



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Nano kimyasallarla güçlendirilmiş fenol formaldehit (FF) ve melamin üre formaldehit (MUF) yapıştırıcılarının lamine ahşap elemanların vida çekme direncine etkisi

Impacts of phenol formaldehyde (PF) and melamine urea formaldehyde (MUF) adhesives strengthened with nano chemicals on screw withdrawal strength of laminated wood elements

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Erdal KARA¹, Ayhan ÖZÇİFÇİ²

ORCID¹: 0000-0003-1741-8211

ORCID²: 0000-0001-7733-9959

To cite to this article: Kara M.A. and Ozcifci A., “Nano Kimyasallarla Güçlendirilmiş Fenol Formaldehit (FF) ve Melamin Üre Formaldehit (MUF) Yapıştırıcılarının Lamine Ahşap Elemanların Vida Çekme Direncine Etkisi”, *Journal of Polytechnic*, 28(6): 1893-1904, (2025).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Kara M.A. ve Ozcifci A., “Nano Kimyasallarla Güçlendirilmiş Fenol Formaldehit (FF) ve Melamin Üre Formaldehit (MUF) Yapıştırıcılarının Lamine Ahşap Elemanların Vida Çekme Direncine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 28(6): 1893-1904, (2025).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1632050

Nano Kimyasallarla Güçlendirilmiş Fenol Formaldehit (FF) ve Melamin Üre Formaldehit (MUF) Yapıştırıcılarının Lamine Ahşap Elemanların Vida Çekme Direncine Etkisi

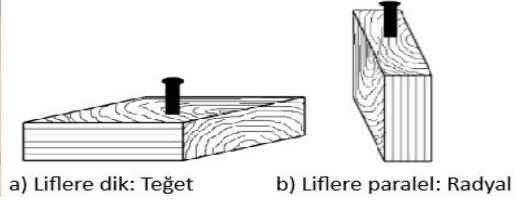
Impacts of Phenol Formaldehyde (PF) and Melamine Urea Formaldehyde (MUF) Adhesives Strengthened with Nano Chemicals on Screw Withdrawal Strength of Laminated Wood Elements

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Ahşap lamine malzemelerin radyal, teğet ve yüzeye dik vida tutma mukavemeti üzerinde silisyumdioksit (SiO_2) ve titanyumdioksit (TiO_2) nano kimyasallarıyla güçlendirilmiş fenol formaldehit (FF) ve melamin üre formaldehit (MUF) tutkallarının etkisi araştırılmıştır/ The effect of phenol formaldehyde (FF) and melamine urea formaldehyde (MUF) adhesives reinforced with silicon dioxide (SiO_2) and titanium dioxide (TiO_2) nano chemicals on the radial, tangential, and surface perpendicular screw holding strength of wood laminate materials was investigated.
- ❖ Çalışmada; ahşap kompozit elemanlar SiO_2 ve TiO_2 ile güçlendirilen yapıştırıcılar ile birleştirildiğinde vida tutma mukavemeti ahşap kontrol örneklerine göre daha yüksek vida tutma direncine sahip olduğu tespit edilmiştir / In the study, it was found that when wood composite elements were bonded with adhesives reinforced with SiO_2 and TiO_2 , they had higher screw holding strength than wood control samples.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Sentetik reçineler uygun nanoteknolojik ürünlerle modifiye edilerek ahşap kompozitlerde kullanılması halinde mekanik özellikler ve vida tutma özelliklerinde daha yüksek dirençli lamine malzemeler elde edilebilir. (When synthetic resins are modified with suitable nanotechnological products and used in wood composites, laminated materials with higher resistance in terms of mechanical properties and screw retention properties can be obtained)



Şekil 3. Teğet ve radyal yönde vida çekme direnci testi. (Screw withdrawal strength test in tangential and radial directions).

Amaç (Aim)

SiO_2 ve TiO_2 ile güçlendirilen FF ve MUF tutkalları ile yapıştırılan ahşap lamine elemanların vida tutma dirençlerinin belirlenmesi / Determination of screw withdrawal of wood laminated elements bonded with FF and MUF adhesives reinforced with SiO_2 and TiO_2

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Deney örnekleri TS EN 386 standartında göre hazırlanmıştır. Kavak ve göknar odunlarından alınan örnekler 800x1000x1,3 mm ölçülerinde ince levhalar ile 100x1000x5,5 mm ebatlarında ahşap paneller elde edilmiştir. Specimens were produced in accordance with TS EN 386 standard. Veneers with dimensions of 800x1000x1.3 mm and panels with dimensions of 100x1000x5.5 mm were obtained from the sapwood parts of poplar and fir by the cutting and peeling method.

Özgünlük (Originality)

Nanoteknolojik ürünlerle yapısal amaçlı kullanım yerinde vida tutma dirençleri yüksek GLULAM ve LVL gibi malzemelerin yapılabilirliği belirlenmiştir/ It has been found that laminated materials such as GLULAM and LVL with high screw withdrawal strength can be made with nanotechnological products for structural purposes.

Bulgular (Findings)

Göknar ve kavak ağaçlarından elde edilen malzemelerin vida tutma dirençlerini iyileştirmek amacıyla nano ürünler TiO_2 , SiO_2 modifiye edilmiş FF ve MUF tutkalları ile yapıştırılan GLULAM ve LVL lamine malzemeler elde edilmiştir / GLULAM and LVL laminates bonded with nanoproducts TiO_2 , SiO_2 modified PF and MUF adhesives have been obtained to improve the screw withdrawal strength of GLULAM ve LVL produced from fir and poplar woods.

Sonuç (Conclusion)

Sonuç olarak nanoteknolojik ürünlerle yapısal amaçlı kullanım yerinde vida tutma dirençleri yüksek GLULAM ve LVL gibi lamine malzemelerin yapılabilirliği görülmüştür/ As a result, laminated materials such as GLULAM and LVL with high screw withdrawal strength can be produced with nanotechnology products for structural applications.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Nano Kimyasallarla Güçlendirilmiş Fenol Formaldehit (FF) ve Melamin Üre Formaldehit (MUF) Yapıştırıcılarının Lamine Ahşap Elemanların Vida Çekme Direncine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mehmet Erdal KARA¹, Ayhan ÖZÇİFCİ^{2*}

¹Inonu Mahallesi, Alparslan Türkeş Bulvarı, Altınşehir Sitesi, No: 7/68, Kastamonu, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Aksaray Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received :03.02.2025 ; Kabul/Accepted : 21.07.2025 ; Erken Görünüm/Early View: 18.08.2025)

