



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NANOKİL KATKILI DERİ TUTKALININ
AHŞAP MALZEMENİN YAPIŞMA DİRENCİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ENGİN ŞAHİN

DANIŞMAN

DOÇ. DR. SAADETTİN MURAT ONAT

BARTIN-2023



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**NANOKİL KATKILI DERİ TUTKALININ
AHŞAP MALZEMENİN YAPIŞMA DİRENCİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENGİN ŞAHİN

BARTIN-2023

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına göre Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT danışmanlığında hazırlamış olduğum “NANOKİL KATKILI DERİ TUTKALININ AHŞAP MALZEMENİN YAPIŞMA DİRENCİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

24.11.2023

Engin ŞAHİN

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında benden vaktini ve tecrübelerini esirgemeyip bana yol gösteren değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT'a,

Laboratuvar çalışmalarında geniş ufku ve bilgi birikimi ile yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Deniz AYDEMİR'e, sayın Doç. Dr. Eser SÖZEN'e ve sayın Dr. Öğretim Üyesi İsmail ÖZLÜSOYLU'ya,

Kurucaşile Çok Programlı Anadolu Lisesi Müdürü sayın Fatih KARAARSLAN'a, Gemi Yapımı Alanı Alan Şefi sayın Engin ATMACA'ya ve okul öğrencilerinden sevgili öğrencim Hayrican KAYIK'a,

Her daim maddi ve manevi desteği ile yanımda yer alan değerli eşim Fatma BARAN ŞAHİN ile benim bugünlere gelmemde emeği bulunan anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Engin ŞAHİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANOKİL KATKILI DERİ TUTKALININ AĞAÇ MALZEMENİN YAPIŞMA DİRENCİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Engin ŞAHİN

Bartın Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT

Bartın-2023, sayfa:43

Bu çalışmada, sıvılaştırılmış doğal deri tutkalının nanokil ile modifiye edilerek yapışma performansı belirlenmiştir. Nanokil ilaveleri % 1, % 3 ve % 5 olarak gerçekleştirilmiştir. Ağaç türü olarak sarıçam (*Pinus Sylvestris*) ve kayın (*Fagus orientalis L.*) kullanılmıştır. Hazırlanan örnekler çekmede makaslama ve Eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Eğilme testleri için kayın kaplamalardan LVL (Laminated Veneer Lumber) üretilmiştir. Sıvı doğal deri tutkalının direnç özelliklerinin boncuk tutkalı karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek çekmede makaslama direnci % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalında elde edilmiştir. Yine eğilme direnci uygulanan LVL örneklerinde en yüksek direnç, % 5 nanokil katkılı tutkalların uygulandığı varyasyonda belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boncuk tutkalı, deri tutkalı, nanokil, yapışma direnci

Bilim Alanı Kodu: 120406

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT

ABSTRACT

(M.Sc. Thesis)

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NANOCCLAY DOPED LEATHER GLUE ON ADHESION RESISTANCE OF WOOD MATERIAL

Engin ŞAHİN

**Bartın University
Graduate Education Institute
Forest Industrial Engineering Department**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Saadettin Murat ONAT

Bartın-2023, page;43

In this study, the adhesion performance of liquefied natural leather glue modified with nanoclay was determined. Nanoclay additions were made as 1%, 3% and 5%. Scots pine (*Pinus sylvestris*) and beech (*Fagus orientalis L.*) were used as tree species. The prepared samples were subjected to tensile shear and bending tests. For bending tests, LVL (*Laminated veneer lumber*) was produced from beech veneers. The resistance properties of liquid natural leather glue and bead glue were compared. As a result of the study, the highest tensile shear strength was obtained in liquid leather glue with 5% nanoclay addition. Again, in the LVL samples where bending resistance was applied, the highest resistance was found in the variant with 5% nanoclay added to the adhesives.

Keywords: Bead glue, bonding resistance, leather glue, nanoclay

Scientific Field Code: 120406

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Saadettin Murat ONAT

İÇİNDEKİLER

BEYANNAME	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLOLAR DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	8
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Materyal.....	13
3.1.1 Ağaç Malzeme	13
3.1.2 Tutkal	13
3.1.2.1 Sıvı Doğal Deri Tutkalı	14
3.1.2.2 Doğal Boncuk Tutkalı	16
3.1.3 Nanokil	17
3.2. Metot	18
3.2.1 Tutkal Reçetelerinin Hazırlanması	18
3.2.2 Deney Örneklerinin Hazırlanması	19
3.2.2.1 Çekmede Makaslama Örnekleri	19
3.2.2.2 Eğilme Örnekleri	20
3.3. Deney Metodu	23
3.3.1 Çekmede Makaslama Deneyi.....	23
3.3.2 Eğilme Deneyi.....	24
3.3.3 İstatistiksel Değerlendirme.....	26
4. BULGULAR	27
4.1. Çekmede Makaslama Direnci.....	27
4.2. Eğilme Direnci.....	33
4.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	36

