0,974	2,493	0,044
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	38,920	1	38,920	99,599	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	3,642	1	3,642	9,321	0,003
Ağaç Türü * Nano Ürün	7,444	4	1,861	4,762	0,001
Lamine Malzeme * Tutkal	28,179	1	28,179	72,112	0,000
Lamine Malzeme * Nano Ürün	7,353	4	1,838	4,704	0,001
Tutkal * Nano Ürün	0,439	4	0,110	0,281	0,890
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal	0,986	1	0,986	2,522	0,114
Ağaç Türü * Lamine M. * Nano Ürün	4,467	4	1,117	2,858	0,023
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	5,564	4	1,391	3,560	0,008
Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	9,730	4	2,433	6,225	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	4,309	4	1,077	2,757	0,028
Hata	109,416	280	0,391		
Toplam	12384,189	320			
Düzeltilmiş Toplam	419,090	319			

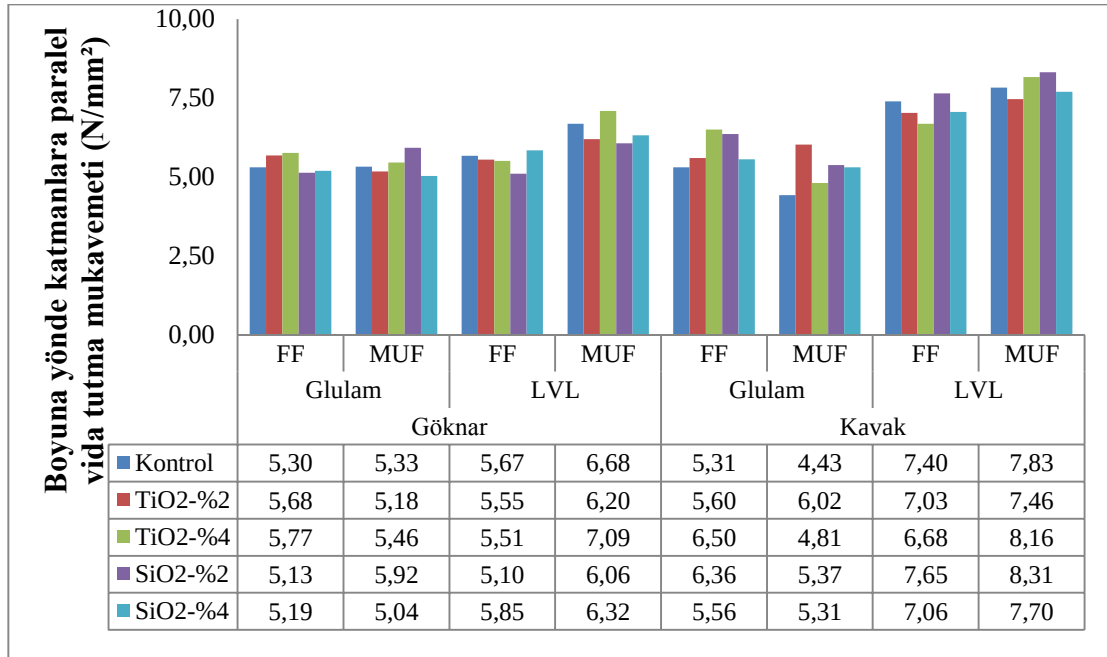
a. $R^2 = 0,739$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,702$)

Analiz sonuçlarına göre boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri ve lamine malzeme bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$) Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Gök nar Kavak	5,70 6,53	0,000
Lamine Malzeme	Glulam LVL	5,46 6,77	0,000
Tutkal	FF MUF	5,99 6,23	0,061
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	5,99 (a) 6,09 (a) 6,25 (a) 6,24 (a) 6,00 (a)	0,566

Çizelge 4.19’a göre ağaç türü bakımından kavak, lamine malzeme bakımından LVL’nin daha yüksek boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Tutkal türü ve nano ürün maddesi bakımından ise kontrol örnekleri ile nano ürünlerin birbirine benzer sonuçlar gösterdiği istatistiksel olarak boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti değerleri arasında bir etkileşim görülememiştir. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkalları kullanılması ile elde edilen lamine malzemelerin boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. Boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti değerlerine ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	5,30	10	8,5	b-f
			TiO ₂ -%2	5,68	10	6,3	c-j
			TiO ₂ -%4	5,77	10	13,2	c-j
			SiO ₂ -%2	5,13	10	5,0	b-d
			SiO ₂ -%4	5,19	10	6,1	b-e
		MUF	Kontrol	5,33	10	8,9	b-g
			TiO ₂ -%2	5,18	10	9,5	b-e
			TiO ₂ -%4	5,46	10	9,7	b-h
			SiO ₂ -%2	5,92	10	10,0	e-k
			SiO ₂ -%4	5,04	10	9,9	a-c
	LVL	FF	Kontrol	5,67	10	19,7	c-j
			TiO ₂ -%2	5,55	10	18,2	b-h
			TiO ₂ -%4	5,51	10	9,5	b-h
			SiO ₂ -%2	5,10	10	5,7	b-d
			SiO ₂ -%4	5,85	10	9,8	d-k
		MUF	Kontrol	6,68	10	9,4	l-n
			TiO ₂ -%2	6,20	10	12,2	h-l
			TiO ₂ -%4	7,09	10	11,1	n-o
			SiO ₂ -%2	6,06	10	11,7	g-l
			SiO ₂ -%4	6,32	10	7,2	i-l
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	5,31	10	13,6	b-f
			TiO ₂ -%2	5,60	10	9,7	c-i
			TiO ₂ -%4	6,50	10	8,8	k-n
			SiO ₂ -%2	6,36	10	12,6	j-m
			SiO ₂ -%4	5,56	10	14,5	c-h
		MUF	Kontrol	4,43	10	10,6	a
			TiO ₂ -%2	6,02	10	9,1	f-l
			TiO ₂ -%4	4,81	10	8,7	a-b
			SiO ₂ -%2	5,37	10	2,0	b-g
			SiO ₂ -%4	5,31	10	13,7	b-f
	LVL	FF	Kontrol	7,40	10	5,4	o-p
			TiO ₂ -%2	7,03	10	8,9	m-o
			TiO ₂ -%4	6,68	10	7,6	l-n
			SiO ₂ -%2	7,65	10	6,8	o-r
			SiO ₂ -%4	7,06	10	3,8	n-o
		MUF	Kontrol	7,83	10	9,6	p-r
			TiO ₂ -%2	7,46	10	14,3	o-p
			TiO ₂ -%4	8,16	10	10,0	r
			SiO ₂ -%2	8,31	10	4,0	r
			SiO ₂ -%4	7,70	10	10,3	o-r

4.3.4.2. Enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürün kullanımının enine yönde katmanlara paralel vida tutma değerleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	194,719 ^a	39	4,993	10,331	0,000
Kesişim	7608,901	1	7608,901	15743,953	0,000
Ağaç Türü	66,394	1	66,394	137,378	0,000
Lamine Malzeme	35,312	1	35,312	73,065	0,000
Tutkal	8,135	1	8,135	16,831	0,000
Nano Ürün	6,319	4	1,580	3,269	0,012
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	39,663	1	39,663	82,069	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	8,587	1	8,587	17,768	0,000
Ağaç Türü * Nano Ürün	3,256	4	0,814	1,684	0,155
Lamine Malzeme * Tutkal	3,536	1	3,536	7,317	0,007
Lamine Malzeme * Nano Ürün	5,507	4	1,377	2,849	0,024
Tutkal * Nano Ürün	2,146	4	0,536	1,110	0,354
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal	5,284	1	5,284	10,933	0,001
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Nano Ürün	2,316	4	0,579	1,198	0,310
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	6,587	4	1,647	3,407	0,009
Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	0,167	4	0,042	0,087	0,986
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	1,510	4	0,378	0,781	0,536
Hata	135,321	280	0,483		
Toplam	7938,940	320			
Düzeltilmiş Toplam	330,040	319			

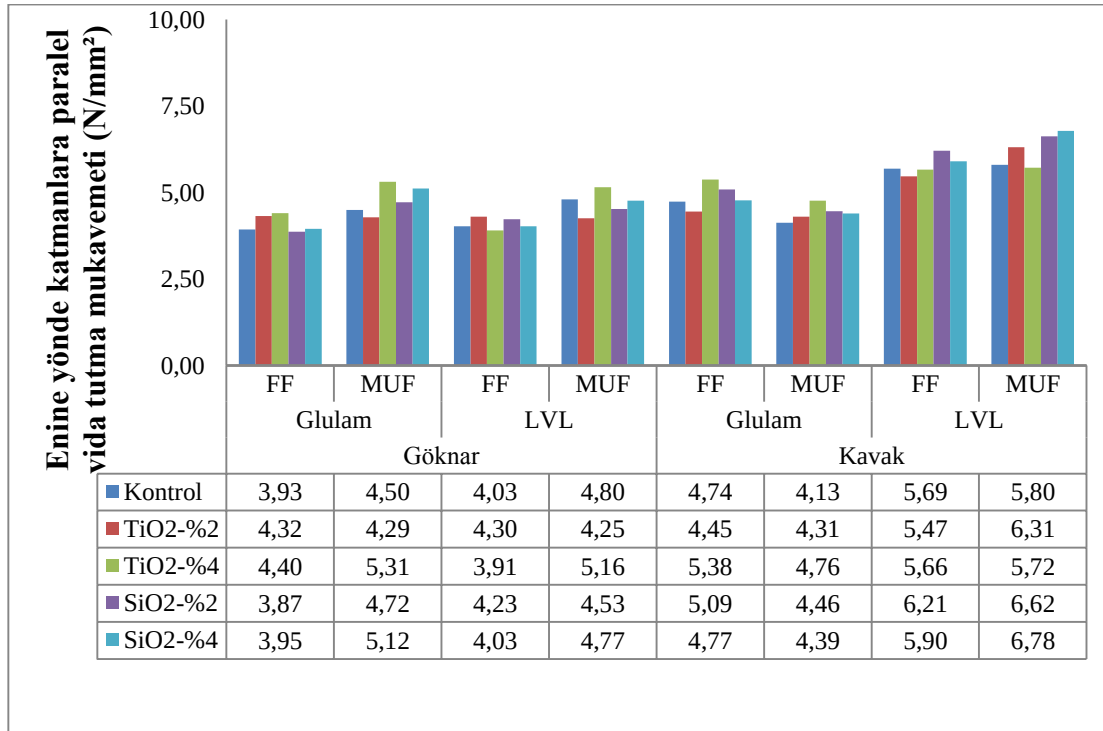
a. $R^2 = 0,590$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,533$)

Analiz sonuçlarına göre enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri ve lamine malzeme bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$). Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Gök nar Kavak	4,42 5,33	0,000
Lamine Malzeme	Glulam LVL	4,54 5,21	0,000
Tutkal	FF MUF	4,72 5,04	0,005
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	4,70 (a) 4,71 (a) 5,03 (a) 4,97 (a) 4,96 (a)	0,191

Çizelge 4.22'ye göre ağaç türü bakımından kavak, lamine malzeme bakımından LVL'nin ve tutkal çeşidi olarak ise MUF'un daha yüksek enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Nano ürün olarak kontrol örnekleri ile birbirine benzer sonuçlar gösterdiği istatistiksel olarak enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti değerleri arasında bir etkileşim görülememiştir. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Enine yönde katmanlara paralel vida tutma.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.23’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. Enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti değerlerine ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg	
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	3,93	10	11,0	a-c	
			TiO ₂ -%2	4,32	10	15,1	a-g	
			TiO ₂ -%4	4,40	10	6,9	a-g	
			SiO ₂ -%2	3,87	10	16,8	a	
			SiO ₂ -%4	3,95	10	7,4	a-d	
		MUF	Kontrol	4,50	10	22,1	a-h	
			TiO ₂ -%2	4,29	10	15,5	a-f	
			TiO ₂ -%4	5,31	10	20,4	h-j	
			SiO ₂ -%2	4,72	10	22,7	a-i	
			SiO ₂ -%4	5,12	10	17,8	f-j	
		LVL	FF	Kontrol	4,03	10	18,5	a-d
				TiO ₂ -%2	4,30	10	20,2	a-f
	TiO ₂ -%4			3,91	10	19,9	a-b	
	SiO ₂ -%2			4,23	10	7,9	a-d	
	SiO ₂ -%4			4,03	10	25,5	a-d	
	MUF		Kontrol	4,80	10	9,6	d-i	
		TiO ₂ -%2	4,25	10	19,9	a-e		
		TiO ₂ -%4	5,16	10	12,0	g-j		
SiO ₂ -%2		4,53	10	7,5	a-h			
SiO ₂ -%4		4,77	10	5,1	c-i			
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	4,74	10	15,6	b-i	
			TiO ₂ -%2	4,45	10	14,8	a-g	
			TiO ₂ -%4	5,38	10	26,3	i-j	
			SiO ₂ -%2	5,09	10	12,0	e-j	
			SiO ₂ -%4	4,77	10	6,4	e-k	
		MUF	Kontrol	4,13	10	16,1	a-d	
			TiO ₂ -%2	4,31	10	7,2	a-f	
			TiO ₂ -%4	4,76	10	16,4	b-i	
			SiO ₂ -%2	4,46	10	15,6	a-g	
			SiO ₂ -%4	4,39	10	14,5	a-g	
	LVL	FF	Kontrol	5,69	10	6,3	j-l	
			TiO ₂ -%2	5,47	10	6,5	i-k	
			TiO ₂ -%4	5,66	10	7,0	j-l	
			SiO ₂ -%2	6,21	10	6,5	k-n	
			SiO ₂ -%4	5,90	10	7,6	j-m	
		MUF	Kontrol	5,80	10	16,7	j-l	
			TiO ₂ -%2	6,31	10	10,7	l-n	
			TiO ₂ -%4	5,72	10	13,2	j-l	
	SiO ₂ -%2	6,62	10	9,0	m-n			
	SiO ₂ -%4	6,78	10	9,1	o-r			

4.3.4.3. Boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürünlerin boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti değerlerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	205,921 ^a	39	5,280	17,770	0,000
Kesişim	10958,923	1	10958,923	36882,998	0,000
Ağaç Türü	58,448	1	58,448	196,710	0,000
Lamine Malzeme	46,360	1	46,360	156,028	0,000
Tutkal	3,553	1	3,553	11,959	0,001
Nano Ürün	8,841	4	2,210	7,439	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	49,502	1	49,502	166,603	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	0,786	1	0,786	2,646	0,105
Ağaç Türü * Nano Ürün	2,747	4	0,687	2,312	0,057
Lamine Malzeme * Tutkal	8,958	1	8,958	30,148	0,000
Lamine Malzeme * Nano Ürün	2,081	4	0,520	1,751	0,139
Tutkal * Nano Ürün	1,394	4	0,348	1,173	0,322
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal	0,348	1	0,348	1,173	0,279
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Nano Ürün	4,318	4	1,079	3,633	0,007
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	10,489	4	2,622	8,825	0,000
Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	2,893	4	0,723	2,434	0,047
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	5,202	4	1,300	4,377	0,002
Hata	83,195	280	0,297		
Toplam	11248,039	320			
Düzeltilmiş Toplam	289,116	319			

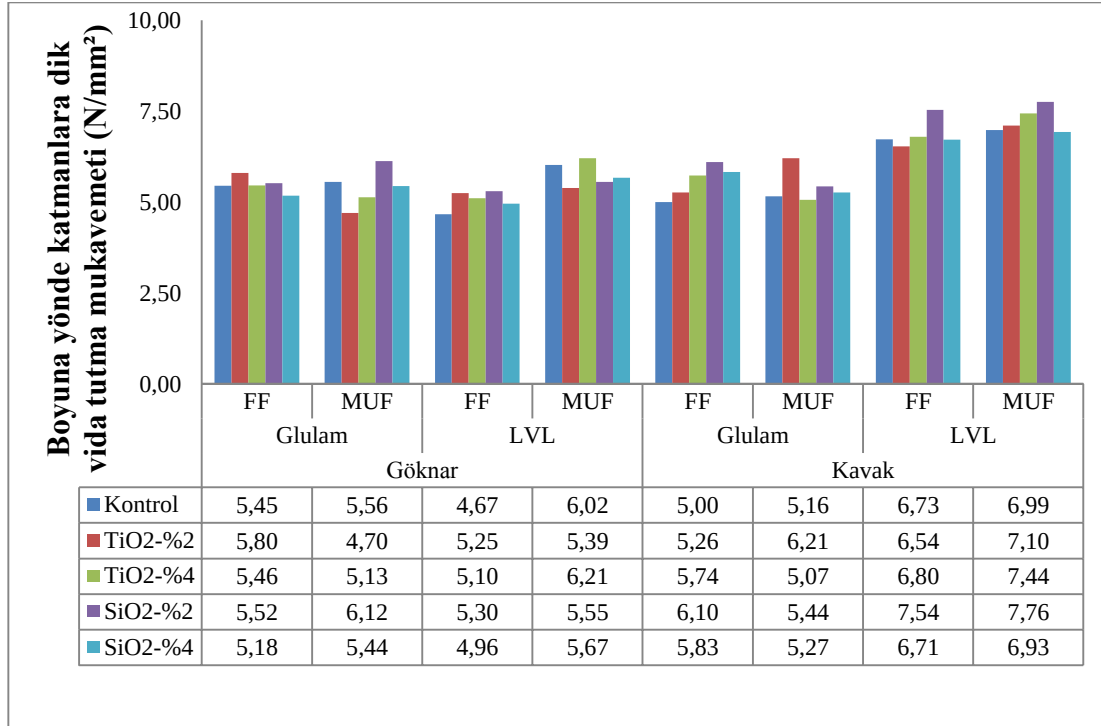
a. R Squared = ,712 (Adjusted R Squared = ,672)

Analiz sonuçlarına göre boyuna yönde katmanlara dik vida çekme değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün maddeleri ve lamine malzeme bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$) Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Göknar	5,42	0,000
	Kavak	6,28	
Lamine Malzeme	Glulam	5,47	0,000
	LVL	6,23	
Tutkal	FF	5,75	0,047
	MUF	5,96	
Nano Ürün	Kontrol	5,70 (a)	0,044
	TiO ₂ -%2	5,78 (a)	
	TiO ₂ -%4	5,87 (ab)	
	SiO ₂ -%2	6,17 (b)	
	SiO ₂ -%4	5,75 (a)	

Çizelge 4.23'e göre ağaç türü bakımından kavak, lamine malzeme bakımından LVL'nin ve tutkal çeşidi olarak ise MUF'un daha yüksek boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Nano ürün bakımından ise kontrol örnekleri ile nano ürün maddelerinin benzer sonuçlar gösterdiği, istatistiksel olarak boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti değerleri arasında bir etkileşim görülmüştür. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.9'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Boyuna yönde katmanlara dik vida tutma.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin boyuna yönde katmanlara dik vida çekme direnci değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.26’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. Boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti değerlerine ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal		Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam		FF	Kontrol	5,45	10	8,6	b-g
				TiO ₂ -%2	5,80	10	5,0	e-j
				TiO ₂ -%4	5,46	10	2,7	b-h
				SiO ₂ -%2	5,52	10	9,8	b-i
				SiO ₂ -%4	5,18	10	8,6	a-f
			MUF	Kontrol	5,56	10	9,6	b-i
				TiO ₂ -%2	4,70	10	3,5	a
				TiO ₂ -%4	5,13	10	19,3	a-d
				SiO ₂ -%2	6,12	10	13,6	i-l
				SiO ₂ -%4	5,44	10	9,6	b-g
	LVL		FF	Kontrol	4,67	10	10,1	a
				TiO ₂ -%2	5,25	10	9,7	a-f
				TiO ₂ -%4	5,10	10	5,7	a-d
				SiO ₂ -%2	5,30	10	9,6	a-f
				SiO ₂ -%4	4,96	10	14,7	a-b
			MUF	Kontrol	6,02	10	5,9	g-k
				TiO ₂ -%2	5,39	10	7,8	b-g
				TiO ₂ -%4	6,21	10	5,8	j-m
				SiO ₂ -%2	5,55	10	5,7	b-i
				SiO ₂ -%4	5,67	10	9,3	c-j
Kavak	Glulam		FF	Kontrol	5,00	10	15,0	a-b
				TiO ₂ -%2	5,26	10	13,9	a-f
				TiO ₂ -%4	5,74	10	7,6	d-j
				SiO ₂ -%2	6,10	10	10,3	h-k
				SiO ₂ -%4	5,83	10	10,1	f-j
			MUF	Kontrol	5,16	10	16,2	a-e
				TiO ₂ -%2	6,21	10	12,4	j-m
				TiO ₂ -%4	5,07	10	7,5	a-c
				SiO ₂ -%2	5,44	10	6,2	b-g
				SiO ₂ -%4	5,27	10	10,4	a-f
	LVL		FF	Kontrol	6,73	10	3,3	l-n
				TiO ₂ -%2	6,54	10	3,2	k-n
				TiO ₂ -%4	6,80	10	7,1	m-n
				SiO ₂ -%2	7,54	10	4,2	p-r
				SiO ₂ -%4	6,71	10	7,5	l-n
			MUF	Kontrol	6,99	10	8,7	n-p
				TiO ₂ -%2	7,10	10	9,2	n-p
				TiO ₂ -%4	7,44	10	9,2	o-r
				SiO ₂ -%2	7,76	10	7,9	r
				SiO ₂ -%4	6,93	10	9,4	n-o