ÖZ

Bu çalışmada lamine ahşap malzemelerin radyal, teğet ve yüzeye dik vida çekme özellikleri üzerine silisyumdioksit (SiO₂) ve titanyumdioksit (TiO₂) nano ürünlerle güçlendirilmiş fenol formaldehit (FF) ve melamin üre formaldehit (MUF) tutkallarının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* mattf.) ve Titrek kavak (*Populus tremula*) ahşap elemanlardan paneller %2 ve %4 oranında SiO₂ ve TiO₂ nanoteknolojik kimyasallarla güçlendirilen FF ve MUF reçineler ile yüksek frekanslı preste yapıştırılarak lamine kaplama kereste (LVL) ve tutkallanmış lamine kereste (GLULAM) kompozit paneller üretilmiştir. Üretilen levhaların vida tutma mukavemeti TS 10506'ya göre belirlenmiş ve kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre SiO₂ ve TiO₂ nanoteknolojik kimyasallar kompozit levhaların vida tutma dirençlerine daha iyi etki yaptı tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına varyans analizi ve Duncan testleri uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre en yüksek vida tutma direnci %2-SiO₂ nano ürün ile güçlendirilen ve MUF ile tutkallanan kavak-LVL deney örneklerinde 8,31 Nmm² bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda, nano ürünlerle güçlendirilen yapıştırıcıların kullanılmasının kompozit malzemelerin kontrol örneklerine göre daha yüksek vida tutma mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; iç ve dış mekânlarda kavak ahşap ürünleri TiO₂ve SiO₂ kimyasalları ile güçlendirilen FF ve MUF tutkalı ile teğet yönde yapıştırılarak kaliteli GLULAM ve LVL ahşap kompozitleri kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknolojik ürün, FF ve MUF tutkal, lvl, glulam, vida tutma direnci.

Impacts of Phenol Formaldehyde (PF) and Melamine Urea Formaldehyde (MUF) Adhesives Strengthened with Nano Chemilas on Screw Withdrawal Strength of Laminated Wood Elements

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of SiO₂ and TiO₂ modified phenol-formaldehyde (PF) and melamine-urea-formaldehyde (MUF) glues and nanoproducts on radial, tangential and perpendicular screw withdrawal strength of wood laminates. For this purpose, LVL and GLULAM materials were obtained by gluing the test specimens arranged from Uludağ fir (*Abies bornmülleriana* mattf.) and aspen (*Populus tremula*) wood species with PF and MUF glues adjusted with 2% and 4% SiO₂ and TiO₂ nanoproducts in a high frequency press. The screw withdrawal strength of the resulting laminates was determined according to TS 10506 and compared with control samples. In conclusion the use of nano products had a positive effect on screw withdrawal behavior. By comparing the test results with the in-group control samples, the nano product effect level of each experiment was determined. Accordingly, the highest screw withdrawal strength (8.31 Nmm²) was found in poplar-LVL specimens modified with 4% SiO₂ nanoproduct and bonded with MUF adhesive. Consequently, it was resolutely that laminated materials obtained by using adhesives modified with nanoproducts have higher screw withdrawal strength than the control samples. In conclusion, high-quality GLULAM and LVL wood composites can be used in interior and exterior area by bonding poplar wood products in the tangential direction with PF and MUF glues strengthened with TiO₂ and SiO₂ chemicals.

Key Words: Nanotechnological product, PF and MUF glue, LVL, Glulam, Screw holding resistance.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nanoteknolojinin bilimsel yaklaşımı ile ahşap kompozit malzeme üretiminin daha ekonomik olduğu görülmüştür. Bu açıdan nanoteknoloji kimyasalları ile ahşap türevi levhalar ve kâğıt ürünleri için nano boyutta lignoselüloziklerin çağdaş türlerine kadar uzanan bütün

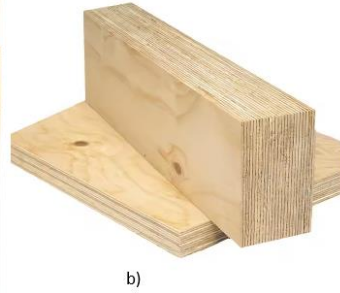
yönleriyle orman ürünleri bilimsel açıdan geliştirilmektedir [1-2]. Nano ürün desteği ile yeni yapıştırıcıların geliştirilmesi ahşap malzeme bilimi ve mühendisliğinin hedeflediği güncel konulardandır [3]. Ahşap elemanların büyük hacimli ve eğri konumlarda sektörde uygulanması teknik açıdan zorlaşmaktaydı.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ayhanozcifici@aksaray.edu.tr

Ancak, presleme ve tutkallama teknolojisi ile çok tabakalı malzeme üretim tekniği olan laminasyon sistemi ahşap kompozit elemanların kullanımını kolaylaştırmıştır. Böylece güncel teknolojik presleme yöntemleri ile ahşap temelli lamine levhaların iç ve dış mekanlarda kullanımı da artmıştır.

Lamine uygulamada ağaç malzemeden sonra en önemli yapı elemanı yapıştırıcılardır. Günümüzde laminasyon yöntemiyle teknolojik yeni ahşap malzeme türlerinden GLULAM, LVL, PSL ve LSL, , üç katmanlı çapraz lamine ahşap levhalar (CLT) gibi teknolojik yapı malzemeleri imal edilmektedir [4-5]. Bu teknik ile farklı boyutlara sahip ağaç malzemelerden sentetik yapıştırıcılar ve nanoteknolojik kimyasalların karışımıyla yüksek kalitede istenilen şekil ve boyutlarda kaliteli ahşap kompozit malzeme elde edilebilmektedir [6]. Bunlara örnek laminasyon malzemeler Şekil 1'de GLULAM (a) ve çok katmanlı LVL (b) olarak verilmiştir.

Levha üretiminde kullanılan FF reçinesin modifiye etmek için içerisine %1, %3, %5 oranında nanokil eklenmiş ve yönlendirilmiş levha (OSB) üretilip örneklerin fiziksel ve mekanik dirençleri test edilmiştir. Test sonuçlarına göre %5 oranında nanokil kullanılaban levhaların vida çekme dirençlerinde %20-25 oranında artış tespit edilmiştir [8]. Başka bir çalışmada ÜF ve MÜF yapıştırıcılarına %1 ve %3 SiO₂, Al₂O₃ ve nano ZnO ilave edilerek güçlendirilen ahşap esaslı paneller ve laminat parkeler üretilmiştir. Bu çalışma sonucuna göre vida çekme mukavemetinde en yüksek sonuçlar %1 SiO₂ ve Al₂O₃ ile imal edilen örneklerde belirlenmiştir [9]. Literatürde, %1,5, %3 ve %4,5 oranında güçlendirici kil dolgu materyalleri kullanılarak ahşap plastik nanokompozitler üretilmiştir. Deney verilerine göre nano kimyasallar lamine levhaların fiziksel, mekanik ve morfolojik özelliklerine olumlu etki yaptığı görülmüştür [10].