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: İş parçası üzerine damlatılmış yapıştırıcının yapışma öncesindeki mevcut hali.....	2
1.2: Farklı iki parça arasındaki yapıştırma işlemine ait bağlar.....	3
1.3: Teorik yapışma sisteminde zincir modelinin şematik görünüşü	3
3.1: Sıvı doğal deri tutkalı	14
3.2: Boncuk tutkalı	16
3.3: Boncuk tutkalı hazırlama yöntemi	17
3.4: Nanokil maddesi.....	18
3.5: Çekmede makaslama deney örnekleri (mm).....	19
3.6: Denge rutubetine getirilen çekmede makaslama deney örnekleri.....	20
3.7: Eğilme deneyi örneği	21
3.8: Presleme işlemi	22
3.9: Denge rutubetine getirilen eğilme deneyi örnekleri.....	22
3.10: Çekmede makaslama deneyi uygulaması.....	23
3.11: Eğilme deneyi uygulaması	25
4.1: Çekmede makaslama deneyi karşılaştırma grafiği.....	28
4.2: Kayın odunu deney örnekleri	29
4.3: Sarıçam odunu deney örnekleri.....	30
4.4: Kayın ve sarıçam odunu boncuk tutkalı uygulaması	31
4.5: Eğilme dirençleri grafiği	34
4.6: Nanokil katkılı sıvı deri tutkalı ile hazırlanan kayın LVL numunelerinin test sonrası görünümü.....	35
4.7: Boncuk tutkalı ile hazırlanan kayın LVL numunelerinin test sonrası görünümü	35

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
2.1: Sıvı doğal deri tutkalı ile ahşap tutkalına ait hızlı karşılaştırma tablosu.....	11
3.1: Kayın odununun bazı teknolojik özellikleri.....	12
3.2: Sarıçam odununun bazı teknolojik özellikleri.....	13
3.3: Sıvı doğal deri tutkalının bazı teknolojik özellikleri.....	15
3.4: Numune deseni.....	19
4.1: Çekmede makaslama deneyi dirençleri ortalama değerleri (N/mm ²).	27
4.2: Çekmede makaslama deneyi ANOVA testi sonuçları.	32
4.3: Eğilme dirençleri (N/mm ²).....	33
4.4: Malzeme ve tutkal çeşidine göre eğilme deneyi ANOVA testi sonuçları (N/mm ²).....	36
4.5: LVL örneklere ait elastikiyet modülü değerleri.	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

mm ²	: Milimetrekare
N	: Newton
gr	: Gram
kg	: Kilogram
L	: Litre
°C	: Santigrat Derece
σ _e	: Eğilme Direnci

KISALTMALAR

ANOVA	: Analysis of Variance
ÜF	: Üreformataldehit
MFÜ	: Melaminformataldehit
FF	: Fenolformataldehit
PVA	: Polivinil Alkol-Vinil Asetat Tutkalı
PVAc	: Polivinilasetat Tutkalı
VTKA	: Poliüretan Desmodur Tutkalı
psi	: Basınç Birimi
F _{max}	: Maksimum Kuvvet
TS	: Türk Standartları
EN	: Avrupa Standardı
ÇLK	: Çapraz Lamine Kereste

