

**LAMİNE AHŞAP MALZEMENİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE SİLİKA VE GRAFEN NANOPARTİKÜLLERİN
ETKİLERİ**

ESRA DAVAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
AĞAÇ İŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HÜSEYİN PELİT**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANS ÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

LAMİNE AHŞAP MALZEMENİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE SİLİKA VE GRAFEN NANOPARTİKÜLLERİN
ETKİLERİ

Esra DAVAZ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hüseyin PELİT
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hüseyin PELİT (Danışman)
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat DÖNGEL
Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KORKMAZ
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 18/12/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

18 Aralık 2023

Esra DAVAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Hüseyin PELİT'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sürecinde atölye ve laboratuvar çalışmaları için yardımlarını esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KORKMAZ'a ve Tekniker Musa ONAT'a, katkılarından dolayı tez jürisinde bulunan hocam Doç. Dr. Nihat DÖNGEL'e ve bu süreçte desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2021.07.01.1149 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

18 Aralık 2023

Esra DAVAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. LAMİNASYON TEKNOLOJİSİ	4
2.1.1. Laminasyonda Ağaç Malzeme Seçimi.....	4
2.1.2. Laminasyon Teknolojisinin Faydaları	5
2.1.3. Laminasyon Teknolojisinin Sakıncaları	6
2.1.4. Laminasyonda Katlarının Düzenlenmesi.....	6
2.1.5. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları.....	7
2.2. YAPIŞMA TEORİSİ	8
2.2.1. Tutkallı Birleştirmelerde Yapışma Direncini Etkileyen Faktörler	9
2.2.1.1. Ahşabın yapısı.....	9
2.2.1.2. Yüzey düzgünlüğü.....	9
2.2.1.3. Pres basıncı ve presleme süresi	10
2.2.1.4. Tutkal özellikleri ile ilgili faktörler	10
2.3. AĞAÇ MALZEME.....	11
2.3.1. Avrupa Kayını (<i>Fagus Sylvatica</i> L.)	11
2.3.2. Karakavak (<i>Populus nigra</i> L.).....	11
2.4. NANOMALZEMELER	12
2.4.1. Silika (Silikon Dioksit)	13
2.4.2. Grafen.....	14
2.5. TUTKALLAR.....	15
2.5.1. Polivinil Asetat (PVAc) Tutkalı	15
2.5.2. Epoksi Tutkalı	17
2.5.3. Üre Formaldehit Tutkalı	17
3. LİTERATÜR ÖZETİ	19
4. MALZEME VE YÖNTEM	24
4.1. MALZEME	24
4.1.1. Ağaç Malzeme.....	24
4.1.2. Tutkallar	24
4.1.2.1. Polivinilasetat (PVAc) tutkalı	24
4.1.2.2. Epoksi tutkalı	25
4.1.2.3. Üre formaldehit tutkalı.....	25
4.1.3. Nanopartiküller	26
4.2. YÖNTEM	26
4.2.1. Lamellerin Hazırlanması.....	26

4.2.2. Tutkal Çözeltilerinin Hazırlanması.....	27
4.2.3. Lamine Ahşap Malzemelerin Üretilmesi	28
4.2.4. Hava Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi	30
4.2.5. Boyutsal Değişimin Belirlenmesi	30
4.2.6. Statik Eğilme Direncinin Belirlenmesi	31
4.2.7. Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi	32
4.2.8. Yapışma Direncinin Belirlenmesi	33
4.2.9. Verilerin Değerlendirilmesi.....	34
5. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ	35
5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	35
5.1.1. Hava Kuru Yoğunluk.....	35
5.1.2. Boyutsal Değişim	39
5.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	43
5.2.1. Statik Eğilme Direnci	43
5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü	47
5.2.3. Yapışma Direnci	52
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
6.1. HAVA KURUSU YOĞUNLUK.....	57
6.2. BOYUTSAL DEĞİŞİM.....	58
6.3. STATİK EĞİLME DİRENCİ.....	59
6.4. ELASTİKİYET MODÜLÜ	61
6.5. YAPIŞMA DİRENCİ.....	62
7. KAYNAKLAR.....	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Laminasyon işleminde kat konumlarının düzenlenmesi (Bozkurt ve ark, 2000).....	7
Şekil 2.2. Yapışmanın oluşum süreci (Şenay, 1996).	8
Şekil 2.3. Kuartz'ın kimyasal formülasyonu (Çinar, 2019).....	13
Şekil 2.4. Silika'nın kimyasal formülasyonu (Çinar, 2019).	14
Şekil 2.5. Grafen: a. fulleren, b. nanotüp, c. grafitin yapısı (Kuruçam, 2019).	14
Şekil 2.6. Çeşitli karbon nanomalzemeler (Öksüz, 2018).	15
Şekil 2.7. PVAc tutkalı kimyasal formülasyonu (Bardak, 2016).	16
Şekil 2.8. Ahşap rutubetinin PVA tutkalında yapışma direncine ve sertleşme süresine etkisi (Bardak, 2016).....	16
Şekil 4.1. Lamellerin elde edilmesi.	26
Şekil 4.2. Lamellerin kalibre (kontak) makinesinde zımparalanması.	27
Şekil 4.3. Tutkal çözeltilerine nanopartiküllerin eklenmesi.	28
Şekil 4.4. Lamellerin tutkallanma aşaması.	28
Şekil 4.5. Lamellerin preslenerek lamine ahşapların üretilmesi.	29
Şekil 4.6. Lamine örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.....	30
Şekil 4.7. Lamine örneklerin su içerisinde bekletilmesi.	31
Şekil 4.8. Statik eğilme direnci testi ve kuvvetin uygulanma yönü.....	32
Şekil 4.9. Yapışma direnci testi.	33

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Karakavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	12
Çizelge 4.1. PVAc tutkalının bazı teknik özellikleri.	24
Çizelge 4.2. EPK tutkalının bazı teknik özellikleri	25
Çizelge 4.3. UF tutkalının bazı teknik özellikleri	25
Çizelge 4.4. Kullanılan nanopartiküllerin teknik özellikleri.....	26
Çizelge 4.5. Nanopartikül katkı oranları.....	27
Çizelge 4.6. Testlerde kullanılan örneklerin ölçüleri ve sayısı.....	29
Çizelge 5.1. Deney örneklerinin yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm ³).....	35
Çizelge 5.2. Örneklerin yoğunluk değerleri için ANOVA sonuçları.	36
Çizelge 5.3. Ağaç türüne ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).....	36
Çizelge 5.4. Tutkal çeşidine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).....	36
Çizelge 5.5. Katkı maddesine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).....	37
Çizelge 5.6. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).	37
Çizelge 5.7. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).	38
Çizelge 5.8. Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).	38
Çizelge 5.9. Lamine örneklerin hacimsel genişleme oranlarına ait aritmetik ortalamalar (%).	39
Çizelge 5.10. Hacimsel genişleme değerleri için ANOVA sonuçları.....	39
Çizelge 5.11. Ağaç türüne ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	40
Çizelge 5.12. Tutkal çeşidine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	40
Çizelge 5.13. Katkı maddesine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	41
Çizelge 5.14. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	41
Çizelge 5.15. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	42
Çizelge 5.16. Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	42
Çizelge 5.17. Deney örneklerinin statik eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm ²).	43
Çizelge 5.18. Statik eğilme direnci değerleri için ANOVA sonuçları.....	44
Çizelge 5.19. Ağaç türüne ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	44
Çizelge 5.20. Tutkal çeşidine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	44
Çizelge 5.21. Katkı maddesine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi	

karşılaştırması (N/mm ²).	45
Çizelge 5.22. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	45
Çizelge 5.23. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	46
Çizelge 5.24. Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	46
Çizelge 5.25. Ağaç türü-tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	47
Çizelge 5.26. Deney örneklerinin elastikiyet modülü değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm ²).	48
Çizelge 5.27. Elastikiyet modülü değerleri için ANOVA sonuçları.....	48
Çizelge 5.28. Ağaç türüne ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	49
Çizelge 5.29. Tutkal çeşidine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	49
Çizelge 5.30. Katkı maddesine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	49
Çizelge 5.31. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	50
Çizelge 5.32. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	50
Çizelge 5.33. Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	51
Çizelge 5.34. Ağaç türü- tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	51
Çizelge 5.35. Örneklerin yapışma direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm ²).	52
Çizelge 5.36. Yapışma direnci değerleri için ANOVA sonuçları.....	53
Çizelge 5.37. Ağaç türüne ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	53
Çizelge 5.38. Tutkal çeşidine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	54
Çizelge 5.39. Katkı maddesine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	54
Çizelge 5.40. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	54
Çizelge 5.41. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	55
Çizelge 5.42. Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm ²).	55

KISALTMALAR

ANOVA	Analysis of Variance
ASTM D	American Society for Testing and Materials
Em	Elastikiyet Modülü
EPK	Epoksi Tutkalı
HG	Homojenlik Grubu
HŞO	Hacimsel Şişme Oranı
ISO	International Standart Organization
LCD	En Küçük Önemli Fark
Ns	Önemsiz
PVAc	Polivinil Asetat Tutkalı
St. S.	Standart Sapma
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü Euro Norm
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UF	Üre Formaldehit Tutkalı

SİMGELER

%	Yüzde
C	Karbon
cm	Santimetre
D ₀	Tam Kuru Yoğunluk
D ₁₂	Hava Kuru Yoğunluk
E-mod	Elastikiyet Modülü
F _{max}	Maksimum Kuvvet
g	Gram
L	Litre
M ₁₂	Hava Kuru Kütlev
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
N	Newton
SiO ₂	Silisyum Dioksit
TiO ₂	Titanyum Dioksit
V ₁₂	Hava Kuru Hacim
$\bar{x}$	Aritmetik Ortalama
δ_{12}	Hava Kuru Yoğunluk
μm	Mikron
σ_B	Basınç Direnci
σ_C	Çekme Direnci
σ_E	Eğilme Direnci

ÖZET

LAMİNE AHŞAP MALZEMENİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE SİLİKA VE GRAFEN NANOPARTİKÜLLERİN ETKİLERİ

Esra DAVAZ

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Eğitimi Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin PELİT

Aralık 2023, 72 sayfa

Bu çalışmada; farklı tutkallar kullanılarak üretilen lamine ahşap malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine silika (SiO_2) ve grafen nanopartikülleri etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Polivinil asetat (PVAc), üre formaldehit (UF) ve epoksi (EPK) tutkallarının içerisine katman özelliklerini iyileştirmek için farklı oranlarda silika (%1 ve %2) ve grafen (%0,25 ve %0,50) nanopartikülleri eklenmiştir. Karakavak (*Populus nigra*) ve Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) odunlarından elde edilmiş 4 mm kalınlığındaki papel kaplamalar, modifiye edilen tutkallar kullanılarak preslenmiş ve lamine ahşap malzemeler üretilmiştir. Lamine ahşap malzemelerin fiziksel özelliklerini belirlemek için hava kurusu yoğunluk ve boyutsal değişim (hacimsel şişme) testleri, mekanik özelliklerini belirlemek için ise yapışma direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, her iki ağaç türü ile elde edilen lamine örneklerde test edilen tüm mekanik özellikler EPK tutkalında daha yüksek belirlenmiş ve bunu sırası ile UF ve PVA tutkalları izlemiştir. Ayrıca, boyutsal değişim değerleri UF ve PVA tutkallarına göre EPK tutkalında daha düşük elde edilmiştir. Silika ve grafen katkılı tutkallarla lamine edilmiş tüm örneklerde mekanik özellikler katkısız (kontrol) lamine örneklerle göre artmıştır. Yapışma direnci, silika katkılı lamine örneklerde daha yüksek belirlenirken, eğilme direnci ve elastikiyet modülü grafen katkılı lamine örneklerde daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca, her iki nanopartikül oranındaki artış mekanik özellikler üzerinde genel olarak olumlu bir etki sağlarken, boyutsal kararlılıkta olumsuz bir etki göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Fiziksel ve mekanik özellikler, Laminasyon, Nanopartikül, Tutkal.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF SILICA AND GRAPHENE NANOPARTICLES ON SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED WOOD MATERIALS

Esra DAVAZ

Düzce University
Postgraduate School of Education, Department of Wood
Products Industrial Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin PELİT

December 2023, 72 page

In this study; it was aimed to determine the effect of silica (SiO_2) and graphene nanoparticles on some physical and mechanical properties of laminated wood materials produced using different glues. Silica (1% and 2%) and graphene (0.25% and 0.50%) nanoparticles were added into polyvinyl acetate (PVAc), urea formaldehyde (UF) and epoxy (EPK) glues at different ratios to improve the layer properties. The 4 mm thick paper veneers obtained from black poplar (*Populus nigra*) and European beech (*Fagus sylvatica*) woods were pressed using modified glues and laminated wood materials were produced. Air-dry density and dimensional change (volumetric swelling) tests were performed to determine the physical properties of the laminated wood materials, and adhesion resistance, bending strength and modulus of elasticity tests were performed to determine the mechanical properties. According to the results of the study, all mechanical properties tested in laminated samples obtained with both wood species were determined to be higher in EPK glue, followed by UF and PVA glues, respectively. In addition, dimensional change values were obtained lower in EPK glue compared to UF and PVA glues. The mechanical properties of all samples laminated with silica and graphene added glues increased compared to the un-doped (control) laminated samples. While the adhesion resistance was determined higher in silica-added laminated samples, bending strength and modulus of elasticity were higher in graphene-added laminated samples. Moreover, while the increase in both nanoparticle ratios had a generally positive effect on mechanical properties, it showed a negative effect on dimensional stability.

Keywords: Wood material, Physical and mechanical properties, Lamination, Nanoparticle, Glue.

1. GİRİŞ

Ağaçlar, insanların ihtiyaçlarına yönelik oldukça önemli doğal bir hammadde kaynağıdır. Ağaç malzemenin, teknolojik gelişmelere bağlı bir dizi yeni malzeme ile olan rekabetine rağmen, sahip olduğu sayısız üstün özellikler nedeniyle çok farklı kullanım alanlarında hâlâ büyük bir öneme sahiptir (Bozkurt ve Göker, 1981).

Hafif ve estetik yapısı, düşük özgül ağırlığa rağmen yüksek mekanik özelliklere sahip olması, ağaç malzemenin tercih edilmesini önemli kılar. Bunun yanı sıra, düşük ısı ve ses iletimine sahip olması, renk ve desen bütünlüğü sağlanması, üst yüzey işlemleri için uygun olması ve kolayca yapıştırılabilmesi gibi özellikler, ağaç malzemeyi diğer yapı elemanlarına göre daha üstün kılmaktadır. Ağaç malzemenin üstün özelliklerinin yanı sıra, etkileri büyük ölçüde azaltılabilen bazı olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Ateşe maruz kaldığında yanabilmekte, mantar ve böcek gibi biyolojik zararlılar tarafından tahribata uğrayabilmekte, higroskopik yapıda olduğu için adsorpsiyon ve desorpsiyon döngüsü nedeniyle ölçülerini değiştirebilmektedir. Elde edildiği ağacın şekli, yapısı ve boyutu nedeniyle ağaç malzeme istenilen büyüklükteki ölçüleri sağlamayabilir ve anatomik, genetik veya yetiştigi bölgedeki çevresel faktörler yüzünden çok değişken kalitede bulunabilir (Keskin ve Togay, 2003).

Dünya genelinde orman kaynaklarının günden güne azalması ve yüksek maliyetler sebebiyle orman ürünlerinin önemi ve değeri artış göstermektedir. Orman ürünlerindeki talebin karşılanması için kesimi yapılan ağaçların en etkili biçimde kullanılması önemlidir. Masif ahşap malzemenin büyük boyutlara ve çeşitli kavislere sahip elemanlarda tek parça şeklinde kullanımı hem ekonomik hem de teknik yönden uygun değildir. Büyük boyutlara sahip ahşap yapı elemanlarının üretilmesinde, masif ahşabın tek parça olarak kullanım imkanları sınırlıdır (Kurt, 2006). Ağaç malzemenin etkili bir şekilde kullanılabilmesi, kusurlarının giderilmesi ve eğri formlu üretimlerde diyagonal lif yapısının oluşmaması amacıyla laminasyon tekniği uygulanmaktadır. Bu sayede daha küçük boyutlu ağaç malzemelerden istenen formda ve yüksek kalitede lamine ahşap malzemeler üretilmektedir (Ulupınar ve ark., 1999). Lamine ahşap, geleneksel masif ahşaba göre daha yüksek boyutsal kararlılık, daha yüksek mekanik direnç, tekdüzelik (çeşitli ahşap kusurlarının bulunmaması), iyileştirilmiş gerilme dağıtım özellikleri,

düşük işleme maliyeti, daha büyük boyutlarda üretilebilirlik, estetik ve çekici görünüm gibi çok çeşitli avantajlara sahiptir (Lam, 2001; Shukla ve Kamdem 2009).

Lamine ahşap üretiminde kullanılan tutkallar, ağaç hammaddesinden sonra en önemli laminasyon gerecidir. Tutkallar, lamine ahşap malzemenin kullanım yeri ve dayanım özelliklerinde önemli bir etkiye sahiptir (Keskin, 2001). Laminasyon teknolojisinde farklı özelliklere sahip sentetik tutkallar kullanılmaktadır. Tutkal türünün seçiminde, lamine ahşabın kullanılacağı yer ve burada karşılaşılabileceği muhtemel etkiler belirleyici olmaktadır. Ancak, maliyet faktörü, uygulamada karşılaşılan bazı zorluklar (tutkalın uygulanması, ısıtılması, kuruma süresi vb.) ve katman özellikleri açısından ağaç malzeme ile uyumu gibi nedenler arzu edilen tutkal türünün kullanımını kısıtlayabilmektedir. Tutkal özelliklerini iyileştirmek ve katman performansını arttırmak için mikro veya nano ölçekli çeşitli malzemeler kullanılabilmektedir (Davaz ve Pelit 2022).

Gelişen teknolojiyle birlikte, nanoteknoloji alanındaki ilerlemeler çeşitli üretim yöntemlerinin ve farklı hammadde-malzeme gruplarının ortaya çıkmasına imkân tanımıştır. Nanoteknoloji bilimindeki önemli ve ani gelişmeler, bu bilim dalının gelecekteki potansiyel bir sanayi devriminde önemli bir rol oynayacağı inancını desteklemektedir. Akademik çevrelerde ve dünya genelinde, bu bilim dalı birçok endüstriyi dönüştürebilecek çok önemli bir teknoloji olarak görülmekte ve artan bir ilgiyle karşılaşılmaktadır (Bardak ve ark., 2016).

Nanoteknoloji, malzemeler, sistemler ve işlemlerle ilgili olarak 1-100 nanometre (nm) ölçek aralığına odaklanan bir alandır. Bir nanometre, mikrometrenin (μm) binde birine, milimetrenin (mm) milyonda birine ve metrenin (m) milyarda birine eşittir (Alfadul ve Elnehwya, 2010).

Nanobilim ve nanoteknoloji, günümüzde, multi-disipliner yaklaşımını sektörel alanda kanıtlamış ve kısa sürede orman ürünleri endüstrisinin öncelikleri arasında yerini almıştır. Nanoteknoloji, endüstride mikro sensörlerin, mikro makinaların, lazerlerin, optoelektronik elemanların ve bileşenlerinin uygun bir şekilde birleştirilerek üretilmesine olanak tanımaktadır. Ahşap ve mobilya endüstrisinde ağaç işleme makinelerinden çeşitli kimyasallara ve tutkallara, duvar boyalarından mobilya tekstiline kadar birçok ürün ve gereç, nanoteknoloji ile daha üstün özelliklere sahip olarak üretilmekte ve sektörde kullanıma sunulmaktadır (Kara, 2018).

Literatür bilgileri doğrultusunda bu tez çalışmasının amacı, farklı ahşap tutkalları kullanılarak üretilen lamine ahşap malzemelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine silika (SiO_2) ve grafen nanopartiküllerinin etkisini belirlemektir. Çalışmada, karakavak (*Populus nigra*) ve Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) odunlarından elde edilmiş papel kaplamalar, farklı oranlarda silika (%1 ve %2) ve grafen (%0,25 ve %0,50) nanopartikülleri katkılı polivinilasetat (PVAc), üre formaldehit (UF) ve epoksi (EPK) tutkalları ile yapıştırılarak lamine ahşap örnekler üretilmiştir. Lamine örneklerde fiziksel özellikleri belirlemek için yoğunluk ve boyutsal değişim (hacimsel şişme) testleri, mekanik özellikleri belirlemek için ise yapışma direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerden elde edilen veriler analiz edilerek karşılaştırılmış ve endüstriyel uygulamalar ile bilimsel literatüre yönelik öneriler sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. LAMİNASYON TEKNOLOJİSİ

Ağaç malzemenin daha etkin kullanılabilmesi, kusurlarından arındırılması, farklı formlarda üretim gerçekleştirilebilmesi, boyu kısa ve eni dar ağaç malzemelerden daha büyük ölçekli ahşap malzemelerin üretilebilmesi ve eğri forma sahip işlerde liflerin çapraz (diagonal) kesiminden kaynaklanan direnç özelliklerindeki azalmanın önlenmesi amacıyla laminasyon yöntemi kullanılması gerekli hale gelmektedir. Laminasyon teknolojisi, ağaç malzemenin kusurlu kısımlarının çıkartılarak kullanılmasına olanak tanır ve elde edilen malzemenin kalitesi, masif ahşap malzemedan daha üstündür. İstenilen özellikteki parçalardan üretilen lamine ahşap, sadece kusursuz olmakla kalmamakta, aynı zamanda lamine tabakalarda farklı kalınlık ve renge sahip ağaç malzemeler kullanılabildiği için yüksek estetik değere sahip olmaktadır (Keskin ve Togay, 2004).