Şekil 1. a) GLULAM ve b) çok katmanlı LVL malzemeler (a: GLULAM and b: multilayer LVL materials) [7]

2. MALZEME ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

2.1. Ağaç Malzeme, Tukul ve Nano Kimyasallar (Wood Material, Adhesive and Nano Chemicals)

Deneylerde kullanılan lamine kaplama kereste (LVL) ve tutkallanmış lamine kereste (GLULAM) ahşap test panelleri kavak (*Populus tremula L.*) ve uludağ göknarı (*Abie bornmüllleriana M.*) türlerinden üretilmiş olup,

Ahşap esalı kompozitlerden OSB 'nin vida tutma direncini belirlemek için yapılan deneysel bir araştırmada; vida çapı, vida boyu ve levha yoğunluğunun önemli olduğu bulunmuştur [11]. Ağaç malzemenin yoğunluğu arttıkça vida çekme mukavemetinin de arttığını belirtilmiştir. Aynı zamanda radyal yönde vida tutma direncinin teğet yönde vida çekme mukavemetine göre yüzeye dik yönde vida tutma mukavemetinden daha fazla olduğunu ifade edilmiştir [12]. Kayın ve kavak soyma kaplamalarını FF tutkalı ile yapıştırarak üretilen lamine panellerin teğet yönde vida tutma direncinin radyal yönden daha fazla olduğunu belirtmiştir [13]. Literatürde farklı ahşap çeşitlerinden üretilen teknolojik lamine malzemelerde en yüksek vida tutma direncine teğet yönde kayın panellerde görülmüştür [14]. Celebi ve Kılıç (2007), kavak ve kayın kaplamalarını poliüretan ve PVAc yapıştırıcıları kullanarak elde ettiği kompozitlerde en yüksek vida tutma direncine radyal yönde elde etmiştir [15]. Farklı vida tipleri ile yapılan bir incelemede en fazla vida çekme direnci lifler dik açıda kayın levhalarda 20x35 mm vida ile (17,67 N/mm²), en az teğet açıda 20x20 mm vida ile (4,44 N/mm²) ulaşılmıştır [16].

Orman ürünleri endüstrisinde nano ürün kullanımı oldukça yeni bir konu olduğu için nano ürünlerle yapısal amaçlı lamine malzemeler ile ilgili çalışmalar genel itibarıyla sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada lamine ağaç malzemelerin vida tutma direncinin kullanım yerindeki performansını arttırmak ve güçlendirmek amacıyla yapıştırıcıların içerisine nano ürünlerin eklenmiştir. Böylece göknar ve kavaktan üretilen deney örnekleri TiO₂ ve SiO₂ nano kimyasallarla güçlendirilerek, FF ve MUF yapıştırıcıları ile yüksek frekanslı preslerde yapıştırılıp GLULAM ve LVL paneller elde edilmiştir. Nano kimyasallarla güçlendirilen test örneklerinin vida tutma direnci test sonuçları kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

Kastamonu Taşköprü bölgesinden alınmıştır. Ahşap levhaların teknolojik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden biri de tutkaldır. Deney örneklerinin üretiminde yapıştırıcı olarak günümüzde yaygın olarak kullanılan termoset özellikli reçinelerden FF ve MUF kullanılmıştır. FF:Polifen 47 ve MÜF:P03 yapıştırıcıları Polisan Kimya A.Ş'den alınmış olup, karakteristik yapıları Çizelge 1'de sunulmuştur [17].

Çizelge 1. Reçine ve nano ürünlerin özellikleri (Properties of resins and nanoproducts)

Ürün Özellikleri	Birim	MÜF	FF
Ürün İsmi		Müf P03	Polifen 47
Şeffaflık		Beyaz sıvı	Kırmızı sıvı
Katı Miktarı	%	54-56	46-48
Formaldehit / Üre Mol Oranı	%	1,15	
Yoğunluk (20 °C)	g/cm ³	1,230-1,240	1,200-1,215
Vizkosite (20 °C)	Cps	100-250	300-600
Akış Süresi (20 °C, FC4)	sn	20-40	50-90
Jel Süresi (100 °C) (%10'luk NH ₄ Cl)	sn	70-110	600-1200
Ph		8,5-9,5	10,5-13
Serbest Formaldehit Oranı	%	0,10 max	1,0 max
Su Duyarlılığı (20 °C)	°C	–	Sonsuz
Bekletme Süresi (20 °C, gün)	gün	30-45	30-45

Tutkalların modifiye edilmesinde nanoteknolojik ürün olarak sektörde yaygın kullanılan TiO₂ ve SiO₂ kullanılmış olup, ticari MKnano firmasından temin

edilmiştir. Nano ürünlerin özellikleri Çizelge 2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Nano kimyasallara ait teknik bilgiler (Technical information on nano chemicals) [18]

Nano Ürün Özellikleri	Birim	TiO ₂	SiO ₂
Görünümü		Beyaz toz	Beyaz-Gri toz
Yoğunluk (20 °C)	g/cm ³	3,5-4,2	2,34
Erime Noktası	°C	1830	1420
Safılık	%	99	99,9
Parça boyutu	nm	50	15
Spesifik yüzey alanı	m ² /g	150	650
pH		5-10	

2.2. Yöntem (Method)

2.2.1. Ahşap lamine elemanların ve deney

örneklerinin hazırlanması (Preparation of wooden laminated elements and test samples)

Ahşap lamine elemanlar TS EN 386 standartında göre hazırlanmıştır [19]. Kavak ve göknar odunlarından kesme şeklinde 800x1000x1,3 mm ölçülerinde kaplama ve 100x1000x5,5 mm ebatlarında ahşap paneller elde edilmiştir. Elde edilen örnekler 20±2°C ve %65±5 bağıl nemde sabit ağırlığa ulaşınca kadar tutulduktan sonra yüzey zımparalama yapılarak tutkallama işlemine hazır hale getirilmiştir. %2 ve %4 oranında SiO₂- TiO₂ nano ürünler ile FF-MUF yapıştırıcısı (bu faktörler Doktora tez çalışmasında da kullanıldığı için) 5 dk süreyle el mikseri ile karıştırıldıktan sonra % 05 duyarlılık terazide tartılarak m²'ye 200 g gelecek durumda fırçayla tatbik edilmiştir. Her deney grubu için 10 tane örnek radyal yönler aynı boyuta gelecek şekilde dikkat edilerek hazırlanmıştır.

Deney örneklerinin preslenmesi işlemi TS EN 386 esasına göre SONAR marka yüksek frekanslı preslerde yapılmıştır. Yüksek frekanslı preslemede yapıştırma işlemi alüminyum kaplı plakaların anot (+) katot (-) kutupları arasında gerçekleşen manyetik alan etkisiyle yapılmıştır. Bu aşamada oluşan yüksek ısıyla polimerler reaksiyonu daha hızlı olmakta ve presleme süresi kısalmaktadır. Deney örnekleri LVL için 800x1000x1,3 mm ebatlarında kaplamalardan 17 kat (1,3x17=22,1 mm), GLULAM için 100x1000x5,5 mm ebatlarında

ahşap panellerden 4 kat (5,5x4=22 mm) üretilmiştir. Presleme için hazırlanan deney örnekleri 130±5 °C sıcaklık ve 0,55 N/mm² basınçta tutulmuştur. LVL için baskı süresi 3 dk, GLULAM için katmanlar arası fazla kalın olduğundan 6 dk bekletilmiştir.