PU :Poliüretan
LVL :Kaplama Tabakalı Kereste

1. GİRİŞ

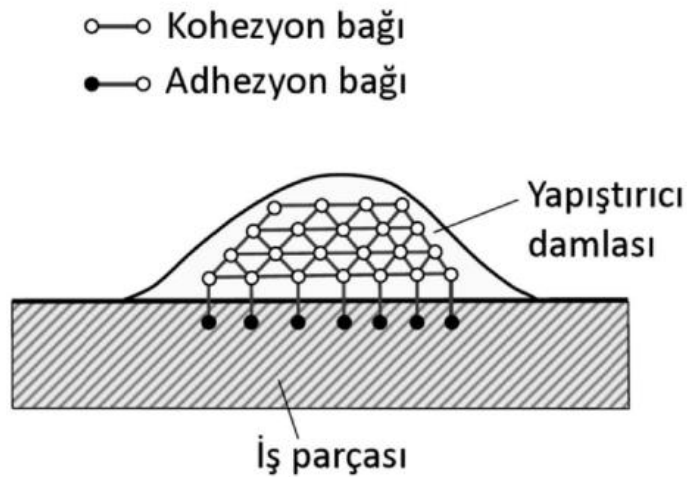
Ahşap yapıştırıcılar, mobilya imalatından inşaata kadar çok çeşitli uygulamalarda kullanılır. Ahşap yapıştırıcıların performansı, yapıştırıcının türü, ahşap türleri ve çevresel koşullar dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlıdır. Son yıllarda, mukavemet, dayanıklılık ve çevresel etki açısından daha iyi performans sunabilen gelişmiş ahşap yapıştırıcıların geliştirilmesine artan bir ilgi vardır. Ahşap yapıştırıcıları geliştirmek için bir dizi farklı yaklaşım vardır. Bir yaklaşım, yapıştırıcının özelliklerini geliştirebilecek yeni malzemeler veya katkı maddeleri kullanmaktır. Örneğin, ahşap yapıştırıcıların ahşap yüzeye yapışmasını arttırmak için silan çapraz bağlantı maddeleri kullanılabilir. Diğer bir yaklaşım, özelliklerini geliştirmek için yapıştırıcının formülasyonunu değiştirmektir. Örneğin, plastikleştiricilerin eklenmesi ahşap yapıştırıcıların esnekliğini artırabilirken, çapraz bağlayıcıların eklenmesi mukavemetlerini artırabilir (Chen vd., 2017).

Ahşabın tutkalla yapıştırılması, orman ürünleri endüstrisinde artan bir rol oynamaktadır ve kereste kaynaklarımızı verimli bir şekilde kullanmak için kilit bir faktördür. Yapıştırıcıların ana kullanımı, kontrplak, yönlendirilmiş yonga levha, yapısal kompozit kereste, kapılar, pencereler, çerçeveler ve fabrika lamine ahşap ürünleri dahil olmak üzere yapı malzemelerinin imalatındadır. Yapıştırıcılar ayrıca mobilya ve dolapların montajında, mühendislik ahşap ürünlerinin imalatı ile konut ve ticari yapıların yapımında da kullanılır. Yapıştırıcılar, yükleri bileşenler arasında aktarır ve dağıtır, böylece ahşap ürünlerin mukavemetini ve sertliğini artırır. Bir elemandan diğerine etkili stres transferi, tutkalla bağlı iş parçası boyunca hayali bir zincirdeki bağlantıların gücüne bağlıdır. Bu nedenle, bağlı bir bağlantının performansı, bireysel bağlantıların (ahşap, yapıştırıcı ve ahşap ve yapıştırıcının fazlar arası bölgeleri) özelliklerine katkıda bulunan karmaşık faktörlerin, ürün montajı sırasında ne kadar iyi kontrol edildiğine ve sonuçta zincirin gücünü belirlediği faktörlere bağlıdır. Yapışma, yapıştırıcının iki ahşap yüzeyi bir arada tutma yeteneğini kontrol eden mekanik ve kimyasal faktörleri içerir. Ahşap gözenekli olduğundan, yapışma mekanizmalarından biri mekanik kilitlemedir. Etkili mekanik kilitleme, bir yapıştırıcı yüzey kalıntılarının ve hasarlı liflerin ötesine iki ila altı hücre derinliğinde sağlam ahşaba nüfuz ettiğinde meydana gelir. Hücre duvarı mikro yapısına daha fazla nüfuz etmek, mekanik kilitlemeyi ve ahşapla tutkalın teması için yüzey alanını artırır. En mukavemetli suya dayanıklı bağlar, yapıştırıcı hücre boşluklarına derinlemesine

nüfuz ettiğinde ve hücre duvarlarının içine sızdığında gelişir. Tutkal ve ahşap molekülleri arasındaki çekici kuvvetler, yapışmaya önemli ölçüde katkıda bulunur.