Lamine edilmiş ağaç malzemeler, birden fazla sayıdaki katmanın lif yönlerinin birbirine dik veya paralel bir biçimde birleştirilmesi ile oluşturulur. Üretilcek lamine ahşap eğer kavisli ise, katların (lamellerin) lif yönlerinin paralel olması gereklidir. Laminasyon sürecinde farklı ağaç türleri, değişken kat sayıları, farklı boyutlar, şekiller ve kat kalınlıkları kullanılabilir (Şenay, 1996). 1975 yılından itibaren, laminasyon tekniğinin kullanım alanı hızla genişlemiş ve özellikle form mobilya üretiminde yaygın bir şekilde benimsenmiştir. Günümüzde, kemerli taşıyıcılarda 150 metreyi aşan açıklıklar ve düz taşıyıcı elemanlarda 40 metreye kadar olan açıklıklar, başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Şenay, 1996). Küçük boyutlu lamine eleman uygulamaları kontrplak üretimi ile uygulanmaya başlamıştır (Ulupınar, 1998).

Laminasyon işlemlerinde, kullanılacak ahşabın anatomik yapısı ve yüzey düzgünlüğü, presleme basıncı ve süresi, kullanılan yapıştırıcının özellikleri ahşabın yapışma direnci üzerinde etkili olmaktadır. Eğer farklı ağaç türleri aynı anda preslenecekse, pres basıncı genellikle yumuşak ahşap türüne göre ayarlanır (Bobat, 1994).

2.1.1. Laminasyonda Ağaç Malzeme Seçimi

Ahşap lamine üretiminde kullanılacak ağaç malzemesini seçerken aşağıda verilen koşullara dikkat etmek önemlidir:

- Reçineli ve tanenli ağaç malzeme, tutkalın yapışma direncini azaltarak üretilecek lamine ahşabın mekanik özelliklerini olumsuz etkiler.
- Laminasyonda seçilen ağaç malzemesinin hafif olması tercih edilir. Kolon, kiriş gibi ahşap taşıyıcı elemanlar büyük boyutlara sahip olabileceği için ilgili standartlara uygun niteliklerde ağaç türlerinin seçilmesi önemlidir.
- Üretimin aksamaması adına seçilen ağaç türünün, kolay temin edilebilmesi gerekir.
- Eğimli lamine ağaç malzeme üretiminde esneme ve bükülme kabiliyeti iyi olan türde ağaçlar tercih edilmelidir.

Lamine ahşabın direnç özellikleri, büyük ölçüde elde edildiği ağaç malzeme özelliklerine bağlıdır. Ahşap malzemenin direnç özelliklerini olumsuz yönde etkileyen faktörler arasında lif kıvrıklığı, mantar tahribatı, çatlak, budak gibi çeşitli kusurlar bulunmaktadır. Bu nedenle, lamine ahşap üretiminde kullanılacak ağaç malzeme, bu tür kusurlardan arındırılmalıdır. Lamine ahşap malzeme yapısındaki küçük budaklar bazen estetik olarak hoş görülse de teknik yönden kusur kabul edilir. Budaklar ağaç malzemedeki konumuna, boyutuna ve üzerinde etkisi olan yük tipine göre önemli direnç düşüşlerine neden olur. Lamine malzemenin herhangi bir bölgesinde 300 mm uzunluğundaki budak alanları toplamının bu uzunluğa ait alana oranı I. sınıf için 1/10'u, II. sınıf için 1/4'ü, III. sınıf için 1/2'yi geçemez (Baltacı, 2011).

Lamine elemanların üretiminde kullanılan ahşabın öz odunu içermesi direnci azaltıcı yönde etki gösterir. Öz odunundaki hücre yapısı diri odundakinden belirgin derecede farklı olduğundan, çalışma miktarları birbirileri ile koordineli değildir. Bu durum, iç gerilmelere olumsuz etki yapmasının yanı sıra yapışma direncini azaltıcı bir etkiye de neden olmaktadır (Baltacı, 2011).

2.1.2. Laminasyon Teknolojisinin Faydaları

Laminasyon teknolojisinin sunduğu avantajlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Masif ahşaptan üretilen malzemelerin ölçüleri sınırlıdır, ancak laminasyon tekniği sayesinde daha büyük boyutlu elemanların elde edilmesi mümkündür.
- Mimari ve iç dekorasyon alanında istenilen tarzda ve sınırsız formda çalışma imkânı sağlanır.

- Yapı elemanlarının tasarımında yüke bağlı olarak farklı çalışma alanlarında kullanım imkânı sunar. Örneğin, eğimli elemanlarda kritik kesitte (yükün geldiği yerde) daha büyük boyut uygulanabilir.
- Yapısal bütünlüğü koruyarak, daha az dirençli uygulamalar için düşük dirençli hammadde kullanımına izin verir.
- En ve boy birleştirme tekniklerinin kullanılması, çok küçük boyutlardaki (minimum 20 cm) ahşap malzemenin kullanımına imkân tanır. Aynı zamanda bu yöntemler fire oranını azaltarak olumlu bir etki sağlar. Ayrıca ağaç malzemenin kusurlarından (budak, çatlak, lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu, çürüklük) ayrıştırarak kullanılmasına olanak tanır (Köse, 2008).
- Aynı lamine ağaç malzeme üzerinde farklı kalınlık ve renkte katmanların kullanılabilmesi, daha çeşitli estetik malzemelerin üretilmesine olanak tanır.
- Lamine edilmiş ağaç malzeme elde edildiği ağacın masif haline göre daha az çalışmaktadır. Bunun sebebi, laminasyon sırasında ağaç malzemenin katları arasına uygulanan yapıştırıcının su itici özellikler sergilemesi olabilir. Bu nedenle lamine edilmiş ağaç malzeme boyutsal bakımdan daha stabil bir yapıya sahiptir (Şenay, 1996).

2.1.3. Laminasyon Teknolojisinin Sakıncaları

Laminasyon tekniğinin bazı sakıncalı tarafları aşağıdaki verilmiştir:

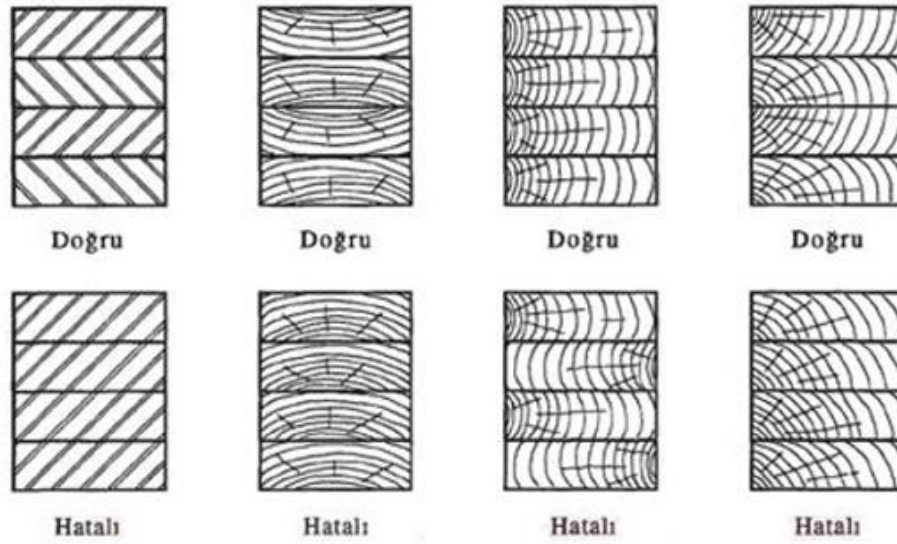
- Ahşabın tutkallamaya hazırlanması ve tutkallanması işlemleri ek işçilik maliyetini de birlikte getirmektedir. Ancak aynı boyutlardaki bütün bir ağaç malzemeye göre bu durum kabul edilebilir.
- Büyük boyutlardaki eğimli lamine elemanların nakliyesi esnasında büyük zorluklarla karşılaşilmektedir.
- Laminasyonda kullanılacak ağaç malzemenin uygun bir rutubete kadar kurutulması gerekliliğinden işlem yapılacak tesis maliyeti ve ek işçilik maliyetleri gerektirir (Atmaca, 2005).

2.1.4. Laminasyonda Katlarının Düzenlenmesi

Lamine ahşap malzemede biçimsel değişiklikleri önlemek için, lamine katmanlarının düzenlenmesinde yıllık halkaların konumuna özen göstermek gereklidir. Ağaç

malzemenin yıllık halkalara radyal ve teğet yönlerine göre farklı şekillerde tepki vermesinden kaynaklanmaktadır. Farklı ağaç türlerine bağlı olarak, daralma miktarları yıllık halkalara teğet yönde %3,5 ila %15, radyal yönde %2,4 ila %11, liflere paralel yönde ise %0,1 ila %0,9 arasında değişiklik gösterir (Bozkurt ve ark, 2000).

Lamine katlarının düzenlenmesi aşamasında meydana gelen farklı çalışma sonuçlarından kaynaklanan gerilmeleri dengelemek için uygun kat düzenlemeleri yapılmalıdır. Aksi takdirde, düzeltilemeyen biçim değişiklikleri ortaya çıkabilir. Bu bağlamda yapılacak kat düzenlemesi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Laminasyon işleminde kat konumlarının düzenlenmesi (Bozkurt ve ark, 2000).

2.1.5. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları

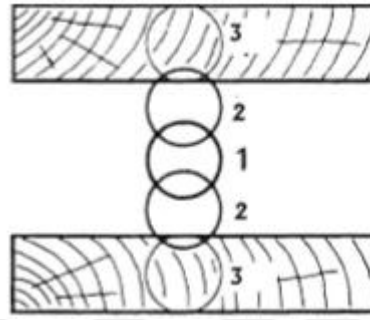
Lamine malzemeyi oluşturan lamellerin arasındaki rutubet farklılığı ANSI A 1901'e göre %5'ten TS EN 14080'e göre %4'ten fazla olmamalıdır. TS EN 14080 ve DIN 68140 standartlarına göre, bu değer %4'ü aşmamalıdır. Aksi takdirde, farklı çalışma koşullarından kaynaklanan gerilmeler liflere dik yönde çekme direncinin üstüne çıkarak çatlamalara neden olabilir. Ayrıca, TS EN 14080'e göre laminasyon işlemi yapılan ortam sıcaklığı en az 15 °C, bağıl nem ise %40-%70 arasında olması gerekmektedir (Berkel, 1963).

Yapıştırıcı, üretici firmasının önerilerine uygun şekilde ve yeterli miktarlarda sürülmelidir. Kullanılacak miktar tutkal özelliklerine bağlı olarak 180-260 g/m² arasında

değişir. Sıkıştırma; tutkalı bütün yüzeye eşit ve emniyetli yayacak şekilde yapışacak hat ekseninde uygulanmalıdır (TS EN 14080).

2.2. YAPIŞMA TEORİSİ

Yapışma, malzemelerin kendi atom ve moleküllerinin arasındaki çekim kuvveti ile birlikte, iki farklı cismin moleküllerinin birbirine temas eden yüzeylerinin karşılıklı olarak çekim gücüyle birleşmesidir. Tutkallar, malzemeleri birbirine yapıştırmaya yarayan sıvı kıvamlı metalik olmayan gereçlerdir. Birleştirmede, yapışmanın kalitesini belirleyen 3 farklı halka rol oynar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Yapışmanın oluşum süreci (Şenay, 1996).

I. halka, yapışacak ahşap malzemelerden bağımsız olan yapıştırıcı tabakasını gösterir. Bu halkanın direnci, tamamen kullanılan tutkalın karakteristik özelliklerine bağlıdır ve kohezyon kuvveti ile açıklanır. Maddelerin katı ve sıvı fazlarının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti, kohezyon kuvveti olarak adlandırılır. Bu kuvvet, malzemelerin mekanik direncini belirler. Kohezyon kuvvetinin şiddeti, kullanılan yapıştırıcı gerecin kimyasal yapısına bağlıdır, bu da malzemenin özelliklerini şekillendirir. Uygun oranda yapıştırıcı uygulanmayan birleştirmelerde, I. halka kısmen ya da tamamen mevcut değildir (Şenay, 1996).

Tutkal çözeltisi sıvı formdayken moleküllerle birlikte hareket eden kohezyon kuvveti, yapıştırıcının sertleşmesiyle birlikte sabitlenir. Yapıştırıcıdan beklenen başarıyı elde etmek için kullanılan yapıştırıcının kohezyon kuvveti, diğer malzemelerin kohezyon kuvvetinden daha yüksek olmalıdır (Perçin, 2012).

II. halka, yapıştırıcı ve ahşap malzemelerin yüzeyleri arasında kurulması gerekli olan bağı belirtmektedir. Birbiri ile temas halinde olan iki malzemenin molekülleri arasında oluşan atomik çekime adhezyon kuvveti denir. Yapışma işlemi, spesifik ve mekanik

adezyon olmak üzere iki farklı bağlanma kuvveti ile ilişkilidir. Yapışmada esas etkili olan ve yeterli mukavemeti gerçekleştiren spesifik adezyondur. III. halka, yapışacak ahşap malzeme özelliklerine bağlıdır ve ağaç malzemenin kendi molekülleri arasında kurulan kohezyon bağına ifade eder (Perçin, 2012).

Karşılıklı iki yüzeye yapıştırıcı sürüldüğünde ve üzerine basınç uygulandığında, tutkal kendiliğinden girinti ve çıkıntılara yayılır. Tutkal, her iki ağaç malzeme yüzeyine neredeyse eş zamanlı olarak nüfuz eder. Akış ve transfer aşamalarını takiben yapıştırıcının ağaç malzeme gözeneklerine nüfuz etme süreci devam eder, bu süreç akışkanlık ve transfer tamamlandıktan sonra sona erer. Kısaca yapıştırıcı yüzeye sürüldükten ve diğer kuru yüzey ile birbirlerine kapatıldıktan sonra yapışma;

- Tutkal katmanının sürüldüğü ahşap yüzeyinden diğer kuru yüzeye transferi,
- Tutkalın her iki yüzeye teması,
- Tutkalın yüzeyler ile kuvvetli spesifik (kimyasal) ve mekanik bağlar kurması şeklinde gerçekleşir (Altınok, 1995).

2.2.1. Tutkalı Birleştirmelerde Yapışma Direncini Etkileyen Faktörler

Tutkalı birleştirmenin başarısında, tutkal özelliklerine ek olarak, tutkallanacak malzeme yapısı, tutkal katmanının nitelikleri ve tutkal bileşimi de önemli rol almaktadır. Tutkalın viskozitesi, kül miktarı, katı madde miktarı ve pH gibi özellikleri, tutkalı birleştirmelerin başarısını etkileyen önemli faktörlerdir. Birleştirmelerin performansını belirlemek için ise ilgili standartlar çerçevesinde testler uygulanır (Tank, 1995).

Ağaç malzemenin yapışma direnci; ahşabın anatomik yapısı, yüzey pürüzlülüğü, pres basıncı, pres süresi ve kullanılacak tutkalın özellikleri tarafından belirlenir.

2.2.1.1. Ahşabın yapısı

Dağınık traheli odunlar, halkalı traheli odunlardan farklı yapışma özelliklerine sahiptir. İlkbahar ve yaz odunlarının yıllık halkaya katılma oranı ile öz odun ve diri odun miktarları tutkal katmanı direncinde etkili olur. Diğer yandan tutkallama ilkbahar odunu ve diri odunda genel olarak daha kolaydır (Chung, 1968).

2.2.1.2. Yüzey düzgünlüğü

Düz ve pürüzsüz yüzeylerin yapışmasının daha kuvvetli olduğu yapılan çalışmalarda ortaya çıkana kadar, yüzeylerin çizik ve pürüzlü olmasının iyi bir yapışma performansı

için gerekli olduğu düşünülmekteydi. Tutkallanacak yüzeylerde kesim izleri, yanma, ezilme, dalgalı yüzeyler veya diğer işlemeden kaynaklı kusurlar bulunmamalıdır. Ayrıca, toz ve yağ gibi artıklar ile ağaç malzeme yüzeyinde bulunan yan bileşiklerin türü ve miktarı nedeniyle yapışmayı bozabilir. Sağlam bir yapışma için; ağaç malzemenin işlenmesinde düzgün yüzeyler ortaya çıkaracak kesicilerden yararlanmak gerekir. Tutkalın yüzeylere eşit miktarda sürülmesi gerekmektedir. Ayrıca tutkalın yüzeylere eşit dağılması için dağılımı düzgün bir basınç uygulanmalıdır (Selbo, 1975; Bastani ve Darani, 2015).

2.2.1.3. Pres basıncı ve presleme süresi

Yapıştırılacak yüzeylerde iyi bir adezyon kuvveti sağlanması için basınç gereklidir. Basınç, tutkalın yapıştırılan yüzeye tam dağılımını sağlarken, tutkal katmanının ince bir yapıda olmasına da yardımcı olur. Ayrıca tutkalın geniş hücre boşluklarına girmesini ve en önemlisi tutkal sertleşene kadar birleştirilecek iki ağaç malzemenin aynı pozisyonda durmasını sağlar. Uygulanan basınç, yapıştırılacak yüzeylerin her noktasına eşit dağılmalıdır. Pres basıncı, ağaç cinsi ve yüzey özelliklerine göre değişir. Ağaç türüne göre pres basınçları yumuşak ağaçlarda $0,8-1 \text{ N/mm}^2$, sert ağaçlarda ise $1,2-1,6 \text{ N/mm}^2$ arasında olmalıdır. Farklı ahşap türlerinin bir arada preslenmesi durumunda presleme basıncı yumuşak ahşap türüne göre ayarlanır (Göker ve Bozkurt, 1986).

Presleme süresi kısa tutulursa, iç tabakalardaki tutkal katmanları tamamen sertleşmez ve bu durumda birleştirme zayıf kalabilir veya hiç gerçekleşmeyebilir. Tutkal yüzeye uygulandıktan sonra, yapıştırılacak ahşap malzemeler açık süre sona ermeden preslenme yapılmış olmalıdır. Ancak, işin boyutu, tutkal uygulanacak parçaların sayısı ve yapışacak yüzeylerin şekli beklemeyi gerektirebilir (Özçifçi ve ark, 2009).

2.2.1.4. Tutkal özellikleri ile ilgili faktörler

Tutkal ile ilgili değişkenler, ağaç malzemelerinin yapışma direncini etkileyen faktörlerden biridir. Yapıştırıcının türü ve özellikleri, tutkal karışımının formülü (viskozite, dolgu ve katkı maddesinin miktarları), yüzeye sürülen tutkal miktarı ve uygulama şekli bunlardan bazılarıdır. Tutkal-odun ve dolgu maddesi cinsine ve pres teknolojisine bağlı olarak, uygun değer miktarı denemelerle belirlenmiştir. Yapıştırma için kullanılan tutkalın fiziksel veya kimyasal özellikleri, yapışma dayanımının derecesini etkiler. Fiziksel esaslı tutkallarla karşılaştırıldığında, kimyasal özellikteki tutkalların mekanik dayanımı daha yüksektir. Kimyasal esaslı tutkallar, yüzeyi düz

olmayan ağaç malzemeleri birleştirirken daha güçlü yapıştırma sağlar. Fiziksel esaslı tutkallara kıyasla kimyasal esaslı tutkallar rutubete ve suya daha dayanıklıdır. Tutkal seçerken, nerede ve nasıl kullanılacağını belirledikten sonra doğru tutkal seçilmelidir. (Şenay, 1996).