4.3.5. Yapışma Direnci

Lamine ağaç malzemelerin yapışma direnci testi LVL’lerde katmanlar arasında standartlarda belirtilen esaslara uygun deney örnekleri alınamyacağı düşünülerek sadece GLULAM deney örnekleri test edilmiştir. GLULAM lamine ağaç malzemedede, ağaç türü ve tutkal çeşidinin yapışma direnci değerlerine nano ürün maddelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Yapışma direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizis onuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	92,872 ^a	19,000	4,888	15,402	0,000
Kesişim	10555,900	1,000	10555,900	33262,125	0,000
Ağaç Türü	12,069	1,000	12,069	38,029	0,000
Tutkal	0,244	1,000	0,244	0,770	0,381
Nano Ürün	10,152	4,000	2,538	7,998	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	3,487	1,000	3,487	10,989	0,001
Ağaç Türü * Nano Ürün	44,289	4,000	11,072	34,889	0,000
Tutkal * Nano Ürün	6,402	4,000	1,601	5,043	0,001
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	16,227	4,000	4,057	12,783	0,000
Hata	57,124	180,000	0,317		
Toplam	10705,895	200,000			
Düzeltilmiş Toplam	149,996	199,000			

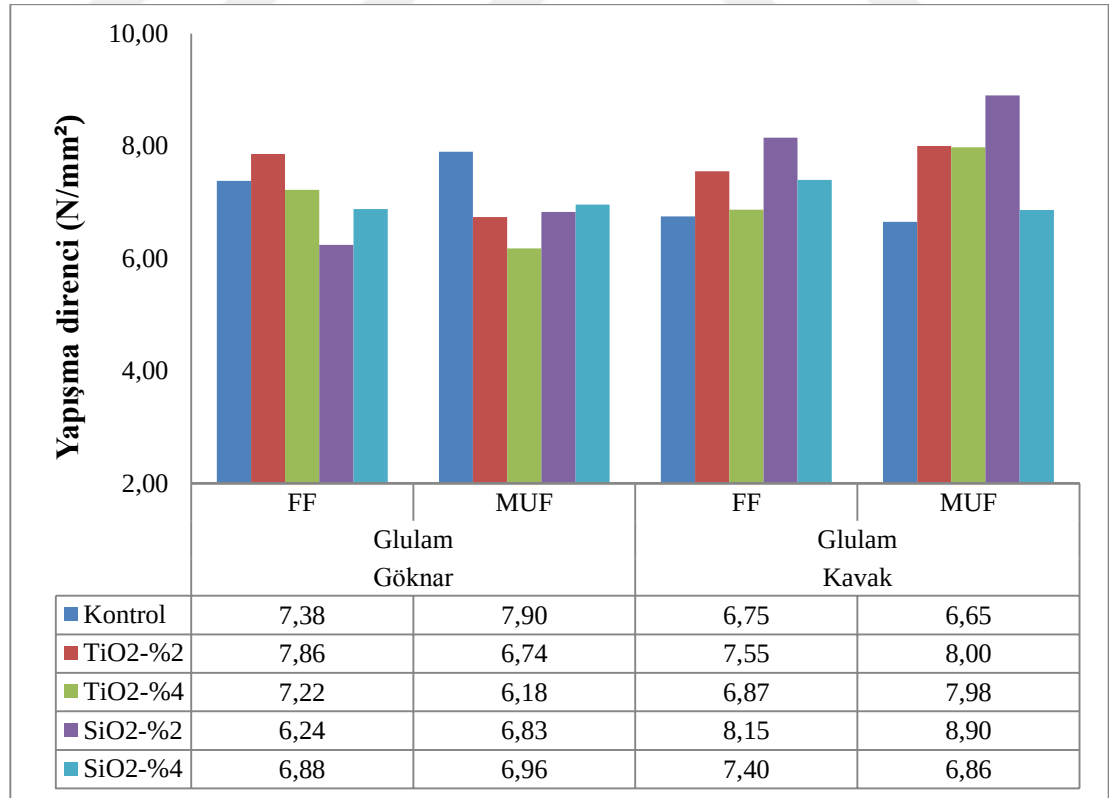
a. $R^2 = 0,619$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,579$)

Analiz sonuçlarına göre GLULAM lamine malzemelerin yapışma direnci değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürün maddeleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$). Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Yapışma direnci etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Göknar Kavak	7,02 7,51	0,000
Tutkal	FF MUF	7,23 7,30	0,570
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	7,17 (a) 7,54 (b) 7,06 (a) 7,53 (b) 7,02 (a)	0,008

Çizelge 4.28'e göre GLULAM lamine malzemelerin yapışma dirençleri üzerine sadece ağaç türü bakımından kavak türünün ve nano ürün maddesi bakımından ise anlamlı farklılıkların ortaya çıktığı ($p < 0,05$) belirlenmiştir. Buna göre %2 SiO₂ ve TiO₂'nin diğer nano ürün maddelerine göre daha yüksek yapışma değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Yapışma direnci.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin yapışma direnci değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.29’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. Yapışma direncine ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	7,38	10	7,7	d-f
			TiO ₂ -%2	7,86	10	3,5	f-h
			TiO ₂ -%4	7,22	10	10,0	c-e
			SiO ₂ -%2	6,24	10	6,2	ab
			SiO ₂ -%4	6,88	10	3,2	cd
		MUF	Kontrol	7,90	10	9,0	f-h
			TiO ₂ -%2	6,74	10	4,1	bc
			TiO ₂ -%4	6,18	10	11,5	a
			SiO ₂ -%2	6,83	10	11,0	cd
			SiO ₂ -%4	6,96	10	4,6	cd
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	6,75	10	4,5	bc
			TiO ₂ -%2	7,55	10	9,7	d-f
			TiO ₂ -%4	6,87	10	8,5	cd
			SiO ₂ -%2	8,15	10	9,3	h
			SiO ₂ -%4	7,40	10	10,0	d-f
		MUF	Kontrol	6,65	10	7,0	a-c
			TiO ₂ -%2	8,00	10	3,8	gh
			TiO ₂ -%4	7,98	10	6,2	gh
			SiO ₂ -%2	8,90	10	8,2	i
			SiO ₂ -%4	6,86	10	7,9	cd

4.3.6. Liflere Paralel Basınç Direnci

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürünlerin liflere paralel basınç değerlerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30.Liflere paralel basınç direnci etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	21593,730 ^a	39	553,685	98,985	0,000
Kesişim	1151136,812	1	1151136,812	205794,11	0,000
Ağaç Türü	164,093	1	164,093	29,336	0,000
Lamine Malzeme	12266,969	1	12266,969	2193,023	0,000
Tutkal	2884,19	1	2884,19	515,62	0,000
Nano Ürün	572,897	4	143,224	25,605	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	435,388	1	435,388	77,836	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	67,838	1	67,838	12,128	0,001
Ağaç Türü * Nano Ürün	647,066	4	161,766	28,92	0,000
Lamine Malzeme * Tutkal	2310,501	1	2310,501	413,059	0,000
Lamine Malzeme * Nano Ürün	308,404	4	77,101	13,784	0,000
Tutkal * Nano Ürün	402,944	4	100,736	18,009	0,000
Ağaç Türü * Lamine M. * Tutkal	61,111	1	61,111	10,925	0,001
Ağaç Türü * Lamine Malzeme *		4			
Nano Ürün	654,335		163,584	29,245	0,000
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	126,932	4	31,733	5,673	0,000
Lamine M. * Tutkal * Nano Ürün	355,045	4	88,761	15,868	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme *		4			
Tutkal * Nano Ürün	336,018		84,005	15,018	0,000
Hata	2461,199	440	5,594		
Toplam	1175191,74	480			
Düzeltilmiş Toplam	24054,929	479			

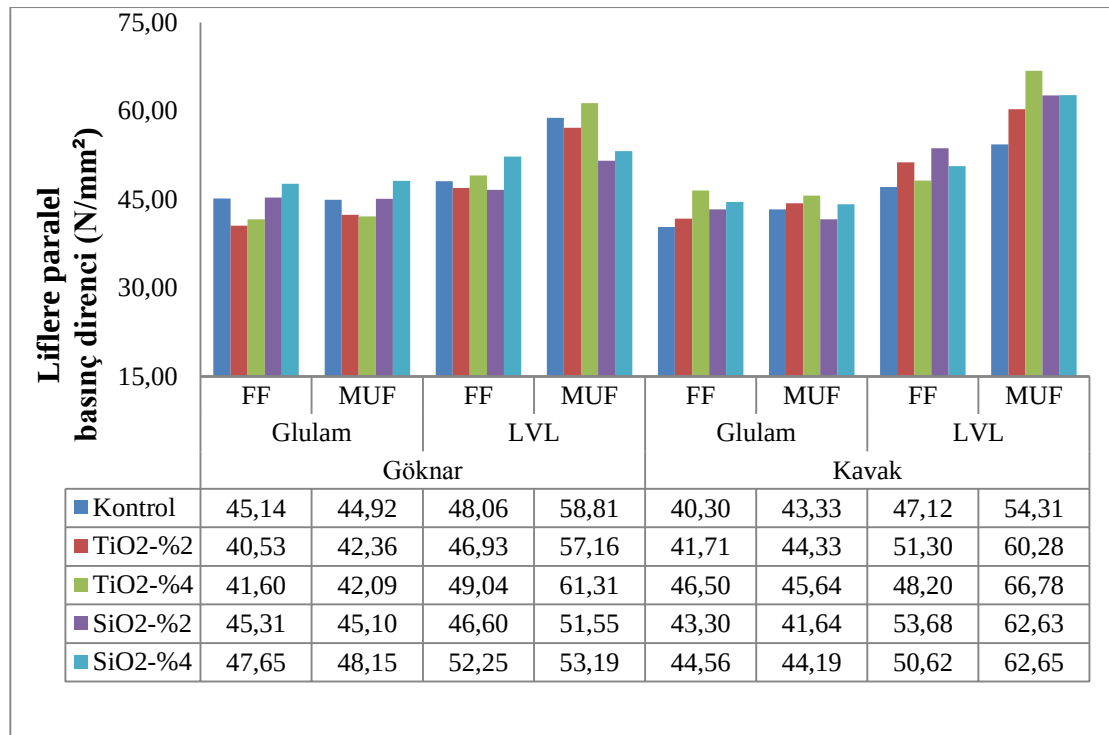
a. $R^2 = 0,898$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,889$)

Analiz sonuçlarına göre lamine malzemelerin liflere paralel basınç direnci değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürün maddeleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$) Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31.Liflere paralel basınç direnci etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (N/mm ²)	p
Ağaç Türü	Gök nar Kavak	48,387 49,556	0,071
Lamine Malzeme	Glulam LVL	43,916 54,027	0,000
Tutkal	FF MUF	46,520 51,423	0,000
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	47,748 (a) 48,077 (ab) 50,143 (bc) 48,483 (abc) 50,406 (c)	0,022

Çizelge 4.31'e göre liflere paralel basınç direnci üzerinde ağaç türünün anlamlı etkiye sahip olmadığı ($p>0,05$), lamine malzeme, tutkal türü ve nano ürün çeşitleri bakımından ise anlamlı farklılıkların ortaya çıktığı ($p<0,05$) belirlenmiştir. Lamine malzeme türü olarak LVL'nin, tutkal çeşidi olarak MUF'un ve nano ürün olarak ise %4 SiO₂'nin daha yüksek liflere paralel basınç direnci artışı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Liflere paralel basınç direnci.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin liflere paralel basınç direnci değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.32’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.32. Liflere paralel basınç direncine ait ortalama değerler.

Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	45,14	10	2,9	e-i
			TiO ₂ -%2	40,53	10	3,6	a
			TiO ₂ -%4	41,60	10	2,0	ab
			SiO ₂ -%2	45,31	10	5,0	e-i
			SiO ₂ -%4	47,65	10	4,8	j-l
		MUF	Kontrol	44,92	10	6,1	e-i
			TiO ₂ -%2	42,36	10	5,4	a-d
			TiO ₂ -%4	42,09	10	4,2	a-c
			SiO ₂ -%2	45,10	10	4,7	e-i
			SiO ₂ -%4	48,15	10	2,9	kl
	LVL	FF	Kontrol	48,06	10	6,1	kl
			TiO ₂ -%2	46,93	10	4,6	i-l
			TiO ₂ -%4	49,04	10	4,5	lm
			SiO ₂ -%2	46,60	10	2,8	h-k
			SiO ₂ -%4	52,25	10	5,1	n-p
		MUF	Kontrol	58,81	10	4,6	rs
			TiO ₂ -%2	57,16	10	5,8	r
			TiO ₂ -%4	61,31	10	3,8	tu
			SiO ₂ -%2	51,55	10	4,0	no
			SiO ₂ -%4	53,19	10	5,3	op
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	40,30	10	2,9	a
			TiO ₂ -%2	41,71	10	3,5	ab
			TiO ₂ -%4	46,50	10	9,9	g-k
			SiO ₂ -%2	43,30	10	4,0	b-e
			SiO ₂ -%4	44,56	10	3,5	e-h
		MUF	Kontrol	43,33	10	2,8	b-e
			TiO ₂ -%2	44,33	10	5,0	d-g
			TiO ₂ -%4	45,64	10	7,2	f-j
			SiO ₂ -%2	41,64	10	3,7	ab
			SiO ₂ -%4	44,19	10	4,6	c-f
	LVL	FF	Kontrol	47,12	10	6,0	i-l
			TiO ₂ -%2	51,30	10	4,7	no
			TiO ₂ -%4	48,20	10	3,6	kl
			SiO ₂ -%2	53,68	10	4,0	p
			SiO ₂ -%4	50,62	10	5,0	mn
		MUF	Kontrol	54,31	10	3,3	p
			TiO ₂ -%2	60,28	10	3,4	st
			TiO ₂ -%4	66,78	10	3,2	v
			SiO ₂ -%2	62,63	10	5,5	u
			SiO ₂ -%4	62,65	10	6,9	u

4.3.7. Dinamik Eğilme (şok) Direnci

Lamine ağaç malzemelerde, ağaç türü ve tutkal çeşidi ve nano ürün kullanımının dinamik eğilme (şok) direncine değerleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Dinamik eğilme (şok) direncine etkilerine ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları.

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	1,004 ^a	39,000	0,026	25,204	0,000
Kesişim	63,082	1,000	63,082	61741,020	0,000
Ağaç Türü	0,365	1,000	0,365	356,899	0,000
Lamine Malzeme	0,034	1,000	0,034	32,788	0,000
Tutkal	0,165	1,000	0,165	161,875	0,000
Nano Ürün	0,175	4,000	0,044	42,875	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malzeme	0,017	1,000	0,017	16,562	0,000
Ağaç Türü * Tutkal	0,024	1,000	0,024	23,710	0,000
Ağaç Türü * Nano Ürün	0,017	4,000	0,004	4,130	0,003
Lamine Malzeme * Tutkal	0,023	1,000	0,023	22,883	0,000
Lamine Malzeme * Nano Ürün	0,023	4,000	0,006	5,561	0,000
Tutkal * Nano Ürün	0,029	4,000	0,007	6,980	0,000
Ağaç Türü * Lamine Malz. * Tutkal	0,003	1,000	0,003	2,985	0,085
Ağaç Türü * Lamine M.* Nano Ürün	0,020	4,000	0,005	4,839	0,001
Ağaç Türü * Tutkal * Nano Ürün	0,080	4,000	0,020	19,656	0,000
Lamine Malz. * Tutkal * Nano Ürün	0,016	4,000	0,004	3,947	0,004
Ağaç Türü * Lamine Malzeme * Tutkal * Nano Ürün	0,014	4,000	0,003	3,323	0,011
Hata	0,450	440,000	0,001		
Toplam	64,536	480,000			
Düzeltilmiş Toplam	1,454	479,000			

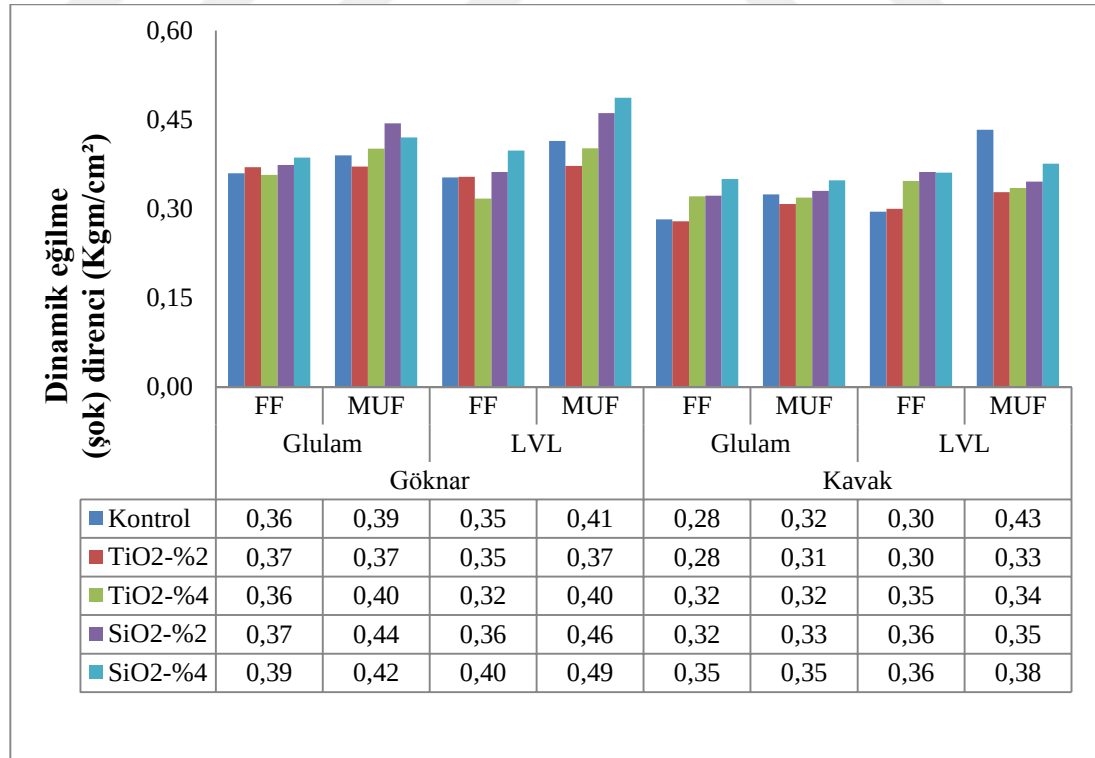
a. $R^2 = 0,691$ (Düzeltilmiş $R^2 = 0,663$)

Analiz sonuçlarına göre lamine malzemelerin dinamik eğilme (şok) direncine değerleri üzerinde ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürün maddeleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, ($p < 0,05$) Çizelge 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Dinamik eğilme (şok) direnci etkilerine ilişkin sonuçlar.

		Ortalama (Kgm/cm ²)	p
Ağaç Türü	Gök nar Kavak	0,39 0,34	0,153
Lamine Malzeme	Glulam LVL	0,35 0,37	0,001
Tutkal	FF MUF	0,34 0,38	0,000
Nano Ürün	Kontrol TiO ₂ -%2 TiO ₂ -%4 SiO ₂ -%2 SiO ₂ -%4	0,36 (b) 0,34 (a) 0,35 (ab) 0,38 (c) 0,39 (c)	0,000

Çizelge 4.34'e görelamine malzeme bakımından LVL, tutkal çeşidi olarak MUF'un daha yüksek eğilme (şok) direnci değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Nano ürün bakımından ise %4 SiO₂'nin diğer nano ürünlere göre daha yüksek eğilmede (şok) direncine sahip olduğu, diğer nano ürünlerin tamamının birbirinden farklı sonuçlar gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlara ilişkin grafik Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Dinamik eğilme (şok) direnci.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanılması ile elde edilen lamine ağaç malzemelerin dinamik eğilme (şok) direnci değerleri varyans analizi yardımıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Duncan testi sonuçları Çizelge 4.35’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.35. Dinamik eğilme (şok) direncine ait ortalama değerler.