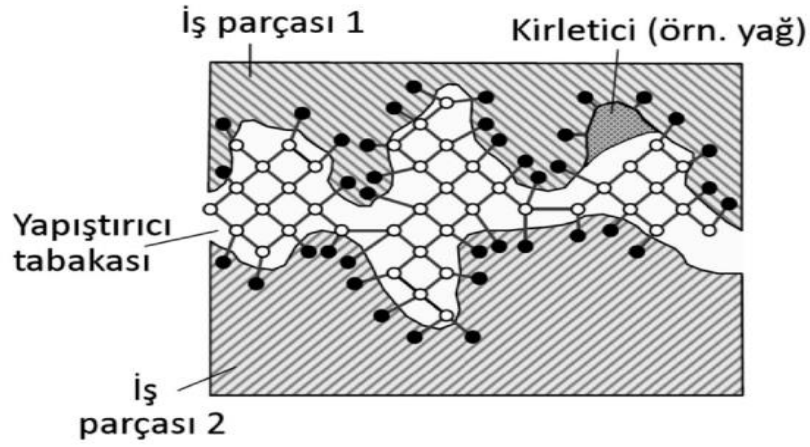
Maksimum tutkal bağlantı mukavemeti için, sıvı yapıştırıcı ahşap yüzeyini "ıslatmalı", ahşabın üzerinden akmalı ve nüfuz etmelidir. Tutkal molekülleri, yapıştırıcı ve ahşap arasındaki en iyi mekanik kilitleme ve moleküller arası çekimi sağlamak için ahşap molekülleriyle doğrudan temas etmelidir. Ahşap yüzeyler pürüzsüz ve düz görünebilir, ancak mikroskopik inceleme, gevşek lifler ve diğer döküntülerle dolu zirveleri, vadileri ve yarıkları gösterir. Bu tür yüzey koşulları, yapıştırıcı tarafından tamamen ıslanmayı önleyen ve yapıştırıcı sertleştiğinde stres konsantrasyonlarına neden olan hava ceplerine ve tıkanmalara neden olur. Ek olarak, ahşabın farklı özellikleri (tane açısı, doğal kusurlar ve ekstraktifler gibi) çok farklı yüzey enerjilerine, pürüzlülüğe ve kimyaya yol açar. Bu farklı yüzeyleri ıslatmaya veya tamamen örtmeye ek olarak, yapıştırıcılar ahşabın mikroskopik deliklerine veya kılcal yapısına akacak kadar sıvı olmalıdır. Basınç, sıvı yapıştırıcıyı yüzeyler üzerinden akmaya zorlayarak, hava tıkanıklıklarını değiştirerek ve ses ahşabına nüfuz ederek ıslanmayı artırır. Tutkal bağ, yapıştırıcı katılaştıktan sonra oluşur, ancak tam mukavemetin gelişmesi saatler ile günler sürebilir (Ülker, 2016).

Şekil 1.1'de örnek bir mobilya parçası ile mobilya parçası üzerine damlatılmış yapıştırıcının yapışma süreci başlamadan önceki mevcut hali ifade edilmiştir.



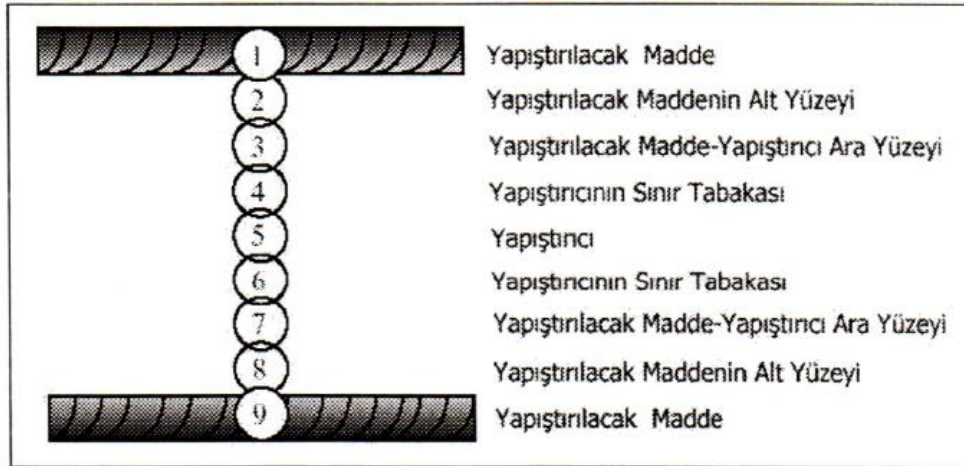
Şekil 1.1: İş parçası ile yapıştırıcı damlasının yapışma öncesi mevcut hali (URL-1)

Şekil 1.2’de iki ayrı mobilya parçası arasındaki yapıştırma işleminden sonra meydana gelen adhezyon ve kohezyon bağları gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Farklı iki parça arasındaki yapıştırma işlemine ait bağlar (URL-1)

Yapışma sisteminin "Yapıştırılacak madde - yapıştırıcı - yapıştırılacak madde" olarak dokuz halkaya sahip bir zincire benzer yapıda olduğu düşünülebilir (Marra, 1983). İfade edilen bu teorik zincir yapısı Şekil 1.3'te görülmektedir.