2.3. AĞAÇ MALZEME

2.3.1. Avrupa Kayını (*Fagus Sylvatica* L.)

Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.), Avrupa'daki en önemli ve yaygın geniş yapraklı ağaçlardan biridir. Geç olgunluğa kadar yüksek büyüme oranını koruyabilen, yaprak döken büyük bir ağaçtır. Doğal menzili güney İskandinavya'dan Sicilya'ya, batıda İspanya'dan doğuda kuzeybatı Türkiye'ye kadar uzanır. Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.), yaygın olarak 30-40 m'ye kadar boylanabilen, yaprak döken büyük bir ağaçtır. Ağaç genellikle gümüş-gri kabuğu ile tek gövdelidir. Yaklaşık 250 bilinen kullanımı ile Avrupa'da en çok kullanılan ağaç türlerinden biridir. Aşınma direnci, sağlamlığı ve mükemmel bükülme yetenekleri onu tekne yapımı, döşeme, merdiven, mobilya, müzik aletleri (piyano blokları), kontrplak, paneller, kaplama ve kâseler, tabaklar ve tahta kaşıklar gibi pişirme gereçleri için ideal kılar (Houston ve ark.,2016; Koç, 2023).

2.3.2. Karakavak (*Populus nigra* L.)

Ülkemizde karakavağa nehir ve su kenarlarında sık sık rastlanmaktadır. Kavak ağaçları hızlı büyüyen ağaç türleridir. Boyları 30 metreye kadar, çapları ise 1 metreye kadar çıkabilirken kullanılabilir gövde uzunluğu 15 metreye kadar çıkmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2011; Erdin ve Bozkurt, 2013).

Diri odunu beyazımsı gri ile sarımsı beyaz renkte, öz odunu açık kahverengi, gri kahverengi veya açık yeşilimsi kahverengi olabilir. Kuruduktan sonra sararma yapar. Yıllık halkalar çok geniş olurken yaz odun tabakası dardır. Dağınık trahelere sahiptir. Yıllık halka sınırları, yaz odunundaki destek hücrelerinin yoğunluğu nedeniyle yaz odunu tabakasında daha belirgindir. Traheler küçük ve çok sayıda olduğundan ancak mikroskop yardımıyla görülebilir. Boyuna kesitleri ince iğne çiziklidir. Öz ışınları radyal kesitte mikroskop altında çok küçük aynacıklar şeklinde görülebilir. Beyaz öz lekeleri görülür. Tekstür ince ve yeknesak, lifler düzgün, radyal yüzeyi ipek gibi parlak, odunu dekoratif olmamakla birlikte, hafif ve yumuşaktır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

Çizelge 2.1. Karakavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Erdin ve Bozkurt, 2013).

Özellik	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	D_0	0,41	g/cm^3
	D_{12}	0,44	g/cm^3
Daralma yüzdesi	β_r	5,2	%
	β_t	8,3	%
	β_v	13,8	%
Basınç direnci	$\sigma_b//$	34	N/mm^2
Eğilme direnci	σ_e	63	N/mm^2
Elastikiyet modülü	E-Mod	8 630	N/mm^2
Dinamik eğilme direnci	a	0,49	kN/cm^2
Çekme direnci	$\sigma_{\varphi}//$	75	N/mm^2

Kavak odunları çabuk kurutulur ve kurutması kolaydır ancak şekil değişimine eğilimlidir. Yoğunluğu düşük olsa da iyi işlenir, iyi soyulabilir ve iyi yapıştırılır. Boyanma ve cilalanma özellikleri de yeterlidir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.4. NANOMALZEMELER

Günümüzde sıkça duyulan bir terim olan nanoteknoloji, giderek tüm endüstri sektörlerinde ve sağlık alanında kullanımını artırarak insan yaşamındaki çeşitli problemlere çözümler sunmaktadır. "Nano" kelimesi, anlamını Yunanca "nanos" kelimesinden alır ve "cüce" anlamına gelir. Nanoparçacıklar, büyüklükleri 1 ile 100 nanometre arasında değişen materyallerdir ve bir nanometre, metrenin milyarda birine eşittir. Nanoteknoloji, temelde milyarda bir boyutta olan malzemelerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapılarını inceleyen ve çeşitli kullanım yerlerini belirleyen disiplinlerarası bir bilim dalıdır. Nanomalzemeler, nanoteknolojinin temel yapı taşlarını oluşturur ve bu boyutta eşsiz manyetik, elektriksel ve optik özelliklere sahiptirler.

Malzemenin mekanik, kimyasal, optik, manyetik ve elektriksel özellikleri, birleşenlerin nano boyutlara sahip olması nedeniyle önemli ölçüde değişmektedir. Boyutları 100 nm'den küçük olan tozlar genellikle nanopartikül olarak adlandırılır. Kütleli malzemeler ile nano boyuttaki malzemelerin özellikleri birbirinden farklıdır. Bu farkın oluşmasının temelinde iki neden vardır; birincisi, nano boyutlarda malzemenin yüzey alanının artması nedeniyle malzemenin yüzey enerjisi artmakta, malzeme daha reaktif olmaktadır. İkinci neden ise, nano boyutlarda ve özellikle nano ölçeğin altlarına doğru

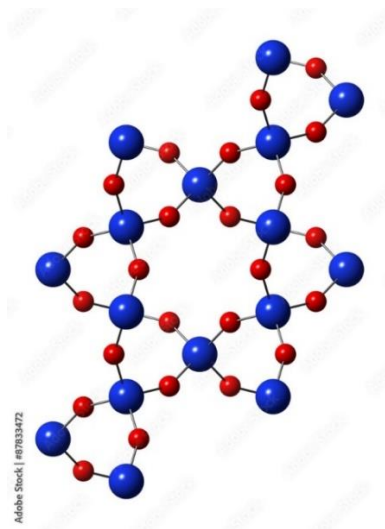
gidildikçe kuantum özelliklerinin maddenin özelliklerine hâkim olmaya başlaması ve optik, elektrik ve manyetik özelliklerini değiştirmesidir (Özcan, 2019).

Nanomalzeme teknolojisindeki ilerlemeler, nanomalzemelerin kullanım alanlarında olumlu bir artışa neden olmuştur. Özellikle nanopartiküllerin dolgu malzemesi olarak kullanıldığı uygulamalarda, nanopartiküllerin geniş yüzey alanı olduğu için geleneksel dolgu malzemelerine kıyasla matrisle daha güçlü bir adezyon sağlar. Bu durum, partikül-matris etkileşimi arasında gerilme transferini kolaylaştırdığı için kaplamalara nanopartikül eklemenin avantajlı olduğunu gösterir. Yapılan araştırmalar, kaplamalara eklenen nanopartiküllerin (alümina, silika, bakır, çinko oksit gibi) çevresel etkilere ve UV ışınlarına karşı diğer dolgulardan daha etkili olduğunu göstermiştir (Özcan, 2019).

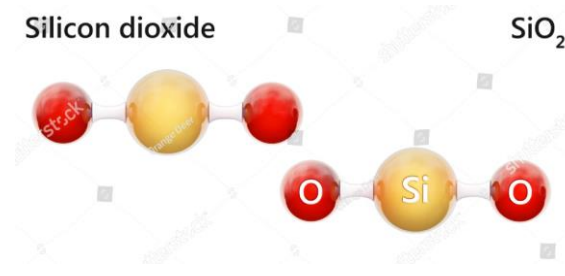
2.4.1. Silika (Silikon Dioksit)

Silika çok amaçlı kullanımı olan nanopartiküllerdendir. Farklı nanokompozit kaplamaların imalatında kullanılabilir. Diğer nanopartiküller arasında yüksek sertliği, hidrofilik yüzeyi ve uygun maliyetli olması ile öne çıkmaktadır. Çizilme ve aşınma direnci yüksek, şeffaf ve düşük maliyetli kaplamalar elde edilebilir (Ghanbari ark, 2015, Çınar, 2019).

Silikon dioksit kumdan üretilen bir nanopartiküldür. Doğada kum ya da kuartz halinde bulunur (Şekil 2.3). 16. yüzyılda keşfedilmiştir. Silika/silisyum 2 oksijen ve 1 silisyum atomundan oluşur. Kimyasal sembolü SiO_2 'dir (Şekil 2.4.). Renksiz, kaynama noktası $2.230\text{ }^{\circ}\text{C}$, erime noktası $1.710\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Moleküler ağırlığı $60,08\text{ g/mol}$ ve yoğunluğu $2,65\text{ g/cm}^3$ 'dür (Çınar, 2019).



Şekil 2.3. Kuartz'ın kimyasal formülasyonu (Çınar, 2019).



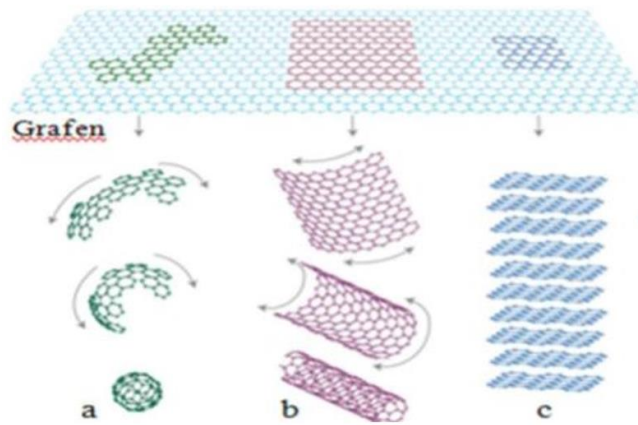
Şekil 2.4. Silika'nın kimyasal formülasyonu (Çinar, 2019).

SiO₂ camın birçok türünün ve çimento gibi malzemelerin temel bileşenidir. Yüksek erime sıcaklığına sahip olmasından dolayı fırın yapımında kullanılır (Çinar, 2019).

2.4.2. Grafen

Grafite, karbonun dünya üzerindeki farklı yapılarından birisidir. Grafitte karbon atomları iki boyutlu düzlemde üst üste yığılmış levhalar halindedir. Grafen ise bu levhaların tek bir katmanına verilen isimdir. 2004 yılında Grafen, Geim ve Novoselov tarafından keşfedilmiştir. Bilim insanları bu buluşları ile 2010 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür (Bedelolu ve Taş 2016).

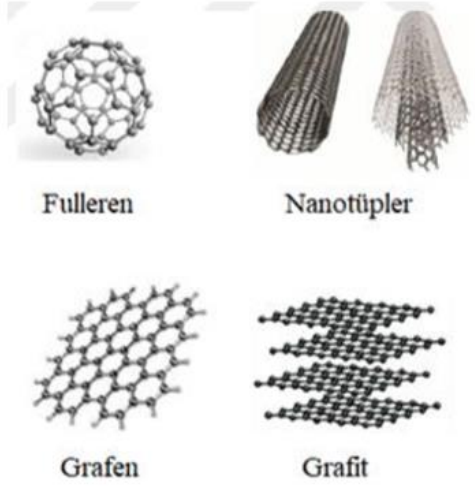
Grafen, tek katmanlı karbon atomlarının iki boyutta sıralanmasıyla oluşmuştur. Karbon-karbon bağlarından meydana gelen bir bal peteği örgüsü şekline benzer (Singh ve ark. 2011, Kuruçam, 2019). Şekil 2.5'te grafen, fulleren, karbon nanotüp ve grafit şematik olarak gösterilmiştir (Zhang ve ark. 2010, Kuruçam, 2019).



Şekil 2.5. Grafen: a. fulleren, b. nanotüp, c. grafitin yapısı (Kuruçam, 2019).

Grafen ve karbon, nanotüp gibi farklı karbon yapıları malzemelerde polimer kompozitlerin performansını iyileştirmek için kullanılmakta olan diğer nanopartiküllerdir (Şekil 2.6). Olağanüstü mekanik, elektriksel ve termal özelliklere

sahip benzersiz bir yapısı bulunan bu malzeme, piller, kondansatörler, nanokompozitler, korozyon önleyici sensörler ve kaplamalar gibi birçok uygulama için umut verici bir potansiyele sahiptir (Chen ve ark, 2017; Liu ve ark, 2016, Öksüz, 2018).



Şekil 2.6. Çeşitli karbon nanomalzemeler (Öksüz, 2018).

Grafen radyoaktif atıkların temizlenmesi, güçlü ve dengeli spor aletleri, hızlı batarya şarjı, su geçirmeyen kıyafetler, daha sağlam ve daha hafif uçaklar, tuzlu suyun içilebilir suya dönüştürülmesi, vücuttaki nöronlara bağlanabilen biyonic cihazlar, transistör araştırmaları gibi alanlarda kullanılır (Öksüz, 2018).

2.5. TUTKALLAR

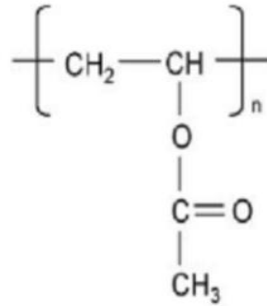
2.5.1. Polivinil Asetat (PVAc) Tutkalı

Tutkalın temel bileşeni olan polivinil asetat tutkalı katı halde ve termoplastiktir. PVAc tutkalları ile işlem görmüş olan yüzeyler, bakterilere karşı dayanıklıdır fakat suda çözünmemelerine rağmen uzun süre suya maruz kaldıkları takdirde bozunmaya uğrarlar. Bu sebepten açık hava ile temasta bulunan kısımlara uygulanması uygun değildir. Yüksek hava rutubetine karşı dayanımı yüksektir. Her ne kadar yapıştırma direnci yüksek rutubette özellikle su buharı adsorpsiyonu nedeni ile düşse de kuru hava koşullarında tekrar eski normal durumunu alır (Huş, 1977).

TS 3891’de belirtilen esaslara göre PVAc tutkalı yoğunluğu 1,1 gr/cm³, 200 cps viskozitesi 160-, pH değeri 5, kül miktarı %3 olarak üretilir. Tutkallanacak ahşabın rutubeti %6-15 arasında olmalıdır. Sıcak presleme sonrası soğuma gerçekleşene kadar beklenmesi gerekmektedir (TS 3891 1983).

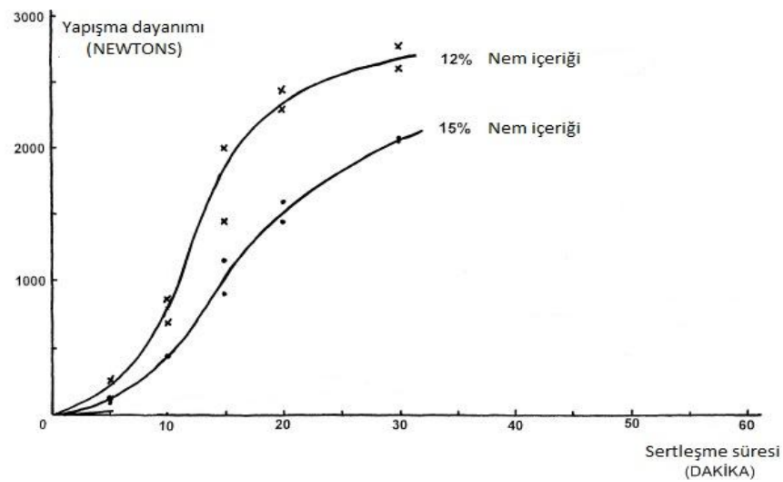
PVAc tutkallarının kolay hazırlanması ya da hazır satılması, oda sıcaklığında hızlı kuruyabilmesi ve genel olarak şeffaf bir tutkal katmanı oluşturmaları gibi çeşitli avantajlarına karşın, bazı dezavantajlı özellikleri de bulunmaktadır. Bunlar arasında, düşük rutubet ve su direnci, elemanlardaki gerilme altında deformasyon ve uzun süreli 49 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda daha fazla şekil değiştirmeye yatkın olma gibi hususlar yer almaktadır (Şanıvar ve Zorlu, 1995).

PVAc tutkalı mobilya imalatında yoğun bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. PVAc tutkalları, kullanma esnasında herhangi bir katalizör ilavesine ihtiyaç duymayan tutkallardır (Tout, 2000; Kim ve Kim, 2005, Bardak, 2016). Şekil 2.7'de PVAc tutkalının kimyasal formülü gösterilmiştir.



Şekil 2.7. PVAc tutkalı kimyasal formülasyonu (Bardak, 2016).

PVAc tutkalı 16-32 °C çalışma sıcaklıkları arasında kullanılmalıdır (Ebnesajjad, 2008, Bardak, 2016). Şekil 2.8'de ağaç malzeme rutubetinin PVAc tutkalında yapışma direncine etkisi verilmiştir.



Şekil 2.8. Ahşap rutubetinin PVA tutkalında yapışma direncine ve sertleşme süresine etkisi (Bardak, 2016).

Birleştirmesi yapılacak yüzeylerden birine 150–200 gr/cm² hesabı ile tutkal sürülmesi ideal bir yapışma için yeterlidir (Perçin ve ark, 2009). PVAc tutkalındaki yapışma mukavemeti, normal oda şartlarında yaklaşık 15 dakikada gerçekleşir (Tout, 2000). PVAc tutkalları, çoğunlukla mobilya ve doğrama imalatında ve suyla temas etmeyen i mekn donatı elemanları uygulamalarında kullanılır. Sürekli yük altındayken eğilme davranışı gösterdikleri için taşıyıcı uygulamalarda kullanımları uygun düşmez (Yılmaz, 2001).

2.5.2. Epoksi Tutkalı

Petrokimya endüstrisinde kullanılan epoksi birleşiklerinin tutkal üretiminde kullanılması ile epoksi reçineler ortaya çıkmıştır. Epoksi reçinenin karışık bir kimyasal yapısı vardır. İki bileşenden meydana gelir. Epoksi reçinenin üretiminde temel malzemelerden biri olan epiklorhidrin, propilenin gliserinle sentezlenmesiyle elde edilir (Burdurlu, 1994). Herhangi bir solvent içermez. Bileşenlerin kimyasal yapısına bağlı olarak epoksi tutkalının kurumasa, sertleşmesi ve yapıştırma özelliğini kazanmasđ durumları meydana gelir. Kimyasal tepkime esnasında, tutkalın bünyesinden madde ayrılmaz veya buharlaşma gerçekleşmez. Farklı özellikteki iki eleman, yeni bir bileşeni oluşturmak üzere bir araya gelir. Yapışma yüzeyindeki tutkal tabakası, kendi molekülleri arasında kohezyon temelli bir bağ kurar. Tutkal moleküllerinin, yapıştırdığı malzemenin molekülleri ile arasındaki adezyon gücü de son derece etkilidir. Tamamen sertleşmiş tutkal, dış etkilerden etkilenmez (Burdurlu, 1994).

Epoksi tutkalı yüksek dayanımlı birleşmelerin oluşmasını sağlar. Su ve solventlerin çoğuna karşı dirençli bir yapıdadır. Epoksi tutkalı uygulanacak yüzey kirletici maddelerden arındırılmış bir şekilde temiz olmalıdır. Uygulama ncesi yüzey zımparalanmalıdır. Tutkalı oluşturan bileşenler 1/1 oranda kullanılmalıdır. Karışım Homojen bir hal alıncaya kadar karıştırılır. 5 dakika beklendikten sonra uygun olan gereçlerle (spatula, fırça) yapıştırılacak yüzeylerin her ikisine de uygulanır. İki yüzey pres kuralları dikkate alınarak preslenir. Presler 24 saat konumu değişmeden bekletilir. Uygulama ortamının minimum 15 C sıcaklıkta olması önemlidir (Uzel, 2015).

2.5.3. Üre Formaldehit Tutkalı

Ürenin formaldehit ile yaptđėı bir kondenzasyon tepkimesi sonucu üre formaldehit tutkalı meydana gelir. Sıvı veya toz halinde üretilir. Üre, katalizör ve basınç altında

amonyak ve karbondioksitten oluşurken; formaldehit ise buhar şeklindeki metanolün havanın oksijeni ile oksitlenmesinden oluşur. Elde edilen üre ve formaldehitin kademeli bir şekilde kondense olmasıyla üre formaldehit tutkalı oluşur. Kondenzasyon henüz suda çözülebilir duruma geldiğinde reaksiyon durdurulmaktadır. Yapıştırma sürecinde, kondenzasyon sertleştirici ve sıcaklık ile yeniden başlatılır (Güler, 1996).

Üre formaldehit tutkalı yonga levha ve lif levha gibi ahşap esaslı levha üretimlerinde sıkça kullanılır (Kalaycıoğlu ve Özen, 2009).

Üre formaldehit reçinesi kullanmanın avantajları aşağıda verilmiştir.

- Çok çeşitli sertleşme koşulları ile uyumludur.
- Sulu çözelti olarak ayarlanabilir.
- Kokusuzdur.
- Reaktifliği yüksektir.
- Tamamen sertleşebilmektedir. Sertleşmiş haldeki rengi de şeffaftır.
- Adhezyon özelliği oldukça iyidir.
- Yanıcı değil ve ısı özellikleri iyidir.
- Maliyeti diğer yapıştırıcılara göre düşüktür.

Üre formaldehit tutkalının tüm bu avantajlarının yanı sıra su ve rutubete karşı dayanımı düşüktür. Özellikle yüksek sıcaklıklarda su ve rutubete maruz kaldığında içinde bulundurduğu aminometilen bağlar hidrolize olurlar. Bu durum kullanım süresince ve sertleşme esnasında formaldehit emisyonunun ortaya çıkmasına neden olur. Bu sebeple rutubetin az olduğu kullanım yerleri için daha uygundur (Dunky, 1998; Pizzi, 1994).