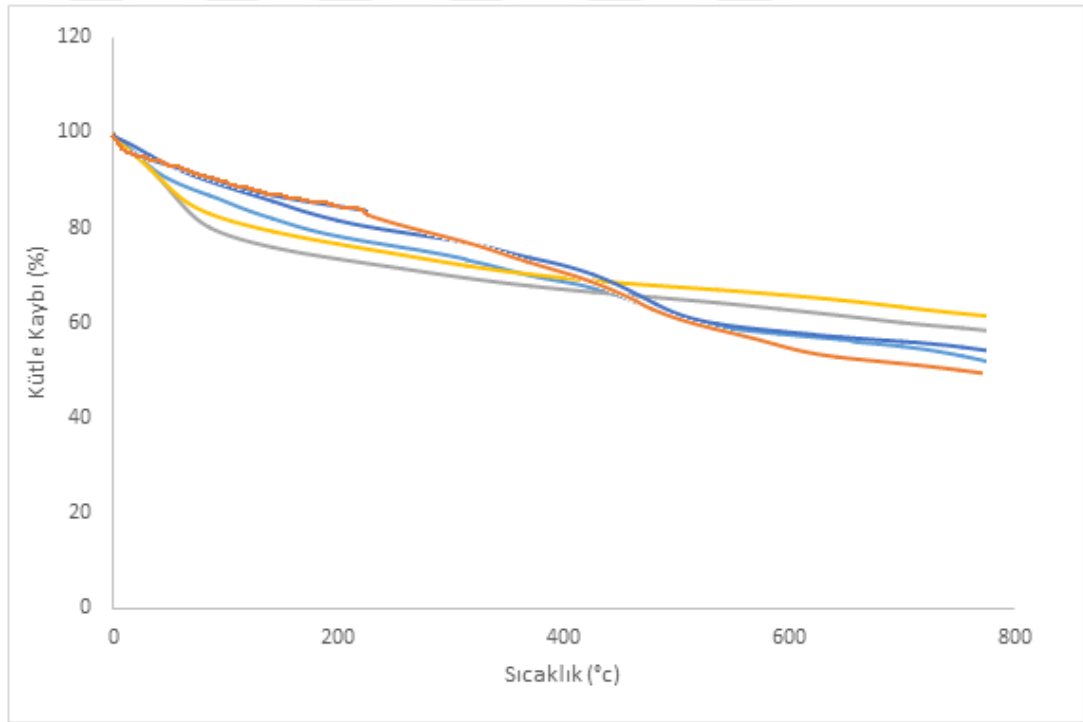
Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal	Nano Ürün	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	Hg
Goknar	Glulam	FF	Kontrol	0,36	10	6,9	k-m
			TiO ₂ -%2	0,37	10	8,5	l-n
			TiO ₂ -%4	0,36	10	9,1	i-m
			SiO ₂ -%2	0,38	10	8,2	l-n
			SiO ₂ -%4	0,39	10	8,6	m-o
		MUF	Kontrol	0,39	10	7,5	m-o
			TiO ₂ -%2	0,37	10	10,0	l-n
			TiO ₂ -%4	0,40	10	7,7	no
			SiO ₂ -%2	0,44	10	8,3	r
			SiO ₂ -%4	0,42	10	8,7	op
	LVL	FF	Kontrol	0,35	10	9,1	h-l
			TiO ₂ -%2	0,36	10	7,5	h-l
			TiO ₂ -%4	0,32	10	6,8	b-e
			SiO ₂ -%2	0,36	10	7,5	j-m
			SiO ₂ -%4	0,40	10	9,2	no
		MUF	Kontrol	0,42	10	8,9	op
			TiO ₂ -%2	0,37	10	9,7	l-n
			TiO ₂ -%4	0,40	10	9,1	no
			SiO ₂ -%2	0,46	10	7,5	r
			SiO ₂ -%4	0,49	10	7,0	s
Kavak	Glulam	FF	Kontrol	0,29	10	10,8	a
			TiO ₂ -%2	0,29	10	10,1	a
			TiO ₂ -%4	0,32	10	8,9	b-g
			SiO ₂ -%2	0,32	10	10,0	b-g
			SiO ₂ -%4	0,35	10	9,5	g-l
		MUF	Kontrol	0,33	10	8,0	c-h
			TiO ₂ -%2	0,31	10	11,2	a-d
			TiO ₂ -%4	0,32	10	11,1	b-f
			SiO ₂ -%2	0,33	10	11,4	d-j
			SiO ₂ -%4	0,35	10	8,1	f-l
	LVL	FF	Kontrol	0,30	10	10,9	k-m
			TiO ₂ -%2	0,30	10	10,1	ab
			TiO ₂ -%4	0,35	10	13,4	e-l
			SiO ₂ -%2	0,36	10	8,6	j-m
			SiO ₂ -%4	0,36	10	10,3	j-m
		MUF	Kontrol	0,43	10	6,7	pr
			TiO ₂ -%2	0,33	10	6,7	d-i
			TiO ₂ -%4	0,34	10	6,9	d-k
			SiO ₂ -%2	0,35	10	9,0	f-l
			SiO ₂ -%4	0,38	10	7,3	l-n

4.4. TERMAL VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Nano ürün ilaveli FF ve MUF'un termal kararlılığı (TGA) ve morfolojik yapıdaki değişimler (SEM) taramalı elektron mikroskobu ile yapılan görüntü analizleri ile belirlenmiştir.

4.4.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

TGA, bir materyalin sıcaklığın bir fonksiyon olduğu ortamda kütesindeki değişimlerin mg yada % olarak belirlenmesidir. Yapılan çalışmada nano ürünlerle işlem gören FF ve MUF'ün TGA ile termal kararlılığı araştırılmıştır. Şekil 4.13'de FF'nin TGA eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.13. FF'nin TGA eğrileri.

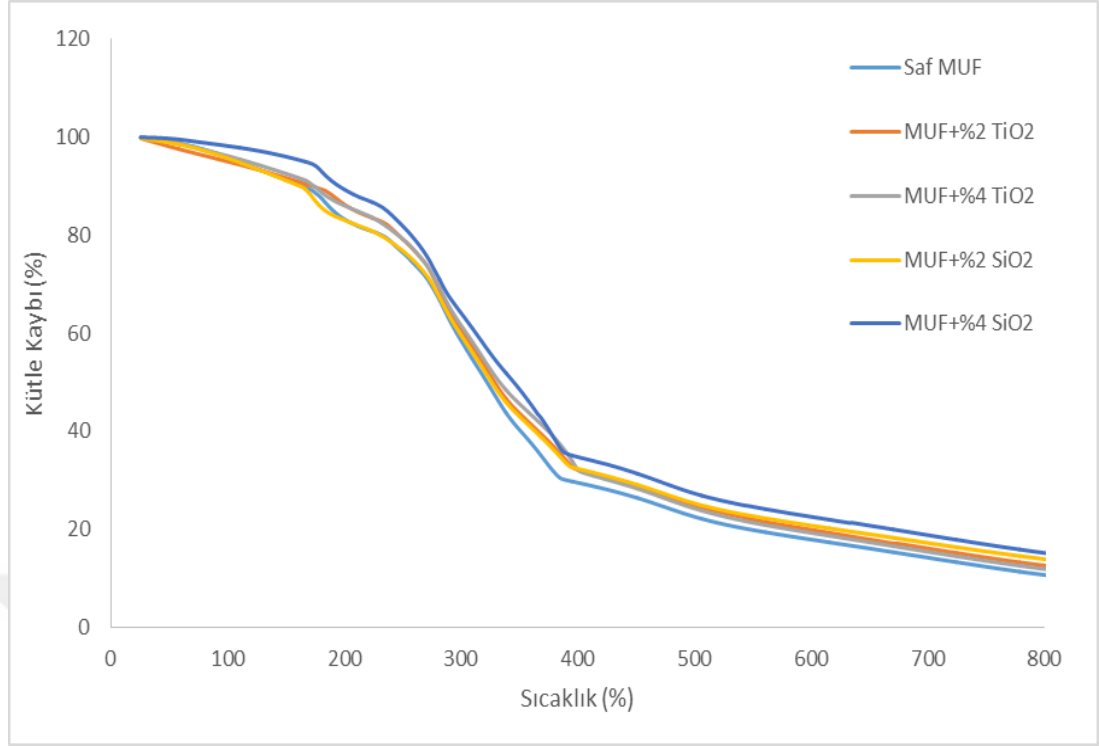
Şekil 4.13'e bakıldığında tüm TGA eğrileri 50-80 °C arasında küçük bir kütle kaybı verdiği görülmüştür. TGA eğrileri incelendiğinde birim zamanda maksimum kütle kayıplarının genellikle 50-80°C sıcaklıklar arasında olduğu görülmektedir. FF'nin TG eğrilerine ait özet verileri Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.36. FF'nin TG eğirisine ait veriler.

Formülasyonlar	T%10	T%60	Kütle Kaybı (%)
FF	80,7	548,3	51,9
FF+%2 TiO ₂	66,3	560,2	49,5
FF+%4 TiO ₂	69,1	745,4	43,6
FF+%2 SiO ₂	70	867,8	40,7
FF+%4 SiO ₂	113,1	567,5	48,8

Çizelge 4.36'ya göre T %10 ve T %60 değerlerinin önemli değişimler olduğu görülmektedir. Tutkalların, %10 kütle kaybı verdiği sıcaklık değeri (T%10) değerlerine göre %4 SiO₂ nano ilaveli tutkalların 113,1 °C ile en yüksek değeri verdiği belirlenmiştir. %60 kütle kaybı verdiği sıcaklık değeri (T%60)'a göre en yüksek sıcaklık değerleri yine SiO₂ nano ilaveli tutkallarda saptanmıştır. T%10 ve T%60 sıcaklıklarının yüksek olması elde edilen tutkalların daha yüksek sıcaklıklarda bozulacakları anlamına gelmektedir. Fakat bu sıcaklıkların yükselmesi polimerlerin TG sıcaklığında arttırabileceği için tutkalların daha yüksek sıcaklıklarda sertleşmesine ve daha yüksek pres sıcaklıkları nedeniyle maliyet artışlarına sebebiyet verebileceği söylenebilir. Buna karşın ısı iletkenliği de artabileceği için pres zamanında azalma olma ihtimali de düşünülmelidir.

Kütle kayıpları incelendiğinde genellikle %40 ile %60 arasında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, nano partikül ilavesi sonrasında en iyi formülasyon düşük kütle kaybı veren FF+%2 SiO₂ için belirlenmiştir. Ayrıca bu formülasyon için T%60 sıcaklık değerleri de en iyi değeri göstermiştir. Çalışmada kullanılan diğer bir tutkal olan MUF'un TGA eğrileri Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. MUF'un TGA eğrileri.

MUF'un TG değerleri incelendiğinde eğrilerin oldukça benzer oldukları görülmüştür. Eğrilerden de görülebileceği gibi en iyi performans değerlerini MUF+%4 SiO₂ göstermiştir. Ayrıca diğer eğrilerinde saf MUF'a göre daha yüksek sıcaklıklarda eğilim göstermişlerdir. Şekil 4.14'e göre tüm eğrilerin 180-220 °C arasında küçük bir bozunma eğrisi verdiği görülmüştür. Buna karşın gerçek bozunma noktaları 250-350 °C sıcaklıklar arasında olduğu görülmektedir. MUF ve nano katkılı MUF tutkallarının TG eğrileri Çizelge 4.37'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.37. MUF'ün TGA eğrisine ait veriler.

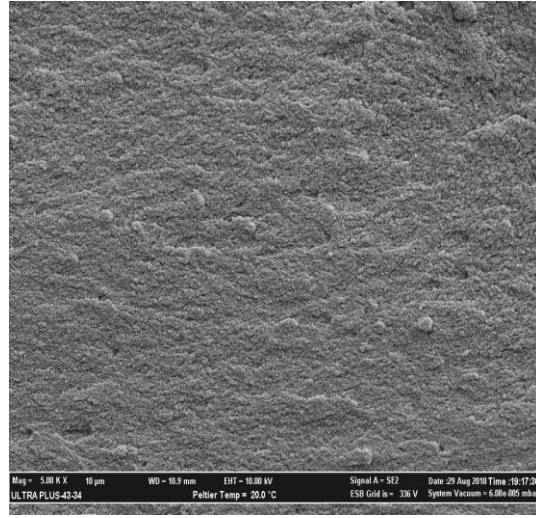
Formülasyonlar	T%10	T%60	Kütle Kaybı (%)
MUF	163,9	296,4	91,6
MUF+%2 TiO ₂	173,1	302,6	89,8
MUF+%4 TiO ₂	174,3	304,9	90,6
MUF+%2 SiO ₂	162,5	299,1	88,5
MUF+%4 SiO ₂	195,8	312,9	87,5

Çizelge 4.37'ye göre gerek T%10 gerekse T%60 değerleri saf MUF'dan daha yüksek olduğu görülmektedir. Kütle kayıpları incelendiğinde ise en yüksek kütle kaybı saf MUF için belirlenirken, en düşük kütle kayıpları SiO₂ içeren numunelerden elde edilmiştir. Bu çizelgeden de görülebileceği gibi nano ürün ilavesi MUF'un termal kararlılığını önemli oranda iyileştirdiği söylenebilir. Yapılan benzer çalışmalarda da Nano kilin oluşturduğu bariyer etkisi bozunma sıcaklığını daha yüksek sıcaklıklara yükselttiği tespit edilmiştir.

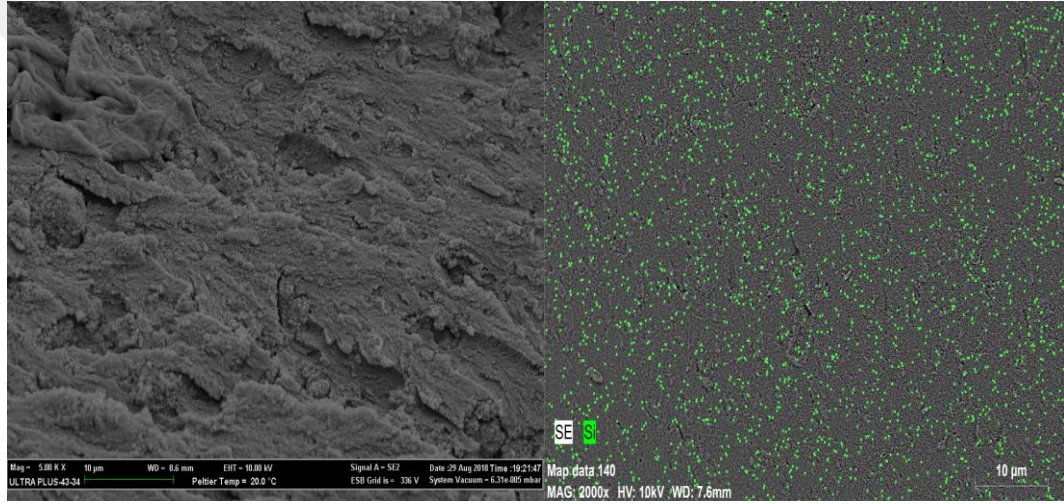
Nanokil ile güçlendirilen polimer nanokompozitler hakkında yapılan bir diğer çalışmada Lee vd. (2008), termal stabilitesinin nanokil artışına bağlı olarak bir artış olduğunu belirtmiştir. Bu yönde çalışmalar farklı araştırmacılar tarafından da yapılmış ve benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Termal test sonrası artık kalan madde miktarı değerleri incelendiğinde en yüksek ağırlığın hegzagonal bor nitrür ile güçlendirilen nanokompozit gruplarda olduğu görülmektedir. En düşük ağırlık ise endüstriyel çok duvarlı karbon nanotüp ile güçlendirilen gruplarda olduğu tespit edilmiştir. Ahşap plastik nanokompozitlerin arta kalan madde değerleri artan nano materyal oranına paralel olarak artış göstermiştir (Perez vd. 2010; Hazarika vd. 2014; Srinivasulu vd. 2013).

4.4.2. Morfolojik Analiz (SEM)

Nano ürünlerle modifiye edilen MUF tutkalı taramalı elektron mikroskobu ile 5000x büyütme yapılarak çekilen SEM görüntüleri ile nano ürün elementlerinin tutkal içerisindeki dağılımlarını renkli olarak belirlemek amacıyla 20µ büyüklükte enerji dağılım spektroskopisi EDS analizleri görüntülenmiştir. MUF tutkalının %2 ve %4 farklı oranlardaki SiO₂ ve TiO₂ ilavesi sonrası morfolojik yapıdaki SEM görüntüleri ve enerji dağılım spektroskopisi EDS analizleri Şekil 4.15'de gösterilmiştir.

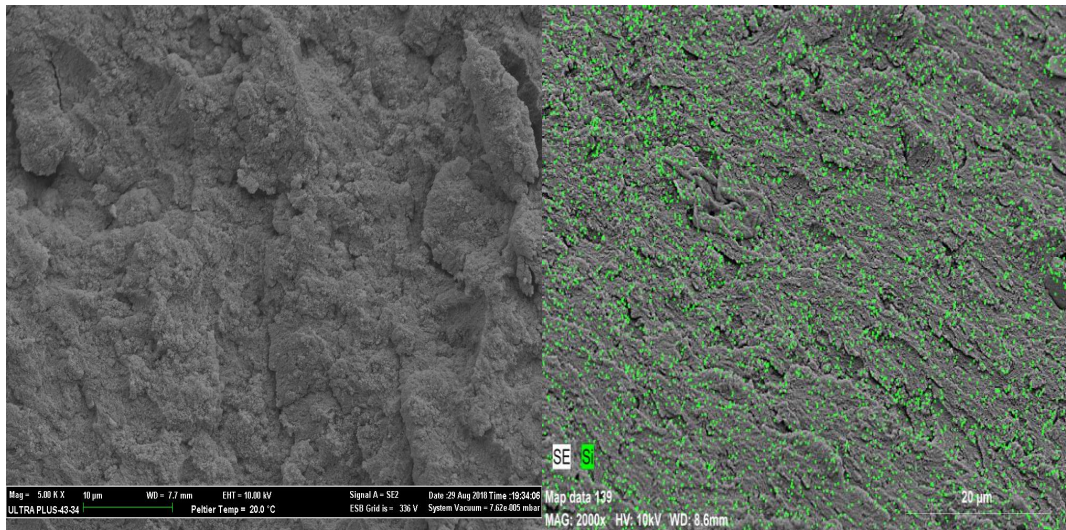


(a)



(b-1)

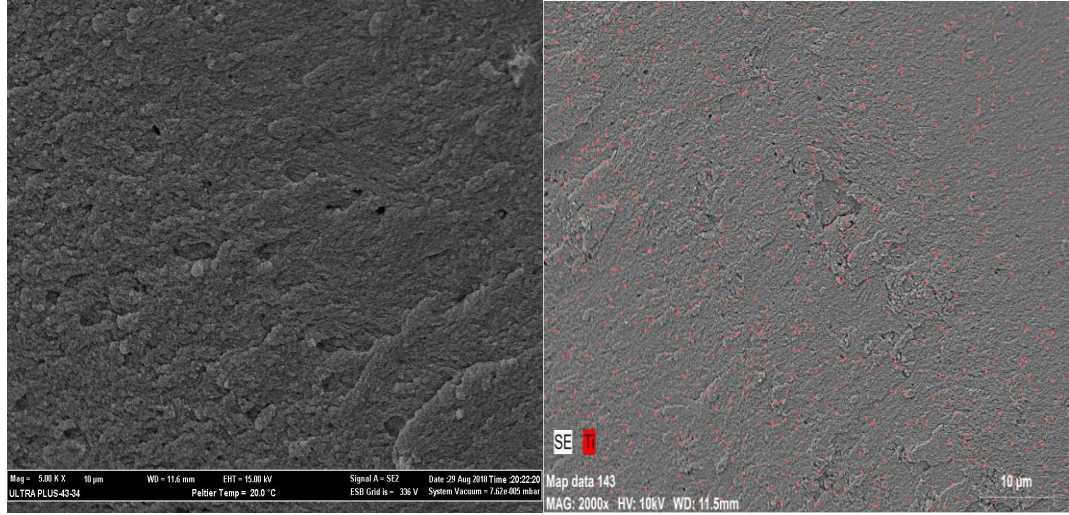
(b-2)



(c-1)

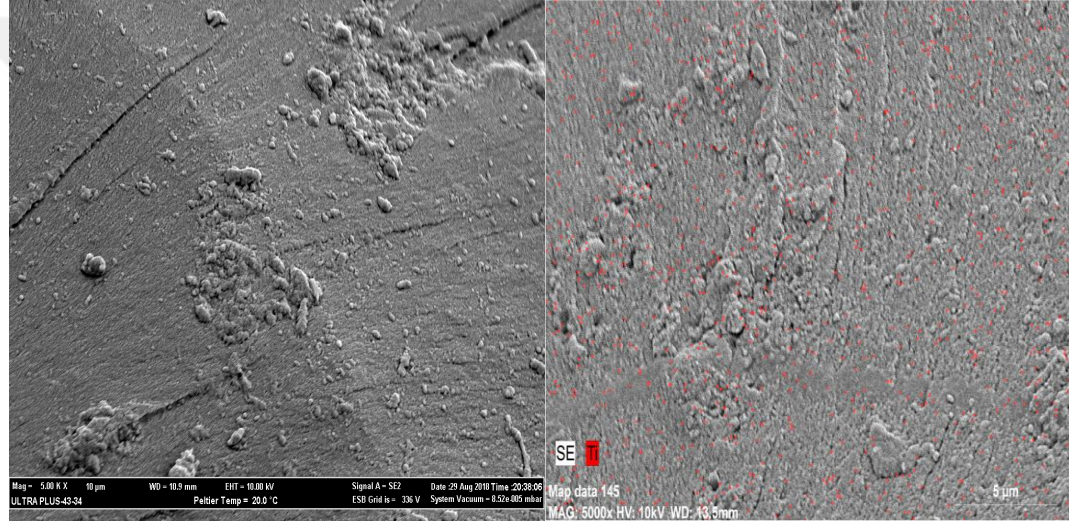
(c-2)

Şekil 4.15. MÜF tutkalı SEM ve EDS görüntüleri a) MÜF-Saf (SEM), b-1) MÜF-%2 SiO₂ (SEM) b-2) MÜF-%2 SiO₂ (EDS), c-1) MÜF-%4 SiO₂ (SEM), c-2) MÜF-%4 SiO₂ (EDS)



(d -1)

(d-2)

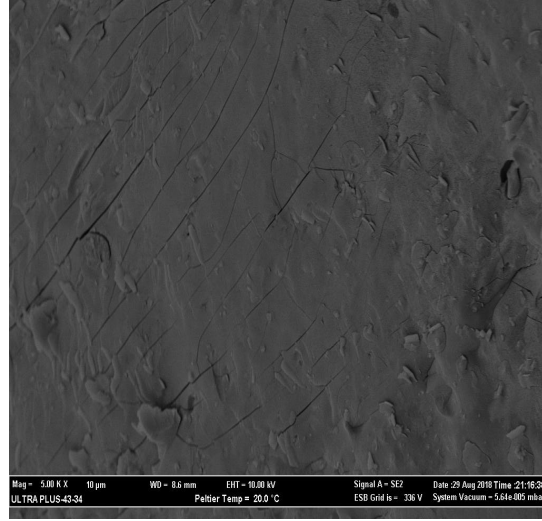


(e-1)

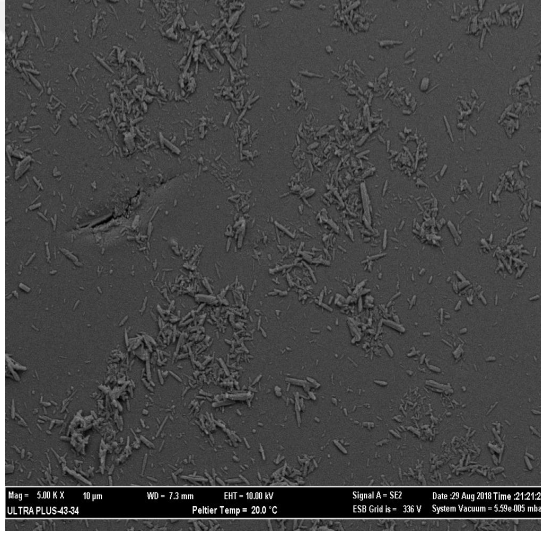
(e-2)

Şekil 4.15. (devam ediyor) d-1) MÜF-%2 TiO₂ (SEM), d-2) MÜF-%2 TiO₂ (EDS), e-1) MÜF-%4 TiO₂ (SEM), e-2) MÜF-%4 TiO₂ (EDS).