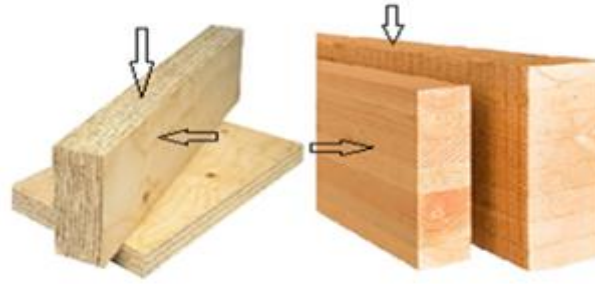
Deney örnekleri TS EN 325 standardına göre 20±2°C ve 65±5 bağıl nemde iklimlendirilmiş ve her test türüne göre 10’ar adet örnek alınmıştır. Örneklerin tam kuru ve hava kuru yoğunluğu belirlenirken TS EN 323-1 (1999) [20], örneklerin boyutlarının belirlenmesinde TS EN 325 (1999) [21], numune alma işlemlerinde ise TS EN 326-1 (1999) [22] standartları esas alınmıştır.

2.3. Vida Çekme Direnci Deneylerinin Yapılışı (Screw Withdrawal Strength Tests)

Lamine ağaç malzemeler LVL ve GLULAM’ın vida tutma direnci testleri standartlarda uygun olarak SFC Entegre Orman Ürünleri Sanayii ve Ticaret A.Ş laboratuvarlarında yapılmıştır. Vida çekme direnci TS EN 320 (2011) standardına göre belirlenmiştir. 50x75x20 mm ölçülerindeki örnekler 20±2 °C ve % 65±5 bağıl nem şartlarında %12 rutubete getirilmiştir [23]. Deney örneklerine vida tutturma işlemi 3 farklı yönde (teğet, radyal ve yüzeye dik yönlerde) olacak şekilde belirlenmiştir. Örneklerle uygulanan vidalar 3,8x40 mm, vida adımı 1,4 mm ölçülerindedir. Ozciftci ve Doganay (1999)’ın yaptığı benzer bir çalışmaya göre vidalama aşamasında vida yuvalarında çatlamaların olmaması için örneklerle önce vida çapının %80’i kadar kılavuz delikler

açılmış sonra vidalama işlemi yapılmıştır [16]. Vidalar universal test cihazında 5 mm/dk sabit hızla dikey ekseninde test edilmiştir. Deney örneklerinin teğet, radyal

ve yüzeye dik açılardaki vida çekme dirençlerine ilişkin vida uygulama yönleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Lamine (LVL) ve GLULAM

Şekil 2. Lamine ve GLULAM örneklerde yüzeylere dik vida çekme yönleri (Screw pulling directions perpendicular to the surfaces in laminate and GLULAM samples)

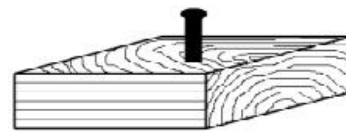
GLULAM deney örneklerinin teğet, radyal ve yüzeye dik açıda vida çekme mukavemeti örnekleri Şekil 3’te gösterilmiştir.

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

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

Burada;

$\sigma_{\text{ç}}$ = Çekme gerilmesi (N/mm²),
 F_{max} = Kopma anındaki kuvvet (N),
 A = Yapışma yüzey alanı (mm²)
 h = Girme derinliği (mm),
 $h(2\pi r)$ = Silindir alanı(mm²), dir.



a) Liflere dik: Teğet

b) Liflere paralel: Radyal

Şekil 3. Yüzeylere dik yönde vida çekme test örnekleri (Screw withdrawal strength test in tangential and radial directions) [24].

2.4. İstatistiksel Değerlendirme (Statistical Analysis)

Deney sonuçları istatistik analiz programı SPSS 20 paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizlerde lamine kompozitleri oluşturan ahşap malzeme üç yönüyle farklı özellikler gösterdiğinden testlerde değişik vidalama yönleri tercih edilmiştir. Faktörel olarak lamine cinsi, yapıştırıcı türü, nano ürün çeşidi ile uygulama yönüne göre farklılıkların vida çekme direnci üzerine etkileri de çoklu varyans analizi (Multivariate analysis of variance: MANOVA) yapılarak belirlenmiştir. Gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek

için DUNCAN testi uygulanmıştır. Ahşap lamine malzemelere yönelik yapılan testler ve uygulanan standartlar Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Deneylerde lamine cinsi, yapıştırıcı türü, nano ürün türü ile uygulama yönü için her bir faktöre göre farklılıklar olup olmadığını belirlemek için uygulanan varyans analizi Çizelge 4’te, akabinde Duncan testi sonuçları Çizelge 6’da sunulmuştur. İstatistiksel analizlerin uygulanması aşamasında kompozitlerin katman kalınlıkları farklılık oluşturacağı için analiz dışı tutulmuştur.

Çizelge 3. Çalışma kapsamında uygulanan testler ve ilgili standartlar (Tests applied within the scope of the study and relevant standards)

Deney Adları	Birim	Örnek ölçüleri (mm)	Standart No
Yüzey ölçüleri	mm	50x50x20	TS EN 326-1
Örnek kesiti	mm	50x100x20	TS EN 386
Yoğunluk Tayini	g/cm ³	20x20x20	TS EN 323-1 (1999)
Vida Tutma Direnci	N/mm ²	50x75x20	TS 320

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Teğet Yönde Vida Tutma Direnci (Screw Withdrawal Strength in Tangential Direction)

Nano ürünlerle işlem görmüş FF ve MÜF tutkalları ile yapıştırılan lamine ve GLULAM malzemelerin ortalama yoğunlukları kontrol örneklerine ($0,55 \text{ g/cm}^3$) göre ortalama %4 ile %2 TiO_2 nano ürün ile modifiye edilen ve MÜF tutkalı ile yapıştırılan göknar-LVL deney örneklerinde ($0,57 \text{ g/cm}^3$) belirlenmiştir. Ayrıca, her iki ağaç ve tutkal türünden elde edilen lamine malzemelerde tüm nano ürün kullanım oranlarında LVL'nin

GLULAM'a göre daha yüksek yoğunluk artışlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum LVL deney örneklerinin katman sayısına bağlı olarak birim hacimde daha fazla tutkal içermesi ve üretim esnasında uygulanan pres basıncının yoğunlaştırma etkisi ile açıklanabilir.