Üre formaldehit tutkalının molekül ağırlığının kontrolü önemlidir. Molekül ağırlığı arttıkça tutkalın özellikleri de değişir. Bu nedenle üre formaldehit tutkalının üretimde kondenzasyon tepkimesi tarafından oluşturulan molekül ağırlığı kontrol edilmelidir (Eroğlu ve Usta, 2000).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür araştırmalarına göre, bu tez çalışmasının temel konusuyla ilgili bazı çalışmaların özetlenmiş sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Kasal ve ark., (2010) yaptıkları çalışmada, lamine edilmiş ve masif ahşap malzemelerde elastikiyet modülü ve eğilme direnci özelliklerini incelemiştir. Çalışmada 3 tür ağaç malzemeden (Doğu kayını, sarıçam ve kavak) 400 x 400 x 22 mm ölçülerinde 11 tabakadan oluşan ve polivinilasetat (PVAc) tutkalı kullanılarak lamine edilmiş malzemeler üretilmiştir. Çalışma sonucunda, lamine edilmiş sarıçam ve kavak numunelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülünde artış tespit edilmiştir. Ancak, lamine malzemelerin elastikiyet modülü ve eğilme direncinin masif malzemelere yakın değerlerde olduğu tespit belirlenmiştir.

Beceren Öztürk ve Arnoğlu (2006) yaptıkları çalışmada, Türk sarıçamından üretilen lamine ahşap kirişlerin liflere dik eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci özelliklerini incelemiştir. Numunelerin hazırlanmasında dört farklı tutkal türü (polivinil asetat (PVAc), poliüretan (PUR1), çift bileşenli poliüretan (PUR2) ve üre formaldehit (UF)) kullanılmıştır. Tutkallar arasında en yüksek performansı PUR1 tutkalı sergilemiştir. UF tutkalı ise en düşük değerleri vermiştir. Bunun yanı sıra, PVAc ve PUR2 tutkalları da PUR1 tutkalına benzer değerler ortaya koymuştur.

Döngel (1999) yüksek lisans tez çalışması kapsamında, sarıçam, Doğu kayını ve meşe odunlarından üç, beş ve yedi katmanlı olarak ve PVAc, Desmodur-VTKA ve Klebit 303 tutkalları kullanılarak üretilen lamine malzemelerde eğilme direncini belirlemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, en yüksek eğilme direnci beş katmanlı kayında PVAc tutkalı kullanılarak elde edilmiştir.

Burdurlu ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada, polivinilasetat (PVAc) tutkalı kullanılarak 3 mm kalınlıklı kavak ve kayın kaplamalardan 10 değişik kompozisyon ile üretilmiş lamine ahşapların eğilme direnci ve elastikiyet modülü özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, test edilmiş özelliklerin aynı türün masif örneklerine kıyasla daha yüksek değerlerde olduğu ve kayın malzemenin laminasyondaki katılım yüzdesi arttıkça tüm test sonuçlarını olumlu yönde etkilediği ve direnç özelliklerinin arttığı belirtilmiştir.

Kesik ve ark., (2014) yaptıkları çalışmada, farklı tropik ağaç türlerinden oluşturulan örnekler, çeşitli yapıştırıcılar kullanılarak lamine ahşap haline getirilmiş ve sergiledikleri yapışma direnci analiz edilmiştir. Araştırma bulgularına göre, ağaç türü ve kullanılan yapıştırıcı çeşidinin önemli ölçüde etkili olduğu belirlenmiştir.

Xu ve ark., (2011) yaptıkları çalışmada, tutkal içeresine %0,5, %1 ve %2 oranlarında nano silika (SiO_2) eklenerek üretilen kontrplakların yapışma dirençlerini incelemiştir. Sonuçlara göre, %1 sınırına kadar nano malzeme kullanıldığında yapışma mukavemetinin önemli ölçüde iyileştiği ancak, nano SiO_2 'nin daha yüksek oranda kullanılması durumunda katmanların yapışma direncinin düştüğü tespit edilmiştir.

Bardak (2016) yaptığı çalışmada, SiO_2 ve TiO_2 nano partiküllerini belirli oranlarda (%1, %2 ve %4) polivinilasetat (PVAc) tutkalına karıştırmış ve lamine örneklerin yapışma performansları üzerine, nanopartikül çeşidi ve oranının etkilerini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düşük oranlardaki (%1, %2) nanopartiküllerin yapışma performansını arttırdığı ayrıca, XRD ve TEM analizlerinde, düşük oranlardaki nanopartikülün daha iyi dağılım gösterdiği görülmüştür.

Perçin (2009) yaptığı çalışmada, polivinilasetat, poliüretan ve D2 bazlı beyaz tutkal ile üç tabakalı lamine edilmiş kayın (*Fagus Silvatica*) ve sarıçam (*Pinus Sylvestris*) odunlarının bazı mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, laminasyonda farklı tutkalların kullanılmasının, lamine edilmiş ağaç malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

Zhai ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, farklı nanopartiküllerin (nano- Al_2O_3 , nano- CaCO_3 ve nano- SiO_2) epoksi reçinenin yapışma direnci üzerine etkisi karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, %2 nanopartikül katkısının yapışma direncini önemli derecede arttırdığı saptanmıştır.

Zhai ve ark., (2008) yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda nano- Al_2O_3 ilavesinin, epoksi reçinelerin yapışma direncine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, nanopartikül katkılı epoksi reçineler çelik yüzeylere sürülmüş ve yapışma dirençleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, yapışma direncinde önemli artışlar yaşanmış ve en yüksek yapışma direnci değerleri %2 oranında elde edilmiştir.

Lee ve ark., (2009) yaptıkları çalışmada, nano partiküllerle modifiye edilmiş epoxy yapıştırıcılardan yararlanarak oluşturulan lambalı birleştirmelerde, nanopartiküllerin

makaslama direnci üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Nanopartikül ilavesiz birleştirmelere göre, ağırlıkça %1,5 oranında karbon nanopartikül katkılı lambalı birleştirmelerde makaslama direncinin %48 daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Uzel (2015) çalışmasında, lamine ahşap yapı elemanları üretmek amacıyla sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunundan elde edilen 18 mm kalınlığındaki lamelleri kullanmıştır. Laminasyon sürecinde epoksi ve poliüretan yapıştırıcıları tercih edilmiştir. Ayrıca, mekanik özellikleri artırmak için lameller arasına alüminyum tel örgü, fiberglas tel örgü ve rabbit tel gibi destek malzemeleri eklenmiştir. En yüksek eğilme direnci değeri, poliüretan yapıştırıcı kullanılarak rabbit teli takviyeli ve beş katman olarak üretilen lamine elemanlarda elde edilmiştir. Diğer taraftan, epoksi yapıştırıcı kullanılarak fiberglas tel örgü takviyeli ve üç katman olarak üretilen lamine ahşap elemanlar basınç mukavemeti açısından en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca, poliüretan yapıştırıcı ile fiberglas tel örgü kombinasyonunun yapışma mukavemetini artırdığı gözlemlenmiştir.

Altay (2014) yaptığı çalışmada, karbon fiber (CFRP) takviyesinin lamine elemanların fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisini incelemiştir. Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odunundan hazırlanan lameller poliüretan ve epoksi yapıştırıcıları kullanılarak ve CFRP takviyeli olarak lamine yapılmıştır. Sonuçlara göre, en yüksek eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yapışma direnci değerleri, CFRP takviyeli ve epoksi yapıştırıcısı kullanılan lamine örneklerde tespit edilmiştir. Ayrıca, yanma testlerinde, poliüretan yapıştırıcılı örneklerin en fazla ağırlık kaybına uğradığı belirlenmiştir.

Candan (2012) yaptığı çalışmada, nanoteknolojik ürünlerle özellikleri iyileştirilmiş yeni kompozit malzemeler üretmek amacıyla, MÜF ve ÜF tutkalları içerisine %1 ve %3 oranlarda nano SiO₂, nano ZnO ve nano Al₂O₃ ilave ederek laminat parkeler ve ahşap sandviç levhalar üretmiştir. Sonuçlara göre, %3 ZnO hariç, Al₂O₃ ve SiO₂'nin düşük oranda kullanımı ile levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü, çekme direnci ve vida çekme dirençlerinin arttığı görülmüştür. Sandviç levhaların kalınlığına şişme miktarındaki en çok azalma SiO₂ ve Al₂O₃'in düşük oranlarda kullanılması sonucu meydana gelmiştir. Vida tutma direnci ve yüzeye dik yöndeki çekme direncinde en iyi sonuçlar %1 oranında SiO₂ veya Al₂O₃ ilave ederek üretilen yonga levha örneklerde belirlenmiştir. Ayrıca, ZnO ve Al₂O₃'in uygun oranlardaki kullanımı ile laminat parkelerin ve sandviç levhaların formaldehit emisyon miktarlarında önemli düşüşlerin olduğu ifade edilmiştir.

Qiaojia ve ark., (2005) yaptıkları çalışmada, üre formaldehit tutkalında formaldehit emisyon oranı üzerine SiO_2 nanopartikülü kullanılmasının etkisini belirlemiştir. Sonuçlara göre, nanopartikülün tutkalın sertleşme süresine etki ettiği, %1 SiO_2 katkılı üre formaldehit tutkalı ile elde edilen kontrplak, yonga levha ve orta yoğunluklu lif levhaların kalite değerlerinin ilgili standart değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Özçiftçi ve ark., (2018) yaptıkları çalışmada, melamin üre formaldehit (MUF) ve fenol formaldehit (FF) tutkalları kullanılarak titrek kavak ve Uludağ göknarı odunlarından üretilmiş lamine levhaların yapışma direnci üzerine tutkallara farklı oranlarda (%2, %4, %6, %8) eklenen TiO_2 ve SiO_2 nanopartiküllerinin etkisini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, MUF ve FF tutkalı içeresine yüksek oranda nano malzeme ilavesinin göknar ve kavak lamine malzemelerin yapışma direnci üzerine olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir.

Candan ve Akbulut (2015) yaptıkları çalışmada, farklı kompozit malzemelerin yapışma direnci değerlerine %1 ve %3 yükleme seviyelerindeki SiO_2 , Al_2O_3 ve ZnO nanopartiküllerinin etkisini araştırmıştır. Sonuçlara göre, en yüksek yapışma direnci değerlerinin %3 oranında Al_2O_3 ile güçlendirilmiş levhalarda tespit edildiği, en yüksek orandaki artışın ise %1 oranlarında Al_2O_3 ve SiO_2 kullanılarak üretilen yonga levhalarda yaşandığı belirtilmiştir. Kontrplak örneklerde ise kontrol grubuna göre yapışma direncindeki en fazla artışın (%60), %3 oranında Al_2O_3 ile güçlendirilen levhalarda olduğu belirtilmiştir.

Kara (2018) doktora tezi çalışmasında; farklı oranlarda (%2 ve %4) TiO_2 ve SiO_2 ilave edilmiş melamin üre formaldehit (MÜF) ve fenol formaldehit (FF) tutkalları kullanılarak, göknar ve kavak odunlarından üretilen LVL ve GLULAM örneklerin bazı fiziksel, mekanik ve yapısal (morfolojik) özelliklerini belirlemiştir. Sonuçlara göre, nanopartikül eklenmiş tutkallarının kullanılmasıyla üretilen lamine malzemelerin masif ahşaba göre daha yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, düşük oranda SiO_2 katkılı MÜF tutkalı ile kavak odunundan elde edilen LVL'lerin kullanılması önerilmiştir.

Özcan (2019) yüksek lisans tezi çalışmasında; silika (SiO_2) ve grafen (GNP) nanopartiküllerinin epoksi kaplamaların özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, epoksi matrise eklenen grafenin, kaplamaların esneklik ve

darbe direncini nanopartikül eklenmemiş epoksiye kıyasla %8 ve %157 oranında arttırdığı ayrıca, GNP-SiO₂ nano hibrid ilavesinin, mikro sertlikte %54 oranında artış sağladığı, çizilme direnci için bir gösterge olan penetrasyon derinlik değerinde ise %30 azalma olduğu belirtilmiştir.

Pelit ve Korkmaz (2019) yaptıkları çalışmada, ağırlıkça %0,25, %0,50 ve %1 oranında nano-grafen (NG) ile modifiye edilmiş su bazlı verniklerin çeşitli katman özelliklerini araştırmıştır. Sonuçlara göre, NG miktarındaki artışa bağlı olarak vernik yapışma direncinde %25'e kadar önemli artışların sağlandığı ancak, yüzey sertlik değerleri üzerinde NG etkisinin önemsiz olduğu belirtilmiştir.

Ulaşan ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada, karbon fiber ve bambu kaplama ile güçlendirilerek lamine edilmiş kayın odununun eğilme direnci ve elastikiyet modülü özelliklerini belirlemiştir. Lamellerin yapıştırılmasında polivinilasetat tutkalı (PVAc) ve poliüretan tutkalları (PU) kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, destek katmanları eklenen tüm lamine örneklerde eğilme direnci ve elastikiyet modülü artmıştır. En yüksek direnç değerleri, karbon fiber ile desteklenmiş PU tutkalı kullanılan lamine örneklerde, en düşük ise bambu kaplama ile desteklenmiş PVAc tutkalı kullanılan lamine örneklerde belirlenmiştir.

Çiğdem ve Perçin (2023) yaptıkları çalışmada, cam fiber ve karbon fiber ile güçlendirilmiş farklı sıcaklıklarda ısıtılmış Doğu kayını lamine örneklerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Sonuçlara göre, karbon ve cam fiber ile güçlendirilen örneklerde eğilme direnci (MOR) ve elastikiyet modülü (MOE) artmıştır. Örneklerin liflere paralel basınç direncinde (CS), uygulanan ısıtma sıcaklığı ve güçlendirici çeşidi önemli değişimlere sebep olurken, liflere paralel yapışma direncinde (SS) azalmalar belirlenmiştir. Karbon fiber ile güçlendirilmiş lamine örneklerin MOR ve MOE değeri, cam elyaf ile güçlendirilmiş örneklere göre daha yüksek, CS ve SS değerleri ise daha düşük tespit edilmiştir.

Şeker (2014) yüksek lisans tezi çalışmasında; sıva altı filesi, fiber tel file ve alüminyum tel file ile desteklenmiş ve PVAc tutkalı ile yapıştırılmış sarıçam lamine elemanların yoğunluk, eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci ve yapışma direnci özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, destek malzemelerinin örneklerde eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direncini artırdığı ancak, yapışma direncini azalttığı tespit edilmiştir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1. MALZEME

4.1.1. Ağaç Malzeme

Bu tez çalışmasında, lamine ahşap malzemelerin hazırlanması için karakavak (*Populus nigra* L.) ve Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) odunları tercih edilmiştir. Ağaç malzemeler, Düzce ilindeki bir orman ürünleri işletmesinden hava kurusu rutubete sahip ve her bir ağaç türü için aynı tomruk odununa ait birinci sınıf latalar halinde temin edilmiştir. Seçilen latalarda çürük, budak, çatlak gibi ahşap kusurları olmamasına dikkat edilmiştir.

4.1.2. Tutkallar

Lamine ahşap malzemelerin üretilmesinde, ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde sıklıkla kullanılan polivinilasetat (PVAc), epoksi (EPK) ve üre formaldehit (UF) tutkalları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tutkallara ilişkin bazı bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1.2.1. Polivinilasetat (PVAc) tutkalı

Kullanılan PVAc tutkalı, Apel marka olup DIN EN 204'e göre D3 normuna sahiptir. Kürleştiği zaman şeffaflaşmaktadır. PVAc tutkalına ait bazı teknik özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. PVAc tutkalının bazı teknik özellikleri.

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	1,1
Renk	Beyaz
İnceltici	Su
pH (25 °C'de)	4,5
Uygulama miktarı (g/m ²)	150-200
Kuruma süresi (20 °C)	30 dk. (minimum)
Ahşap nem içeriği (%)	8-12
Katı madde miktarı (%)	54±1
Uygulama şekli	Fırça, rulo, merdane

4.1.2.2. Epoksi tutkalı

Çalışmada, Teknomarin Era-4000 markalı çift bileşenli epoksi reçine (EPK) tutkalı kullanılmıştır. EPK tutkalına ait bazı teknik özellikler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. EPK tutkalının bazı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	1,1
Renk	Şeffaf
İnceltici	Kullanılmaz
Uygulama miktarı (g/m ²)	150-200
Uygulamada sıcaklık aralığı (°C)	+15 ~ +35
Kuruma süresi (20 °C)	
İlk kuruma	1 saat
Kuruma	6 saat
Karışım oranı (reçine/sertleştirici)	2 A / 1 B
Karışımın kullanılabilirlik süresi (20 °C)	35 dakika
Hacimce katı madde (%)	100
Uygulama şekli	Fırça, rulo

4.1.2.3. Üre formaldehit tutkalı

Çalışmada, Mikrokim markalı ve kendinden sertleştiricili çift bileşenli üre formaldehit tutkalı (UF) kullanılmıştır. UF tutkalına ait bazı teknik özellikler Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. UF tutkalının bazı teknik özellikleri

Özellik	Değer
Özgül ağırlığı (g/cm ³)	0,5 ± 0,01
Görünüm	Beyaz toz
Çözücü/İnceltici	Su
Uygulama miktarı (g/m ²)	150-200
pH (25 °C’de)	7,5-8,5
Kürlenme süresi (30 °C’de)	280-320 dakika
Kürlenme süresi (60 °C’de)	9-11 dakika
Kürlenme süresi (100 °C’de)	48-52 saniye
Çözelti ömrü (20 °C’de)	5 saat
Uygulama şekli	Fırça, rulo, merdane

4.1.3. Nanopartiküller

Tutkal özelliklerini iyileştirmek ve katman performansını arttırmak amacı ile grafen ve yüzeyi silanla modifiye edilmiş silika (SiO₂) nanopartikülleri kullanılmıştır. Her iki nanopartikül Nanografi (Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan nanopartiküllerin bazı teknik özellikleri Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Kullanılan nanopartiküllerin teknik özellikleri.

Özellikler	Grafen	SiO ₂
Safılık (%)	99,5	97,3
Özgül yüzey alanı (m ² /g)	150	150-550
Kalınlık (nm)	6	-
Çap	24 µm	16 nm
Görünüm rengi	Siyah-Gri	Beyaz
Yoğunluk (g/cm ³)	-	2,2

4.2. YÖNTEM

4.2.1. Lamellerin Hazırlanması

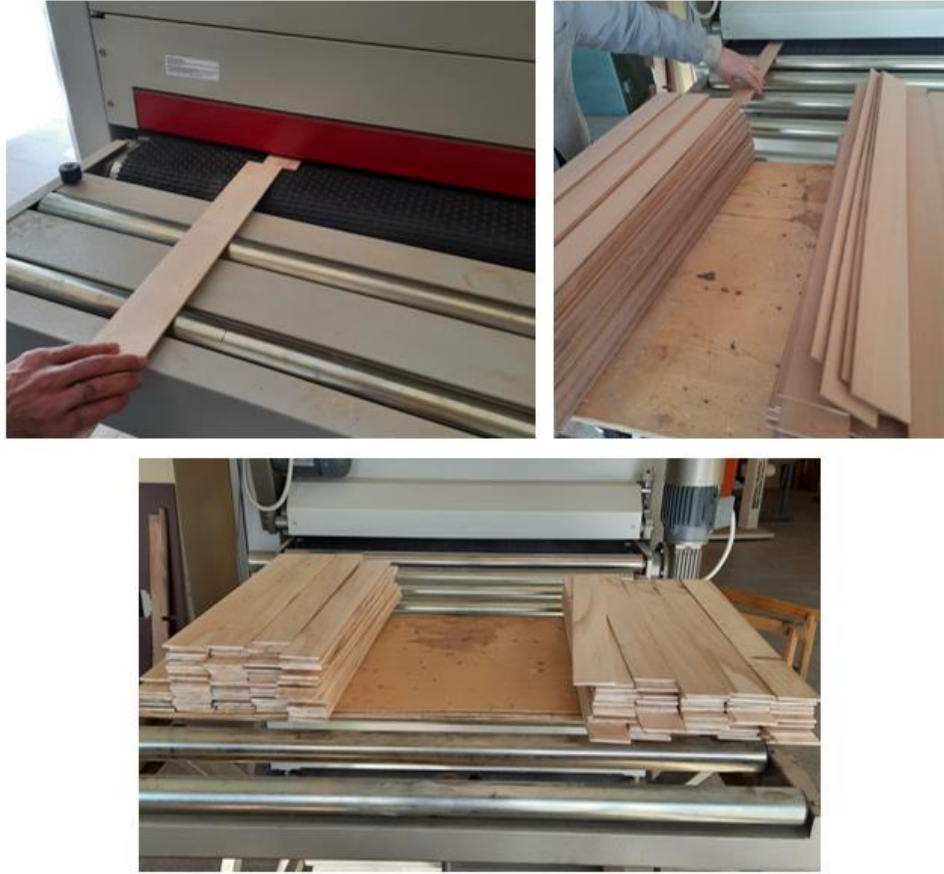
Lata halindeki ağaç malzemeler, diri odun kısımlarından 5 × 90 × 850 mm (teğet yön × radyal yön × boyuna yön) ölçülerinde ve yeterli miktarda papel kaplama (lamel) olarak kesilmiştir (Şekil 4.1). Elde edilen lameller, 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar bekletilmiştir (TS ISO 13061-1, 2021).