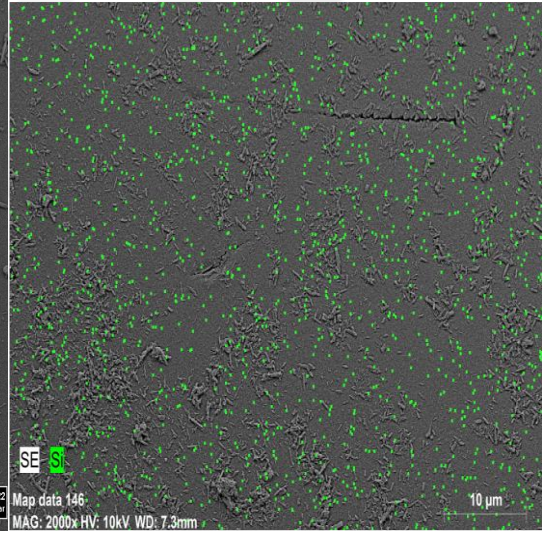
Şekil 4.15’de MUF tutkalına ait SEM görüntüleri incelendiğinde tutkal içerisindeki TiO₂ ve SiO₂ nano ürün katılma oranları %2’den %4’e artmasına rağmen yapılan SEM-EDS analizi matriks içerisinde pürüzlü yapı ve belirgin topaklanma oluşumları görülmemiştir. Bu durum yapılan SEM-EDS analizleri ile doğrulanmıştır. Nano ürün elementlerinin tutkal içerisindeki dağılımlarının renkli olarak görüntülendiği EDS analizinde nano ürün ilavesinin tutkal içerisinde her noktada homojen dağılımlar gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 4.16’da nano ürünlerle modifiye edilen FF tutkalına ait SEM ve EDS analizleri gösterilmiştir.



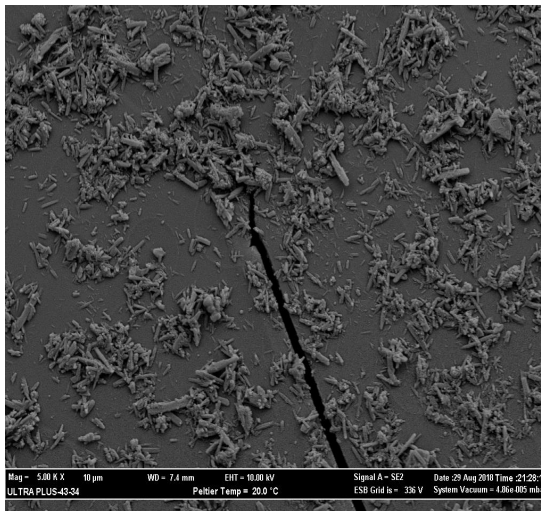
(a)



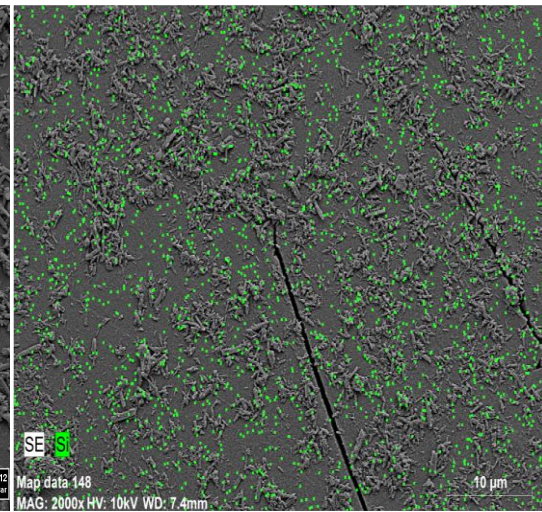
(b-1)



(b-2)

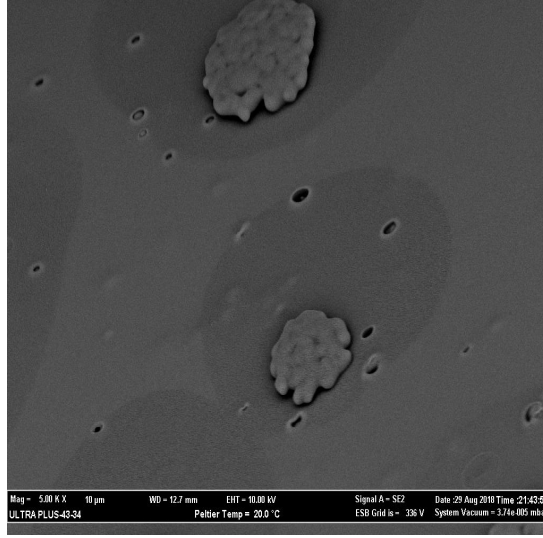


(c-1)

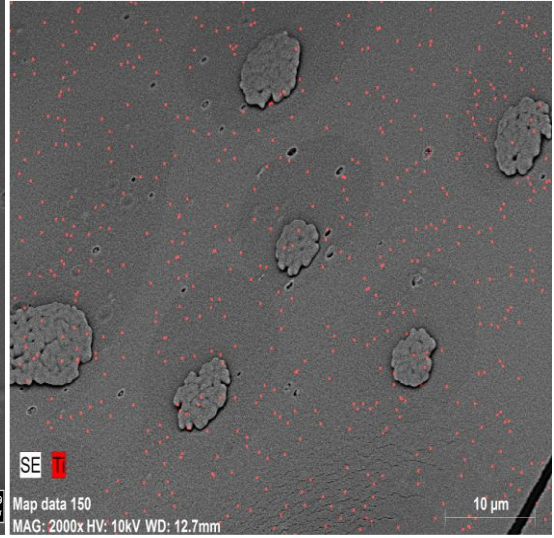


(c-2)

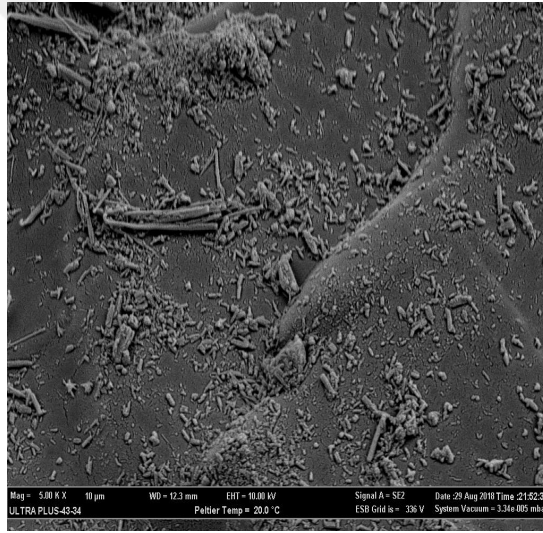
Şekil 4.16.FF tutkalı SEM ve EDS görüntüleri a) FF-Saf (SEM), b-1) FF-%2 SiO₂ (SEM), b-2) FF-%2 SiO₂ (EDS), c-1) FF-%4 SiO₂ (SEM), c-2) FF-%4 SiO₂ (EDS).



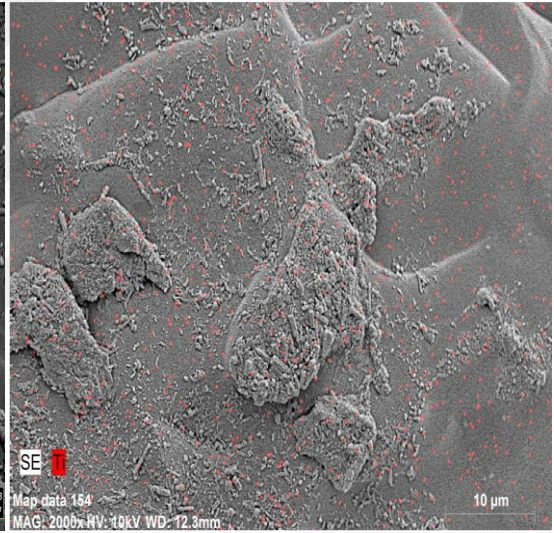
(d-1)



(d-2)



(e-1)



(e-2)

Şekil 4.16. (devam ediyor) d-1) FF-%2 TiO₂ (SEM), d-2) FF-%2 TiO₂ (EDS), e-1) FF-%4 TiO₂ (SEM), e-2) FF-%4 TiO₂ (EDS).

Şekil 4.16'ya göre FF tutkalının SEM görüntüleri incelendiğinde TiO₂ ve SiO₂ nanoürünlerin katılma oranı artmasına rağmen MUF'da olduğu matriks içerisinde dalgalı yapı ve belirgin topaklanma oluşumlarına rastlanılmamıştır. Ayrıca, FF tutkal matriksi'nin yüzey yapısının MUF'a göre daha parlak, pürüzsüz ve kırılğan gözüksede nano ürünlerin ve benzer diğer elementlerinin tutkal içerisindeki dağılımlarının renkli olarak görüntülediği EDS analizlerine ait haritalamada nano ürün kullanımı artsa bile homojen yapının korunduğu görülmüştür. Bu sayde nano ürün takviyeli tutkalın tatbik edildiği noktalarda daha yüksek yapışma performansına sahip olacağı söylenebilir.

4.5. LAMİNE MALZEMELERE AİT OPTİMUM DEĞERLER

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MÜF'in kullanılması ile elde edilen lamine malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait maksimum ve minimum (optimum) ortalama değerleri kendi gruplarına ait kontrol örnekleri ile karşılaştırılarak her bir deneye ait nano ürün etki seviyesi % olarak belirlenmiştir. Lamine malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerine ait hesaplanan etki yüzdeleri Çizelge 4.38'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.38. Lamine malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait optimum değerler.

		Seviye	Ağaç Türü	Lamine Malzeme	Tutkal Cinsi	Nano Ürün	Etki
Deney Adları	Birim	Max-Min	Gökmar - Kavak	Glulam - LVL	FF - MUF	Kontrol %2 - TiO2 %4 - TiO2 %2 - SiO2 %4 - SiO2	%
24 Saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı	%	Max. Min.	Gökmar Kavak	LVL LVL	MUF MUF	Kontrol %2 - TiO2	0,00% 16,80%
24 Saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı	%	Max. Min.	Kavak Kavak	LVL LVL	MUF MUF	Kontrol %2 - TiO2	0,00% 23,01%
Serbest formaldehit	mg/100 g	Max. Min.	Kavak Kavak	LVL LVL	MUF MUF	Kontrol %4 - TiO2	0,00% 58,90%
Yüzeye dik yönde çekme direnci	N/mm ²	Max. Min.	Kavak Gökmar	LVL LVL	FF FF	%4 - SiO2 %2 - SiO2	118,09% -5,56%
Eğilme direnci	N/mm ²	Max. Min.	Kavak Kavak	LVL GLULAM	MUF FF	%2 - SiO2 %2 - TiO2	19,93% -2,01%
Eğilmede elastikiyet modülü	N/mm ²	Max. Min.	Gökmar Kavak	LVL GLULAM	MUF MUF	%4 - TiO2 %4 - SiO2	1,10% -11,48%
Boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti	N/mm ²	Max. Min.	Kavak Kavak	LVL GLULAM	MUF MUF	%2 - SiO2 Kontrol	6,19% 0,00%
Enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti	N/mm ²	Max. Min.	Kavak Gökmar	LVL GLULAM	MUF FF	%4 - SiO2 %2 - SiO2	16,89% -1,60%
Boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti	N/mm ²	Max. Min.	Kavak Gökmar	LVL LVL	MUF FF	%2 - SiO2 Kontrol	11,02% 0,00%
Yapışma direnci	N/mm ²	Max. Min.	Kavak Gökmar	GLULAM GLULAM	MUF MUF	%2 - SiO2 %4 - TiO2	33,83% -21,79%
Liflere paralel basınç direnci	N/mm ²	Max. Min.	Kavak Gökmar	LVL GLULAM	MUF FF	%4 - TiO2 Kontrol	22,96% 0,00%
Dinamik eğilme (şok) direnci	kg.m/cm ²	Max. Min.	Gökmar Kavak	LVL GLULAM	MUF FF	%4 - SiO2 %2 - TiO2	17,63% -1,06%

Çizelge 4.38'e göre lamine malzemelerin fiziksel özelliklerinden; 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık ve ağırlık artışı, serbest formaldehit testleri için tespit edilen etkilerde minimum değerler dikkate alınmıştır. Mekanik özelliklerden; yüzeye dik yönde çekme direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, vida tutma mukavemeti, yapışma direnci, liflere paralel basınç direnci ve dinamik eğilme (şok) direnci testleri için belirlenen etki değerlerinde ise maksimum noktalar dikkate alınmıştır. Hesaplanan etki yüzdelerine göre, nano ürünlerle modifiye edilen tutukalların kullanılması ile elde edilen lamine malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerine ait test sonuçları kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında olumlu yönde belirgin etkilerin olduğu görülmüştür. Buna göre fiziksel özelliklerde en yüksek etki %58,90 ile serbest formaldehit değerlerinde, en düşük etki %16,80 ile 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışında görülmüştür. Mekanik özelliklerde en yüksek etki %118,09 ile yüzeye dik yönde çekme direnci değerlerinde görülürken en düşük etki ise %1,10 ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde tespit edilmiştir.

BÖLÜM 5

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; son dönemlerde orman endüstrisinde yapısal alanlarda kullanılmak üzere tercih edilmeye başlanan lamine ağaç malzemelerin teknolojik özelliklerini daha düşük maliyetlerde iyileştirmek ve kullanım yerindeki performansını artırmak için nano ürünlerle üretimi hedeflenmiştir. Bu amaçla, göknar ve kavak ağaç türlerinden elde edilen malzemeler TiO_2 ve SiO_2 nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkaları ile yüksek frekanslı preslerde yapıştırmak suretiyle GLULAM ve LVL lamine ağaç malzemeler üretilmiştir.

Üretilen bu lamine ağaç malzemelerin fiziksel özelliklerden; 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık ve ağırlık artışı, serbest formaldehit değeri mekanik direnç özelliklerinden; yüzeye dik yönde çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, vida tutma mukavemeti, yapışma direnci, liflere paralel basınç direnci, dinamik (şok) eğilme direnci, termal özelliklerden; termogravimetrik analiz (TGA) ve morfolojik özelliklere ait (SEM) testi yapılmıştır. Her bir özellik için yapılan test ve analiz sonuçlarına ait optimum noktalar kendi grupları içerisindeki kontrol örnekleri ile karşılaştırması yapılarak sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

24 Saat Suda Bekletme Sonucu Kalınlık Artışı;

Lamine ağaç malzemeler, çok yönlü kullanım amacı ile mobilya, inşaat ve panel endüstrisinde taşıyıcı malzeme olarak çatı altlarında iç ve dış cephe kaplamalarında bir hayli kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle levhaların kullanım yerinde rutubete maruz kalacağı düşünülerek belli bir boyutsal kararlılık göstermesi arzu edilir.

Yapılan bu çalışma sonunda lamine malzemelerin 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı değerleri üzerine istatistiksel olarak sadece ano ürün kullanılmasının anlamlı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; en düşük değerlere kontrol örneklerine göre %2,33 ile %17 daha düşük %2 TiO₂ nano malzemelerle işlem gören MÜF tutkalı ile yapıştırılan ve kavak-LVL örneklerinde görülmüştür. Bu istenen bir durumdur. En yüksek değerler ise %5,46 ile MÜF tutkalı kullanılarak yapıştırılan ve göknar-LVL kontrol örneklerinde görülmüştür. Elde edilen sonuçlar; nano ürün ve tutkal türü bakımından sırasıyla incelenmiştir.

Nano ürün kullanım oranı ve tutkal türü bakımından düşük yüzdeli %2 TiO₂ nano ürünü ile işlem görmüş MÜF tutkalı ile yapıştırılan lamine ağaç malzemelerde kalınlık artışı değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumun TiO₂ nano ürünün birim hacimde polimerle birlikte katlar arasında daha fazla yapışma yüzey alanı oluşturması ile dolgu vazifesi görerek daha güçlü hidrofobik özellik göstermesi ve bu sayede boyutsal kararlılığını koruması olarak açıklanabilir. Nano ürün kullanım oranı arttıkça kalınlık artışı üzerine belirgin bir etkinin olmadığı anlaşılmıştır. Bu durum literatürde yapılan benzer çalışmalar ile örtüşmektedir.

Nanopartiküllerin kontrplak panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmada düşük oranlarda nano SiO₂ veya nano Al₂O₃ kullanılmasının panellerin boyutsal stabilite özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Candan ve Akbulut, 2014). NanoSiO₂ (%1) kullanımı ile sandviç levhaların kalınlığına şişme değerlerinde %20 azalma sağladığını böylece, boyutsal kararlılığı daha yüksek levhalar üretilebileceğini bildirmiştir (Candan, 2012). Nano SiO₂ kullanımı ile ahşabın boyutsal stabilitesini ve genel özelliklerini belirgin bir şekilde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir (Shi vd, 2007). Silisyum dioksit SiO₂ nanopartiküllerin nişasta bazlı ahşap tutkalı üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, SiO₂ nanopartikülleri içermeyen kontrol grubu ile karşılaştırıldığında su dayanımı da %20 artışı ortaya konmuştur (Wang vd, 2011). Üre formaldehit tutkalı içerisine %0, %1, %3, %5 oranında nanokil ilave edilerek elde edilen yönlendirilmiş (OSB) levhaların fiziksel özelliklerden 24 saat kalınlık artışı ve su emme değerlerinde de yaklaşık %5-10 oranında iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir (Salari vd, 2013).

24 Saat Suda Bekletme Sonucu Ağırlık Artışı;

Lamine ağaç malzemeler, özellikle inşaat sektöründe ve diğer yapısal alanlarda; yazlık konutların çatı altlarında, prefabrik evlerin, spor, tiyatro, müzik vs salonlarının yapımında bir hayli tercih edilmesi nedeniyle kullanım yerinde çalışma riskine karşı belli bir boyutsal kararlılık göstermesi istenir.

Yapılan araştırma sonunda ağaç türü, tutkal çeşidi, nano ürün ve kullanım oranlarının lamine ağaç malzememelerin 24 saat suda bekletme sonucu ağırlık artışı değerleri üzerine etkileri incelenmiş ve istatistiksel olarak belirgin bir etkisinin olduğu görülmüştür. Buna göre; en düşük değerler kontrol numunelerine göre %36,54 ile %23 daha düşük %2 TiO₂ nano ürünle modifiye edilen ve MÜF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL deney numunelerinde tespit edilmiştir. En yüksek değerler ise %76,57 ile MÜF tutkalı kullanılarak yapıştırılan ve kavak-GLULAM kontrol örneklerinde görülmüştür.

Ağaç türü bakımından en düşük ağırlık artışı değerlerine kavak türünden elde edilen LVL lamine malzemelerde görülmüştür. Bu durumun kavak ağacının göknar ağacına göre yoğunluğunun daha düşük olması ve bu nedenle birim hacimde su tutma dolayısıyla hidroksil grupları ile bağ yapma olasılığının daha az olması ile açıklanabilir. LVL'nin Glulam'a göre yonga narinliği ve kaplama taslak kalınlığının daha yüksek olması ve sıcak presleme aşamasında taslağın birim alanda daha yüksek basınç alarak katlar arası ara yüzeylerde polimer bağlanmasını arttırdığı ve bu sayede su moloküllerinin penetrasyonunu güçleştirmiş olabileceği şeklinde düşünülebilir. Ayrıca, kavak ağacının göknar ağacına göre yoğunluğunun dolayısıyla katı madde miktarının daha düşük olması nedeniyle hacimce genişleme daha az olacaktır. Öte yandan su moloküllerinin bağlanabileceği lifsel-lignoselülozik madde oranının birim hacimde daha az olması ile açıklanabilir. Bu durum literatürde yapılan çalışmalar ile de örtüştüğü görülmektedir. Presleme basıncının artması ile levha yoğunluğunun arttığı ve bunun sonucunda yoğunluğu fazla olan yonga levhaların, yoğunluğu az olan levhalara göre kalınlığına şişme oranları daha fazla olduğu belirtilmiştir (Günsel, 2004; Candan, 2012; Candan ve Akbulut, 2014; Salari vd.2013; Shi vd. 2007; Ayrilmis vd.2014; Jinsu vd. 2007; Dongguang vd., 2002).