$20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında %12 rutubete getirilen deney örneklerinin lamine çeşidi, ağaç cinsi, yapıştırıcı türü ve nano ürün uygulamasının teğet yönde vida çekme direncine etkilerine ilişkin ortalama değerleri Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Deney faktörlere göre teğet yönde vida çekme direncine ait ortalamalar (Averages of tangential screw pull-out resistance according to test factors)

		Ortalama (N/mm ²)	p ≤ 0,05
Ahşap Türü	Göknar	5,70	0,000
	Kavak	6,53	
Lamine Eleman	GLULAM	5,46	0,000
	LVL	6,77	
Yapıştırıcı	FF	5,99	0,061
	MUF	6,23	
Nano Ürün	Kontrol	5,99 (a)	0,566
	TiO ₂ -%2	6,09 (a)	
	TiO ₂ -%4	6,25 (a)	
	SiO ₂ -%2	6,24 (a)	
	SiO ₂ -%4	6,00 (a)	

Çizelge 4'teki ortalama değerlere yapılan istatistik analizlere göre örneklerin teğet yönlerindeki vida tutma dirençleri $p \leq 0,05$ kuralı içerisinde yapıştırıcılar ve nano ürünler arasında önemli bir fark görülmemiştir. Ahşap türü ve lamine çeşitleri kendi içerisinde farklılıklar

önemli bulunmuştur. Bunların herbirinin kendi içerisindeki farklılıkları görmek için teğet yönde vida çekme direnci değerlerine MANOVA testi ve DUNCAN testleri uygulanmış, sonuçları Çizelge 5 ve Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. Teğet yönde vida çekme direnci analiz verileri (Tangential screw pull-out resistance analysis data)

Varyasyon	Kareler	Serbestlik	Kareler	F	Önem
Kaynağı	Toplamı	Derecesi	Ortalaması	Hesap	Düzeyi
Düzeltilmiş Model	309,674 ^a	39	7,940	20,320	0,000
Kesişim	11965,099	1	11965,098	30619,125	0,000
Ahşap Cinsi	54,534	1	54,533	139,551	0,000
Lamine Eleman	135,617	1	135,616	347,047	0,000
Yapıştırıcı	4,595	1	4,594	11,755	0,001
Nano Ürün	3,898	4	0,974	2,493	0,044
Ahşap Cinsi * Lamine Eleman	38,90	1	38,92	99,599	0,000
Ahşap Cinsi * Yapıştırıcı	3,640	1	3,642	9,321	0,003
Ahşap Cinsi * Nano Ürün	7,445	4	1,861	4,762	0,001
Lamine Eleman * Yapıştırıcı	28,180	1	28,179	72,112	0,000
Lamine Eleman * Nano Ürün	7,354	4	1,838	4,704	0,001
Yapıştırıcı * Nano Ürün	0,440	4	0,11	0,281	0,890*
Ahşap Cinsi * Lamine Eleman * Yapıştırıcı	0,990	1	0,986	2,522	0,114*
Ahşap Cinsi * Lamine M. * Nano Ürün	4,468	4	1,117	2,858	0,023
Ahşap Cinsi * Yapıştırıcı * Nano Ürün	5,565	4	1,391	3,56	0,008
Lamine Eleman * Yapıştırıcı * Nano Ürün	9,74	4	2,433	6,225	0,000
Ahşap Cinsi * Lamine Eleman * Yapıştırıcı * Nano Ürün	4,310	4	1,077	2,757	0,028
Hata	109,417	280	0,391		
Toplam	12384,190	320			
Düzeltilmiş Toplam	419,10	319			

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

Varyans analiz sonuçlarına göre lamine malzemenin teğet yönde vida tutma direnci bakımından yapıştırıcı-nano ürün ve ahşap türü-lamine eleman-yapıştırıcı arasındaki etkileşimler haricinde tüm etkileşimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş olup, bazı gruplarda ise etkileşimler önemsiz çıkmıştır ($p \leq 0,05$). Çizelge 5'e göre yapıştırıcı çeşidi ve nano ürünler kontrol örnekleri ile kıyaslandığında teğet yönde vida çekme direnci verileri arasında bir etkileşim olmamıştır ($p \leq 0,05$). Bunlara ilişkin Duncan testi sonuçları Çizelge 6'da gösterilmiştir. Lamine malzemelerin teğet yönde vida çekme tutma değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Lamine ahşap örneklerin teğet yönünde vida çekme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak sadece ahşap türü ve lamine malzeme türünün

anlamlı bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Nano ürün ve tutkal türünün bu özellik üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Test sonuçları kontrol örnekleri ile kıyaslandığında, vida çekme direnci en fazla 8,31 N/mm² ile % 6,2 artış gösteren ve % 2 SiO₂ ile güçlendirilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL örneklerinde; en az 4,43 N/mm² ile MUF kullanılan kavak-GLULAM kontrol örneklerinde bulunmuştur. Bunun sebebi kavak kaplama katlarının arasında pres sıkıştırma miktarının daha yüksek olması ve kaplama katları arası yapışmada yapıştırıcının da bulunması düşünülebilir. Lamine ahşap panellerin deney verilerine göre teğet yönde vida çekme direnci üzerine özellikle kavak türünün etkisi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürde belirtilen çalışmalarla [8-9, 11-14] uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Teğet yönde vida tutma direnci değerlerine ait ortalama veriler (Average data of screw holding resistance values in tangential direction)

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

3.2. Radyal Yönde Vida Tutma Direnci (Screw Holding Strength in Radial Direction)

Lamine örneklerin radyal yönde vida tutma değeri üzerine ağaç türü, tutkal çeşidi ve nano ürün etkilerinin çekme direnci test sonuçları Çizelge 7’de gösterilmiştir. Çizelge 7’ye göre radyal yönde vida çekme mukavemeti

sonuçları istatistiksel olarak ($p \leq 0,05$) incelendiğinde sadece nano ürünler arasında önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Diğer faktörler arasındaki farklılıkları belirlemek için MANOVA testi (Çizelge 8) bu verilerin sıralanması için de sonuçlara DUNCAN testi (Çizelge 9) uygulanmıştır.

Çizelge 7. Radyal yönde vida çekme mukavemeti sonuçları (Results of screw tensile strength in radial direction)

		Ortalama (N/mm ²)	$p \leq 0,05$
Ahşap	Gökmar	4,42	0,000
	Kavak	5,33	
Lamine Malzeme	Glulam	4,54	0,000
	LVL	5,21	
Yapıştırıcı	FF	4,72	0,005
	MUF	5,04	
Nano Ürün	Kontrol	4,70 (a)	0,191
	TiO ₂ -%2	4,71 (a)	
	TiO ₂ -%4	5,03 (a)	
	SiO ₂ -%2	4,97 (a)	
	SiO ₂ -%4	4,96 (a)	

Çizelge 8. Radyal yönde vida tutma mukavemeti istatistik analiz sonuçları (Statistical analysis results of screw retention strength in radial direction)