Şekil 4.1. Lamellerin elde edilmesi.

Yüzey düzgünlüğünü sağlamak ve oluşabilecek kalınlık farklarını gidermek için, lamellerin her iki yüzü kalibre (kontak) makinesinde 150 numara zımpara ile işlem

görerek lamel kalınlıkları 4 mm'ye düşürülmüştür (Şekil 4.2). Presleme aşamasından önce lamellerin boyları da 400 mm olacak şekilde ölçülendirilmiştir.



Şekil 4.2. Lamellerin kalibre (kontak) makinesinde zımparalanması.

4.2.2. Tutkal Çözeltilerinin Hazırlanması

Tutkalların uygulamaya hazır hale getirilmesi sürecinde çözücü ve/veya sertleştirici karışım oranları için üretici firmaların önerileri dikkate alınmıştır. Üretilcek lamine ahşap malzemelerin özelliklerini geliştirmek amacı ile tutkal çözeltilerine grafen ve silika nanopartikülleri Çizelge 4.5'te gösterilen oranlarda ağırlıkça eklenmiştir (Şekil 4.3).

Çizelge 4.5. Nanopartikül katkı oranları.

Tutkal Çeşidi	Grafen (Ağırlıkça %)	Silika (Ağırlıkça %)
PVA	0,25 - 0,5	1 - 2
UF	0,25 - 0,5	1 - 2
EPK	0,25 - 0,5	1 - 2

Nanopartiküllerin homojen dağılımını sağlamak için tutkal çözeltisi yeterince karıştırılmıştır.



Şekil 4.3. Tutkal çözeltilerine nanopartiküllerin eklenmesi.

4.2.3. Lamine Ahşap Malzemelerin Üretilmesi

Laminasyon işlemleri, TS EN 14080 (2013) standardı esaslarına uyularak laboratuvar tipi hidrolik bir preste gerçekleştirilmiştir. Nanopartikül katkılı ve katkısız tutkal çözeltileri $180\text{-}200\text{ gr/m}^2$ hesabıyla hazırlanan lamellerin yalnız bir yüzeyine fırça ile tatbik edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Lamellerin tutkallanma aşaması.

Lamine ahşaplar, beş katmanlı olacak şekilde ve toplam 20 mm kalınlıkta preslenerek yeterli miktarda üretilmiştir (Şekil 4.5). Pres aşamasında, ağaç malzemelerin yoğunlukları dikkate alınarak kavak örnekler için 1 N/mm^2 , kayın örnekler için ise $1,2$

N/mm² basınç uygulanmıştır. Presleme sıcaklığı; UF ve EPK tutkalları için 90 °C, PVAc tutkalı için 60 °C uygulanmıştır. Presleme süresi ise tüm tutkallar için 30 dk. sürmüştür.



Şekil 4.5. Lamellerin preslenerek lamine ahşapların üretilmesi.

Presleme sürecinden sonra, lamine edilmiş levhalar dört hafta süre ile atmosferik koşullarda bekletilerek dinlendirilmiştir. Daha sonra, levhalar uygulanacak testlerin standartları doğrultusunda ebatlandırılmıştır. Çalışma kapsamındaki her bir test için kullanılan deney örneklerinin ölçüleri ve sayıları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Testlerde kullanılan örneklerin ölçüleri ve sayısı.

Seçilmiş Testler	Deney örneği ölçüleri			Deney örneği sayısı
	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Uzunluk (mm)	
Hava kurusu yoğunluk	20	20	30	270
Boyutsal değişim (hacimsel şişme)	20	20	30	270
Eğilme direnci	20	20	360	270
Eğilmede elastikiyet modülü	20	20	360	270
Yapışma direnci	20	20	150	270

Uygulanacak testlerde, her bir değişken için 9 tekrarlı (tekerrür = 9) olmak üzere ve Çizelge 4.6’da gösterilen sayılarda deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler, testlerden önce TS ISO 13061-1 (2021)’e göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem şartlarında sabit bir ağırlığa ulaşana kadar bekletilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Lamine örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.

4.2.4. Hava Kuruşu Yoğunluğun Belirlenmesi

Lamine ahşap örneklerin hava kuruşu yoğunluğu TS ISO 13061-2 (2021) esasları çerçevesinde belirlenmiştir. Örnekler, 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 3$ bağıl nem koşullarında sabit bir kütleye ulaşana kadar iklimlendirme dolabında bekletilmiştir. Ardından, örnek ağırlıkları (M_{12}), analitik terazide $\pm 0,01$ g hassasiyetiyle tartılmış, örnek boyutları ise kumpas ile $\pm 0,01$ mm duyarlılıkla ölçülmüş ve hacimleri (V_{12}) hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler kullanılarak, örneklerin hava kuruşu yoğunlukları (δ_{12}) Eşitlik 4.1 kullanılarak tespit edilmiştir.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

δ_{12} : Hava kuruşu yoğunluğu (g/cm^3),

M_{12} : Hava kuruşu kütleyi (g),

V_{12} : Hava kuruşu hacmi (cm^3) belirtmektedir.

4.2.5. Boyutsal Değişimin Belirlenmesi

Lamine örneklerin boyutsal değişim (hacimsel şişme) değerleri ISO 13061-15 (2021) standardı esaslarına göre belirlenmiştir. Hazırlanan örnekler etüvde 103 ± 2 °C’de sabit

ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiştir. Ardından örneklerin hacmi (uzunluk, genişlik ve kalınlık ölçüleri) $\pm 0,01$ mm hassasiyetinde belirlenmiştir. Örnekler daha sonra, 20 ± 2 °C sıcaklığında distile suyun bulunduğu bir kap içerisine bırakılmış ve tamamen su içerisinde kalmaları sağlanmıştır (Şekil 4.7). Örnekler değişmez ağırlığa ulaşınca kadar suda bekletilmiştir. Ardından, su içerisinden alınan örneklerin yüzeylerindeki fazla su, havlu yardımıyla alınmış ve lamine ahşap örneklerin hacmi tekrar $\pm 0,01$ duyarlılıkla belirlenmiştir. Hacimsel şişme oranı (HŞO) Eşitlik 4.2'ye göre belirlenmiştir.

$$H\dot{S}O = \left(\frac{V_R - V_0}{V_0} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

Eşitlikte;

HŞO : Hacimsel şişme oranını (%)

V_0 : Kuru haldeki örnek hacmini (mm)

V_R : Yaş haldeki örnek hacmini (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.7. Lamine örneklerin su içerisinde bekletilmesi.

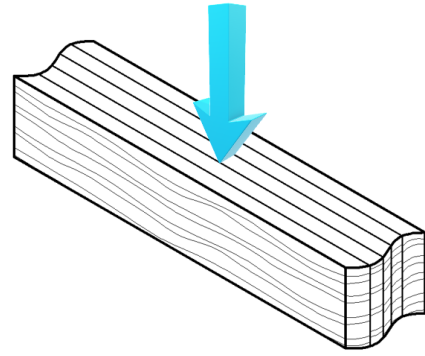
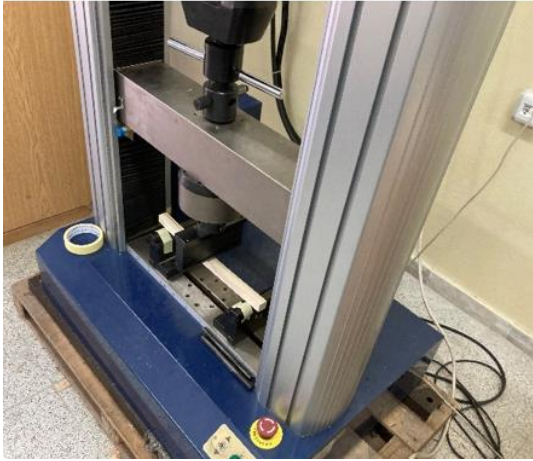
4.2.6. Statik Eğilme Direncinin Belirlenmesi

Örneklerin statik eğilme direnci testleri TS ISO 13061-3 (2021) esasları çerçevesinde ve tutkal hattına paralel yönde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8). Test öncesi, ahşap örneklerde orta kısımlardan kalınlık ve genişlik ölçüleri $\pm 0,01$ mm hassasiyet ile belirlenerek kaydedilmiştir. Üniversal test cihazı ilerleme/yüklemeye hızı, deney örneklerinde kırılmanın yüklemmeden itibaren $1,5 \pm 0,5$ dk. içinde gerçekleşecek şekilde belirlenmiştir (Şekil 4.8). Deney sonunda kırılmanın gerçekleştiği andaki kuvvet kaydedilmiş ve örneklerin eğilme dirençleri Eşitlik 4.3'e göre belirlenmiştir.

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot L_s}{2 \cdot a \cdot b^2} \quad (4.3)$$

Eşitlikte;

- σ_e : Eğilme direncini (N/mm²)
 F_{max} : Kırılmanın olduğu andaki maksimum kuvveti (N)
 L_s : Dayanaklar arası açıklığı (mm)
 a : Örnek genişliğini (mm)
 b : Örnek kalınlığını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.8. Statik eğilme direnci testi ve kuvvetin uygulanma yönü.

4.2.7. Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Lamine örneklerin elastikiyet modülü testleri, TS ISO 13061-4 (2021) esaslarına uyularak tutkal hattına paralel yönde gerçekleştirilmiştir. Elastikiyet modülü, elastik deformasyon bölgesindeki kuvvet farkı (ΔF) ve örnekte eğilme değerleri farkı (Δf) yardımıyla Eşitlik 4.4'e göre belirlenmiştir.

$$Em = \frac{\Delta F \cdot L_s^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f} \quad (4.4)$$

Eşitlikte;

- Em : Elastikiyet modülünü (N/mm²)
 ΔF : Elastikiyet bölgesinde oluşan kuvvet farkını (N)
 L_s : Dayanak açıklığını (mm)

- b : Örnek genişliğini (mm)
h : Örnek yüksekliğini (mm)
 Δf : Eğilme mesafesini (mm) belirtmektedir.

4.2.8. Yapışma Direncinin Belirlenmesi

Lamine örneklerin yapışma direnci testi TS EN 205 (2017) esaslarına göre ve liflere paralel yönde yapılmıştır. Hazırlanan lamine örneklere üniversal test cihazında 1 mm/dk yükleme hızı ile çekme kuvveti uygulanmıştır. Bu kuvvet, yapışma hattında tamamen kopma gerçekleşinceye kadar devam ettirilmiştir (Şekil 4.9). Deney sonunda kırılmanın gerçekleştiği andaki kuvvet kaydedilmiş ve örneklerin eğilme dirençleri Eşitlik 4.3'e göre belirlenmiştir. Kopma anındaki kuvvet kaydedilmiş ve lamine örneklerin yapışma direnci Eşitlik 4.5'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta_y = \frac{F_{max}}{a.b} \quad (4.5)$$

Eşitlikte;

- δ_y : Yapışma direncini (N/mm²)
 F_{max} : Kopma anındaki maksimum kuvveti (N)
a.b : Yapışma yüzeyi alanını (mm²) ifade etmektedir.



Şekil 4.9. Yapışma direnci testi.

4.2.9. Verilerin Değerlendirilmesi

Verilerin analiz edilmesinde, MSTAT-C istatistik programından yararlanılmıştır. Farklı tutkallarla lamine edilmiş kavak ve kayın odunu örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine grafen ve silika nanopartiküllerinin etkisini belirlemek amacıyla 0,05 önem düzeyinde varyans analizleri (ANOVA) yapılmıştır. Ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi faktörlerinin kendi içerisindeki farklılıklar ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri, Duncan testleri aracılığı ile en küçük önemli fark (LSD) değerine göre homojenlik gruplarına ayrılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.



5. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ

5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Grafen ve nano silika katkılı farklı tutkallarla lamine edilmiş kayın ve kavak odunu örneklerinin hava kurusu yoğunluk, su alma ve boyutsal değişim oranlarına ait fiziksel özellikler bu bölümde incelenmiştir.

5.1.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla laminasyon yapılarak hazırlanmış deney örneklerinde yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalaması Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney örneklerinin yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm³).

Tutkal çeşidi	Katkı maddesi	Ağaç türü			
		Kavak		Kayın	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
PVA	Kontrol	0,459	0,024	0,619	0,018
	Grafen - %0,25	0,461	0,014	0,626	0,020
	Grafen - %0,50	0,476	0,014	0,629	0,020
	Silika - %1	0,463	0,023	0,623	0,020
	Silika - %2	0,478	0,019	0,638	0,019
UF	Kontrol	0,480	0,018	0,648	0,013
	Grafen - %0,25	0,478	0,023	0,639	0,013
	Grafen - %0,50	0,481	0,020	0,657	0,013
	Silika - %1	0,474	0,019	0,630	0,010
	Silika - %2	0,477	0,023	0,631	0,016
EPK	Kontrol	0,490	0,022	0,646	0,011
	Grafen - %0,25	0,481	0,017	0,656	0,015
	Grafen - %0,50	0,483	0,023	0,657	0,017
	Silika - %1	0,477	0,012	0,654	0,011
	Silika - %2	0,476	0,022	0,651	0,012
İşlemsiz		0,438	0,017	0,581	0,007

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.1 sonuçlarına göre ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi değişkenlerine bağlı olarak kavak ve kayın örneklerin yoğunluk değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Ortaya çıkan farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.2’de sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Örneklerin yoğunluk değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	1,844	1,844	5791,4335	0,0000
Tutkal çeşidi (B)	2	0,017	0,008	26,0215	0,0000
Katkı maddesi (C)	4	0,003	0,001	2,5948	0,0371
Etkileşim (AB)	2	0,002	0,001	3,4537	0,0332
Etkileşim (AC)	4	0,000	0,000	0,1666	ns
Etkileşim (BC)	8	0,005	0,001	2,0172	0,0452
Etkileşim (ABC)	8	0,002	0,000	0,8710	ns
Hata	240	0,076	0,000		
Toplam	269	1,951			

*: 0,05'e göre önemli, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin yoğunluk değerleri üzerine ağaç türü-katkı maddesi ikili etkileşimi ile ağaç türü-tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşimi önemsiz, diğer faktörler ise önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi faktörlerine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Ağaç türüne ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm^3).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Kavak	0,475	B
Kayın	0,640	A*
LSD: $\pm 0,002398$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.3'e göre; yoğunluk değeri kayın örneklerinde yüksek ($0,640 \text{ g/cm}^3$), kavak örneklerinde daha düşük ($0,475 \text{ g/cm}^3$) belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. Tutkal çeşidine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm^3).

Tutkal çeşidi	$\bar{x}$	HG
PVA	0,547	C
UF	0,559	B
EPK	0,566	A*
LSD: $\pm 0,002937$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.4'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, EPK tutkalı ile lamine edilmiş

örneklerde (0,566 g/cm³), en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (0,547 g/cm³) elde edilmiştir.

Çizelge 5.5. Katkı maddesine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Katkı maddesi	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0,556	BC
Grafen - %0,25	0,557	BC
Grafen - %0,50	0,564	A*
Silika - %1	0,554	C
Silika - %2	0,558	B
LSD: $\pm 0,003791$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.5'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, %0,50 grafen katkılı lamine örneklerde (0,564 g/cm³), en düşük ise %1 silika katkılı lamine örneklerde (0,554 g/cm³) elde edilmiştir.

Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Tutkal çeşidi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
PVA	0,467	E	0,627	C
UF	0,478	D	0,641	B
EPK	0,479	D	0,653	A*
LSD: $\pm 0,004153$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.6'ya göre; en yüksek yoğunluk değeri, EPK tutkalı ile lamine edilmiş kayın örneklerde (0,653 g/cm³), en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş kavak örneklerde (0,467 g/cm³) elde edilmiştir.

Ağaç türü-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri
Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Katkı maddesi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0,473	DE	0,638	B
Grafen - %0,25	0,473	DE	0,640	B
Grafen - %0,50	0,480	C	0,648	A*
Silika - %1	0,471	E	0,636	B
Silika - %2	0,477	CD	0,640	B
LSD: $\pm 0,005361$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.7'ye göre; en yüksek yoğunluk değeri, %0,50 grafen katkılı lamine kayın örneklerde (0,648 g/cm³), en düşük ise %1 silika katkılı lamine kavak örneklerde (0,471 g/cm³) elde edilmiştir.

Tutkal çeşidi- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Tutkal çeşidi- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri
Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Katkı maddesi	Tutkal çeşidi					
	PVA		UF		EPK	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0,539	E	0,564	AB	0,563	AB
Grafen - %0,25	0,543	E	0,559	BC	0,568	A*
Grafen - %0,50	0,553	CD	0,569	A*	0,570	A*
Silika - %1	0,543	E	0,552	D	0,565	A*
Silika - %2	0,558	BCD	0,554	CD	0,563	AB
LSD: $\pm 0,006566$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.8'e göre; en yüksek yoğunluk değeri aralarında önemli bir fark olmamak üzere %0,50 grafen katkılı UF tutkalı ile lamine edilmiş örnekler (0,569 g/cm³) ile, %0,25 ve %0,50 grafen ve %1 silika katkılı EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (0,568 g/cm³, 0,570 g/cm³ ve 0,565 g/cm³), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (katkısız), %0,25 grafen ve %1 silika katkılı PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (0,539 g/cm³, 0,543 g/cm³ ve 0,543 g/cm³) elde edilmiştir.

5.1.2. Boyutsal Değişim

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla laminasyon yapılarak hazırlanmış kavak ve kayın örneklerinde hacimsel genişleme oranlarının aritmetik ortalamaları Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Lamine örneklerin hacimsel genişleme oranlarına ait aritmetik ortalamalar (%).

Tutkal çeşidi	Katkı maddesi	Ağaç türü			
		Kavak		Kayın	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
PVA	Kontrol	13,92	1,24	16,84	0,71
	Grafen - %0,25	13,35	1,12	16,19	0,67
	Grafen - %0,50	13,62	1,15	16,01	0,71
	Silika - %1	13,18	1,18	16,46	0,32
	Silika - %2	13,63	1,12	16,45	0,49
UF	Kontrol	13,58	0,68	16,62	0,60
	Grafen - %0,25	13,93	0,82	16,46	0,71
	Grafen - %0,50	14,17	0,80	16,72	0,83
	Silika - %1	12,76	0,99	15,68	0,77
	Silika - %2	13,33	1,04	15,54	0,56
EPK	Kontrol	13,04	0,73	15,17	0,72
	Grafen - %0,25	13,44	1,27	15,81	0,75
	Grafen - %0,50	13,48	1,28	15,59	0,84
	Silika - %1	13,28	1,17	15,36	0,43
	Silika - %2	13,05	1,21	15,73	0,77
İşlemsiz		14,55	0,97	16,89	0,84

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.9 sonuçlarına göre ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin hacimsel genişleme değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.10’da sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. Hacimsel genişleme değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	453,159	453,159	600,7537	0,0000
Tutkal çeşidi (B)	2	17,012	8,506	11,2761	0,0000
Katkı maddesi (C)	4	8,858	2,214	2,9356	0,0214
Etkileşim (AB)	2	3,859	1,929	2,5578	ns
Etkileşim (AC)	4	1,332	0,333	0,4414	ns
Etkileşim (BC)	8	18,654	2,332	3,0912	0,0024

Çizelge 5.10 (devam) Hacimsel genişleme değerleri için ANOVA sonuçları.

Etkileşim (ABC)	8	3,635	0,454	0,6024	ns
Hata	240	181,036	0,754		
Toplam	269	687,545			

*: 0,05'e göre önemli, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin hacimsel genişleme değerleri üzerinde ağaç türü-tutkal çeşidi ve ağaç türü-katkı maddesi ikili etkileşimleri ile ağaç türü-tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşim önemsiz, diğer faktörler ise önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi faktörlerine ilişkin, örneklerin hacimsel genişleme değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.11, Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.11. Ağaç türüne ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (%).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Kavak	13,45	B
Kayın	16,04	A*
LSD: $\pm 0,2082$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel genişleme

Çizelge 5.11'ye göre; hacimsel genişleme değeri kayın örneklerinde yüksek (%16,04), kavak örneklerinde daha düşük (%13,45) belirlenmiştir.