Nano malzeme çeşitleri ve kullanım yüzdesi ve tutkal türü bakımından en düşük değerlere %2 TiO_2 nano ürünü ile modifiye edilmiş ve MÜF tutkalı ile yapıştırılan lamine ağaç malzemelerde olduğu anlaşılmıştır. Bu durum nano ürünlerin birim hacimde polimer ile birlikte daha fazla yapışma yüzey alanı oluşturması ve dolgu vazifesi görerek daha güçlü hidrofobik özellik göstermesi ve bu sayede boyutsal kararlılığını koruması olarak açıklanabilir. Dongguang vd. (2002) Bir parçacığın nano boyuta indirildiğinde hacim başına daha büyük bir yüzey alanı elde ederek molokül veya atom oranlarında yüksek bir artış neden olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, test sonuçlarından nano ürün kullanım oranı arttıkça ağırlık artışı üzerine belirgin bir etkinin olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan çalışmada nanokilpartiküller ile güçlendirilen ÜF tutkalının kullanılması ile kavak ağacından elde edilen lamine kompozit malzemelerin masif kontrol örneklerine göre su alma miktarında %5-10 oranında önemli azalışların olduğu belirtilmiştir (Salari, 2012). Nano SiO_2 'nin nano SiO_2 ÜF ile modifiye edilen polimer kompozitlerin özellikleri üzerine etkisini araştırdığı çalışmada su emme değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir (Jiang, vd. 2013). Kalınlığına şişme ve su alma yüzdelğinde tutkal türüne göre FF ile üretilen levhalara göre MÜF ile üretilen levhalara göre daha düşük olduğunu belirtmiştir (Bal ve Bektaş, 2013). Nanopartiküllerin kontrplak panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin incelediği çalışmada düşük oranlarda nano SiO_2 veya nano Al_2O_3 kullanılmasının panellerin boyutsal stabilite özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir (Candan ve Akbulut, 2014).

Nano SiO_2 %1 kullanımı ile sandviç levhaların kalınlığına şişme değerlerinde %20 azalma sağladığını böylece, boyutsal kararlılığı daha yüksek levhalar üretilebileceğini bildirmiştir (Candan, 2012). Nano SiO_2 kullanımı ile ahşabın boyutsal stabilitesini ve genel özelliklerini belirgin bir şekilde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir (Shi vd. 2007). Diğer bir çalışmada nano SiO_2 üre-formaldehit ile modifiye edilen polimer kompozitlerin su tutma değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Düşük pres basıncı ve ısıtma sıcaklıklarında yüksek mukavemetli ahşap malzemelerin elde edilebileceğini belirtmişlerdir (Jiang vd. 2013). Tutkal bakımından en düşük ağırlık artışına MÜF tutkalından elde edilen lamine malzeme deney levhalarında görülmüştür. MUF tutkalının rutubete karşı direncinin (su iticilik özelliğinin) FF tutkalına göre daha iyi olduğu bilinmektedir (Özen, 1981).

Serbest Formaldehit Testi;

Son dönemlerde insanoğlunun yaşamsal alanlarında; prafabrik evler, spor salonları eğlence merkezleri, sinema ve konferans salonlarının vb, çatı giriş ve kolonlarında kullanılan lamine malzemelerin insan sağlığını olumsuz etkileyecek formaldehit emisyonu değerlerine dikkat edilmesi gerekir. Bu çalışmada serbest formaldehit değeri tespitinde çoklu örnekler üzerinde test yapılmadığından istatistiksel olarak bir etkiden söz edilmemiştir.

Lamine ağaç malzemelerin serbest formaldehit değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek emüsyon değerinden en düşük emüsyon değerine 10,95 mg/100g'dan %59 düşüş ile 4,50 mg/100g'a düşen %4 TiO₂ nano ürünle işlem gören MUF tutkalı kullanılan kavak-LVL de görülmüştür. En düşük emüsyon değerinden en yüksek emüsyon değerine çıktığı değer ise 1,59 mg/100g'dan %93 artış ile 3,06 mg/100g'ye çıktığı %2 TiO₂ FF tutkalı ile yapıştırılan kavak-GLULAM kontrol grubunda tespit edilmiştir. Test sonuçlarından nano ürün kullanım oranı arttıkça genelde formaldehit değerlerinde özellikle kavak odununda daha belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Bu durum nano boyuttaki çok sayıdaki partiküllerin birim hacimde daha fazla yüzey alanı oluşturması ile sıcak presleme aşamasında polimer içerisinde reaksiyona geçen formaldehit gruplarını hapsedmesi olarak açıklanabilir. Literatürde yapılan benzer araştırmada nano SiO₂'nin üre formaldehit reçinesinin formaldehit emisyonunu azalttığı belirtilmektedir (Shi ve diğ, 2004). Üre formaldehit tutkalının formaldehit emisyonu üzerine nano SiO₂ partiküllerin kullanımının etkisinin belirlendiği çalışmada nano malzemelerin tutkalın sertleşme süresini etkilemediği nano %1 SiO₂ ÜF tutkalı kullanılarak elde edilen kontrplak, yongalevha ve orta yoğunlukta liflevhaların kalite özelliklerinin ilgili standartların gereklerinin üzerinde olduğu ve bu levhaların formaldehit emisyonlarının E1 sınıfına < 8 (mg/100 g tam kuru levha) ulaştığı ifade edilmiştir (Qiao vd, 2005).

Üre formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkalı ile nano ZnO (%1) kullanılması ile kontrplaktan yapılan sandviç levhaların formaldehit emisyonu değerlerinde %50 azalma, yonga levhalardan yapılan sandviç levhalarda nano ZnO (%3) ve nano Al₂O₃ (%1) kullanılması ile %82, oranında daha az olduğu tespit edilmiştir. Formaldehit

emüsyonu değerlerinde önemli azalmalar ve insan sağlığı için daha uygun ürünlerin elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Özellikle düşük formaldehit emüsyonu istenilen yerlerde MUF tutkalı tercih edilmelidir (Candan, 2012).

Nanomalzemelerin kullanımı ile ahşap kompozitlerde formaldehit vb. zararlı gazların emüsyon değerlerinin azalmasına ilişkin nano malzemelerle yapılan başka bir çalışmada üre formaldehit tutkalını alüminyum oksit nanopartiküller ile modifiye edilmiştir. Çalışma sonunda Al_2O_3 nanopartiküllerin ÜF tutkalındaki serbest formaldehiti %5 ile %10 arasında absorbe ettiği tespit edilmiştir (Dudkin vd, 2006). Düşük kaliteli paulownia ağacından imal edilen yönlendirilmiş şerit levhaların (OSL) bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine %0, %1, %3 ve %5'lik nano kiletkisinin araştırıldığı çalışma sonunda nano kiloranının %5'e kadar ÜF reçine içine katılmasıyla elde edilen panallerin formaldehit emüsyonu değerini %40 düşürdüğü belirtilmiştir (Salari vd, 2013; Dongguang vd., 2002).

Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci;

Yüzeye dik yönde çekme direnci levhanın ayrılmaya ya da yarılmaya karşı olan direncini ifade ettiği için aynı zamanda tutkalın yapışma dayanımı hakkında bilgi verir. Yapısal alanlarda taşıyıcı, koruyucu, çerçeveleyici malzeme olarak kullanılan lamine mazemelerin biribirinin aksi yönlerde tesir eden ayrılma ve kopmaya yönelik etkilere maruz kalacağı düşünülerek belli bir çekme direncine sahip olması istenir. Bu çalışmada yüzeye dik yönde çekme direnci testleri sadece LVL deney örnekleri üzerinde yapılmıştır.

Yapılan araştırmada kullanılan ağaç türü, güçlendirici dolgu materyali olarak değerlendirilen TiO_2 ve SiO_2 nano ürün maddelerinin farklı oranları ile modifiye edilen FF ve MÜF tutkalının lamine malzemelerin yüzeye dik yönde çekme değerleri üzerine etkileri incelenmiş ve tutkal türü haricinde istatistiksel olarak belirgin bir etkisinin olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değerlere $2,05 \text{ N/mm}^2$ ile yaklaşık %120 artış göstererek %4 oranında SiO_2 nano ürün ile modifiye edilen FF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL deney numunelerinde görülmüştür. En düşük değerler ise $0,85 \text{ N/mm}^2$ ile

%6 düşüş görülen %2 SiO₂ nano malzeme ile işlem gören FF tutkalı ile yapıştırılan göknar-LVL örneklerinde olduğu anlaşılmıştır.

Yüzeye dik yönde çekme direnci üzerine ağaç türü bakımından en yüksek değerlere kavak odunundan elde edilen LVL lamine malzemelerde görülmüştür. Bu durumun kavak ağacının göknar ağacına göre yoğunluğunun daha düşük olması nedeniyle pres sıkıştırma-ezme oranı faktörü artacağından presleme aşamasında birim yüzey alanda daha iyi basınç alarak tabakalar arasındaki tutkalın bağlanma kabiliyetinin artırması ile açıklanabilir. Ayrıca, çekme dirençleri sırasında deney örneklerinin ortaya yakın katlar arasından ayrılan parçaların çekme direncinin yüzeyden ayrılanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatürde yapılan çalışmalar ile de benzerlikler göstermektedir (Çil, 2012).

Nano malzeme kullanım yüzdesi ve tutkal türü bakımından en yüksek değerlerin %4 SiO₂ nano ürünü ile modifiye edilmiş FF tutkalı kullanılarak yapıştırılan lamine ağaç malzemelerde olduğu görülmüştür. Ayrıca, test sonuçlarından TiO₂ ve SiO₂ nano ürün kullanım oranı arttıkça istatistiksel olarak çekme direnci üzerine belirgin bir etkinin olduğu görülmüştür. Bu durumun nano ürünlerin içeriği gereği birim hacimde polimer ile birlikte daha fazla yapışma yüzey alanı oluşturması ve LVL kaplama katları arasında polimer ve nano ürün arasındaki bağlanma ve nano ürünün polimer içerisinde dağılım derecesini yani yapışma yüzeylerindeki adhezyon bağlanma derecesini iyileştirmesi olarak söylenebilir. Bu durum literatürde yer alan bazı çalışmalarla uyusmaktadır. Üre formaldehit tutkalı içerisine %0, %1, %3, %5 oranında nanokil ilave edilerek iki farklı presleme sürelerinde düşük kaliteli (*Paulownia fortunei*) ağacından elde edilen yönlendirilmiş (OSB) levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı çalışmada düşük presleme sürelerinde ve UF reçinesine nanokil ilavesi arttıkça iyileştiği en yüksek yüzeye dik yönde çekme (iç yapışma) değerlerine %5 oranında nanokil kullanılması ile 0,6 N/mm² ile %50 oranında iyileştiği görülmüştür (Salari vd. 2012). Ahşap unu çok duvarlı karbon nanotüp kullanım oranına bağlı olarak nano kompozitlerin yüzeye dik yönde çekme direncinde artış olduğunu ve bu artışın nanatüplerin sahip olduğu yüksek narinlik oranı ve geniş yüzey alanına bağlamışlardır (Farsheh vd, 2011).

Diğer bir çalışmada hegzagonal bor nitrür kullanılarak üretilen ahşap plastik kompozitlerin çekme direncinin hegzagonal bor nitrür oranındaki artışa bağlı olarak yükseldiğini belirlemişlerdir (Ayrılmış ve diğ, 2013). Genel olarak literatürde yapılan araştırmaların sonuçlarına bakıldığında nano materyallerin mekanik özellikler üzerine belirli oranlara (ortalama %5 seviyesi) kadar önemli artışlar sağladığı, bu oran geçildikten sonra meydana gelen artışın oldukça düşük seviyede kaldığı yada özelliklerde düşük meydana getirdiği belirtilmektedir (Kaymakçı, 2016). Tutkal bakımından en yüksek yüzeye dik yönde çekme dirençlerine MUF tutkalından elde edilen lamine malzeme deney levhalarında görülmüştür.

Eğilme Direnci;

Odun kompozit malzemeler çok yönlü kullanım amacı ile yapısal alanlarda taşıyıcı malzeme olarak bir hayli tercih edilmektedir. Bu nedenle levhaların kullanım yerinde yada yük altında belli bir eğilme etkisi yapan yüklemelere ve gerilmelere maruz kalacağından direnci uzun süreli kullanım için kullanıcıya güven vermelidir.

Farklı özelliklere sahip ağaç ve yapıştırıcı olarak kullanılan tutkal türlerinin lamine ağaç malzemelerin eğilme direnci değerleri üzerine nano ürün ve kullanım oranları hariç istatistiksel olarak belirgin bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; en yüksek değerler kontrol numunelerine göre 100,58 N/mm² ile %20 daha yüksek %2 SiO₂ nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL deney numunelerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise kontrol örneklerine göre 70,17 N/mm² ile %2 daha düşük %2 TiO₂ nano malzeme ile işlem gören ve FF tutkalı ile yapıştırılan kavak-GLULAM deney örneklerinde belirlenmiştir.

Ağaç malzeme türü bakımından eğilme dirençleri karşılaştırıldığında en yüksek değerler kavak ağacından elde edilen LVL lamine malzeme örneklerinde görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak, göknar odununa göre daha düşük yoğunluğa sahip kavak odununun laminasyon aşamasında tatbik edilen pres basıncı ile polimer ve nano ürünlerin malzeme yüzeyindeki boşlukları doldurması ve presleme aşamasında katlar arasında daha homojen bir bağlanmanın olması olarak açıklanabilir. Üç farklı kavak klonu üzerine yapılmış çalışmada TKK'nın eğilme

direnci, elastikiyet modülü ve basınç direncinin aynı kavak klonlarının masif kontrol örneklerinden daha yüksek olduğu belirtmişlerdir (Bal ve Bektaş, 2012; Kurt, 2010). Çil (2012), Titrek kavak (*Populus tremula L.*) yongalarından farklı basınçlarda lamine ağaç malzemelerin mekanik özelliklerden eğilme dirençlerindeen yüksek değerlere %20 artış ile 12,5 kg/cm² pres basıncında MUF tutkalı ile elde edilen LVL'de (74,69N/mm²) tespit ederek yapıştırılacak ağaç malzemede uygulanan pres basıncın mekanik adezyon sağlanması için gerekli olduğunu belirtmiştir. Literatürde Keskin vd. (2003), sarıçamdan elde edilen LVL örneklerinin kontrol grubuna göre daha yüksek eğilme direnci değeri verdiğini bu durumun nedeninin sarıçamın kavağa göre yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.

Efe vd. (2009). Bal ve Bektaş (2012), Benzer şekilde, Kurt (2010) üç farklı kavak klonu üzerine yapmış olduğu çalışmada TKK'nın eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direncinin aynı kavak klonlarının masif test örneklerinden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Burdurlu vd (2007), kayın ve kavaktan elde edilen MAM ve TKK test örnekleri üzerinde eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerine araştırma yapmışlar ve sonuçta TKK'nın eğilme özelliklerinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Bal ve Bektaş (2013), Üç farklı ağaç türünden dogu kayını, sarıçam ve kavak odunlarından elde edilen lamine ağaç malzemelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin istatistiksel analizler sonucunda, yoğunluk ile eğilme direnci arasında doğrusal, yoğunluk ile elastikiyet modülü arasında ise eğrisel ilişkiler olduğu belirlenmiştir (Kasal vd, 2010).

Eğilmede Elastikiyet Modülü;

Lamine ağaç malzemeler günümüzde çok yönlü kullanım amacı ile yapı, inşaat ve panel endüstrisinde taşıyıcı malzeme olarak bir hayli tercih edilmektedir. Bu nedenle levhaların kullanım yerinde yada yük altında belli bir eğilme etkisi yapan yüklemelere ve gerilmelere karşı bir eğilmede elastikiyet katsayısı sağlayarak uzun süreli kullanıcıya hizmet etmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında nano ürün kullanımı hariç ağaç türü, ve kullanılan tutkal özelliklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu görülmüştür. Lamine ağaç malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değerlere 11563,39 N/mm² ile %1 artışla %4 TiO₂ nano ürün ile modifiye edilen MUF tutkalı ile yapıştırılan göknar-LVL deney numunelerinde görülmüştür. En düşük değerlere ise 7355,43 N/mm² ile %11,5 daha düşük %4 SiO₂ nano ürün ile işlem gören MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-GLULAM'da olduğu anlaşılmıştır.

Ağaç malzeme türü bakımından eğilmede elastikiyet modülü değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerlerin göknar ağacından elde edilen LVL lamine malzeme örneklerinde görülmüştür. Bu durumun eğilme direnci testlerine olduğu gibi levha yoğunluklarının artmasına ve uygun pres basınçlarında katlar arası yüzeylerin daha sıkı ve homojen bir bağlanmaya neden olması ve tabakalar arasında oluşan tutkal katman kalınlığının basınç altında zorda kalma etkilerine ve bunlara karşı oluşan gerilmelere daha elastiki bir yapı kazanmış olması olarak düşünülebilir. Ayrıca göknar odunu yoğunluğunun kavak odununa göre daha yüksek olması ve daha fazla direnç göstermesi olarak da açıklanabilir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çil (2008), Titrek kavak (*Populus tremula L.*) yongalarından farklı basınçlarda elde edilen LVL lamine elastikiyet modülü kontrol örnekleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak MUF tutkalında en yüksek değerlere yüksek basınçlarda %15 artış ile (6461,82 N/mm²) tespit edilmiştir. FF tutkalında en yüksek değerlere benzer %15 artış ile (6211,73 N/mm²) olduğu görülmüştür. Ayrıca, yapıştırılacak ağaç malzemede uygulanan pres basıncın mekanik adezyon sağlanması için gerekli olduğunu belirtmiştir.

Üç farklı kavak klonu üzerine yapmış olduğu çalışmada TKK'nın eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direncinin aynı kavak klonlarının masif kontrol örneklerinden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Bal ve Bektaş, 2012; Kurt, 2010). Sizüçen (2008) Titrek kavak (*Populus tremula L.*) yongalarından üretilen LVL, PSL, LSL lamine ağaç malzemelerin mekanik özelliklerden elastikiyet modülü değerlerinde en yüksek LSL'de (8022,48 N/mm²), en düşük kontrol örneklerinde (7863,21 N/mm²) tespit etmiştir.

Boyuna Yönde Katmanlara Paralel Vida Tutma Mukavemeti;

Odun kompozit malzemeler kullanım yeri ve amacına göre çeşitli ebatlarda birbirleri ile bağlanarak demonte mobilya haline getirilmektedir. Bu nedenle levhaların vida tutma mukavemeti yüksek olmalıdır. Böylece üretilen mobilyaların daha uzun süre ve güvenle kullanıcıya hizmet etmesi sağlanmış olsun.

Lamine ağaç malzemelerin boyuna yönde katmanlara paralelvida tutma mukavemetindeki değerleri üzerine sadece ağaç türünün istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bu özellik üzerine nanao ürün ve tutkal türünün istatistiksel olarak belirgin bir etkisi görülmemiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değer 8,31 N/mm² ile %6 daha iyi %2 SiO₂ düşük nano ürün ile modifiye edilen MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL deney numunelerinde tespit edilmiştir. En düşük değer ise, 4,43 N/mm² ile MUF tutkalı kullanılan kavak-GLULAM kontrol örneklerinde görülmüştür.

Bu durumun, yoğunluğu düşük olan kavak kaplama katmanlarının arasında taslağın pres basıncı altındaki sıkıştırılma oranının artmasına paralel olarak yüzeyler arası boşlukların dolması ve birim alanda lifsel malzeme bağlanmasının artması olarak düşünebiliriz. Elde edilen test sonuçlarından lamine ağaç malzemelerin boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti üzerine özellikle kavak ağaç türünün etkisi olduğu ve literatürde belirtilen çalışmalara benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Pres basıncından kaynaklanan yoğunluk artışı ve bunun sonucu olarak mekanik özelliklerdeki artış diğer bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir (Erdil ve ark., 2009; Bao el al., 2001; Çolak ve ark., 2007; Kurt, 2010).

Celebi ve Kılıç (2007) tarafından yapılan bir çalışmada kavak ve kayın kaplamaları ile poliüretan ve polivinilasetat tutkalları kullanılarak TTK üretilmiş ve malzemenin çivi ve vida tutma mukavemetinin radyal yönde daha yüksek çivi ve vida tutma direnci tespit edilmiştir. Kontrplak ve yönlendirilmiş yonga levhanın (OSB) vida tutma mukavemetleri üzerinde; vida çapı, vida etkili boyu ve malzeme yoğunluğunun etkili olduğu belirtilmiştir (Erdil vd. 2002). Ağaç malzemelerin özgül ağırlığı arttıkça, vida tutma direnci de artış olduğu, radyal yönde çekme, teğet ve boyuna

yönde çekmeye kıyasla, teğet yönde çekme de boyuna yönde çekmeye kıyasla daha yüksek vida tutma mukavemetine sahip olduğu görülmüştür (Çağatay vd. 2012).

Bir başka çalışmada, doğu kayını, sarıçam ve karakavaktan elde edilen lamine malzemelerin liflere paralel alyan vida tutma değerlerinin liflere dik doğrultudaki değerlerinden daha yüksek olduğu, kavaktan elde edilen tabakalı kaplama kerestenin vida tutma mukavemetinin PVAc laminede %30, ÜF lamine malzemelerde %40 artış masif kavaktan daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu farklılığın temel sebebinin kavak odununun kayına göre düşük yoğunluğa sahip olması ve TKK üretimi esnasında uygulanan pres basıncının yoğunlaştırma etkisinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu nedenle özgül ağırlığı düşük olan ağaç malzemelerde lamine malzeme kullanımı mukavemet değerlerini arttırmakta ve kullanım açısından daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Efe vd. 2009; Bal vd. 2013).