Varyasyon	Kareler	Serbestlik	Kareler	F	$P \leq 0,05$
Kaynağı	Toplamı	Derecesi	Ortalaması	Hesap	
Düzeltilmiş Model	194,719 ^a	39	4,993	10,331	0,000
Kesişim	7608,901	1	7608,901	15743,953	0,000
Ahşap Türü	66,394	1	66,394	137,378	0,000
Lamine Malzeme	35,312	1	35,312	73,065	0,000
Yapıştırıcı	8,135	1	8,135	16,831	0,000
Nano Ürün	6,319	4	1,58	3,269	0,012
Ahşap Türü * Lamine Malzeme	39,663	1	39,663	82,069	0,000
Ahşap Türü * Yapıştırıcı	8,587	1	8,587	17,768	0,000
Ahşap Türü * Nano Ürün	3,256	4	0,814	1,684	0,155*
Lamine Malzeme * Yapıştırıcı	3,536	1	3,536	7,317	0,007
Lamine Malzeme * Nano Ürün	5,507	4	1,377	2,849	0,024
Yapıştırıcı * Nano Ürün	2,146	4	0,536	1,11	0,354*
Ahşap Türü * Lamine Malzeme * Yapıştırıcı	5,284	1	5,284	10,933	0,001
Ahşap Türü * Lamine Malzeme * Nano Ürün	2,316	4	0,579	1,198	0,310
Ahşap Türü * Yapıştırıcı * Nano Ürün	6,587	4	1,647	3,407	0,009
Lamine Malzeme * Yapıştırıcı * Nano Ürün	0,167	4	0,042	0,087	0,986*
Ahşap malzeme Türü*Lamine Malzeme* Yapıştırıcı *Nano Ürün	1,51	4	0,378	0,781	0,536*
Hata	135,321	280	0,483		
Toplam	7938,94	320			
Düzeltilmiş Toplam	330,04	319			

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

İstatistiksel test verilerine göre radyal yönde vida çekme direnci üzerinde ahşap türü, yapıştırıcı çeşidi, nano ürün ve lamine elemanlar açısından incelendiğinde Ahşap Türü - Nano Ürün, Yapıştırıcı - Nano Ürün, Ahşap Türü - Lamine Malzeme - Nano Ürün, Lamine Malzeme - Yapıştırıcı - Nano Ürün, Malzeme -Yapıştırıcı -Nano Ürün faktörlerinin kendi aralarındaki etkileşimleri önemsiz bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Farklılıkların sıralamasını belirlemek için uygulanan DUNCAN testi sonuçları Çizelge 9’da sunulmuştur.

Deney örneklerinin radyal yönde vida çekme verileri varyans analizi ile kıyaslanmış ve gruplar arasında

istatistiksel açıdan önemli farklar tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Örneklerin radyal yönde vida çekme direnci üzerine ahşap ve yapıştırıcı çeşidinin istatistiksel olarak önemli çıktığı, kimyasalların birbirinden farksız olduğu görülmüştür. Kontrol örnekleri ile kıyaslandığında vida çekme direnci en fazla vida tutma direnci 6,78 N/mm² ile %17 daha iyi ve %4 SiO₂ nano ürün ile modifiye edilen ve MUF tutkalı kullanılan kavak-LVL’lerde görülmüştür. En düşük 3,87 N/mm² ile %1,6 düşüş gösteren %2 SiO₂ FF tutkalı kullanılan gökmar-GLULAM levhalarda görülmüştür.

Çizelge 9. Radyal yönde vida tutma direnci değerlerine ait ortalama sonuçlar (Average results of screw holding resistance values in radial direction).

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

Bunun nedeni, kavak kaplama katmanlarının yüksek pres sıkıştırma faktörü ile katlar arasında bağlanmayı arttırması olarak açıklanabilir. Test sonuçlarından radyal yönde vida tutma mukavemeti üzerine ahşap ve yapıştırıcı çeşidinin etkisi olduğu ve bundan dolayı kavak odunu ve MUF tutkalı ile yüksek vida çekme direncine haiz LVL malzeme imal edilebileceği ifade edilmiştir. Elde edilen bulguların literatürde yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür [8-9,11-12,15].

3.3. Liflere Dik Yönde Vida Tutma Direnci (Screw Holding Strength in Perpendicular Direction)

Deney örneklerinin lamine çeşidi, ahşap cinsi, yapıştırıcı türü ve nano ürün uygulamasının liflere dik yönde vida çekme direncine etkilerine ilişkin ortalama değerleri Çizelge 10'da gösterilmiştir.

Çizelge 10'a göre liflere dik yönde vida çekme mukavemeti sonuçları istatistiksel olarak ($p \leq 0,05$) incelendiğinde tutkal çeşidi ve nano ürünler arasında önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu faktörler arasındaki farklılıkları belirlemek için MANOVA testi (Çizelge 11), bu verilerin sıralanması için de sonuçlara DUNCAN testi (Çizelge 12) uygulanmıştır.

İstatistiksel test verilerine göre liflere dik yönde vida çekme direnci üzerinde ahşap türü, yapıştırıcı çeşidi, nano ürün ve lamine elemanlar açısından incelendiğinde Ahşap Türü – Yapıştırıcı, Ahşap türü - Nano Ürün, Lamine Malzeme - Nano Ürün, Yapıştırıcı - Nano Ürün, Ahşap Türü - Lamine Malzeme - Yapıştırıcı faktörlerinin kendi aralarındaki etkileşimleri önemsiz bulunmuştur ($p \leq 0,05$). Farklılıkların sıralanmasını belirlemek için uygulanan DUNCAN testi sonuçları Çizelge 12'de sunulmuştur.

Çizelge 10. Liflere dik vida çekme direnci değerleri (Screw tensile strength values perpendicular to the fibers).

		Ortalama (N/mm ²)	p≤0,05
Ahşaplar	Gökmar	5,42	0,000
	Kavak	6,28	
Lamine Malzeme	Glulam	5,47	0,000
	LVL	6,23	
Tutkal	FF	5,75	0,047
	MUF	5,96	
Nano Ürün	Kontrol	5,70 (a)	0,044
	TiO ₂ -%2	5,78 (a)	
	TiO ₂ -%4	5,87 (ab)	
	SiO ₂ -%2	6,17 (b)	
	SiO ₂ -%4	5,75 (a)	

Çizelge 11. Liflere dik yönde vida tutma direnci istatistiksel deney sonuçları (Statistical test results of screw holding resistance in the direction perpendicular to the lines).

Varyasyon	Kareler	Serbestlik	Kareler	F	p≤0,05
Kaynağı	Toplamı	Derecesi	Ortalaması	Hesap	
Düzeltilmiş Model	205,921 ^a	39	5,28	17,77	0,000
Kesim	10958,923	1	10958,923	36882,998	0,000
Ahşap Türü	58,448	1	58,448	196,71	0,000
Lamine Malzeme	46,36	1	46,36	156,028	0,000
Yapıştırıcı	3,553	1	3,553	11,959	0,001
Nano Ürün	8,841	4	2,21	7,439	0,000
Ahşap Türü * Lamine Malzeme	49,502	1	49,502	166,603	0,000
Ahşap Türü * Yapıştırıcı	0,786	1	0,786	2,646	0,105*
Ahşap Türü * Nano Ürün	2,747	4	0,687	2,312	0,057*
Lamine Malzeme * Yapıştırıcı	8,958	1	8,958	30,148	0,000
Lamine Malzeme * Nano Ürün	2,081	4	0,52	1,751	0,139*
Yapıştırıcı * Nano Ürün	1,394	4	0,348	1,173	0,322*
Ahşap Türü * Lamine Malzeme * Yapıştırıcı	0,348	1	0,348	1,173	0,279*
Ahşap Türü * Lamine Malzeme * Nano Ürün	4,318	4	1,079	3,633	0,007
Ahşap Türü * Yapıştırıcı * Nano Ürün	10,489	4	2,622	8,825	0,000
Lamine Malzeme * Yapıştırıcı * Nano Ürün	2,893	4	0,723	2,434	0,047
Ahşap Türü*Lamine Malzeme* Yapıştırıcı *Nano Ürün	5,202	4	1,3	4,377	0,002
Hata	83,195	280	0,297		
Toplam	11248,039	320			
Düzeltilmiş Toplam	289,116	319			

a. R Squared = 0,712 (Adjusted R Squared = 0,672), *: önemsiz

Çizelge 12. Liflere dik yönde vida tutma direncine ait Duncan testi sonuçları (Duncan test results for screw retention strength in the direction perpendicular to the fibers).