Çizelge 5.12. Tutkal çeşidine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (%).

Tutkal çeşidi	$\bar{x}$	HG
PVA	14,96	A*
UF	14,88	A*
EPK	14,39	B
LSD: $\pm 0,2550$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel genişleme

Çizelge 5.12'ye göre; en yüksek hacimsel genişleme değeri, aralarında önemli bir fark olmamak üzere PVA ve UF tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (%14,96 ve %14,88), en düşük ise EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (%14,39) elde edilmiştir.

Çizelge 5.13. Katkı maddesine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Katkı maddesi	$\bar{x}$	HG
Kontrol	14,86	A*
Grafen - %0,25	14,87	A*
Grafen - %0,50	14,93	A*
Silika - %1	14,45	B
Silika - %2	14,62	AB
LSD: $\pm 0,003791$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek hacimsel genişleme

Çizelge 5.13'e göre; en yüksek hacimsel genişleme değeri aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (katkısız), %25 ve %50 grafen katkılı lamine örneklerde (%14,86, %14,87 ve %14,93), en düşük ise %1 silika katkılı lamine örneklerde (%14,45) elde edilmiştir.

Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin hacimsel genişleme değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Tutkal çeşidi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
PVA	13,54	C	16,39	A*
UF	13,56	C	16,20	A*
EPK	13,26	C	15,53	B
LSD: $\pm 0,3606$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel genişleme

Çizelge 5.14'e göre; en yüksek hacimsel genişleme değeri aralarında önemli bir fark olmamak üzere, PVA ve UF tutkalı ile lamine edilmiş kayın örneklerde (%16,39 ve %16,20), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere, PVA, UF ve EPK tutkalları ile lamine edilmiş kavak örneklerde (%13,54, %13,56 ve %13,26) elde edilmiştir.

Ağaç türü-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin hacimsel genişleme değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Katkı maddesi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	13,51	BC	16,21	A*
Grafen - %0,25	13,57	B	16,16	A*
Grafen - %0,50	13,76	B	16,11	A*
Silika - %1	13,07	C	15,83	A*
Silika - %2	13,34	BC	15,90	A*
LSD: $\pm 0,4655$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel genişleme

Çizelge 5.15'e göre; en yüksek hacimsel genişleme değeri, aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (katkısız) ve diğer tüm katkılı lamine kayın örneklerde (%16,21, %16,16, %16,11, %15,83 ve %15,90), en düşük ise %1 silika katkılı lamine kavak örneklerde (%13,07) elde edilmiştir.

Tutkal çeşidi- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin hacimsel genişleme değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Tutkal çeşidi- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel genişleme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Katkı maddesi	Tutkal çeşidi					
	PVA		UF		EPK	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	15,38	AB	15,10	ABCD	14,11	G
Grafen - %0,25	14,77	CDEF	15,20	ABC	14,63	DEFG
Grafen - %0,50	14,81	BCDE	15,45	A*	14,53	DEFG
Silika - %1	14,82	BCDE	14,22	FG	14,32	EFG
Silika - %2	15,04	ABCD	14,44	EFG	14,39	EFG
LSD: $\pm 0,5702$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel genişleme

Çizelge 5.16'ya göre; en yüksek hacimsel genişleme değeri %0,50 grafen katkılı UF tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (%15,45), en düşük ise kontrol (katkısız) PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (%14,11) elde edilmiştir.

5.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

Silika ve nano grafen katkılı farklı tutkallarla lamine edilmiş kayın ve kavak odunu örneklerinin statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve yapışma direncine ait mekanik özellikleri bu bölümde incelenmiştir.

5.2.1. Statik Eğilme Direnci

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla laminasyon yapılarak hazırlanmış deney örneklerinin statik eğilme direnci ortalamaları Çizelge 5.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.17. Deney örneklerinin statik eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Katkı maddesi	Ağaç türü			
		Kavak		Kayın	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
PVA	Kontrol	66,6	4,2	114,6	4,9
	Grafen - %0,25	71,8	5,4	124,6	3,8
	Grafen - %0,50	75,5	5,0	126,4	5,1
	Silika - %1	67,9	4,8	123,0	5,0
	Silika - %2	73,9	4,2	124,6	5,3
UF	Kontrol	71,9	3,3	127,9	4,0
	Grafen - %0,25	73,6	3,4	130,9	4,8
	Grafen - %0,50	79,7	4,7	140,4	5,6
	Silika - %1	74,6	4,0	125,3	3,6
	Silika - %2	76,8	4,4	131,2	4,5
EPK	Kontrol	75,5	3,6	134,2	4,6
	Grafen - %0,25	77,5	4,0	140,2	4,1
	Grafen - %0,50	80,9	3,7	137,1	5,2
	Silika - %1	77,4	4,6	137,6	4,4
	Silika - %2	75,9	4,5	133,9	6,0
İşlemsiz		61,2	3,4	94,9	2,6

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.17 sonuçlarına göre ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin eğilme direnci değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Ortaya çıkan farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.18’de sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.18. Statik eğilme direnci değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	207961,277	207961,277	10088,8905	0,0000
Tutkal çeşidi (B)	2	4709,903	2354,952	114,2465	0,0000
Katkı maddesi (C)	4	1973,268	493,317	23,9324	0,0000
Etkileşim (AB)	2	667,138	333,569	16,1825	0,0000
Etkileşim (AC)	4	101,381	25,345	1,2296	ns
Etkileşim (BC)	8	765,794	95,724	4,6439	0,0000
Etkileşim (ABC)	8	376,410	47,051	2,2826	0,0226
Hata	240	4947,096	20,613		
Toplam	269	221502,266			

*: 0,05'e göre önemli, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin eğilme direnci değeri üzerine ağaç türü-katkı maddesi etkileşimi önemsiz, diğer faktörlerin tamamı önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi faktörlerine ilişkin, örneklerin eğilme direnci değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.19, Çizelge 5.20 ve Çizelge 5.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Ağaç türüne ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm^2).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Kavak	74,6	B
Kayın	130,1	A*
LSD: $\pm 1,089$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek statik eğilme direnci

Çizelge 5.19'a göre; eğilme direnci kayın örneklerinde yüksek ($130,1 N/mm^2$), kavak örneklerinde daha düşük ($74,63 N/mm^2$) belirlenmiştir.

Çizelge 5.20. Tutkal çeşidine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm^2).

Tutkal çeşidi	$\bar{x}$	HG
PVA	96,9	C
UF	103,2	B
EPK	107,0	A*
LSD: $\pm 1,333$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek statik eğilme direnci

Çizelge 5.20'ye göre; en yüksek eğilme direnci EPK tutkalı ile lamine edilmiş

örneklerde (107,0 N/mm²), en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (96,89 N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.21. Katkı maddesine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	$\bar{x}$	HG
Kontrol	98,4	D
Grafen - %0,25	103,1	B
Grafen - %0,50	106,7	A*
Silika - %1	101,0	C
Silika - %2	102,7	B
LSD: $\pm 1,721$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek statik eğilme direnci

Çizelge 5.21'e göre; en yüksek eğilme direnci değeri %50 grafen katkılı lamine örneklerde (106,7 N/mm²), en düşük ise kontrol (katkısız) lamine örneklerde (98,4 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin eğilme direnci değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.22'de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
PVA	71,1	F	122,6	C
UF	75,3	E	131,2	B
EPK	77,4	D	136,6	A*
LSD: $\pm 1,885$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek statik eğilme direnci

Çizelge 5.22'ye göre; en yüksek eğilme direnci EPK tutkalı ile lamine edilmiş kayın örneklerde (136,6 N/mm²), en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş kavak örneklerde (71,1 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin eğilme direnci değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.23'te verilmiştir.

Çizelge 5.23. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri
Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	71,3	G	125,6	D
Grafen - %0,25	74,3	F	131,9	B
Grafen - %0,50	78,7	E	134,7	A*
Silika - %1	73,3	FG	128,6	C
Silika - %2	75,5	F	129,9	BC
LSD: $\pm 2,434$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek statik eğilme direnci

Çizelge 5.23'e göre; en yüksek eğilme direnci %50 grafen katkılı lamine kayın örneklerde (134,7 N/mm²), en düşük ise kontrol (katkısız) lamine kavak örneklerde (71,3 N/mm²) elde edilmiştir.

Tutkal çeşidi- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin eğilme direnci değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24. Tutkal çeşidi- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	Tutkal çeşidi					
	PVA		UF		EPK	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	90,6	G	99,9	DE	104,8	BC
Grafen - %0,25	98,2	EF	102,2	CD	108,9	A*
Grafen - %0,50	101,0	DE	110,0	A*	109,0	A*
Silika - %1	95,4	F	100,0	DE	107,5	AB
Silika - %2	99,3	DE	104,0	C	104,9	BC
LSD: $\pm 2,981$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek statik eğilme direnci

Çizelge 5.24'e göre; en yüksek eğilme direnci, aralarında önemli bir fark olmamak üzere %0,25 ve %0,50 grafen katkılı EPK tutkalı ile lamine edilmiş örnekler ile %0,50 grafen katkılı UF tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (108,9 N/mm², 109,0 N/mm², 110,0 N/mm²), en düşük ise kontrol (katkısız) PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (90,6 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-tutkal çeşidi- katkı maddesi üçlü etkileşimine ilişkin, örneklerin eğilme direnci değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi

karşılaştırması Çizelge 5.25'te verilmiştir.

Çizelge 5.25. Ağaç türü-tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşimine ilişkin eğilme direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Katkı maddesi	Ağaç türü			
		Kavak		Kayın	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
PVA	Kontrol	66,6	M	114,6	G
	Grafen - %0,25	71,8	KL	124,6	EF
	Grafen - %0,50	75,5	IJK	126,4	EF
	Silika - %1	67,9	LM	123,0	F
	Silika - %2	73,9	JK	124,6	EF
UF	Kontrol	71,9	KL	127,9	DE
	Grafen - %0,25	73,6	JK	130,9	CD
	Grafen - %0,50	79,7	HI	140,4	A*
	Silika - %1	74,6	JK	125,3	EF
	Silika - %2	76,8	HIJ	131,2	CD
EPK	Kontrol	75,5	IJK	134,2	BC
	Grafen - %0,25	77,5	HIJ	140,2	A*
	Grafen - %0,50	80,9	H	137,1	AB
	Silika - %1	77,4	HIJ	137,6	AB
	Silika - %2	75,9	IJK	133,9	BC
LSD: $\pm 4,216$					

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek statik eğilme direnci

Çizelge 5.25'e göre; en yüksek eğilme direnci, aralarında önemli bir fark olmamak üzere %0,50 grafen katkılı UF tutkalı ve %0,25 grafen katkılı EPK tutkalı ile lamine edilmiş kayın örneklerinde (104,4 N/mm² ve 140,2 N/mm²), en düşük ise katkısız (kontrol) PVA tutkalı ile lamine edilmiş kavak örneklerinde (66,6 N/mm²) elde edilmiştir.

5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla laminasyon yapılarak hazırlanmış kavak ve kayın örneklerin elastikiyet modülü ortalamaları Çizelge 5.26'da sunulmuştur.

Çizelge 5.26. Deney örneklerinin elastikiyet modülü değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Katkı maddesi	Ağaç türü			
		Kavak		Kayın	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
PVA	Kontrol	7639	479	12320	733
	Grafen - %0,25	8160	419	13380	554
	Grafen - %0,50	8516	354	13860	567
	Silika - %1	7702	352	13690	571
	Silika - %2	8262	511	13430	671
UF	Kontrol	7915	313	14070	584
	Grafen - %0,25	8072	335	14550	646
	Grafen - %0,50	8722	474	15180	519
	Silika - %1	8190	378	14170	566
	Silika - %2	8341	303	14390	514
EPK	Kontrol	8183	325	14570	533
	Grafen - %0,25	8231	364	15640	300
	Grafen - %0,50	8893	357	15130	384
	Silika - %1	8329	358	14790	561
	Silika - %2	8284	401	14490	705
İşlemsiz		7749	377	10756	395

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.26 sonuçlarına göre ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin elastikiyet modülü değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Bu farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.27’de sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.27. Elastikiyet modülü değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	2441990755,6	2441990755,6	10280,5391	0,0000
Tutkal çeşidi (B)	2	43382941,430	21691470,715	24713212,25	0,0000
Katkı maddesi (C)	4	24713212,259	6178303,065	26,0100	0,0000
Etkileşim (AB)	2	19334914,674	9667457,337	40,6990	0,0000
Etkileşim (AC)	4	3495562,941	873890,735	3,6790	0,0063
Etkileşim (BC)	8	5354871,719	669358,965	2,8179	0,0053
Etkileşim (ABC)	8	5903532,993	737941,624	3,1067	0,0023
Hata	240	57008467,556	237535,281		
Toplam	269	2601184259,1			

*: 0,05’e göre önemli, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine tüm faktörler ile bu faktörlerin birbiriyle etkileşimleri önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi faktörlerine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülü değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.28, Çizelge 5.29 ve Çizelge 5.30’da verilmiştir.

Çizelge 5.28. Ağaç türüne ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm²).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Kavak	8229	B
Kayın	14240	A*
LSD: $\pm 116,9$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.30’a göre; elastikiyet modülü kayın örneklerinde yüksek (14240 N/mm²), kavak örneklerinde daha düşük (8229 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.29. Tutkal çeşidine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm²).

Tutkal çeşidi	$\bar{x}$	HG
PVA	10700	C
UF	11360	B
EPK	11650	A*
LSD: $\pm 143,1$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.29’a göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (11650 N/mm²), en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (10700 N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.30. Katkı maddesine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm²).

Katkı maddesi	$\bar{x}$	HG
Kontrol	10780	D
Grafen - %0,25	11340	B
Grafen - %0,50	11720	A*
Silika - %1	11150	C
Silika - %2	11200	BC
LSD: $\pm 184,8$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.30’a göre; en yüksek elastikiyet modülü %50 grafen katkılı lamine örneklerde (11720 N/mm²), en düşük ise kontrol (katkısız) lamine örneklerde (10780 N/mm²) elde

edilmiştir.

Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülü değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.31’de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
PVA	8056	E	13340	C
UF	8248	DE	14470	B
EPK	8384	D	14920	A*
LSD: $\pm 202,4$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.31’e göre; en yüksek elastikiyet modülü EPK tutkalı ile lamine edilmiş kayın örneklerde (14920 N/mm²), en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş kavak örneklerde (8056 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülü değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.32’de verilmiştir.

Çizelge 5.32. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	7912	F	13650	C
Grafen - %0,25	8154	EF	14520	A*
Grafen - %0,50	8710	D	14730	A*
Silika - %1	8074	EF	14220	B
Silika - %2	8295	E	14100	B
LSD: $\pm 261,3$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.32’ye göre; en yüksek elastikiyet modülü, aralarında önemli bir fark olmamak üzere %25 ve %50 grafen katkılı lamine kayın örneklerde (14520 N/mm² ve 14730 N/mm²), en düşük ise kontrol (katkısız) lamine kavak örneklerde (7912 N/mm²) elde

edilmiştir.

Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülü değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.33'te verilmiştir.

Çizelge 5.33. Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	Tutkal çeşidi					
	PVA		UF		EPK	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	9978	F	10990	DE	11380	BC
Grafen - %0,25	10770	E	11310	BCD	11930	A*
Grafen - %0,50	11190	CD	11950	A*	12010	A*
Silika - %1	10700	E	11180	CD	11560	B
Silika - %2	10850	E	11370	BC	11390	BC
LSD: $\pm 320,0$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.33'e göre; en yüksek elastikiyet modülü, aralarında önemli bir fark olmamak üzere %0,25 ve %0,50 grafen katkılı EPK tutkalı ile lamine edilmiş örnekler ile %0,50 grafen katkılı UF tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (11930 N/mm², 12010 N/mm², 11950 N/mm²), en düşük ise kontrol (katkısız) PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (9978 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşimine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülü değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5.34. Ağaç türü- tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Katkı maddesi	Ağaç türü			
		Kavak		Kayın	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
PVA	Kontrol	7639	O	12320	J
	Grafen - %0,25	8160	MN	13380	I
	Grafen - %0,50	8516	KLM	13860	FGH
	Silika - %1	7702	O	13690	GHI
	Silika - %2	8262	MN	13430	HI
UF	Kontrol	7915	NO	14070	EFG
	Grafen - %0,25	8072	MNO	14550	CD

Çizelge 5.34 (devam) Ağaç türü- tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

UF	Grafen - %0,50	8722	KL	15180	AB
	Silika - %1	8190	MN	14170	DEF
	Silika - %2	8341	LMN	14390	CDE
EPK	Kontrol	8183	MN	14570	CD
	Grafen - %0,25	8231	MN	15640	A*
	Grafen - %0,50	8893	K	15130	B
	Silika - %1	8329	LMN	14790	BC
	Silika - %2	8284	LMN	14490	CDE
LSD: $\pm 452,6$					

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.34'e göre; en yüksek elastikiyet modülü, %0,25 grafen katkılı EPK tutkalı ile lamine edilmiş kayın örneklerde (15640 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere katkısız (kontrol) ve %1 silika katkılı PVA tutkalı ile lamine edilmiş kavak örneklerde (7639 N/mm² ve 7702 N/mm²) elde edilmiştir.

5.2.3. Yapışma Direnci

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla laminasyon yapılarak hazırlanmış kavak ve kayın örneklerin yapışma direnci değerlerine ilişkin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.35'te verilmiştir.

Çizelge 5.35. Örneklerin yapışma direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Katkı maddesi	Ağaç türü			
		Kavak		Kayın	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
PVA	Kontrol	7,44	0,97	8,93	0,90
	Grafen - %0,25	7,44	0,84	10,61	0,99
	Grafen - %0,50	8,02	0,67	9,82	0,81
	Silika - %1	8,07	0,93	10,30	0,93
	Silika - %2	7,37	0,88	9,20	1,10
UF	Kontrol	7,62	0,74	10,23	0,91
	Grafen - %0,25	7,70	0,96	10,91	0,84
	Grafen - %0,50	8,12	1,05	10,50	1,09
	Silika - %1	8,38	0,87	10,96	1,10
	Silika - %2	7,01	0,98	10,25	1,01
EPK	Kontrol	7,73	0,87	10,14	0,70
	Grafen - %0,25	7,79	0,87	10,80	0,76
	Grafen - %0,50	8,75	0,93	11,76	1,01
	Silika - %1	9,14	0,94	12,08	0,94
	Silika - %2	7,90	0,68	11,19	1,13

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.35 sonuçlarına göre ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin yapışma direnci değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.36’da sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.36. Yapışma direnci değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	460,940	460,940	543,3562	0,0000
Tutkal çeşidi (B)	2	45,879	22,939	27,0411	0,0000
Katkı maddesi (C)	4	47,664	11,916	14,0465	0,0000
Etkileşim (AB)	2	8,890	4,445	5,2399	0,0059
Etkileşim (AC)	4	7,346	1,836	2,1648	ns
Etkileşim (BC)	8	12,672	1,584	1,8672	ns
Etkileşim (ABC)	8	4,968	0,621	0,7321	ns
Hata	240	203,597	0,848		
Toplam	269	791,955			

*: 0,05’e göre önemli, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerde yapışma direnci üzerine ağaç türü-katkı maddesi ve tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimleri ile ağaç türü-tutkal çeşidi-katkı maddesi üçlü etkileşim önemsiz ancak diğer faktörler önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, tutkal çeşidi ve katkı maddesi faktörlerine ilişkin, örneklerin yapışma direnci değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.37, Çizelge 5.38 ve Çizelge 5.39’da verilmiştir.

Çizelge 5.37. Ağaç türüne ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Kavak	7,90	B
Kayın	10,51	A*
LSD: $\pm 0,2208$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek yapışma direnci

Çizelge 5.37’ye göre; yapışma direnci kayın örneklerinde yüksek ($10,51 N/mm^2$), kavak örneklerinde daha düşük ($7,90 N/mm^2$) belirlenmiştir.

Çizelge 5.38. Tutkal çeşidine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Tutkal çeşidi	$\bar{x}$	HG
PVA	8,72	C
UF	9,17	B
EPK	9,73	A*
LSD: $\pm 0,2704$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek yapışma direnci

Çizelge 5.38'e göre; en yüksek yapışma direnci EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (9,73 N/mm²), en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (8,72 N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.39. Katkı maddesine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	$\bar{x}$	HG
Kontrol	8,68	C
Grafen - %0,25	9,21	B
Grafen - %0,50	9,49	AB
Silika - %1	9,82	A*
Silika - %2	8,82	C
LSD: $\pm 0,3491$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek yapışma direnci

Çizelge 5.39'a göre; en yüksek yapışma direnci %1 silika katkılı lamine örneklerde (9,82 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (katkısız) ve %2 silika katkılı lamine örneklerde (8,68 N/mm² ve 8,82 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yapışma direnci değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.40'ta verilmiştir.