Şekil 1.3: Teorik yapışma sisteminde zincir modelinin şematik görünüşü (Marra, 1983)

Yapıştırıcı malzemenin ara yüzündeki fiziksel ve kimyasal etkileşimlerin varlığı ve bunların birbirleri üzerindeki etkileri dahil olmak üzere birçok adezyon teorisi geliştirilmiştir. Bir "yapıştırıcı-yapışma" sistemine uygulanabilecek beş temel yapışma mekanizması teorisi vardır (Pizzi, 1994).

Bunlar;

1. Mekanik kenetlenme teorisi,
2. Islanma teorisi,
3. Difüzyon teorisi,
4. Elektrostatik teori,
5. Kovalent kimyasal bağlanma teorisi.

Bu teorilerin her biri belirli durumlarda ve belirli bir yapıştırıcı sınıfı için bir ölçüde geçerlidir (Kinloch, 1987; Schultz vd., 1999). Bunların tümü, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasındaki ara yüzde etkili olan gerçek yapışma kuvvetlerine katkıda bulunur ve her kuvvetin büyüklüğü büyük ölçüde seçilen sisteme bağlıdır (Walinder, 2000).

Ahşap yapıştırıcılarının performansını artırmanın yanı sıra, daha çevre dostu yapıştırıcılar geliştirmeye yönelik artan bir ilgi de vardır. Bunun nedeni, birçok geleneksel ahşap yapıştırıcının, çevre üzerinde olumsuz bir etkisi olabilecek petrol ürünlerine dayanmasıdır. Nişasta, protein ve selüloz bazlı yapıştırıcılar da dahil olmak üzere geliştirilmekte olan bir dizi farklı biyolojik bazlı ahşap yapıştırıcı vardır.

Geliştirilmiş ahşap yapıştırıcıların geliştirilmesi aktif bir araştırma alanıdır. Ahşap yapıştırıcıları geliştirmek için bir dizi farklı yaklaşım vardır ve alan sürekli gelişmektedir. Bu sebeple, gelecekte yeni ve geliştirilmiş ahşap yapıştırıcıların geliştirilmeye devam etmesi muhtemeldir.

Ahşap yapıştırıcıların nasıl geliştirildiğine dair bazı özel örnekler:

1. PVA yapıştırıcılar, silan esaslı çapraz bağlanma maddelerinin eklenmesiyle geliştirilmiştir. Bu, PVA yapıştırıcılarının ahşap yüzeye yapışmasını iyileştirerek daha güçlü bağlar sağlamıştır.
2. Nişasta bazlı yapıştırıcılar, plastikleştiricilerin eklenmesiyle geliştirilmiştir. Bu, yapıştırıcıları daha esnek hale getirmiş ve hareketin beklendiği uygulamalar için daha uygun hale getirmiştir.

3. Selüloz bazlı yapıştırıcılar, çapraz bağlayıcıların eklenmesiyle geliştirilmiştir. Bu, yapıştırıcıların gücünü artırarak onları yüksek performanslı uygulamalar için daha uygun hale getirmiştir (Chen vd., 2017).

Yeni nesil ahşap yapıştırıcılar, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi avantaja sahiptir:

1. Geliştirilmiş performans: Gelişmiş ahşap yapıştırıcılar gelişmiş mukavemet, dayanıklılık ve çevresel etki sunabilir.
2. Yeni uygulamalar: Geliştirilmiş ahşap yapıştırıcılar, yüksek katlı binaların ve köprülerin inşası gibi ahşap için yeni uygulamalar açabilir.
3. Azaltılmış maliyetler: Gelişmiş ahşap yapıştırıcılar, ahşap ürünlerin üretim maliyetini azaltabilir (Chen vd., 2017).

Geliştirilmiş ahşap yapıştırıcıların üretilmesi aktif bir araştırma alanıdır. Bu nedenle, gelecekte yeni ve geliştirilmiş ahşap yapıştırıcıların modifikasyonunun devam etmesi muhtemeldir. Bu, ahşabın çok çeşitli uygulamalar için sürdürülebilir ve çok yönlü bir malzeme olarak kalmasını sağlamaya yardımcı olacaktır.

Nanokillerin yapıştırıcılara eklenmesi, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bir dizi avantaja sahip olabilir:

1. Arttırılmış mekanik dayanım
2. Geliştirilmiş termal kararlılık
3. Gelişmiş bariyer özellikleri
4. Düşük viskozite

Bu avantajlar, nanokil takviyeli yapıştırıcıları çok çeşitli uygulamalar için değerli bir seçenek haline getirir (Wang vd., 2023).