Enine Yönde Katmanlara Paralel Vida Tutma Mukavemeti;

Farklı özelliklere sahip Lamine edilmiş ağaç malzemeler kullanım yerinde kendi aralarında yada farklı özelliklere sahip çeşitli ebatlardaki diğer kompozit ürünlerle bağlanarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle, levhaların vida tutma mukavemeti yüksek olmalıdır ki daha uzun süre ve güvenle kullanıcıya hizmet etmesi sağlanmış olacaktır.

Lamine ağaç malzemelerin enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemeti değerleri üzerine ağaç ve tutkal türünün istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu belirlenirken nano malzeme kullanımının istatistiksel olarak belirgin bir etkisi tespit edilmemiştir. Belirlenen sonuçlar kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değer 6,78 N/mm² ile %17 daha iyi %4 SiO₂ nano ürün ile muamele edilen ve MUF tutkalı kullanılan kavak-LVL'lerde tespit edilmiştir. En düşük 3,87 N/mm² ile %1,6 azalış gösteren %2 SiO₂ FF tutkalı ile işlem gören göknar-GLULAM kontrol örneklerinde elde edilmiştir. Bu durumun presleme aşamasında uygulanan basınç ile kaplama katmanlarını oluşturan taslağın yüksek sıkıştırma faktörü ile katlar arası birim alanda yoğunluğun artarak daha homojen bağlanmanın olması şeklinde açıklanabilir. Elde edilen test sonuçlarından enine yönde katmanlara paralel vida

çekme direnci üzerine özellikle ağaç ve tutkal türünün etkisi olduğu bu nedenle özellikle kavak odunu ve MUF tutkalının kullanılması ile yüksek vida tutma özelliklerine sahip LVL lamine malzemelerin üretilebileceği belirtilmiştir.

Celebi ve Kılıç (2007), tarafından yapılan bir çalışmada kavak ve kayın kaplamaları ile poliüretan ve polivinilasetat tutkalları kullanılarak TKK üretilmiş ve malzemenin çivi ve vida tutma direnci araştırılmıştır. Radyal yönde daha yüksek çivi ve vida tutma direnci elde edilmiştir. Efe ve vd. (2009), yaptıkları çalışmada doğu kayını, sarıçam ve karakavaktan elde edilen MAM'ın ve TKK'nın aylan başlı vida tutma mukavemeti inceledikleri çalışma sonunda en yüksek vida tutma mukavemeti kayın-MAM'da liflere paralel yönde elde edilmiştir. Bu durumun kayın odununa göre sarıçam ve kavak odunlarının daha boşluklu hücreye sahip ağaç türleri olması dolayısıyla daha düşük yoğunluğa sahip olması ve bu sayede uygulanan pres basıncının yoğunlaştırma etkisi ile açıklanmıştır. Pres basıncından kaynaklanan yoğunluk artışı ve bunun sonucu olarak mekanik özelliklerdeki artış diğer bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir (Bao vd. 2001; Çolak vd. 2007; Kurt, 2010).

Boyuna Yönde Katmanlara Dik Vida Tutma Mukavemeti;

Lamine edilmiş ağaç malzemeler kullanım yerinde kendi aralarında yada farklı özelliklere sahip çeşitli ebatlardaki diğer kompozit ürünlerle farklı yönlerde vidalanması ile bir araya getirilerek kullanılmaktadır. Bu nedenle, levhaların vida tutma mukavemeti istenilen değerlerde olması istenir.

Lamine kompozit malzemelerin boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti değerleri üzerine ağaç, tutkal ve nano ürünlerin istatistiksel olarak belirgin bir etkisi tespit edilmiştir. Belirlenen sonuçlar kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değer 7,76 N/mm² ile %11 daha iyi %2 SiO₂ nano ürün ilave edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL'lerde tespit edilmiştir. En düşük değer ise, 4,67 N/mm² ile FF tutkalı kullanılarak üretilen göknar-LVL kontrol örneklerinde görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında, nano malzemeler ile güçlendirilen lamine malzemelerin boyuna yönde katmanlara dik vida tutma değerlerine pozitif etki yaptığı söylenebilir.

Ağaç malzeme türü bakımından boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerlerin kavak ağacından elde edilen LVL lamine malzeme örneklerinde tespit edilmiştir. Bu durumu, yoğunluğu düşük olan kavak kaplama katmanlarının arasında taslağın pres basıncı altındaki sıkıştırılma oranının artmasına paralel olarak yüzeyler arası boşlukların dolması ve birim alanda morfolojik özellikleri yüksek tutkal ile lifsel malzeme bağlanmasının artması olarak düşünebiliriz. FF tutkalı kullanılarak kayın ve kavak soyma kaplamalarından üretilen tabakalı lamine ağaç malzeme ile masif ağaç malzemelerin vida tutma mukavemeti belirlenmiş ve vida tutma mukavemetinin teğet yüzeylerde radyal yüzeylerden yüksek olduğu belirlenmiştir (Bal vd. 2013). Farklı vida tipleri ile liflere paralel ve dik vida tutma mukavemetlerinin belirlendiği çalışmada en yüksek vida tutma değerlerine liflere dik yönde kayın odununda 20x35 mm vida ile (17,67 N/mm²), en düşük liflere paralel yönde Waferboard levhalarında 20x20 mm vida ile (4,44 N/mm²) tespit edilmiştir (Özçifci ve Doğanay, 1998).

Nano malzeme ve kullanım oranları ile birlikte kullanılan tutkal türü bakımından boyuna yönde katmanlara dik vida tutma mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında en yüksek sonuçların düşük yüzdeli %2 SiO₂ nano ürünlerle modifiye edilen MUF tutkalının kullanıldığı deney numunelerinde tespit edilmiştir. Bu durum laminasyon aşamasında polimer içerisindeki SiO₂ nano ürünlerin TiO₂'ye göre daha homojen karışarak malzeme yüzeyindeki boşlukları doldurması ve presleme aşamasında katlar arasında daha homojen bir bağlanmanın olduğu şeklinde yorumlanabilir. Tez çalışması kapsamında ortaya çıkarılan bulgular, diğer bilim adamları tarafından elde edilen veriler ile örtüşmektedir. Yörür vd. (2017) çapları 3,5 mm ve 4 mm olmak üzere 2 tip vida ile yüzeyden ve kenardan yapılan vida tutma mukavemeti yüzeyden uygulanan vida tutma mukavemetinin kenar'a göre %33 artış olduğu, ayrıca vida çapı arttıkça vida tutma değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. (Efe vd. 2009; Erdil vd. 2009; Bao vd. 2001; Çolak vd. 2007; Kurt, 2010). tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Yapışma Direnci;

Lamine ağaç malzemeler günümüzde çok yönlü kullanım özelliği nedeniyle ile mobilya ve inşaat endüstrisinde taşıyıcı malzeme olarak bir hayli tercih edilmektedir. Bu nedenle farklı yönlerde belli bir yüke ve zorda kalma direncine karşı levhaların yapışma direnci değerlerinin yüksek olması istenir. Bu çalışmada yapışma direnci testleri sadece GLULAM deney örnekleri üzerinde yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında ağaç türü, ve nano malzeme kullanım oranlarının lamine malzemelerin yapışma direnci üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu görülürken tutkal türünün etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Lamine ağaç malzemelerin yapışma direnci değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değerlere 8,90 N/mm² ile %34 artışla %2 SiO₂ düşük nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-GLULAM deney numunelerinde görülmüştür. En düşük değerlere ise 6,18 N/mm² ile %22 oranında düşüşle %4 TiO₂ nano malzeme ile işlem gören MUF tutkalı ile yapıştırılan göknar-GLULAM örneklerinde olduğu anlaşılmıştır.

Lamine ağaç malzemelerin yapışma direnci değerleri üzerine ağaç türünün önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, kavak ağacından elde edilen lamine malzeme yüzeylerinin göknar'a göre yoğunluğunun düşük olması ve nano ürünlerle tutkalın morfolojik bakımdan homojen karışması nedeniyle daha geçirgen bir yapı kazanacağından tutkal tabakalar arasına daha iyi nüfus etmesi ile sıcak presleme aşamasında yüzeyler arası bağlanmanın artması olarak açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar literatürde yapılan çalışmalar ile de benzerlikler göstermektedir. Özgül ağırlığı düşük olan ağaç malzemelerde lamine malzeme kullanımı mukavemet değerlerini arttırmakta ve kullanım açısından daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (Efe vd. 2009). FF tutkalı içersine %8 SiO₂ nano ürün katılarak göknar ağacından üretilen lamine ağaç malzemelerin yapışma direncinin kontrol örneklerine göre %40, MUF tutkalı içersine %8 TiO₂ nano ürün ilave edilerek kavak ağacından elde edilen lamine malzemelerin yapışma direncini %30 iyileştirdiği tespit edilmiştir (Özçifci vd. 2018).

Dongguang vd. (2002) bir parçacığın nano boyuta indirildiğinde hacim başına daha büyük bir yüzey alanı elde ederek molokül veya atom oranlarında yüksek bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir (Özçifci vd. 2018). Orta yoğunluklu liflevha (MDF) 'nin sıcak preslenmesi sırasında ısı transferini iyileştirmek için kuru lif ağırlığına oranla verilen UF reçineye %0,5 ve %1,0 Al_2O_3 nano partikül ilavesi tutkalın ekzotermik sertleştirme reaksiyonundan dolayı ısı transferini geliştirmiştir. Bu sayede, özellikle levhaların orta tabakasının, UF'nin kürlenmesine ve elde edilen levhaların sırasıyla yapışma dirençlerinde %7,6 ve % 34,3 bir artışa neden olduğu belirtilmiştir (Kumar vd, 2013).

Nano ürün kullanım oranı ve tutkal türü bakımından en yüksek yapışma direnci değerlerine düşük yüzdeli %2 SiO_2 nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan GLULAM örneklerinde görülmüştür. Bu durumun, SiO_2 nano ürünün yüzey alanı daha geniş parçacıklardan oluşması dolayısıyla yapışacak yüzey alanlarını arttırması ve tabakalar arasında tutkalın daha iyi ekzotermik sertleşme reaksiyonu sağlanarak ısı iletimi artarak kürlenme sürecini hızlandırması ve bu sayede adezyon kuvvetini arttırmış olabileceği düşünülebilir. Bu şekilde üretilen lamine malzemelerin tabakaları arasında lifsel yapı ile polimer arasında oluşan bağlanma ile ani şok tesirlerine karşı daha dirençli olması olarak açıklanabilir. Tez çalışması kapsamında ortaya çıkarılan bulgular literatürden elde edilen veriler ile örtüşmektedir. Candan ve Akbulut'un (2015) nano SiO_2 , nano Al_2O_3 ve nano ZnO' nun %0, %1 ve %3 yükleme seviyelerinde yonga levhaların yapışma değerlerinde en yüksek artış %21,8 ile nano Al_2O_3 (%1) ve nano SiO_2 (%1) kontrplaklarda ise %60 ile nano Al_2O_3 (%3) ile güçlendirilen levhalarda olduğu ve önemli iyileştirmeler sağlandığını belirtmişlerdir. Lin vd. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, üre formaldehit tutkalının yapışma direncinin gelişmesinde, nano SiO_2 'nin katkı sağladığı kaydedilmiştir. Diğer bir çalışmada, nano SiO_2 üre-formaldehit ile modifiye edilen polimer kompozitlerin yapışma mukavemetinin belirgin şekilde arttığını belirtmişlerdir (Jiang, ve ark, 2013). Nano SiO_2 ile işlem gören üre formaldehit tutkalı ile üretilen kontrplak levhaların yapışma direnci değerlerinin standartlarda (Class II plywood) istenilen değerleri karşıladığı ifade edilmiştir. (Guidi ve Qiaoja, 2005),

Yapılan çalışmada aynı ağaç türü ve tutkal kullanımında nano ürün kullanım yüzdesi arttıkça (%2'den %4'e çıkarıldıkça) yapışma direnci ve diğer mekanik direnç özelliklerinin olumsuz etkilendiği görülmüştür. Benzer bir araştırmalarda nano SiO₂ daha fazla kullanılması durumunda ise panellerin yapışma direncini düşürdüğü tespit edilmiştir (Xu HN vd, 2011). Diğer bir çalışmada, ÜF tutkalı içerisine %0, %1, %3, %5 oranındananokil ilave edilerek üretilen yönlendirilmiş levhaların (OSB) mekanik direnç özellikleri üzerine %5'e kadar nano kil kullanılarak elde edilen levhaların yapışma dirençlerinin arttığı tespit edilmiştir (Salari vd, 2012). Yine benzer bir araştırmada tutkal içerisine %0, %0,5, %1 ve %2 oranında nano SiO₂ ilave edilerek yapılan kontroplakların yapışma dirençlerinin %1'e kadar nano ürün kullanılmasının yapışma mukavemetini önemli derecede iyileştirdiğini, daha fazla kullanılması durumunda ise panellerin yapışma direncini düşürdüğü tespit edilmiştir (Xu HN ve diğ, 2011).

Liflere Paralel Basınç Direnci;

Lamine edilmiş kompozit malzemeler yapısal alanlarda taşıyıcı olarak aranan bir üründür. Bu nedenle, kullanım yerinde yada yük altında birbirine ters yönde olmak üzere liflere paralel yönde tesir eden ve ağaç malzemeyi sıkıştırmaya, ezmeye çalışan kuvvetlere karşı kırılma anındaki gerilmelere karşı kullanıcıya güven vermelidir.

Bu tez çalışmasında nano malzeme kullanım oranları ve tutkal türünün Liflere paralel basınç direnci (LFBD) üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu görülürken ağaç türünün etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, deney sonuçlarından aynı ağaç türü ve tutkal kullanımında nano ürün kullanım yüzdesi %2 den %4'e çıkarıldıkça liflere paralel basınç direncinde belirgin bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Lamine ağaç malzemelerin LFBD değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değerlere 66,7 N/mm² ile %23 artışla %4 TiO₂ nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL deney numunelerinde tespit edilmiştir. En düşük değer ise 40,30 N/mm² ile FF tutkalı ile kavak ağacından elde edilen GLULAM kontrol örneklerinde görülmüştür.

LFBD değerleri üzerine lamine malzeme türü bakımından en iyi değerlere LVL'den elde elden deney örneklerinde olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun LVL'nin Glulam'a göre daha yüksek taslak kalınlığına sahip olması dolayısıyla sıcak presleme aşamasında oluşacak yüksek sıkıştırma faktörü ile daha yüksek basınç alarak kaplama katları arasında bağlanmanın artması bu sayede belli bir yük ve basınç altında oluşacak gerilmelere karşı direnç gösterme özelliğinin iyileşmesi olarak ifade edilebilir. Bu teste ait sonuçlar literatürde belirtilen çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir. Sizüçen, (2008) Titrek kavak (*Populus tremula L.*) yongalarından üretilen LVL, PSL, LSL lamine ağaç malzemelerin mekanik özelliklerden liflere paralel basınç direncinde en yüksek değerlere 49,87 N/mm² ile LVL'de en düşük ise 33,63 N/mm² kontrol örneklerinde olduğunu tespit etmiştir. Bu alanda yapılan başka bir çalışmada Öztürk, (2005) sarıçamdan üretilen formaldehit tutkalıyla elde etmiş olduğu LVL örneklerinin liflere paralel basınç direncini 46,16 N/mm² olarak bildirmiştir. Tezde elde edilen değer ile literatür verileri birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Nano malzeme kullanım oranı ve tutkal türü bakımından en yüksek LPBD değerlerine %4 TiO₂ nano ürün ile işlem görmüş MUF tutkalı ile yapıştırılmış lamine malzemelerde görülmüştür. Ayrıca, deney sonuçlarından aynı ağaç türü ve tutkal kullanımında nano ürün kullanım yüzdesi %2 den %4'e çıkarıldıkça liflere paralel basınç direncinde belirgin bir artışın olduğu anlaşılmıştır. Keskin ve Togay (2003), yaptıkları çalışma ile kavak odununun elde edilen lamine ağaç malzemelerin masif kavak odunun elde edilen örneklere göre liflere paralel basınç direncinde 40,68 N/mm² ile yaklaşık %5-10 oranında bir iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Tutkal ve ağaç türünün liflere paralel basınç direnci üzerine etkisini araştırdığı çalışmada en yüksek değerlerin PÜ tutkalı ile lamine edilmiş kayın (*Fagus Silvatica*) odunlarında (42,56 N/mm²), en düşük basınç direnci ise D2 tutkalı ile lamine edilmiş sarıçam (*Pinus Sylvestris*) odunlarında (35,15 N/mm²) olduğunu belirtmiştir. (Perçin vd. 2009).

Dinamik Eğilme (Şok) Direnci;

Lamine ağaç malzemeler kullanım yerinde ağaç malzemeye uygulanan kuvvet statik şekilde yani yavaş yavaş artmak şeklinde olmayıp ani ve şok şeklinde tesir etmektedir. Bu nedenle malzemeler şok şeklinde dinamik yüklemeler için uygun olmalıdır.

Bu araştırma sonucunda, ağaç türü, nano malzeme kullanım oranları ve tutkal türününlamine malzemelerin dinamik eğilme (şok) direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, deney sonuçlarından aynı ağaç türü ve tutkal kullanımında nano ürün kullanım yüzdesi %2 den %4'e çıkarıldıkça şok direncinde çok azda olsa bir artışın olduğu görülmüştür. Deney örneklerinin şok direnci değerlerine etkileri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek değerlere 0,487 kgm/cm² ile %17,6 artışla %4 SiO₂ nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan göknar-LVL deney numunelerinde tespit edilmiştir. En düşük değerler ise 0,279 kgm/cm² ile %1,3 düşüşle %2 TiO₂ nano FF tutkalı ile yapıştırılan ve kavak-GLULAM kontrol örneklerinde belirlenmiştir.

Ağaç malzeme türü bakımından dinamik eğilme şok direnci değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değerlerin göknar ağacından elde edilen LVL lamine malzeme örneklerinde olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun nano ürünlerin ilavesi ile yüzey alanı artan tutkalın sıcak presleme aşamalarında kaplama tabakaları arasında lifsel malzemelerin daha iyi yüzey tutunma ve bağlanma yapmış olması olarak açıklanabilir. Ahşap plastik kompozitlerin şok direnci üzerine nano kil, hegzagonal bor nitrür miktarının etkisi sadece %0 ile %4.5 nano partikül yükleme oranında anlamlı farklılıklar olduğunu tespit etmiştir (Candan, 2012).

Dinamik eğilme(şok) direnci değerleri nano ürün yüzdesi ve kullanılan tutkal türü bakımından en yüksek değerlere ve etkilere yüksek yüzdeli %4 SiO₂ nano ürün ile işlem görmüş MUF tutkalı ile yapıştırılmış lamine malzemelerde görülmüştür. Sizüçen (2008), Titrek kavak (*Populus tremula L.*) yongalarından üretilen LVL, PSL, LSL lamine ağaç malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırdığı yüksek

lisans tezindeen yüksek değerlere 0,50 kgm/cm² ile PSL’de en düşük ise 0,34 kgm/cm² ile kontrol örneklerinde olduğunu tespit etmiştir. Çil (2012), yüksek lisans tezi çalışmasında hızlı gelişen I-214 (*Populus X Euramericana*) klonundan elde edilen soyma kaplamaların FF ve MUF tutkalı kullanılarak farklı basınç ve sıcaklık altında preslenerek üretilen (TAK)’ların, dinamik eğilme (Şok) direnci) değerleri üzerine çok azda olsa bir iyileşme olduğunu tespit edilmiştir. Bu durumun pres basıncının artması ile tutkalın oduna nüfuzunu arttırması olarak ifade edilmiştir.

Termal Özellikler;

Nanoürünler olan TiO₂ ve SiO₂ ile modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının termal şartlardaki davranışları ve bozunmaları termogavimetric analiz (TGA) testi ile belirlenmiş olup analiz sonrası elde edilen sonuçlar kalan atık madde miktarı ve bozunma sıcaklığı TG verileri ile karşırmalı olarak yorumlanmıştır.

Yapılan çalışmada FF tutkalına ait TGA eğrileri ve TG değerleri incelendiğinde kütle kayıplarının genellikle 50-80 °C sıcaklıklar arasında olduğu ve tutkalların kütle kaybı verdiği en yüksek sıcaklıkların T %10’da %4 SiO₂ ve T %60’da %2 SiO₂ nano ürünle işlem gören tutkallarda saptanmıştır. Kütle kayıpları incelendiğinde genellikle %40 ile %60 arasında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, nano ürünlerle modifiye sonrasında en uygun kullanım şeklinin düşük kütle kaybı veren FF+%2 SiO₂ formülasyon için belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan diğer bir tutkal olan MUF’un TG değerleri incelendiğinde FF ile çok benzer olduğu ve en iyi değerlere MUF+%4 SiO₂ göstermiştir. Ayrıca diğer eğrilerinde saf MUF’a göre daha yüksek sıcaklıklarda eğilim göstermişlerdir. Tüm eğrilerin 180-220 °C arasında küçük bir bozunma eğrisi verdiği, asıl bozunmanın 250-350 °C sıcaklıklar arasında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmış, hemiselülozların 180°C’de, selülozun 210 °C’de bozunmadığı bildirilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

MUF ve nano katkılı MUF tutkallarının TG eğrilerine göre gerek T%10 gerekse T%60 değerleri saf MUF’dan daha yüksek olduğu görülmüştür. Kütle kayıpları incelendiğinde ise en yüksek kütle kaybı saf MUF için belirlenirken, en düşük kütle kayıpları SiO₂ içeren numunelerden elde edilmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılağı

üzere nano ürün ilavesinin MUF'un termal kararlılığını önemli oranda iyileştirdiği söylenebilir. Yapılan benzer çalışmada Kaymakçı (2015), karbon nanotüp artışı ile ahşap plastik nanokompozitlerin sıcaklığa bağlı olarak deneme sonrası kalan madde miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Karbon nanotüp kullanılmayan kontrol örneklerinde sıcaklığa bağlı olarak kalan madde miktarı %11.43 iken %4.5 oranında karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap plastik nanokompozitlerde bu oran %14.14 olarak belirlenmiştir. Benzer sonuçlar tüm nano malzeme katkı oranlarında görülmüştür. Nano ürün artışı ve sıcaklığa bağlı olarak stabilitenin iyileşmesi literatürde yapılan benzer çalışmalar ile uyushmaktadır.