Ahşaplar	Lamine Malzeme	Yapıştırıcı	Kimyasal	Ortalama (N/mm ²)	n	Varyasyon Katsayısı	HG
Gökmar	Glulam	FF	Kontrol	5,45	10	8,6	b-g
			TiO ₂ -%2	5,80	10	5	e-j
			TiO ₂ -%4	5,46	10	2,7	b-h
			SiO ₂ -%2	5,52	10	9,8	b-i
		MUF	SiO ₂ -%4	5,18	10	8,6	a-f
			Kontrol	5,56	10	9,6	b-i
			TiO ₂ -%2	4,70	10	3,5	a
			TiO ₂ -%4	5,13	10	19,3	a-d
	LVL	FF	SiO ₂ -%2	6,12	10	13,6	i-l
			SiO ₂ -%4	5,44	10	9,6	b-g
		MUF	Kontrol	4,67	10	10,1	a
			TiO ₂ -%2	5,25	10	9,7	a-f
			TiO ₂ -%4	5,10	10	5,7	a-d
			SiO ₂ -%2	5,30	10	9,6	a-f

Çizelge 12. (Devam). Liflere dik yönde vida tutma direncine ait Duncan testi sonuçları (Duncan test results for screw retention strength in the direction perpendicular to the fibers).

Kavak	Glulam	MUF	SiO ₂ -%4	4,96	10	14,7	a-b
			Kontrol	6,02	10	5,9	g-k
			TiO ₂ -%2	5,39	10	7,8	b-g
			TiO ₂ -%4	6,21	10	5,8	j-m
			SiO ₂ -%2	5,55	10	5,7	b-i
			SiO ₂ -%4	5,67	10	9,3	c-j
		FF	Kontrol	5,00	10	15	a-b
			TiO ₂ -%2	5,26	10	13,9	a-f
			TiO ₂ -%4	5,74	10	7,6	d-j
			SiO ₂ -%2	6,10	10	10,3	h-k
			SiO ₂ -%4	5,83	10	10,1	f-j
			Kontrol	5,16	10	16,2	a-e
	LVL	MUF	TiO ₂ -%2	6,21	10	12,4	j-m
			TiO ₂ -%4	5,07	10	7,5	a-c
			SiO ₂ -%2	5,44	10	6,2	b-g
			SiO ₂ -%4	5,27	10	10,4	a-f
			Kontrol	6,73	10	3,3	l-n
			TiO ₂ -%2	6,54	10	3,2	k-n
		FF	TiO ₂ -%4	6,80	10	7,1	m-n
			SiO ₂ -%2	7,54	10	4,2	p-r
			SiO ₂ -%4	6,71	10	7,5	l-n
			Kontrol	6,99	10	8,7	n-p
			TiO ₂ -%2	7,10	10	9,2	n-p
			TiO ₂ -%4	7,44	10	9,2	o-r
		MUF	SiO ₂ -%2	7,76	10	7,9	r
			SiO ₂ -%4	6,93	10	9,4	n-o

Deney örneklerinin liflere dik yönde vida tutma direnci üzerine her bir deney faktörünün önemli etkisinin olduğu ($p \leq 0,05$). görülmüştür. Test sonuçları kontrollerle kıyaslandığında en fazla direnç 7,76 N/mm² ile %11 daha yüksek ve %2 SiO₂ nano ürün ilave edilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-LVL'lerde; en az 4,67 N/mm² ile FF tutkalı ile üretilen göknar-LVL'lerde bulunmuştur. Ahşap türleri kendi arasında değerlendirildiğinde yüzeye dik yönde vida çekme direnci verileri kıyaslandığında en yüksek kavak-LVL'de bulunmuştur. Buna sebep, kavak malzemesinin düşük yoğunluklu olması ve taslağının pres altında basınç miktarının artması olarak açıklanabilir. Tutkal türü ve nano ürün bakımından yüzeye dik yönde vida çekme direnci verileri kıyaslandığında en fazla değer %2 SiO₂ karıştırılan ve MUF ile yapıştırılan deney numunelerinde bulunmuştur. Sonuçta presleme aşamasında nano ürün SiO₂'nin TiO₂'ye göre kaplama katmanları arasında daha düzgün bir bağlanma yapması olarak açıklanabilir. Elde edilen bulguların literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarıyla örtüştüğü anlaşılmıştır [11-12, 14, 15, 16].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada göknar ve kavak ağaçlarından elde edilen GLULAM ve LVL malzemelerin vida tutma dirençlerini iyileştirmek amacıyla FF ve MUF tutkaları TiO₂, SiO₂ nano ürünler ile modifiye edilmiştir. Elde edilen ahşap türevi malzemelerin teğet, radyal ve yüzeye dik yönde vida tutma dirençleri test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda;

Nano ürün takviyeli FF ve MUF tutkalları ile yapıştırılan GLULAM ve LVL lamine malzemelerin üç farklı yöndeki vida tutma dirençleri bakımından kendini temsil eden masif kontrol gruplarından daha iyi sonuçlar vermiştir. Buna göre en yüksek vida tutma direnci düşük oranlarda SiO₂ kimyasalı ile güçlendirilen ve MUF tutkalı ile yapıştırılan kavak-GLULAM test örneklerinde bulunmuştur [4]. Sentetik reçineler uygun nanoteknolojik ürünlerle modifiye edilerek kullanılması halinde [25-26-27] mekanik özellikler ve vida tutma özellikleri daha yüksek yeni lamine malzemeler elde edilebilir. Ayrıca vidalama aşamasında vida yuvalarında çatlamaların

**Şekil 4.** LVL ve GLULAM uygulama alanları (LVL and GLULAM application areas) [28]

olmaması için örnekler önceden vida çapının %80'i kadar kılavuz delikler açılması malzemede iç çatlamaları engelleyip vida tutma mukavemetini artıracaktır. Vida kullanılarak uygulama yapılan LVL ve GLULAM örnekleri Şekil 4'te verilmiştir.