Nanokiller yapıştırıcılar da dahil olmak üzere çok çeşitli malzemelerin özelliklerini geliştirdiği gösterilen bir tür katmanlı silikattır. Nanokiller, mekanik mukavemetlerini, termal stabilitelelerini ve bariyer özelliklerini geliştirmek için yapıştırıcılara eklenebilir. Ayrıca, yapıştırıcıların viskozitesini azaltmaya yardımcı olabilirler, bu da onları uygulamayı kolaylaştırır. Nanokillerin yapıştırıcıların özelliklerini geliştirmesinin yolu, polimer matrisini güçlendirmektir. Nanokil trombositler kendilerini polimer matrisinde

hizalar ve bir takviye ağı oluşturur. Bu ağ, polimer zincirlerinin birbirlerinden kaymasını önlemeye yardımcı olur, bu da daha güçlü ve daha sert bir malzeme ile sonuçlanır (Pradhan vd., 2009).

Yapıştırıcıların mekanik özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra, nanokiller termal stabilitelelerini geliştirmeye de yardımcı olabilir. Nanokil trombositler, yapıştırıcının yüksek sıcaklıklarda bozulmasını önlemeye yardımcı olan ısı transferine karşı bir bariyer görevi görür. Bu, özellikle havacılık endüstrisi gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan yapıştırıcılar için önemlidir (Khalili vd., 2010).

Nanokiller ayrıca yapıştırıcıların bariyer özelliklerini geliştirmeye yardımcı olabilir. Nanokil trombositler, bağlanmış malzemelerin bozulmaya karşı korunmasına yardımcı olabilecek su, gaz ve diğer moleküllerin geçişini engelleyebilir. Bu, gıda ambalajı gibi nemin veya diğer kirleticilerin hariç tutulması gereken uygulamalarda kullanılan yapıştırıcılar için önemlidir.

Nanokil ile güçlendirilmiş yapıştırıcıların nasıl kullanıldığına dair bazı örnekler:

1. Havacılık endüstrisinde, kompozit malzemeleri bağlamak için nanokil ile güçlendirilmiş yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu, uçak yapılarının gücünü ve dayanıklılığını artırmaya yardımcı olur.
2. Otomotiv endüstrisinde, gövde panellerini yapıştırmak için nanokil ile güçlendirilmiş yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu, gövde panellerinin ağırlığını azaltarak araçların yakıt verimliliğini artırmaya yardımcı olur.
3. Tıbbi cihaz endüstrisinde, implantları bağlamak için nanokil ile güçlendirilmiş yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu, implantların performansını ve ömrünü artırmaya yardımcı olur (URL-2, 2022).

Nanokil ile güçlendirilmiş yapıştırıcılar, çok çeşitli potansiyel uygulamalara sahip olmakla birlikte umut verici yeni bir teknolojidir. Teknoloji gelişmeye devam ettikçe, gelecekte nanokil ile zenginleştirilmiş yapıştırıcılar için daha yenilikçi kullanımlar görmeyi bekleyebiliriz.

Ahşap malzemenin çok sayıda avantajlarının olması, bunların çeşitli uygulamalar için çekici hâle getirmesiyle birlikte ahşap elemanların birbirleriyle veya diğer yapı elemanlarıyla birleştirilmesinde oldukça zorluklara rastlanmaktadır. Bu nedenle tutkal kullanımı, bu zorlukları önemli ölçüde elimine etmiştir. Özellikle, yapay tutkalların geliştirilmesi ile birlikte mobilya üretiminde teknolojik ve yapısal gelişmeler meydana gelmiştir (Fatory vd., 1998). Tutkalın yapı elemanlarının birleştirmesinde kullanılması ile görsel, mekanik ve teknik yönden olumsuz sayılan budak, reçine keseleri, dış etken olumsuzlukları gibi ağaç kusurlarının giderilerek küçük ölçülerdeki ahşap malzemenin istenilen kalitede ürünler üretilmektedir.