Çizelge 5.40. Ağaç türü-tutkal çeşidi ikili etkileşimine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Tutkal çeşidi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
PVA	7,67	E	9,77	C
UF	7,77	E	10,57	B
EPK	8,26	D	11,19	A*
LSD: $\pm 0,3824$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek yapışma direnci

Çizelge 5.40'a göre; en yüksek yapışma direnci EPK tutkalı ile lamine edilmiş kayın örneklerde (11,19 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere PVA ve UF tutkalları ile lamine edilmiş kavak örneklerde (7,67 N/mm² ve 7,77 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yapışma direnci değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.41'de verilmiştir.

Çizelge 5.41. Ağaç türü- katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	Ağaç türü			
	Kavak		Kayın	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	7,60	E	9,77	C
Grafen - %0,25	7,64	E	10,77	A*
Grafen - %0,50	8,30	D	10,69	AB
Silika - %1	8,53	D	11,11	A*
Silika - %2	7,43	E	10,21	BC
LSD: $\pm 0,4937$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek yapışma direnci

Çizelge 5.41'e göre; en yüksek yapışma direnci aralarında önemli bir fark olmamak üzere %25 grafen ve %1 silika katkılı lamine kayın örneklerde (10,77 N/mm², 11,11 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (katkısız), %25 grafen ve %2 silika katkılı lamine kavak örneklerde (7,60 N/mm², 7,64 N/mm² ve 7,43 N/mm²) elde edilmiştir.

Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yapışma direnci değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.42'de verilmiştir.

Çizelge 5.42. Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Katkı maddesi	Tutkal çeşidi					
	PVA		UF		EPK	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	8,19	G	8,92	EF	8,94	EF
Grafen - %0,25	9,02	DEF	9,30	CDE	9,29	CDE
Grafen - %0,50	8,92	EF	9,31	CDE	10,25	AB

Çizelge 5.42. (devam) Tutkal çeşidi-katkı maddesi ikili etkileşimine ilişkin yapışma direnci değerleri Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Silika - %1	9,18	CDEF	9,67	BC	10,61	A*
Silika - %2	8,29	G	8,63	FG	9,54	CD
LSD: $\pm 0,6047$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek yapışma direnci

Çizelge 5.42'ye göre; en yüksek yapışma direnci %1 silika katkılı EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (10,61 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (katkısız) ve %2 silika katkılı PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde (88,19 N/mm² ve 8,29 N/mm²) elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; grafen ve silika nanopartikülleri katkılı farklı tutkallarla lamine edilmiş kayın ve kavak odunu örneklerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, elde edilen bulgulara göre sonuçlar yorumlanarak endüstriyel uygulamalara ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

6.1. HAVA KURUSU YOĞUNLUK

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla lamine edilmiş ahşap örneklerde yoğunluk değerleri üzerine ağaç türü faktörü etkisi önemli çıkmıştır. Kavak lamine örneklerle göre kayın lamine örneklerinde yoğunluk değeri %35 daha yüksek belirlenmiştir. Ağaç malzemelerin başlangıç yoğunluk değerlerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Çalışmada kullanılan masif kavak odununda hava kurusu yoğunluk değeri 0,438 g/cm³, masif kayın odununda ise 0,581 g/cm³ olarak belirlenmiştir.

Lamine ahşap örneklerde hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine tutkal çeşidinin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de, en yüksek yoğunluk değeri EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde, en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında %3 fark belirlenmiştir. Tutkalların reçine yapıları, katı madde miktarları ve kuruma özelliklerindeki farklılaşma sonuçlar üzerinde etkili olabilir. Zira, PVA tutkalı çözücü buharlaşmasına dayalı fiziksel bir kuruma yaparken, EPK ve UF tutkalları kimyasal reaksiyona dayalı bir kuruma yapmaktadır. Literatürde, farklı tutkal çeşitleri ile üretilen lamine ahşap malzemelerde hava kurusu yoğunluğun masif kontrol örneklerle kıyasla farklı şekilde değiştiği ve bunun sebebinin ise, kullanılan tutkallarda katı madde miktarının farklılık göstermesi ile açıklanabileceği ifade edilmiştir (FPL, 1974). Ayrıca, lamine ahşabın masif ahşaba kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu ve bununda, tabakalar arasına daha yüksek yoğunluklu tutkalın dahil edilmesi ve laminasyon esnasındaki pres basıncının ahşabı sıkıştırması ile malzemenin hacimsel olarak küçülmesinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Özçifçi ve ark., 2007).

Kayın ve kavak lamine örneklerinin hava kurusu yoğunlukları üzerine katkı maddesi faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Hem kavak hemde kayın örneklerde en yüksek

hava kurusu yoğunluk değeri %0,50 grafen katkılı lamine örneklerde belirlenmiştir. Kayın örnekler için, katkısız (kontrol) ve diğer nanopartikül katkılı lamine örnekler arasında istatistiksel olarak bir fark görülmez iken, kavak örnekler için, en düşük yoğunluk değeri %1 silika katkılı lamine örneklerde elde edilmiştir. Ayrıca, katkı maddesi oranı artışı ile hava kurusu yoğunluk değerleri artış eğilimi göstermiştir. Ancak, her bir ağaç türü ve tutkal çeşidinde, katkı maddesi açısından tüm örneklerin (katkısız ve nanopartikül katkılı) yoğunluk değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Bu durum, kullanılan katkı maddelerinin nano özellikte olması ve tutkal çözeltilerine düşük oranlarda katılmaları ile açıklanabilir. Önceki bir çalışmada, nanopartikül kullanım oranı artışının ağırlık artışı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı ifade edilmiştir (Kara, 2018).

6.2. BOYUTSAL DEĞİŞİM

Nanopartikül katkılı farklı tutkallarla lamine edilmiş kayın ve kavak odunu örneklerinde boyutsal değişim değerleri üzerine ağaç türü faktörü önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde boyutsal değişim değeri kavak örneklere göre kayın örneklerinde %19 daha yüksek belirlenmiştir. Yoğunluk değerlerine bağlı olarak, kayın örneklerin boşluk hacminin daha az ve hücre çeperi hacminin daha fazla olmasının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ağaç malzemenin boyutsal değişimi hücre çeperinde tutulan bağlı su miktarı ile ilgilidir. Yoğunluğu daha yüksek olan ağaç malzemelerde genişleme veya daralma yüzdeleri genellikle daha yüksek gerçekleşmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

Lamine ahşap örneklerin boyutsal değişim değerleri üzerinde tutkal çeşidinin etkisi önemli bulunmuştur. Kayın lamine örnekler için en yüksek boyutsal değişim değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere, PVA ve UF tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde, en düşük ise EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında %6 fark belirlenmiştir. EPK tutkalında suya karşı direncin PVA ve UF tutkallarına göre daha fazla olmasının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Kavak lamine örneklerde ise, boyutsal değişim değeri her üç tutkalla lamine edilmiş örneklerde de benzer bulunmuş ve aralarında istatistiksel olarak bir fark görülmemiştir.

Kayın ve kavak lamine örneklerinin boyutsal değişim değerleri üzerinde katkı

maddesinin etkisi önemli bulunmuştur. Kavak lamine örneklerde, en yüksek boyutsal değişim değeri %0,25 ve %0,50 grafen katkılı örneklerde, en düşük ise %1 silika katkılı lamine örneklerde elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında %5 fark belirlenmiştir. Boyutsal değişim değerleri, katkısız (kontrol) tutkallarla lamine edilmiş örneklere göre grafen katkılı lamine örneklerde hafif artarken, silika katkılı lamine örneklerde hafif azalmıştır. Ayrıca katkı maddesi oranı artışı ile boyutsal değişim değerleri artış eğilimi göstermiştir. Kayın lamine örnekler için ise, hem kontrol (katkısız) hem de katkılı tutkallarla lamine edilmiş örneklerin boyutsal değişim değerleri benzer bulunmuş ve aralarında istatistiksel olarak bir fark görülmemiştir. Önceki bir çalışmada, düşük miktarlarda Al_2O_3 (alüminyum oksit) veya SiO_2 (silikon dioksit) nanopartikülleri kullanılmasının kontrplak malzemelerin boyutsal stabilitesi üzerine olumlu bir etki gösterdiği belirtilmiştir (Candan ve Akbulut, 2014). Nanopartiküllerin birim alanda polimerle daha fazla yapışma yüzey alanı oluşturduğu ve dolgu vazifesi görerek daha güçlü hidrofobik özellik göstermesi nedeni ile boyutsal kararlılığı olumlu yönde etkilediği ifade edilmiştir (Kara, 2018). Farklı bir çalışmada, üre formaldehit tutkalı içerisine %1, %3 ve %5 oranlarında nanokil eklenerek üretilmiş yönlendirilmiş levhaların (OSB) su alma ve kalınlık artışı değerlerinde yaklaşık olarak %5-10 oranlarında bir iyileşmenin olduğu belirlenmiştir (Salari ve ark., 2012).

6.3. STATİK EĞİLME DİRENCİ

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla laminasyon yapılarak hazırlanmış kavak ve kayın odunu örneklerinin statik eğilme direnci üzerinde ağaç türünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türüne ilişkin eğilme direnci değeri kavak lamine örneklere göre kayın lamine örneklerinde %74 daha yüksek saptanmıştır. Bu durumun, kayın odununda hücre çeperlerinin kalın, trahe sayısının fazla, lümen boşluğunun dar ve malzeme yoğunluğunun yüksek olmasından, kavak odununda ise hücre çeperlerinin ince, lümenlerin geniş ve malzeme yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanmış olabildiği söylenebilir (Doruk ve Perçin, 2010). Literatürde, ağaç malzeme yoğunluğu artışına paralel olarak mekanik direnç özelliklerinin de artış gösterdiği belirtilmiştir (Örs ve Keskin, 2008). Ayrıca, sarıçam, Doğu kayını ve kavak odunlarından üretilen lamine malzemelerde eğilme direnci sonuçlarının istatistiksel analizleri sonucunda, eğilme direnci ile yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olduğu ifade edilmiştir (Kasal ve ark., 2010).

Lamine edilerek hazırlanmış kavak ve kayın odunu deney örneklerinin statik eğilme direnci değerleri üzerinde tutkal çeşidi faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek eğilme direnci değeri EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde, en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında kavak örnekler için %9, kayın örnekler için %11 fark belirlenmiştir. Hem katkısız hem de nanopartikül katkılı lamine örneklerin eğilme direncinde EPK tutkalı daha başarılı sonuçlar vermiş ve bunu UF tutkalı izlemiştir. PVA tutkalı ise diğer iki tutkala göre daha düşük eğilme direnci değerleri vermiştir. Tutkal özelliklerine bağlı olarak çift bileşenli ve reaksiyona dayalı kuruma yapan EPK ve UF tutkallarının fiziksel kuruma yapan PVA tutkalına göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Tutkalların ana reçine yapılarına bağlı olarak oluşturmuş oldukları katman özelliklerinin eğilme direnci sonuçları üzerine etki ettiği söylenebilir.

Kayın ve kavak lamine örneklerinin eğilme direnci değerleri üzerinde katkı maddesinin etkisi önemlidir. Her iki ağaç türünde, en yüksek eğilme direnci değeri %0,50 grafen katkılı lamine örneklerde, en düşük ise kontrol (katkısız) lamine örneklerde tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında kavak örnekler için %10, kayın örnekler için %7 fark belirlenmiştir. Grafen ve silika nanopartikülleri katkılı tüm tutkalarla lamine edilmiş kavak ve kayın örneklerde katkısız tutkalarla lamine edilmiş örneklere göre eğilme direnci artmıştır. Grafen katkılı lamine örneklerde silika katkılı örneklere göre %6'ya kadar daha yüksek eğilme direnci değerleri belirlenmiştir. Her iki katkı maddesi oranı artışı ile kavak ve kayın lamine örneklerin eğilme direnci değerlerinde artış gözlenmiştir. Ayrıca, katkı maddesi oranı artışı PVA ve UF tutkalları ile lamine edilmiş örneklerin eğilme direnci değerlerinde artış sağlarken, EPK tutkalında belirgin bir etki göstermemiştir. Literatürde, grafen oksitin çok düşük kullanım oranlarında bile yüksek termal ve elektrik iletkenliğine sahip olmasının yanı sıra yüksek mekanik dayanıma sahip olması bakımından elektrik iletken polimerlerin geliştirilmesi, boya üretimi, süper kapasitör üretimi gibi yerlerde uygulama alanları bulunduğu ifade edilmiştir (Uygunoğlu ve Şimşek, 2019). Önceki bir çalışmada, TiO_2 ve SiO_2 nanopartikülleri katkılı MUF ve FF tutkalları ile üretilen GLULAM ve LVL malzemelerin kontrol grupları ile kıyaslandığında daha yüksek bir performansa ve direnç değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Kara, 2018).

6.4. ELASTİKİYET MODÜLÜ

Nanopartikül katkılı tutkallarla lamine edilmiş kayın ve kavak odunu örneklerinin elastikiyet modülü değerlerinde ağaç türünün etkisi önemlidir. Elastikiyet modülü kavak lamine örneklerine göre kayın lamine örneklerinde %73 daha yüksek belirlenmiştir. Ahşap örneklerin yoğunluk değerleri ile anatomik yapı farklılıklarının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, yoğunluğun, ağaç malzemenin birçok özelliği ve kullanım limitleri hakkında önemli fikirler veren bir faktör olduğu ve yüksek yoğunluklu ahşapta direncin, esnekliğin ve sertliğin düşük yoğunluklu ahşaba kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiş ayrıca, yoğunluk artışı ile mekanik özelliklerin de arttığı ifade edilmiştir (Bozkurt ve Erdin 2011; Örs ve Keskin, 2008).

Kayın ve kavak odunu örneklerinin elastikiyet modülü üzerinde tutkal çeşidinin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için, en yüksek elastikiyet modülü değeri EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde, en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında kavak örnekler için %4, kayın örnekler için %12 fark belirlenmiştir. Hem kontrol (katkısız) hem de nano malzeme katkılı lamine örneklerde elastikiyet modülü değerleri açısından EPK tutkalı daha başarılı sonuçlar vermiş ve bunu UF tutkalı izlemiştir. PVA tutkalı ise diğer iki tutkala göre daha düşük elastikiyet modülü değerleri vermiştir. Her bir tutkalın ana reçine yapısı, kuruma mekanizması ve katman özelliklerinin farklı olmasının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Zira kurumuş PVA katmanı daha esnek/yumuşak bir yapıya sahipken UF ve EPK katmanları daha sert/rijit bir yapıya sahiptir. Önceki bir çalışmada, üre formaldehit (UF), poliüretan (PUR1), polivinilasetat (PVAc) ve çift bileşenli poliüretan (PUR2) tutkalları kullanılarak lamine edilmiş sarıçam malzemede en yüksek elastikiyet modülü değeri UF tutkalında, en düşük ise PVA tutkalında belirlenmiştir (Beceren ve ark, 2006). Ayrıca, lamine malzemelerde, ağaç türü, tutkal çeşidi, katman kalınlığı, yapısal form, kavis yarıçapı ve katman simetrisi gibi faktörlerin eğilme miktarı ve diğer mukavemet özellikleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Altınok ve ark., 2008).

Lamine ahşap örneklerin elastikiyet modülü üzerinde katkı maddesi faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için, en yüksek elastikiyet modülü %0,50 grafen katkılı lamine örneklerde, en düşük ise kontrol (katkısız) lamine örneklerde elde

edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında kavak örnekler için %10, kayın örnekler için %8 fark belirlenmiştir. Nanopartikül (grafen ve silika) katkılı tüm tutkallarla lamine edilmiş kavak ve kayın örneklerde katkısız (kontrol) tutkallarla lamine edilmiş örneklerle göre elastikiyet modülü artış göstermiştir. Silika katkısına göre, grafen katkılı lamine örneklerin elastikiyet modülü %5'e kadar daha yüksek elde edilmiştir. Her iki katkı maddesi oranı artışı ile kavak lamine örneklerde elastikiyet modülü değerleri artarken, kayın örneklerde genellikle belirgin bir fark gözlenmemiştir. Ayrıca, katkı maddesi oranı artışı PVA ve UF tutkalları ile lamine edilmiş örneklerin elastikiyet modülü değerlerinde genellikle artış sağlarken, EPK tutkalında (grafen katkılı lamine kavak örnekler hariç) hafif bir düşüşe neden olmuştur. Önceki bir çalışmada, grafen ve silika nanopartikülleri eklenmiş epoksi reçine katmanında, kaplama esnekliğinin katkısız epoksi reçineye göre arttığı ve grafen katılan reçinenin daha esnek bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Grafen nanopartikülünün iki boyutlu ve tabakalı yapısından dolayı, yükleme esnasında farklı yönlerdeki deformasyona izin vermesinin bu yüksek esnekliği sağladığı ifade edilmiştir (Özcan, 2019).

Genel olarak değerlendirildiğinde, katkısız (kontrol) tutkallarla lamine edilmiş örneklerle göre, grafen katkılı PVA, UF ve EPK tutkalı ile lamine edilmiş kavak örneklerde elastikiyet modülü sırası ile %11, %10 ve %9, kayın örneklerde ise sırası ile %13, %8 ve %7 artmıştır.

6.5. YAPIŞMA DİRENCİ

Laminasyon yapılarak hazırlanmış deney örneklerinin yapışma direnci değerlerinde ağaç türünün etkisi önemli bulunmuştur. Yapışma direnci değeri kayın lamine örneklerinde kavak lamine örneklerle göre %33 daha yüksek belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak ağaç malzemelerin yoğunluk farklılıkları, yapısal özellikleri, mekanik özellikleri ve bunlara bağlı olarak farklı derecelerdeki yapışma kabiliyetleri gösterilebilir. Literatürde yapışma direnci ile yoğunluk arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Öktem ve Karacalıoğlu, 1976). Ayrıca, ağaç malzemenin anatomik yapısı dahil hemen hemen tüm özelliklerinin yapışma direncinde önemli rol oynadığı ve yoğunluk artışının yapışma direncini artırdığı bildirilmiştir (Söğütlü ve Döngel, 2007).

Nano malzeme katkılı farklı tutkallarla laminasyon yapılmış kavak ve kayın odunu örneklerinin yapışma direnci değerleri üzerine tutkal çeşidi faktörünün etkisi önemli

bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de, en yüksek yapışma direnci değeri EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde, en düşük ise PVA tutkalı ile lamine edilmiş örneklerde elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında kavak örnekler için %8, kayın örnekler için %15 fark belirlenmiştir. Bu durum, EPK tutkalının ağaç malzeme bünyesine derinlemesine nüfuz ederek güçlü bir mekanik kenetlenme sağlamasından kaynaklanmış olabilir. Literatürde, EPK tutkalı moleküllerinin, yapıştırdığı malzemenin molekülleri ile arasındaki adezyon gücünün son derece etkili olduğu belirtilmiştir (Burdurlu, 1994). Diğer taraftan, tutkal çeşidi değişmesiyle birlikte yapışma direncinin de tutkal özelliklerine bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir (Perçin, 2012).

Lamine kayın ve kavak deney örneklerinin yapışma direnci değerleri üzerinde katkı maddesi faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Kavak lamine örnekler için, en yüksek yapışma direnci %1 silika ve %0,50 grafen katkılı lamine örneklerde, en düşük ise aralarındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz olmak üzere kontrol (katkısız) ve diğer katkılı lamine örneklerde elde edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında %15 fark belirlenmiştir. Kavak lamine örneklerin yapışma direnci, grafen nanopartikülü oranı artışı ile %9 artarken, silika nanopartikülü oranı artışı ile %15 azalmıştır. Kayın lamine örnekler için, en yüksek yapışma direnci %1 silika ve %0,25 grafen katkılı lamine örneklerde, en düşük ise kontrol (katkısız) lamine örneklerde tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek ortalama değer arasında %14 fark belirlenmiştir. Grafen ve silika katkılı tutkallarla lamine edilmiş kayın örneklerde katkısız (kontrol) tutkallarla lamine edilmiş örneklere göre yapışma direnci sırası ile %10 ve %14'e kadar artmıştır. Her iki katkı maddesi oranı artışı ile kayın lamine örneklerin yapışma direnci grafen için %1 ve silika için %9 azalmıştır. Ayrıca, grafen nanopartikülü oranı artışı EPK tutkalı ile lamine edilmiş örneklerin yapışma direnci değerlerinde artış sağlarken, PVA ve UF tutkallarında belirgin bir etki göstermemiştir. Ancak silika nanopartikülü oranı artışı tüm tutkallarda (PVA, UF ve EPK) yapışma direncini olumsuz bir şekilde etkilemiştir. Önceki bir çalışmada; iki farklı çeşit (SiO_2 , TiO_2) ve üç farklı oranda (%1, %2, %4) nanopartikül takviyeli PVAc tutkalında, düşük oranlardaki nanopartiküllerin yapışma performansını arttırdığı ve tutkal çözeltisi içerisinde daha iyi bir dağılım gösterdiği belirtilmiştir (Bardak, 2016). Nanopartiküllerin yapışma yüzey alanını arttırması ve katmanlar arasındaki tutkalda daha verimli bir ekzotermik kuruma reaksiyonu sağlanmasının ve ayrıca ısı iletimindeki artış ile kurlanma süresinin hızlanmasının adezyon direncini arttırmış olabileceği ifade edilmiştir (Kara, 2018). SiO_2

nanopartikülü katkılı üre formaldehit tutkalı ile elde edilen kompozit malzemelerin yapışma direncinin belirgin olarak arttığını belirtmişlerdir (Jiang ve ark, 2013). Ayrıca, nano grafen ile modifiye edilmiş su bazlı verniklerde, nanopartikül miktarındaki artışa bağlı olarak adezyon direncinin önemli derecede arttığı ve bunun sebebinin nanopartiküllerin vernikle ağaç malzeme arasındaki etkileşim yüzeyini (spesifik yüzey alanını) arttırmış olması ve de karbon temelli yapıya sahip ağaç malzeme ile yine karbon temelli grafenin muhtemel güçlü çapraz bağlar kurmuş olması ile açıklanabileceği bildirilmiştir (Pelit ve Korkmaz 2019).