Sonuç olarak nanoteknolojik ürünlerle üretilen, vida tutma dirençleri yüksek GLULAM ve LVL gibi lamine malzemelerin yapılabirliği tespit edilmiştir. Buna göre; sosyal yaşam mekânlarında kavak ahşap ürünleri TiO₂ ve SiO₂ kimyasalları ile güçlendirilen FF ve MUF tutkalı ile teğet yönde yapıştırılarak kaliteli GLULAM ve LVL üretimi sağlanabilir. Ekonomik açıdan nano teknolojik ürünlerle yapıştırma işlemlerinde gelecekte daha az hata yapma oranları ve daha kolay uygulanabilir özellikleri ile birçok endüstriyel alana yenilikler katacaktır. Böylece ülke ekonomisine döviz bazında oldukça fazla katkı sağlanabilir. Bilimsel ve akademik açıdan mikroskopik yapısal analiz, FTIR destekli kimyasal analiz, nano ürünlerin homojen karışım sağlanıp sağlanmadığına dair mikroskopik analizlerle sonuçlar incelenip daha güçlü veriler elde edilebilir. Bu malzemelerin üretimi sırasında ürün kalitesi, maliyetler ve yeni iş olanakları açısından yüksek frekanslı preslerin kullanılması yönünde teşvik edici farklı çalışmalar yapılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Prof. Dr. Ayhan Özçifçi danışmanlığında Mehmet Erdal Kara tarafından yürütülen bir doktora tezine dayanmaktadır. Testlerin gerçekleştirilmesinde bize destek olan SFC Entegre Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Bölümü'ne şükranlarımızı sunmak isteriz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mehmet Erdal KARA: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Ayhan ÖZÇİFÇİ: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bardak T., Bardak S. ve Kayahan K., "Orman endüstrisinde nanoteknoloji" *International J. of Cultural and Social Studies (IntJCSS)*: 2(2): 2458-9381, (2016).
- [2] Jones P., Wegner T., Atella R., Beecher J., Caron R., Catchmark J., Deng Y., Glasse W., Gray, D., Haigler C., Joyce M., Kohlman J., Koukoulas A., Lancaster P., Perine

- L., Rodriguez A., Ragauskas A., and Zhu J. "Nanotechnology for the forest products industry – Vision and technology roadmap" **Report Based on Nanotechnology for the Forest Products Industry Workshop**, Landsdowne, Virginia, USA, October 17-19, 2004, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, (2005).
- [3] May M., Wang H.M. and Akid R., "Effects of the addition of inorganic nanoparticles on the adhesive strength of a hybrid sol-gel epoxy system", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 30(6):505-512, (2010).
- [4] Bülbül R., Keskin H., "Farklı perforelerle oluşturulan çapraz lamine ahşap levhaların (CLT) ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi" *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (2):175-182, (2023).
- [5] Mengeloğlu F., Kurt R., "Mühendislik ürünü ağaç malzemeler tabakalanmış kaplama kereste (TAK) ve tabakalanmış ağaç malzeme (TAM)", *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1): 39-44 (2004).
- [6] Karayılmazlar S., Çabuk Y., Atmaca A. ve Aşkın A., "Orman ürünleri endüstrisinde laminasyon tekniği ve önemi", *Z.K.Ü.Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9:11, (2007).
- [7] https://insapedia.com/lamine-ahsap-nedir-laminasyon-islemi-neden-ve-nasil-yapilir/#google_vignette (2025).
- [8] Salari A., Tabarsa T., Khazaeian K. and Saraeian A. "Effect of nanoclay on some applied properties of oriented strand board (OSB) made from underutilized low quality paulownia (*Paulownia fortunei*) wood", *J. Wood Sci*, 58:513-524 (2012).
- [9] Candan Z., "Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, (2012).
- [10] Kaymakçı A., "Çeşitli güçlendirici dolgularla üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin karakterizasyonu", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2015).
- [11] Erdil Y.Z., Kasal A., Zhang J, Efe H. and Dizel T., "Comparison mechanical properties of solid wood and laminated veneer lumber fabricated from Turkish beech", *Scots pine and Lombardy poplar*, For. Prod. J. 59(6):55-60, (2009).
- [12] Çağatay K., Efe H., Burdurlu E. ve Kesik H.İ., "Bazı ağaç malzemelerin vida tutma mukavemetlerinin belirlenmesi", *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (2):321-328, (2012).
- [13] Bal C.B., Özdemir F. ve Altuntaş E., "Masif ağaç malzeme ve tabakalı kaplama kerestenin vida tutma direnci üzerine karşılaştırmalı bir çalışma", *Düzce Üniversitesi Ormancilık Dergisi* 9(2): 14-22, (2013).
- [14] Efe H., Kasal A., Dizel T. ve Arslan A.R., "Masif ve lamine ağaç malzemelerin (LAM) Alyan vida tutma mukavemeti", *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(2):95-105, (2009).
- [15] Celebi G., and Kılıc M., "Nail and screw withdrawal strength of laminated veneer lumber made up hardwood

- and softwood layers”, *Construction and Building Materials*, 21: 894–900, (2007).
- [16] Ozciftci A., Doganay S., “Withdrawal strength of some screws and nails in waferboard and picea or oriental beech”, *Tr. J. of Agriculture and Forestry* 23(5):1207-1213, Ankara (1999).
- [17] Polisan boya fabrikası, dilovası organize sanayi bölgesi, 1. Kısım liman Cd. No7, 41455 Dilovası/Kocaeli, Türkiye (2018).
- [18] Bozok S. S., Ogulata R.T., “TiO₂ nano toz katkılı SiO₂ nanosollerin keten kumaşlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi”. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3): 65-72, (2019).
- [19] TS EN 386. “Yapıştırılmış lamine ahşap performans özellikleri ve asgari üretim şartları”, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, (1999).
- [20] TS EN 323-1. “Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığının tayini”, Ankara: *Türk Standartları Enstitüsü*, (1999).
- [21] TS EN 325. “Ahşap esaslı levhalar-deney numunesi boyutlarının tayini”, Ankara: *Türk Standartları Enstitüsü*, (1999).
- [22] TS EN 326-1. “Ahşap esaslı levhalar-numune alma ve kesme tayini”, Ankara: *Türk Standartları Enstitüsü*, (1999).
- [23] TS EN, 320, “Yonga levhalar ve lif levhalar-Vida tutma mukavemetinin tayini”, Ankara: *Türk Standartları Enstitüsü*, (2011).
- [24] Perçin, O., Ayan, S., “Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemede vida çekme direncinin belirlenmesi”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 1(1): 57-68, (2012).
- [25] Gözükcü M F., Birelli A., “Al Cu katkılı, katkısız TiO₂ ince film biriktirme ve katkılamanın film özelliklerine etkisi”. *Politeknik Dergisi*, 27(3): 1081-1087, (2024).
- [26] Demir M.E., Topkaya H., Bağatır T, Yahya H. Çelik Y.H., “Grafen nanoplatelet takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özellikleri ve aşınma davranışı üzerinde takviye oranının etkisi”. *Politeknik Dergisi*, 27(6): 2181-2192, (2024).
- [27] Perçin O, Doruk Ş, Altunok M., “Emprenye ve ısıl işlemin ahşap malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 26(4):1421-1429 (2023).
- [28] https://www.altinisagac.com/kategori/puf-iskeleti?srsId=AfmBOorCUdo2zYOvRL_sTl9VZAxU6yUersuUSGktgzueStpA4X2w7qOH