Ahşabın kullanım yerlerinin artırılması ve kullanım yeri potansiyelinin yaygınlaştırılması için birçok yöntem geliştirilmiştir. Genel olarak uygulanan yöntemler arasında, ahşap malzemede tutkallanacak yüzey alanının artırılması oldukça başarılı bir metottur. Tutkal ve uygulama yönteminden kaynaklanan sorunların, kullanım yerinde oluşabilecek problemler düşünüldüğünde iyi bir yapışmanın önemi ortaya çıkacaktır. Ahşap malzemede yapışma direnci ağaç türü, anatomik yapı, ahşabın asidik veya bezik olması gibi birçok faktörle iç içedir. Bununla birlikte üst yüzey işlemleri olarak bakıldığında tutkalın üretim yöntemi, tutkal çeşidi ve uygulama işlemi gibi faktörler de hesaba katılmalıdır (Rowell vd., 2005). Özellikle tutkalın ne şekilde uygulandığı ve tutkalın tatbik edildiği üst yüzeye homojen dağılmasını sağlamak, iyi bir yapışma direnci sağlaması açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir (Smardzevski vd., 2002). Diğer yönden bakıldığında ahşap malzemeye uygulanan emprenye maddelerinin tutkallar ile uyumu, yapışma direncine etki eden diğer bir önemli kısımdır. Emprenye maddesinin türü, uygulama yöntemi, birikme miktarı ve yüzey etkileşimi, yapışma direncini olumlu ya da olumsuz etkilemektedir (Vick, 1993). Birikme miktarının artması yapışma direncini azaltmaktadır (Cassens vd., 1995). Emprenye yapılmış olan ağaç malzeme yüzeyine uygulanan tutkal, yüzey ile istenilen seviyede bir bağ kuramadığı için yapışma direncinin düştüğü tespit edilmiştir (Örs vd., 2004).

Bu çalışmanın amacı, endüstride yaygın olarak kullanılan ağaç malzemelerin yapıştırılmasında kullanılan tutkallara alternatif olabilecek nanokil katkılı doğal deri tutkalının yapışma özelliklerinde meydana getireceği değişimin belirlenmesidir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Endüstride kullanılan ahşap malzemedan elde edilen düzgün yüzeyli parçaların yapıştırılmasında gerekli düzeyde basınç uygulandığında, tutkalın bir yüzeyden diğer yüzeye geçişi kolay olmakta ve yapışma direnci artmaktadır. Kusur içermeyen yüzeylerin yapıştırılmasında 0,7 N/mm² basınç uygulanması, yapışma direncini en ideal seviyeye ulaştırmaktadır (Franklin, 1989).

Sarıçam, kayın ve meşe odunlarından yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiği bir çalışmada planya, şerit ve daire testere makineleri kullanılarak hazırlanan ve PVA tutkalı ile yapıştırılan deney örneklerine çekmede makaslama deneyi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, yapışma direnci en yüksek olarak sırasıyla daire, planya ve şerit testere ile biçilerek oluşturulan yüzeylerde; ağaç türünde kayın, meşe ve sarıçam odunlarından elde edilen numuneler şeklinde olmuştur (Shen J., 1997).

Üre formaldehit reçinesi % 1-2 polivinil alkol ve % 10-15 amonyum ile modifiye edilmiştir. Serbest formaldehit miktarı modifiye edilmiş tutkalda % 3, saf tutkalda ise % 5 sonucunu vermiştir. Çekme direnci deneyi sonuçlarına göre; modifiye edilmiş tutkalla yapıştırılan deney örneklerinde yapışma direncinin yükseldiği tespit edilmiştir (Liu, 1997).

Doğu kayını, sapsız meşe ve sarıçam odunlarından hazırlanan örnekler Klebit 303, Kleiberit 305, Süper Lackleim 308 tutkallarıyla yapıştırılarak çekme deneyi uygulamıştır. Deney sonuçlarına göre; en yüksek çekme direncini Klebit 303 tutkalı ile doğu kayını (8,980 N/mm²) ve sapsız meşe (8,950 N/mm²), en düşük çekme direncini ise Süper Lakleim 308 tutkalı ile sapsız meşe (5,018 N/mm²) ve Klebit 303 tutkalı ile sarıçam (5,018 N/mm²) örneklerinin gösterdiği tespit edilmiştir (Örs vd., 1999).

Yapılan bir çalışmada radyal ve teğet yönlerde farklı basınç miktarları kullanılarak poliüretan ve polivinil asetat tutkallarıyla yapıştırılan daire testere ile biçilmiş, planlayanmış veya zımparalama yapılmış kızılçam örneklerinin makaslama dirençlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre radyal ve teğet yüzeyi yapıştırılan örneklerde polivinilasetat-c kullanılan örneklerin makaslama dirençleri

açısından poliüretan kullanılanlara kıyasla daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir (Burdurlu vd., 2006).