Öneriler

Bu tez çalışmasının sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, aşağıdaki öneriler sunulabilir.

Çalışmada, farklı tutkallar ile lamine edilmiş kayın ve kavak örneklerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine grafen ve silika nanopartiküllerinin etkileri incelenmiş ve ahşap lamine malzemelerin özelliklerini düşük maliyetlerle iyileştirmek ve kullanım yerindeki performansını artırmak hedeflenmiştir.

Her iki ağaç türü ile elde edilen lamine örneklerde test edilmiş tüm mekanik özellikler (eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yapışma direnci) EPK tutkalında daha yüksek belirlenmiş ve bunu sırası ile UF ve PVA tutkalları izlemiştir. Ayrıca boyutsal kararlılık bakımından UF ve PVA tutkallarına göre yine EPK tutkalında daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, mekanik direncin ve boyutsal stabilitenin önemli olduğu lamine ahşap elemanlarda (özellikle yapısal uygulamalar için) öncelikli olarak EPK tutkalının kullanılması önerilebilir. Ayrıca, ekonomik olması bakımından, su ve nem teması bulunmayan çeşitli uygulamalar için UF tutkalı tercih edilebilir.

Hem grafen hem de silika katkılı tutkallarla lamine edilmiş örneklerde test edilen tüm mekanik özellikler katkısız (kontrol) lamine örneklerle göre artmıştır. Katkı maddesi açısından, eğilme direnci ve elastikiyet modülü grafen katkılı tutkallarla lamine edilmiş örneklerde daha yüksek belirlenirken yapışma direnci, silika katkılı tutkallarla lamine edilmiş örneklerde daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca, her iki nanopartikülün oranındaki artış mekanik özellikler üzerinde genel olarak olumlu bir etki yaparken, boyutsal kararlılıkta olumsuz bir etki göstermiştir. Bu sonuçlara göre, ahşap lamine elemanların mekanik direnç özelliklerini artırmak için silika ve özellikle de grafen nanopartiküllerinin katkı maddesi olarak (grafen için %0,5 ve silika için %2 oranında)

kullanılması önerilebilir. Diğer taraftan, boyutsal kararlılığın ön planda olduğu uygulamalarda nanopartiküllerin daha düşük katkı oranları ile (grafen için %0,25 ve silika için %1 oranında) kullanılması önerilebilir.

Sonuç olarak, grafen ve silika nanopartikülleri ile modifiye edilen tutkalların, daha az iş gücü gerektiren, çevreye duyarlı ve performansı iyileştirilmiş ahşap lamine elemanların üretimi için uygun olduğu söylenebilir.



7. KAYNAKLAR

- Alfadul, S. M., & Elneshwy, A. A. (2010). Use of nanotechnology in food processing, packaging and safety–review. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10(6), 2719-2739.
- Altay, Ç., (2014). Karbon Fiber Destekli (CFRP) Lamine Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Altınok, M. (1995). Sandalye Tasarımında Gerilme Analizine Göre Mukavemet Elemanlarının Boyutlandırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altınok, M., Burdurlu, E. & Özkaya, K. (2008). Deformation Analysis Of Curved Laminated Structural Wood Elements. *Construction And Building Materials*, 22(8), 1643-1647.
- Atmaca, A. (2005). Laminasyonlu Ahşap Kirişlerin Çeşitli Yapılarda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Baltacı, B. (2011). Karaçam Odununun Laminasyon Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Bardak, T. (2016). Nanopartikül Takviyeli Polivinil Asetat (PVAc) Tutkalı İle Üretilen Mobilya Birleştirmelerinin Mekanik Performansının Belirlenmesi Ve Görüntü Analizi, Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Bastani, S. & Darani, M.K. (2015). Ch. 8. Graphene-Based Uv-Curable Nanocomposite Coatings, Milne, W.I., Cole, M., Carbon Nanotechnology, One Central Press, Cheshire, UK.
- Beceren Öztürk, R. & Arıoğlu, N. (2006). Türk Sarıçamından Lamine Ahşap Kirişlerin Mekanik Özellikleri. *İTÜ dergisi/A Mimarlık,Planlama,Tasarım*, 5(2), 25-36.
- Bedeloğlu, A. & Taş, M. (2016). Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 544-554.
- Berkel, A. (1963). Ağaç Malzeme Bükme Tekniği Ve Kullanılış Yerleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt: 13, ,S. 29 Sayı: 1, İstanbul.
- Bobat, A. (1994). Emprenyeli Ağaç Malzemenin Kapalı Maden Ocaklarında ve Deniz İçinde Kullanımı ve Dayanma Süresi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bozkurt Y., & Göker, Y. (1981) Orman Ürünlerinden Faydalanma, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları No: 2840/197.
- Bozkurt, A.Y. & Erdin, N. (2011). Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, 2. Basım, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 334,341. 5029.
- Bozkurt, A.Y., & Göker, Y., Erdin, N., (2000). Odun Anatomisi, İstanbul.Yayın No: 4263, 45-49

- Burdurlu, E. (1994). Ahşap Kökenli Kaplama Ve Levha Üretim – Kullanım Teknolojisi, Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- Burdurlu, E., Kilic, M., Ilce, A. C., & Uzunkavak, O. (2007). 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(8), 1720-1725.
- Candan, Z. (2012). Ahşap Sandviç Panel Ve Laminat Parke Üretiminde Nanopartikül Kullanımı Ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Candan, Z. & Akbulut, T. (2014). Nano-Engineered Plywood Panels Performance Properties, *Composites Part B*, 64, 155-161
- Candan, Z., Akbulut, T. (2015). Physical and mechanical properties of nanoreinforced particleboard composites, *Maderas Ciencia y Thecnología*, 17(2): 319-334.
- Chen, C., Qiu, S., Cui, M., Qin, S., Yan, G., Zhao, H., Wang, L., Ve Xue, Q., (2017). Achieving High Performance Corrosion And Wear Resistant Epoxy Coatings Via Incorporation Of Noncovalent Functionalized Graphene, *Carbon*, 114, 356–366.
- Chung, Y., (1968). Glueability Of Southern Pine Early And Late Wood, *Forest Products Journal*, 18(2) :45-58
- Çiğdem, E. & Perçin, O. (2023). Karbon fiber ve cam fiber ile güçlendirilmiş ısıtılmış uygulanmış lamine kaplama kerestelerin (lvl) bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38 (2), 653-664.
- Çınar, Ü. (2019). Silikon Dioksit Nanopartiküllerinin Larval Dönem Labıdochromis Caeruleus (Fryer, 1956) (Teleostei: Cichlidae) Üzerine Histopatolojik Etkileri, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı. Aydın.
- Davaz, E., & Pelit, H. (2022). Lamine Ahşap Malzemelerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Üzerine Bazı Nanopartiküllerin Etkisi. 10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, 24-26 Aralık 2022, Tam Metin Bildiri, ss. 1080-1086.
- Demirel, E. (2008). Kutu Tipi Mobilya Konstrüksiyonlarının Köşe Birleştirmelerinde Kullanılan Farklı Birleştirme Tutkal Ve Malzeme Türlerinin Birleştirme Mukavemetine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 106 S, Zonguldak.
- DIN EN 204 (2016). Yapısal Olmayan Uygulamalar İçin Termoplastik Ahşap Yapıştırıcıların Sınıflandırılması.
- Doruk Ş., Perçin. O. (2010). Isıtılmış İşlemin Bazı Ağaç Malzemelerin Eğilme ve Basınç Direncine Etkileri, *Politeknik Dergisi*, 13(2), 143-150.
- Döngel, N. (1999). Lamine Ahşap Malzemede Ağaç Türü, Katman Sayısı ve Tutkal Çeşidinin Eğilme Direncine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Dunky, (1998). Urea-Formaldehyde Adhesive For Wood, *International Journal of Adhesion An Adhesives*, 18, 95-107.
- Ebnesajjad, S. (2008). Adhesives Technology Handbook. William Andrew, America. Department Of Civil And Environmental Engineering, Pullman, 108 S.
- Erdin, N. ve Bozkurt, Y., (2013). Odun Anatomisi, İÜ Yayın No:5145, OF Yayın No:506, ISBN 978-975-404-932-9, İstanbul.
- Eroğlu, H., & Usta, M. (2000). Liflevha Üretim Teknolojisi, Fakülte Yayın No: 30, , Ktü Matbaası, Trabzon.
- F P L., (1974). The U.S. Forest Products Laboratory: Working Wonders with Wood, U.S. Government Printing Office, pp. 6.
- Ghanbari, A. & Attar, M.M. (2015). A Study On The Anticorrosion Performance Of Epoxy Nanocomposite Coatings Containing Epoxy-Silane Treated Nano-Silica On Mild Steel Substrate, *Journal of Industrial And Engineering Chemistry*, 23, 145–153.
- Göker, Y., Bozkurt, Y., (1986). “Tabakalı Ağaç Malzeme Teknolojisi”, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 1-336.
- Güler, (1996). Bazı Üretim Faktörlerinin Kızılçam (*Pinus Brutia* Ten.) Kontraplaklarının Teknolojik Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Houston D. T., Rigo, D. & Caudullo, G. (2016) *Fagus sylvatica* and other beeches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: European Atlas of Forest Tree Species. Eds. San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. Publ. Off. EU, Luxembourg. pp. 94–95.
- Huş, S. (1977). Ağaç Malzeme Tutkalları Kitabı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları. İstanbul.
- Jiang, T., Kuila, Y., Kim, N.H., Ku, B.C. Ve Lee, J.H., (2013). Enhanced Mechanical Properties Of Silanized Silica Nanoparticle Attached Graphene Oxide/Epoxy Composites, *Composites Science Technology*, 79, 115–125.
- Kalaycıoğlu, H., & Özen, R. (2009). Yongalevha Endüstrisi, Ders Notları, Trabzon.
- Kara, M. E. (2018). Nanoteknolojik Ürünlerle Modifiye Edilen FF ve MUF Tutkallarının Ahşap Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karabük.
- Kasal, A., Efe, H. ve Dizel, T. (2010). Masif Ve Lamine Edilmiş Ağaç Malzemelerde Eğilme Direnci Ve Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 13(3), 183-190.
- Kesik, H.İ., Çağatay, K., Olgun Ç., Bayraktar D.K. ve Eminoğlu İ. (2014). Farklı Tutkallar İle Yapıştırılmış Bazı Tropik Ağaç Malzemelerin Yapışma Dirençleri, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 155-162.
- Keskin, H. ve Togay, A. (2003). Doğru kayını ve karakavak kombinasyonu ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. *Süleyman Demirel*

- Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 4(2), 101-114. 2007).
- Keskin, H. Ve Togay, A. 2004. Lamine Edilmiş Karaçam Odununda Kesiliş Yönünün Eğilme Direnci Ve Eğilmede Elastiklik Modülüne Etkileri, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14, 13-25.
- Keskin, H. (2001). Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri Ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kim, Y. & Kim, J. (2005). Kore Üniversitesi Yazma Dersini Öğretmek: Süreç ve Tür Yaklaşımını Dengelemek. *Asya EFL Dergisi*, 7(2), 1-15.
- Koç, E. (2023). Bazı Ahşap Verniklerinin Katman Özelliklerine Farklı Isıl İşlem Uygulamalarının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce.
- Köse, L. (2008). Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilen Lamine Ağaç Malzemelerin Yanma Mukavemetinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Kurt, Ş. (2006). Emprenye Edilmiş Lamine Ağaç Malzemelerin (Lvl) Deniz Ortamında Bazı Teknolojik Özelliklerinin Değişimi, Doktora Tezi, Zkü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Kuruçam, G. (2019). Grafen-Metal/Metal Oksit-Polianilin Nanokompozitlerinin Sentezi, Karakterizasyonu Ve Elektrokimyasal Performanslarının Belirlenmesi Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Ankara.
- Lam, S.Y. (2001). Mağaza Ortamının Alışveriş Davranışları Üzerindeki Etkileri: Eleştirel Bir İnceleme. *ACR Kuzey Amerika Gelişmeleri*, 28, 190-197
- Lee, S.W., Kim, S.M., Choi, J. (2009). Genotoxicity and Ecotoxicity Assays Using the Freshwater Crustacean *Daphnia Magna* and The Larva of The Aquatic Midge *Chironomus Riparius* to Screen The Ecological Risks of Nanoparticle Exposure. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 28(1), 86-91.
- Liu, S., Gu, L., Zhao, H., Chen, J. Ve Yu, H. (2016). Corrosion Resistance Of Graphene-Reinforcedwaterborne Epoxy Coatings, *Journal of Materials Science &Technology*, 32, 425–431.
- Öksüz, M. (2018). Grafitten Sentezlenen Grafen Oksit Üzerinden Grafen İplik Eldesi Ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Öktem, E., Karacalıoğlu, T. (1976). Bazı Ağaç Türlerimiz Odunlarının Yapışma Özellikleri Üzerine Araştırmalar”, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları*, Teknik Bülten Serisi No: 81, S. 1-23.
- Örs Y, Keskin H (2008) Ağaç Malzeme Teknolojisi. Gazi Üniversitesi, No: 2000-352, Ankara
- Özcan. Ü., (2019). Epoksi Nanokompozit Kaplamalara Katılan Silika Ve Grafen Nanopartiküllerin Kaplamanın Mekanik Özelliklerine Etkileri

- Özçifçi, A., Altun, S., Yapıcı, F. (2009).“Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi”, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 1315 Mayıs Karabük, 1-5
- Pelit, H. & Korkmaz, M., (2019) Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) odununun yüzey özelliklerine nano-grafen katkılı su bazlı verniklerin etkisi. *Politeknik Dergisi*, 22 (1), 203-212.
- Perçin, O., Özbay, G. ve Ordu, M. (2009). Farklı Tutkallarla Lamine Edilmiş Ahşap Malzemelerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19: 109-120.
- Perçin, O. (2012). Isıl İşlemin Lamine Ahşap Malzemenin Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pizzi, (1994). Advanced Wood Adhesives Technology, Crc Press, New York, USA.
- Qiaojia, L., Guidi, Y., Jinghong, L. and Jiuping, R., (2005). Study on the property of nanoSiO₂/urea formaldehyde resin, *Scientia Silvae Sinicae*, 41(2), 129-135
- Salari, A., Tabarsa, T., Khazaeian, K. & Saraeian, A. (2012). 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.
- Selbo, M.L. (1975). Adhesive bonding of wood. Washington, DC, USDA Technical Bulletin no. 1512, p 124.
- Shukla, S. R., & Kamdem, D. P. (2009). Properties of laboratory made yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) laminated veneer lumber: effect of the adhesives. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67(4), 397-405.
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I., & Seal, S. (2011). Graphene based materials: past, present and future. *Progress in materials science*, 56(8), 1178-1271.
- Söğütü, C., ve Döngel, N. (2007). Polivinilasetat (PVAc) ve poliüretan (PU) tutkalları ile yapıştırılmış bazı yerli ağaçlarda çekmede makaslama dirençleri. *Politeknik Dergisi*, 10(3), 287-293.
- Şanivar, N., Zorlu, İ. (1995). Ağaçları Gereç Bilgisi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 306-314.
- Şeker, C. (2014). Çeşitli malzemeler ile desteklenmiş ahşap lamine elemanların direnç özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şenay, A. (1996) Lamine Edilmiş Ağaç Malzemenin Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tank, T. (1995). Tutkallar Ve Tutkallama Tekniği, İ.Ü.Orman Fakültesi, Yüksek Lisans Ders Notu, İstanbul, 29-25.
- Tout, K. (2000). A review of adhesives for furniture. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 20(4), 269-272.

- TS EN 14080 (2013). Ahşap Yapılar -Tutkallı lamine kereste ve tutkallı masif ahşap-Gereklikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 205 (2017). Yapıştırıcılar - Yapısal olmayan uygulamalar için ahşap yapıştırıcılar - Bindirmeyle yapıştırılmış eklerin çekmeyle kayma mukavemetinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 386 (2006). Tutkallanmış lamine kereste performans özellikleri ve asgarî imalat şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 3891 (1983). Yapıştırıcılar- Polivinil Asetat Esaslı Emülsiyon (Ahşap Malzeme İçin), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS ISO 13061-2 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri. Kusursuz küçük ahşap örneklerin deney yöntemleri - Bölüm 2: Fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS ISO 13061-3 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap örneklerin deney yöntemleri - Bölüm 3: Statik eğilmede nihai dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS ISO 13061-4, (2014). Ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri Küçük şeffaf ahşap numuneleri için test yöntemleri Bölüm 4: Statik bükülmede elastisite modülünün belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS ISO 13061-15. (2017). Ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri. Küçük şeffaf ahşap numuneleri için test yöntemleri, Bölüm 15: Radyal ve teğetsel şişmenin belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulaşan, H., Söğütü, C., & Döngel, N. (2022). Farklı Destek Katmanları İle Güçlendirilerek Lamine Edilmiş Doğu Kayının (*Fagus orientalis* L.) Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Özelliklerinin Belirlenmesi. 4. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu (UMAS'22). 04-06 Mart, 2022, Düzce, pp. 117-123.
- Ulupınar, M., (1998). Lamine Edilmiş Kavak (*Populus Euramericana*)'ın Teknolojik Özelliklerinin Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ulupınar, M., Şenay, A., Güray, A. (1999). Lamine Edilmiş Kavak (*Populus Euramericana*)'ın Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Tayini, I. Uluslararası Mobilya Kongresi ve Sergisi, s. 511-524.
- Uygunoğlu, T. Ve Şimşek, B. (2019). Grafen Oksit Katkılı Harçların Mekanik, Fiziksel Ve Elektriksel Özelliklerinin Araştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 196-204.
- Uzel, M., (2015). Lamine Ahşap Yapı Elemanlarının Mekanik Özelliklerine Destek Katmanı Ve Lamel Kalınlığı Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Var, I. ve Sağlam, S. (2015). Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları, *The Journal of Food*, 40(2), 1-8.
- Xu, HN., Ma, S., Lv, W. and Wang, Z., (2011). Soy protein adhesives improved by

- SiO₂ nanoparticles for plywoods, *Pigment Resin Technol*, 40(3), 191-195.
- Yılmaz, B. (2001). Düz Zıvanalı Ve Yabancı Zıvanalı Boy Birleştirmelerde Farklı Tutkal Kullanımının Çekme Dayanımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zhai, L. L., Ling, G. P., & Wang, Y. W. (2008). Effect of nano-Al₂O₃ on adhesion strength of epoxy adhesive and steel. *International journal of adhesion and adhesives*, 28(1-2), 23-28.
- Zhai, L., Ling, G., Li, J., & Wang, Y. (2006). The effect of nanoparticles on the adhesion of epoxy adhesive. *Materials letters*, 60(25-26), 3031-3033.
- Zhang, R., Lu, Z. L., & Li, J. Q. (2010). Abrasive wear of geometrical surface structures of *Scapharca subcrenata* and burnt-end ark against Soil. *Advances in Natural Science*, 3(2), 213-217.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞESEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Esra DAVAZ
Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Lise	Anadolu Lisesi	Turgutlu Lisesi	2013

YAYINLAR

Pelit, H., Kasar-Davaz, E. & Sönmez, A. (2019). The Effect of Modification with Epoxy and Polyester Resins on Some Mechanical Properties of Pine and Chestnut Woods. *Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 4(4), 621-626.

Davaz, E., & Pelit, H. (2022). Lamine Ahşap Malzemelerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Üzerine Bazı Nanopartiküllerin Etkisi. *10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 24-26 Aralık 2022, Tam Metin Bildiri, 1080-1086.