Srıvasulu vd. (2013), tarafından nanokil/aerosil polimer nanokompozitlerinin sentezi ve karakterizasyonu üzerine yapılan çalışma sonunda elde edilen termal analiz verilerinden artan nano kil oranına bağlı olarak nanokompozitlerin artık kalan madde miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada Hazarika vd. (2014), ahşap polimer nanokompozitlerin dinamik mekanik analiz, biyolojik bozunma ve termal stabilitesini tespit edilmiştir. Termal testler sonucunda artan nano kil oranına paralel olarak nanokompozitlerin artık kalan madde miktarında artış olduğu bildirilmiştir.

Morfolojik Özellikler;

Nanopartikül ilaveli FF ve MUF'un morfolojik özellikleri ilgili taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) analizleri ile belirlenmiş olup analiz sonrası elde edilen grafikler karşıtormalı olarak değerlendirilmiştir.

Nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının SEM ve ESD analizlerine ait görüntüler incelendiğinde; nano ürün kullanım oranları arttıkça tutkal matrisleri içerisinde homijen bir dağılım görülmüştür. Bu sayede, nano ürün takviyeli tutkal karışımlardan elde edilen lamine malzemelerin test sonuçları kontrol grupları ile karşılaştırıldığında belirgin artışlar görülmüştür. Sonuç olarak tutkal karışımının homojen dağılım göstermesi lamine malzemelerin özellikle yapışma direnci ve diğer mekanik ve fiziksel özelliklerdeki artış nedenlerinden biri olarak düşünülebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Rowell,2005).

Kaymakcı (2015), yaptığı araştırma sonunda endüstriyel dolgu malzemelerinin ahşap plastik nanokompozitlerin fiziksel, mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi olduğunu belirtmiştir. Ayrıca %4 nano ürün ilavesi ise genellikle partikül topaklanmalarına sebep olduğunu bu durumun homojen ve yeterli karışım yapılamamasından yada karışım esnasında oluşan viskozite artışlarından kaynaklanmış olabileceğini belirtmiştir. Selüloz elyafı ile güçlendirilmiş FF tutkalının kullanılması ile elde edilen kompozit malzemelerin kontrol örneklerine göre mekanik direnç özelliklerinin iyileştiği, fiber kompozitlerin (SEM) görüntüsünün fenol-formaldehit reçinesi ile doğrusal bir yapıda homojen gruplar halinde başarılı bir şekilde düzenlenmiş olduğu görülmüştür (Rowell,2005), (Pugazhenthı and Kumar, 2017).

SONUÇLAR;

Bu çalışma kapsamında nano ürünlerin kullanılması ile son kullanım performansının iyileştirilmesine yönelik elde edilen GLULAM ve LVL lamine ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal testlerin yanı sıra morfolojik analizlere yönelik sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Yapılan çalışmalar sonucunda TiO_2 ve SiO_2 nano ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının kullanımı ile elde edilen lamine edilmiş GLULAM ve LVL ahşap malzemelerin kendini temsil eden masif kontrol gruplarına göre daha yüksek performansa ve direnç özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.
2. Fiziksel özelliklerden 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık ve ağırlık artışları kontrolörnekleri ile karşılaştırıldığında en düşük değerlere ve en iyi etkiye yüzde olarak %17 ile kalınlık artışı, %23 ile ağırlık artışında düşük yüzdeli %2 TiO_2 nano ürünlerle modifiye olan ve MUF tutkalı ile yapıştırılan ve kavak-LVL'lerde görülmüştür. Buda özellikle lamine ağaç malzemelerde yapısal kullanımlarda son tüketici isteklerini karşılayan önemli bir özelliktir.
3. Serbest formaldehit emisyonuna ait test sonuçları incelendiğinde en yüksek etkiye %59 düşüş ile yüksek yüzdeli %4 TiO_2 ile modifiye edilen MUF tutkalı ile yapıştırılan ve göknar odunundan elde edilen LVL'lerde görülmüştür. Ayrıca, nano ürün kullanım oranı arttıkça insan sağlığını olumsuz etkileyecek formaldehit emisyonu değerlerini azalttığı görülmüştür.
4. Yüzeye dik yönde çekme direnci kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en iyi değerlere %118 artışla yüksek yüzdeli %4 SiO_2 nano ürünü ile işlem gören FF tutkalı kullanılarak yapıştırılan ve kavak odunu kaplamalarından elde edilen LVL lamine malzemelerde tespit edilmiştir. Ayrıca, nano ürün ve MUF tutkalı kullanım oranı arttıkça çekme direncinin iyileştiği anlaşılmıştır.
5. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünde elde edilen sonuçlar masif ağaç malzemelerle kıyaslandığında sırasıyla; eğilme direncinde en yüksek

etkiye %2 SiO₂ nano malzeme ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL deney numunelerinde %20'lik bir artış kaydedilirken eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde %1'lik artış ile kaydedeğer bir iyileşme görülmemiştir.

6. Vida tutma mukavemetine yönelik üç farklı yönde elde edilen sonuçlar kontrol örnekleri ile mukayese edildiğinde en yüksek etkiye MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL deney numunelerinde görülmüştür. Nano ürün ve kullanım yüzdesi olarak sırasıyla; boyuna yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemetinde %2 SiO₂ nano malzeme ile %6'lık bir artış görülmüştür. Enine yönde katmanlara paralel vida tutma mukavemetinde ise, %4 SiO₂ nano malzeme kullanılması ile %17'lik bir artış görülürken boyuna yönde katmanlara dik yönde vida tutma mukavemetinde %2 SiO₂ nano malzeme kullanımında %11'lik bir artış tespit edilmiştir.
7. Lamine malzemelerin yapışma direnci değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek etki ve değerlere yaklaşık %34 artışla %2 SiO₂ düşük nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-GLULAM deney numunelerinde görülmüştür. Bu sonuçla, farklı yönlerde oluşan yük ve zorda kalma direncine karşı GLULAM'ların daha yüksek yapışma direnci mukavemet göstermesi arzu edilen bir durumdur.
8. Lamine malzemelerin liflere paralel basınç direnci (LFBD) kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en yüksek etkiye %23 artışla %4 TiO₂ nano ürünle işlem gören ve MUF tutkalı kullanılan kavak-LVL örneklerinde görülmüş, aynı ağaç türü ve tutkal kullanımında nano ürün arttıkça LFBD belirgin bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle, yük ve basınç altında sıkıştırma ve ezme sonucu oluşacak kuvvet ve gerilimlere karşı daha dayanıklı lamine malzemelerin üretilebileceği düşünülebilir.
9. Dinamik eğilme (şok) direnci değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında en iyi değerlere yaklaşık %18 artışla %4 SiO₂ nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan göknar-LVL deney numunelerinde tespit edilmiştir. Böylelikle, lamine edilmiş malzemelerin

kullanım yerinde ani ve şok şeklindeki basınçlara dinamik yüklemelere karşı LVL'lerin daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır.

10. Nano ürünlerden TiO_2 ve SiO_2 ile modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının TGA verileri; termal şartlardaki davranışları, kalan atık madde miktarı ve bozunma sıcaklıkları karşıtormalı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, en az kütle kaybının olduğu değerlere FF tutkalında düşük yüzdeli %2 SiO_2 MUF tutkalında ise yüksek yüzdeli %4 SiO_2 nano ürün ile modifiye edilen örneklerde görülmüştür.

11. SiO_2 ve TiO_2 nano ürünleri ilave edilerek hazırlanan FF ve MUF tutkallarının morfolojik özellikleri ilgili taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) analizleri incelendiğinde; nanopartitül ilavesi arttıkça tutkal karışım matrisleri içerisinde belirgin topaklanmaların aksine homojen dağılımlar tespit edilmiştir. Bu morfolojik yapıya sahip tutkal karışımlarından elde edilen lamine malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinde belirgin artışlar görülmüştür.

Sonuç olarak, lamine ağaç malzemelerin kendini temsil eden kontrol örneklerine ile karşılaştırıldığında fiziksel özelliklerde; düşük yüzdeli TiO_2 , mekanik ve morfolojik özelliklerde ise, düşük yada yüksek yüzdeli SiO_2 nano ürünlerle işlem gören MUF tutkalının kullanıldığı kavak-LVL deney levhalarında daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu sayede;

1. Orman ürünleri endüstrisinde nano ürünlerin kullanılması ile yapısal amaçlı kullanılacak ürünlerin performansının iyileştiği doğal kaynakların korunarak atık yada fire olarak nitelendirilen ürünlerin değerlendirilerek katma değeri yüksek daha ekonomik ve uygun ve üstün özellikli yeni kompozit üretimlerin (GLULAM, LVL) yapılması sağlanabilir.
2. İnsan sağlığı açısından uygun sentetik yapıştırıcıların nanoteknolojik ürünlerle birlikte modifiye edilerek daha ekonomik hammadde ve daha kısa süreli presleme şartlarında kullanılarak fiziksel ve mekanik direnç özellikleri daha yüksek kompozit lamine kerestelerin elde edilebileceği tespit edilmiştir.

3. Günümüz modern toplumların hükümetlerince desteklediği ve yakından takip ettiği nanoteknolojik yeni yaklaşımların ülkemizde bu alanda yapılacak yeni bilimsel çalışma ve uygulamalı araştırmaların desteklenmesi, teşvik edilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle ülkemizin nanoteknoloji alanına yapacağı yatırımlar stratejik bir öneme sahiptir.
4. Nanoteknoloji alanında yapılan teknolojik gelişmeler ve yapılan çalışmalar orman endüstri alanında faaliyet gösteren işletme ve kuruluşlara büyük destek sağlayacaktır. Özellikle yüksek frekanslı kurutma ve presleme yöntemlerinin de kullanılması ile daha üstün özelliklere sahip yeni modifiye ürünlerin üretimi sağlanabilir.
5. Çalışmada elde edilen sonuçlar uygulamaya aktarılabilir nitelikte olup, ayrıca bilimsel ve endüstriyel alanlarda yapılacak çalışmalara da altyapı oluşturulabilecek potansiyeli bulunmaktadır.

BÖLÜM 6

ÖNERİLER

Bu tez çalışması sayesinde elde edilen sonuçlar, analizler ve literatür dikkate alınarak yapılan bazı öneriler aşağıda belirtilmiştir.

1. Dünya ve ülkemizdeki orman kaynaklarının azalmasının önüne geçebilmek için temini ve ikamesi kolay olan, kavak ve benzeri ağaç türleri yada endüstriyel atık malzemeler tercih edilebilir. Bu malzemeler ile farklı özelliklere sahip tutkal ve nano ürünlerin kullanımı yapılarak üretilecek lamine ağaç malzemeler veya odun esaslı kompozit levhaların; fiziksel, mekanik özelliklerinin yanı sıra termal ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkileri belirlenebilir.
2. Lamine ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yapılacak çalışmalarda üretim maliyetlerinin ve ürün kalitesinin yanı sıra işletme verimliliği açısından yüksek frekanslı preslerin kullanılması düşünülebilir. Bu üretim şeklinin yaygınlaştırılmasıyla, yeni iş ve istihdam imkanları artabilir.
3. Lamine malzemelerin bütün bu avantajlarının yanında tamamen yenilenebilir doğal kaynaklardan üretiliyor olması, diğer benzer malzemelere oranla daha düşük enerji tüketimi, çevre duyarlılığı gibi konularda da öne çıkan artıları bulunmaktadır. Bu yönüyle ahşap yapılarda çeşitli mimari uygulamalarda lamine kompozit malzemelerin kullanımı yaygınlaştırılmalı ve teşvik edilmelidir.
4. Ülkemizin özellikle deprem kuşağında olması nedeniyle insan sağlığı ve güvenliğinin daha az riske edildiği daha ekonomik yaşam alanları olan prefabrik konutların yapılabilirliği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle, yapı

elamanı olarak kullanım yerlerinde, eğilmeye ve elastikiyete karşı kirişlerde, yüklere ve basınca karşı kolonlarda masif ağaç malzeme yerine özellikle de yangın riskleri nedeniyle ısıya karşı daha dayanıklı yanmayı geciktirici teknolojik özellikleri iyileştirilmiş GLULAM ve LVL gibi ahşap esaslı malzemelerin üretilmesi, kullanımı teşvik edilmelidir. Bu çalışma sonunda, düşük yüzdeli %2 SiO₂ nano ürünle modifiye edilen ve MUF tutkalı kullanılarak kavak ağacından üretilen LVL'lerin kullanılması tavsiye edilmiştir.

5. Lamine malzeme ve odun esaslı kompozit levhaların ülkemizde üretimine yönelik hammadde olarak hızlı gelişen ağaç türlerinin yetiştirilmesi, tutkal ve nano ürünlerin üretimleri ve kullanımları yaygınlaştırılmalı ve teşvik edilmelidir. Bu yönde gerekli kamusal düzenleme ve destekler sağlanarak özel sektör ve üniversite işbirliği ile ağaç malzemenin negatif özelliklerini azaltıcı çalışmalara ağırlık verilmelidir.

KAYNAKLAR

Anonim, 1999. Forest Products Laboratory. Wood Handbook, Madison,WI: U.S.Department of Agriculture, Forest Service,

Anonim, 2004. Nanotechnology for the Forest Products Industry Vision and Technology Roadmap.

Anonim, 2006. Structural Board Association <http://www.sba-osb.com>.

Anonim,2008a. www.ilevel.com

Anonim, 2008b. www.lesliestructuralsales.com

Anonim,2008c.www.beconstructive.com

Anonim, 2008d. www.apawood.org

Anonim, 2008e. <http://www.chimarhellas.com/wp-content/uploads>,

Anonim, 2011a. Polimer nanokompozitler, (Erişim: 14 Mart 2014). www.polymer.hacettepe.edu.tr/webim/imsen/...nano_composites2.pdf,(Ziyaret tarihi: 14 Mart 2014).

Anonim, 2011b. Global nanomaterials opportunity and emerging trends. (Erişim: 15.10.2014). [http://www.lucintel.com/Lucintel Brief/Global Nanomaterials opportunity-Final.pdf](http://www.lucintel.com/Lucintel%20Brief/Global%20Nanomaterials%20opportunity-Final.pdf). (Erişim: 15.10.2014).

Anonim, 2016a. [http://www.mobilyadergisi.com.tr/haber/cagimizin-endustriyel devrimi nanoteknoloji](http://www.mobilyadergisi.com.tr/haber/cagimizin-endustriyel-devrimi-nanoteknoloji) (Erişim: 14.09.2016).

Anonim, 2016b. [http://www.biltek.tubitak.gov.tr-Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi](http://www.biltek.tubitak.gov.tr-Ulusal-Nanoteknoloji-Araştırma-Merkezi).

Anonim, 2018. <http://www.sedlab.com.tr/morfolojik-icyapi-goruntu-inceleme-sem.html>

American Forest and Paper Association (AF&PA), “Forest products industry technology roadmap, agenda 2020 technology alliance”, **American Forest and Paper Association**, p. 66, Washington, DC, USA (2006).

Akbaş, T., Özarřlan, C., “Nanoteknoloji ve tarımda uygulama olanakları”, **Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi**, Kahramanmaraş, (2007).

Akgün, E.,“Ahşap yüzeylede kullanılan nanoteknolojik verniklerin dayanım özelliklerinin diğeri vernik sistemleriyle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi,

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, (2008).

Alfadul, SM., Elneashwy AA., “Use of Nanotechnology In Food Processing, Packaging and Safety- Review”, **African J Food Agr Nutr Dev**, 10, 2719-2739 (2010).

Antti, A. L., “Microwave Drying of Pine and Spruce”, *Holz als Roh-und Werkstoff* 53, 333-338 (1995).

Atar, İ., Başboğa, İ.H., Karakuş, K. ve Mengeloğlu, F., “Kayın ve Kavak kaplamaların melamin formaldehit tutkalı kullanılarak lamine kaplama kereste üretimine uygunluğu”, **Mugla Journal of Science and Technology**, Vol 2, No: 2, Pages 131-134 (2016).

Ayhan, A., “Dünden bugüne Türkiye’de bilim-teknoloji ve geleceğin teknolojileri”, **Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.**, İstanbul, 455s. (2002).

Ayrilmis, N., Kaymakci, A., Dunder, T., Ozdemir, F. and Kwon, J.H., “Mechanical and thermal properties of wood plastic composites reinforced with hexagonal boron nitride”, **Proligno**, 9(4), 435-442 (2013).

Bal, B.C., Bektaş, İ., “The effects of some factors on the impact bending strength of Laminated Veneer Lumber”, **Bioresources**, 7(4): 5855-5863 (2012).

Bal, C.B., Özdemir, F. ve Altuntaş, E., “Masif ağaç malzeme ve tabakalı kaplama kerestenin vida tutma direnci üzerine karşılaştırmalı bir çalışma”, **Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi** Cilt:9, Sayı:2, 14-22 (2013).

Bal, C.B., Bektaş, İ., “Okaliptüs, Kayın ve Kavak soyma kaplamaları ile üretilen tabakalı kaplama kerestelerin (TKK) bazı fiziksel özellikleri” **Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi** ISSN:2146-1880, e-ISSN: 2146-698X Cilt: 14, Sayı:1, Sayfa: 25-35 (2013).

Bao, F., Fu, F., Choong, T. and Hse, C., “Contribution factor of wood properties of three poplar clones to strength of laminated veneer lumber”, **Wood and Fiber Science**, 33 (3):345-352 (2001).

Bardak, T., Bardak, S. ve Kayahan, K., “Orman endüstrisinde nanoteknoloji.” **International Journal of Cultural and Social Studies (IntJCSS)**: 2(2) ISSN:2458-9381 (2016).

Bayındır, M., “Nanoteknoloji: disiplinler arası yeni bir bilim dalı”, (2006). http://www.fen.bilkent.edu.tr/~mb/dokumanlar/Nanoteknoloji_UNAM.pdf (Erişim 2 Aralık, 2015).

Berglund, L., Rowell, R., “Wood Composites. In: Handbook of Wood Chemistry And Wood Composites”, CRC Press LLC. s: 279-301 (2005).

Boehm, P., “Application for cerium oxide nanoparticles in coatings: protect your wood for ten years”, **Surface Coatings International Part A: Coatings Journal**, 88 (9), 359-362 (2005).

Bozkurt, Y., Erdin, N., “Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi”, Yayın no: 445, S: 1, İstanbul (1997).

Burdurlu, E., Kılıç, M., İlce, A.C. ve Uzunkavak, O., “The effects of ply organization and loading direction on bending strength and modulus of elasticity in laminated veneer lumber (LVL) obtained from beech (*Fagus orientalis* L.) and lombardy poplar (*Populus nigra* L.)”, **Construction and Building Materials** 21: 1720-1725 (2007).

Çağatay, K., Efe, H., Burdurlu, E. ve Kesik, H.İ., “Bazı ağaç malzemelerin vida tutma mukavemetlerinin belirlenmesi”, **Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 12 (2): 321-328 (2012).

Candan, Z., “Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi”, Doktora Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**, (2012).

Candan, Z., Akbulut, T., “Nano-engineered plywood panels performance properties”, **Composites Part B**, 64, 155-161 (2014).

Candan, Z., Akbulut, T., “Physical and mechanical properties of nanoreinforced particleboard composites”, **Maderas Ciencia y Tecnología**, 17(2): 319-334 (2015).

Çavuş, V., “I-214 (*Populus X Euramericana*) melez kavak klonundan fenol formaldehit ve üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilmiş paralel şerit kerestelerin (PŞK) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kahramanmaraş. 59s. (2008).

Çeliker, G., “Ambalaj sektöründe nanoteknoloji ve uygulamaları”, **4. Uluslar arası Ambalaj Kongresi**, Sayfa: 1-2, İzmir, Türkiye, (2005).

Celep, Ş., Koç, E., “Nanoteknoloji ve tekstilde uygulama alanları”, **Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü**, cilt:17-7 (2007).

Çelebi, G., and Kılıç, M., “Nail and screw withdrawal strength of laminated veneer lumber made up hardwood and softwood layers”, **Construction and Building Materials**, 21: 894–900 (2007).

Çıracı, S., “Metrenin bir milyarda birinde bilim ve teknoloji” **Bilim ve Teknik** (Ağustos 2005 eki) 6-10 (2005).

Çil, M., “Tutkal katman kalınlığının tabakalanmış kaplama kerestelerin (TAK) fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kahramanmaraş. 60s. (2012).

Çolakoğlu, G., “Tabakalı Ağaç Malzeme Teknolojisi Ders Notları” (Yayınlanmamış) KTÜ, Orman Fakültesi, Trabzon (1996).

Çolakoğlu, G., 1998. “Wood Adhesives”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Lisansüstü Ders Notu, s.32-58 (1998).

Çolakoğlu, G., Aydın, İ., Nemli, G. ve Çolak, S., “Ahşap Sanayinde Melamin Formaldehit (MF) ve Melamin/Üre Formaldehit (MÜF) Yapıştırıcılarının Kullanımı”, **Mobilya Dekorasyon Dergisi** s.130-138 (2002).

Colakoglu, G., Colak, S., Aydın, I., Yildiz, U.C. and Yildiz, S., “Effect of boric acid treatment on mechanical properties of laminated beech veneer lumber”, **Silva Fennica** 37(4): 505–510 (2003).

Çolakoğlu, G., “Mobilya ve dekorasyon malzemeleri olarak; PSL, LSL ve LVL”, **Ahşap Mühendislik Dergisi**, 66 50-56 (2005).

Çolak, S., Çolakoğlu, G. and Aydın, I., “Effects of logs steaming, veneer drying and aging on the mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL)”, **Build and Environ** 42, 93-98 (2007).

Demirkır, C., Çolakoğlu, G., Aydın, İ. ve Çolak, S., “Melamin-üre formaldehit (MÜF) ile üretilmiş okume kontrplakların bazı özelliklerine orta tabakada kullanılan ağaç türünün etkisi”, **Kafkas Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 6(1-2), 94-101 (2005).

Dikensoy, Ö., “Nanopartiküller ve plevra” **Plevra Bülteni**, 4: 7-9 (2010).

Dongguang, W., Rajesh, D. and Robert, P., “Mixing and characterization of nanosized powders: An assessment of different techniques”, **Journal of Nanoparticle Research**, 4: 21-41 (2002).

Dudkin, B.N., Krivoschapkin, V.P. and Krivoschapkina, E.F., “Effect of aluminum oxide nanoparticles on the properties of urea-formaldehyde resin”, **Russian Journal of Applied Chemistry**, 79 (9), 1522-1525 (2006).

Dorn, C., Stief, A., Jahreis, and M, Rautenstrauch., “Hybrid wall-slabs for multi-storey buildings: Made of Timber with a Directly Applied Mineral Cover Layer”, **S. Aicher et al. (eds.) Materials and Joints in Timber Structures**, RILEM Bookseries 9, (2014).

Efe, H., Kasal, A., Dizel, T. ve Arslan, A.R., “Masif ve lamine ağaç malzemelerin (LAM) Alyan vida tutma mukavemeti”, **Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi**, 9 (2):95-105 (2009).

Elim, H.I., Ji, W., Yuwono, A.H., Xue, J.M., and Wang, J., “Ultrafast optical nonlinearity in poly(methylmethacrylate)- TiO₂ nanocomposites”, **Appl. Phys. Lett.**, 82,16,2961-2693 (2003).

Erdil, Y.Z., Kasal, A., Zhang, J, Efe, H. and Dizel, T., “Comparison mechanical properties of solid wood and laminated veneer lumber fabricated from Turkish beech”, *Scots pine and Lombardy poplar*, For. Prod. J. 59(6), 55-60 (2009).

Enam, M., “Fatigue evaluation of structural composite lumber (SCL) T- Beam bridge girders”, Ph. D. Thesis, *Florida State University Famu-Fsu College of engineering Department of Civiland Environmental Engineering*, Page: 8-15 (2008).

Fiedler, B., Gojny, F.H., Wichmann, M.H.G., Nolte, M.C.M. and Schulte, K., 2006, Fundamental aspects of nano – reinforced composites, *Composite Science and Technology*, 66 (16), 3115-3125 (2006).

Farsheh, A.T., Talaeipour, M., Hemmasi, A.H., Khademieslam, H., Ghasemi, I., “Investigation on the mechanical and morphological properties of foamed nanocomposites based on wood flour/PVC/multi walled carbon nanotube”, *Bioresources*, 6(1), 841-852 (2011).

Guidi, Y., Qjaojia, L., “Manufacturing of modified UF resin with low toxicity for plywood”, *Journal of Fujian College of Forestry*, 25 (4), 299-303 (2005).

Guo, D., Xie, G., and Luo, J., “Mechanical properties of nanoparticles: basics and applications”, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 47, 013001 25pp (2014).

Guozhong, C., “Nanostructures and Nanomaterials”, February 13, 2006, *World Scientific Publishing Company Inc.*, Singapore(2004).

Güller, B., Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, Yıl: 2001, ISSN: 1302-7085, Sayfa:135-160.

Güntekin, Keskin, H. and Atar, M., “The Effect Of The Screw Dimension İn The Lamination Of Beech And Scotch Pine Produced By Using Different Adheswe On Screw Withdrawal Strengt”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5 (2005).

Günsel, U., “Türkiye Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Temel Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Yüksek lisans tezi, *Muğla Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü*, Muğla (2004).

Gürmen, S., Ebin, B., “Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1”, *Metalurji Dergisi*, 150: 31-38 (2008).

Göker, Y., “Değişik Yöntemlerle Üretilmiş Yonga levhaların Kullanım Yerleri”, *Laminart Dergisi*, Sayı:7, Nisan-Mayıs (2000).

Haygreen, J.G., Bowyer, J.L., “Forest Products and Wood Science An Introduction, Fifth Edition”, *Iowa State University Press*, Ames, Iowa, USA. (2007).

Hazarika, A., Mandal, M. and Maji, T., “Dynamic mechanical analysis, biodegradability and thermal stability of wood polymer nanocomposites”, **Composites Part B**, 60, 568– 576 (2014).

Hongladarom, S., “Nanotechnology”, **Development and Buddhist Values. Nanoethics**, 3 (2): 97-107 (2009).

Jiang, Y., W, G., Chen, H., Song, S. and Pu, J., (2013), “Preparation of nano-SiO₂modified urea-formaldehyde performed polymer to enhance wood properties”, **Rev Adv Mater Sci** 33(1):46-50 (2013).

Jones, P., Wegner, T. et al. “Nanotechnology for the forest products industry Vision and technology roadmap”, **Based on the Results of the Nanotechnology for the Forest Products Industry Workshop**, Landsdowne, Virginia, USA, October 17-19, 2004. Atlanta: TAPPI Press, p. 92. (2005).

Kahraman, F.K., “Türkiye’deki bazı Karakavak (*Populus nigra* L.) klonlarının morfolojik çeşitliliği üzerine araştırmalar”, **Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü**, Çeşitli Yayınlar Serisi, No:23. İzmit (2012).

Kalaycıoğlu, H., Özen, R., “Yonga Levha Ürünleri Ders Notları”, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları**, Yayın No: 69, Trabzon, S:2-11.(2010).

Karayılmazlar, S., Çabuk, Y., Atmaca, A. ve Aşkın, A., “Orman Ürünleri Endüstrisinde Laminasyon Tekniği ve Önemi”, **Z.K.ÜBartın Orman Fakültesi Dergisi**, Cilt: 9, Sayı: 11, (2007).

Kaymakcı, A., “Çeşitli Güçlendirici Dolgularla Üretilen Ahşap Plastik Nanokompozitlerin Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2015).

Kaymakci, A., Ayrılmış, N., Gulec, T.,and Tufan, M.,“Preparation and characterization of high-performance wood Polymer nanocomposites using multi-walled carbon nanotubes”, **Journal of Composite Materials**, (2016).

Keskin, H., “Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri Ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları”, Doktora Tezi. **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2001).

Keskin,H., “Sapsız meşe (*quercus petraea* liebl.) ve sarıçam (*pinus sylvestris* lipsky) kombinasyonu ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin bazı teknolojik özellikleri ve kullanım imkanları”, **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 17(4):121-131 ISSN 1303-9709, (2004).

Keskin, H., Togay, A, “Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve karakavak (*Populus nigra* L.) kombinasyonu ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri”, **S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi**, Seri: A, Sayı: 2, Sayfa: 101-114 (2003).

Keskin, H. ve Togay, A., “Lamine edilmiş karaçam odununda kesiliş yönünün eğilme direnci ve eğilmede elastiklik modülüne etkileri”, **Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi**, 14: 13-25, (2004)

Khandve, P.V., “Nanotechnology for Building Material”, **International Journal of Basic and Applied Research Special** Vol. 04 146-151 (2014).

Kumar, A., Gupta, A., Sharma, K.V., and Nasir, M., “Use of aluminum oxide nanoparticles in wood composites to enhance the heat transfer during hot-pressing”. **Eur J Wood Prod**, 71:193-8 (2013).

Kurt, R., Çavuş, V. ve Meriç, V., “Keresteye Alternatif Bazı Mühendislik Ürünü Ağaç Malzemeler; Paralel Şerit Kereste, Tabakalanmış Şerit Kereste ve Ahşap I- Kiriş.” **20-22 Mayıs III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi**, Cilt: V Sayfa: 1772-1781 (2010).

Kurt, R., Cil, M., “Effects of press pressures on glue line thickness and properties of laminated veneer lumber glued with phenol formaldehyde adhesive”, **BioResources**, 7: 5346-5354 (2012).

Lee, L.H., and Chen, W.C., “High- refractive- index thin films prepared from Trialkoxysilane-capped Poly(methyl methacrylate)- Titanie materials”, **Chem. Mater.**, 13: 1137-1142 (2001).

Lee, S.Y., Kang, I.A., Doh, G.H., Kim, W.J., Kim, J.S., Yoon, H.G. and Wu, Q., “Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites”, **eXPRESS Polymer Letters**, 2(2), 78-87 (2008).

Licari, J.J., Swanson, D.W., “Adhesives Technology for Electronic Applications”, **ed: Andrew W., Vol:2, Elsevier**, USA. (2016).

Liveri, V.T., “Controlled synthesis of nanoparticles in microheterogeneous systems”, **Springer Science+Business Media, Inc.**, New York, (2006).

Mallick P.K., Composites Engineering Handbook, Marcel Dekker, Inc., New York USA, 1997.

Maloney, T.M., “Terminology and Products Definitions A Suggested Approach to Uniformity Worldwide”, In Proceedings, **18 th International Union of Forest Research Organization World Congress**, Yugoslavia, September (1986).

Maloney T.M., “The Family of Wood Composite Materials”, **Forest Products Journal**, Vol:46, No:2 (1996).

Maminski, M., Borysiuk, P. and Mazurek, A., “Wood-wood joints reinforcement induced by Al₂O₃ nanofibers addition”, **Annals of Warsaw University of Life Sciences, Forestry and Wood Technology**, 62, 17-19 (2007).

May, M., Wang, H.M. and Akid, R., “Effects of the addition of inorganic nanoparticles on the adhesive strength of a hybrid sol–gel epoxy system”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30 (6): 505-512 (2010).

Mengeloğlu, F., Kurt, R., “Mühendislik ürünü ağaç malzemeler tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM)”, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 39-44 (2004).

Mengeloğlu, F., Karakuş K., “Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic”, *Sensors ISSN* 1424-8220. 8, 497-516 (2008).

Meriç, H., “Üç farklı melez Kavak klonundan fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilmiş tabakalanmış kaplama kerestelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 64s.(2009).

Moslemi, A., “Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials, II. International Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Material Conference, Idaho USA. (1990).

Nanoteknoloji Strateji Grubu, “2023 Projesi, Nanobilim ve nanoteknoloji stratejileri”, *Tübitak*, Ankara(2004).

Ozcifci, A.,Doğanay, S., “Withdrawal Strength of Some Screws and Nails in Waferboard and Picea or Oriental Beech”,*Tr. J. of Agriculture and Forestry*23:5, 1207-1213, Ankara (1999).

Ozcifci, A., “Effects of boron compounds on the bonding strength of PF and MF adhesives to impregnated wood materials”, *Journal Adhesion Science Technology*,20 (10):1147-1153 (2006).

Ozcifci, A.,“The effects of pilot hole, screw types and layer thickness on the withdrawal strength of screws in laminated veneer lumber”, *Journal of Materials& Design*, 30, 2355-2358 (2009).

Ozcifci, A., Kara, M.E. ve Kaymakçı, A., “Impact of PF and MUF Adhesives Modified With TiO₂ and SiO₂ on The Adhesion Strength”, *Wood Research*, 63 (1) 75-84 (2018).

Özen, R., “Kaplama ve Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notu”, *K.T.U Orman Fakültesi Yayını*, Trabzon (1981).

Özüğür, B., “SiO₂ esaslı nanomalzemelerin hazırlanması ve karakterizasyonu”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, (2012).

Perez, M.A., Rivas, B.L., Rodriguez, S.M., Maldonado, A. and Venegas, C., “Polypropylene/clay nanocomposites, synthesis and characterization”, *Journal of the Chilean Chemical Society*, 55(4), 441-444 (2010).

- Rasouli, D., Dintcheva, N.T., Faezipour, M., La Mantia, P., Farahani, M.R.M. and Tajvidi, M., “Effect of nano zinc oxide as UV stabilizer on the weathering performance of wood-polyethylene composite”, ***Polymer Degradation and Stability***, 133, 85-91 (2016).
- Resch, H., “High Frequency Electric Current For Drying of Wood - Historical Perspectives”, ***Maderas. Ciencia y tecnologia***, 8(2):67-82, (2006).
- Risbrudt, C, D., “Wood and society”, Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, P:52 (2005).
- Roughley, D.J., “Nanotechnology: Implications for the wood products industry”, ***p. 73, Forintek Canada Corporation***, Canada, (2005).
- Rowell, R.M., “Moisture properties. In: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Rowell”, ***R. M. (ed.), CRC Press, Inc, Boca Raton, FL, Ch 4.*** (2005).
- Pugazhenth, J. Thamilarasan, P. J. and Kumar, A. S., “Preparation and Properties of Phenol-Formaldehyde Resin Reinforced With Recycled Cellulose Fiber”, ***International Journal of Mechanical Engineering and Technology***, IJMET Volume 8, Issue 5, May, pp. 59–64 (2017).
- Perçin, O., Özbay, G. ve Ordu, M., “Farklı tutkallarla lamine edilmiş ahşap malzemelerin mekaniksel özelliklerinin incelenmesi”, ***Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, S:19, ISSN-1302-3055 (2009).
- Poole, C.P.Jr., Owens, F.J., “Introduction to nanotechnology. John Wiley & Sons”, New Jersey, Pp: 400 (2003).
- Salari, A., Tabarsa, T., Khazaeian, K. and Saraeian, A. “Effect of nanoclay on some applied properties of oriented strand board (OSB) made from underutilized low quality paulownia (*Paulownia fortunei*) wood”, ***J. Wood Sci***, 58:513-524 (2012).
- Samarzija, J.S., Jovanovic, V., Konstantinovic, S., Markovic, G., Marinovic. and C.M., “Thermal behavior of modified urea-formaldehyde resins”, ***J Therm Anal Calorim***, 104, 1159 – 1166 (2011).
- Shi, J.S., Li, J.Z. and Zhou, W.R., “Nano-materials: the bright future of wood modification”, ***China For. Ind.***, 7, 48-50 (2004).
- Shi, J., Zhou, Li, J. and Zhang, WD., “Improvement of wood properties by ureaformaldehyde resin and nano SiO₂” ***Front Forest China***, 2(1):104-9 (2007).
- Sizüçen, H., “Titrek kavak yongalarından üretilen (LSL, LVL, PSL) lamine ağaç malzemelerin direnç özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, (2008).
- Song, G.J., “Polymeric nano-metered composites”, ***Mater Rep*** 4:57-60 (1996).

Srinivasulu, R., Madhusudan, S., Kumar, M.A., Murthy, V.N. and Kartikeyan, N., “Synthesis and characterization of polymer nanocomposites filled with nanoclay/aerosil on mechanical and thermal properties”, *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3(4), 515-56 (2013).

Tan, H., Çolakoğlu, G., “Dolgu maddesi olarak Meşe palamut unu kullanımının Kayın ve Okume kontrplak levhalarında bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi”, *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Cilt: V, 20-22 Mayıs 2010, s.1819-1824 (2010).

Tozluoğlu, A., Çöpür, Y., Özyürek, Ö. ve Çıtlak, S., “Nanocellulose production technology”, *Turkish Journal of Forestry*, 16(2): 203-219 (2015).

TS EN 386, (1999). Yapıştırılmış Lamine Ahşap Performans Özellikleri ve Asgari Üretim Şartları, TSE, Ankara.

TS EN 325, (1999). Ahşap esaslı levhalar-deney numunelerinin boyutlarının tayini, TSE, Ankara.

TS EN 326-1, (1999). Ahşap esaslı levhalar-numune alma ve kesme tayini, TSE, Ankara.

TS EN 323-1, (1999). Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini, TSE, Ankara.

TS EN 317, (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar-24 saat Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme ve ağırlık artışı tayini, TSE, Ankara.

TS 4894 EN 120, (1999). Ahşap esaslı levhalar – Formaldehit miktarının tayini – Ekstraksiyon metodu ile ayırma, TSE, Ankara.

TS EN 319, (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar – Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini, TSE, Ankara.

TS EN 310, (1999). Ahşap esaslı levhalar, Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülünün tayini, TSE, Ankara.

TS. 10506, (1992). Odun Lifi ve Yonga Levhalar›-Vida Tutma Mukavemetinin Tayini, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.

TS EN 205, (2004). Yapıştırıcılar-yapısal olmayan uygulamalar için ahşap yapıştırıcılar bindirmeyle yapıştırılmış eklerin çekmeyle kayma mukavemetinin tayini, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.

TS 2595, (1977). Odunun liflere paralel doğrultuda basınç direnci tayini, TSE, Ankara.

TS 2477, (1976). Odunun Çarpmada Eğilme Dayanımının Tayini, TSE Ankara s.1-5

Tüsiad, 2008, “Uluslararası rekabet stratejileri: nanoteknoloji ve Türkiye”, **Tüsiad Rekabet Stratejileri Dizisi 11**, Türk Sanayicileri ve İşadamları Derneği, Yayın No. Tüsiad – T/2008 – 11/474, İstanbul, 201 sayfa, ISBN: 978 – 9944 – 405 – 47 – 8. (2008).

Usa Doe, “The scale of things – nanometers and more”, **The United States Department of Energy, Office of Basis Energy Sciences**, Office of Science, 05-26-06, Unites States of America, (2006).

Qiaojia, L., Guidi, Y., Jinghong, L. and Jiuping, R., “Study on the property of nano-SiO₂/urea formaldehyde resin”, **Scientia Silvae Sinicae**, 41 (2), 129-135 (2005).

Que, Z.L., Yang, L., Wang, F.B., Zhu, X.N. and Pan, B. (2014). Effects of vessel diameter on screw withdrawal strength in dimension lumber of wood structure. *Journal of Northwest Forestry University* 29(5), 195-198.

Ünsal, Ö., Güler, C., Dilek, B. ve Görgün, H.V., “Çevre dostu kereste kurutma teknolojileri: Yüksek frekans ve mikrodalga”, **II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu**, “Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre” Isparta, (2014).

Yörür, H., Aydemir, D. ve Uysal, B., “Emprenye Edilmiş Ahşap Malzemenin Yapışma Direncini Etkileyen Faktörler”, **Bartın Orman Fakültesi Dergisi**, Cilt: 12, Sayı: 18, 99-106 ISSN: 1302-0943 EISSN: 1308-5875 (2010).

Yörür, H., Tor, Ö., Günay, M, N. ve Birinci, E., “Kontrplakta farklı değişkenlerin vida çekme direnci üzerindeki etkisi”, **Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi**, 2017, 17 (2): 325-333 (2017).

Yu, C., Wei, C. and Pan, D., “Thermal stability and dynamic mechanical behavior of nano- SiO₂/phenol formaldehyde resin nanocomposites”, **Advanced Materials Research** Vols. 150-151, pp. 429 – 432 (2011).

Wang, Z., Gu, Z., Hong, Y., Cheng, L. and Li, Z., “Bonding strength and water resistance of starch-based wood adhesive improved by silica nanoparticles”, **Carbohydrate Polymers**, 86(1): 72-76 (2011).

Wen, L., Deng, Y.H., Zhou, M., Ling, X. and Qian, F., “Mechanical properties of nano SiO₂ filled gypsum particleboard”, **Trans. Nonferrous Met. Soc. China**, 16, 361-364 (2006).

Wong, E. D., Zhang, M., Wong, Q. and Kawai, Ş., “Formation of the DensityProfile and its Effects on the Properties of Particle Board”, **Wood Science andTecnology**, 33(4) s.327-340 (1999).

Xu, HN., Ma, S., Lv, W. and Wang, Z., “Soy protein adhesives improved by SiO₂ nanoparticles for plywoods”, **Pigment Resin Technol**, 40(3):191-195 (2011).

ÖZGEÇMİŞ

M.Erdal KARA 1975 yılında Kastamonu’da doğdu; 1985 yılında ilk ve orta öğrenimini İzmit Mimar Sinan Ortaokulunda tamamladıktan sonra 1991 yılında İzmit Teknik Lisesi Makine bölümünden mezun oldu. 1994 yılında da İzmit Kullar Meslek Yüksek Okulu Kağıtçılık Teknolojisi bölümünde iken 1996 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümüne geçiş yaparak 1999 yılında mezun oldu. 2009 yılında Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2011 yılında bitirdi, 2013 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora eğitimini sürdürmektedir. 2004 yılından beri Kastamonuda SFC Entegre Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.’de üretim sorumlusu olarak çalışmakta olup, evli ve 2 çocuk babasıdır.

Adres Bilgileri:

Adres : Toki 1. Etap Blokları C5 Blok D:29 Kuzeykent/KASTAMONU
Tel : (0366) 2155132
Cep Tel : 0533 3574625
E-posta : erdalkara37@hotmail.com
erdal.kara@sfc.com.tr