Kayın odunu yüksek yoğunluklu ağaç türleri arasında sayılmaktadır (Güler vd., 2010). Yoğunluğu fazla olan ağaçlarda yapışmanın daha yüksek performanslı olabileceği belirtilmiştir (Efe ve Gürleyen, 2007). Masif ahşap malzemede yoğunluk artıkça genel bir kural olarak mekanik özellikler artmaktadır. Eğilme direnci, elastikiyet modülü ve şok direnci ile yoğunluk arasında artan-doğrusal bir ilişki vardır. Yapılan önceki çalışmalarda, birçok araştırmacı bu ilişkiyi belirlemiştir (Kollmann ve Cote, 1968; Malkoçoğlu, 1994; Bozkurt ve Erdin, 1995; Bektaş vd., 2002). Lamine ağaç malzemede ağaç türü, katman sayısı ve tutkal çeşidinin eğilme direncine etkilerinin incelendiği çalışmanın sonucunda, 7 katmanlı örneklerin eğilme direncinin sırasıyla en yüksek kayın, çam ve meşe odunlarından hazırlanan lamine malzemelerde olduğu belirtilmiştir (Altınok vd., 1999).

Mobilya imalatında kullanılan bazı masif odun ve levha çeşitlerinin, polivinilasetat (PVAc) ve Desmodur VTKA tutkalları kullanılarak kavala ile yaptıkları birleştirmenin dirençlerini belirlemek amacıyla, masif ağaç malzemelerden sarıçam, doğu kayını ve sapsız meşe odunlardan hazırlanan deney örnekleri, enine ve radyal yönde Desmodur VTKA tutkalıyla; kenarları masifli ve masifsiz, yonga levha ve lif levhalar PVAc tutkalı ile birleştirilerek çekme dirençleri belirlenmiştir. En yüksek çekme direnci Doğu kayını odununda enine yönde (4,403 N/mm²) ve kenarları masifli lif levhada (5,818 N/mm²) elde edilmiştir (Örs vd., 1998).

Bir çalışmada, 2 ve 4 mm kalınlığında doğu kayını kaplamalardan PVAc ve poliüretan yapıştırıcılar ile yapıştırılarak hazırlanan numunelere uygulanan testlerin sonuçlarına göre, yapıştırıcı poliüretanın direnç değerlerinin PVAc'ye göre daha yüksek olduğu bildirilmiş, tutkal ve kaplama kalınlığının dayanıklılık üzerindeki etkisi kesin olarak belirlenememiştir. (Şenay, 1996).

ÇLK ile ilgili bir çalışmada yapıştırıcılar arası adezyon oluşturmak için polivinil asetat yapıştırıcı ve kontrol maddesi ve nanokil ilavesiyle % 1, % 2 ve % 4'lük bir karışım hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre, ÇLK göknar örneklerine eklenen nanokil miktarı ile eğilme mukavemetinin ve eğilme modülünün arttığı belirlenmiştir. ÇLK sarıçam örneklerinin eğilme dayanımının eklenen nanokil miktarı ile arttığı, ÇLK sarıçam

örneklerinin eğilme modülünde eklenen nanokil miktarının % 1 ile % 2’de arttığı ve % 4’de azaldığı belirlenmiştir (Hekimoğlu, 2014).

Lamine kaplama kerestenin (LVL) yapıştırılmasında mısır nişastasının geliştirilmesi adına yapılan bir çalışmada; Polivinil alkol, dolgu maddesi olarak buğday unu ve takviye maddesi olarak da Poliizosiyonat prepolimer kullanılmıştır. Mısır nişastası katılarak yapılan çalışma sonucunda eğilme direncinin 45,7-59,9 olarak sonuçlandığı, eğilmede elastikiyet modülü değerinin 5499-6158 sonuçlandığı belirtilmiştir. Mısır nişastasının yapıştırıcı performansında mükemmel derecede yapışma özelliği göstermiştir (Xian-qing vd., 2020).

Yapılan bir diğer çalışmada; Nanosilikon dioksit (SiO_2) ve titanyum dioksit (TiO_2) UF ile harmanlanmıştır. Nanopartikül takviyeli farklı nano dolgu konsantrasyonlarında (% 0,5 ve % 1) işlendi ve her yapıştırıcı % 0, % 12, % 18 ve % 25 nem içeriğinde test edildi. Yapışma mukavemeti test sonuçlarına göre, nano- SiO_2 içeren yapıştırıcılar kontrol (saf UF) ve nano- TiO_2 yapıştırıcılar ile karşılaştırıldığında daha iyi yapışma mukavemeti göstermiştir. Nano (SiO_2 ve TiO_2) parçacıklarının saf UF’nin bağlanma gücünü arttırdığını göstermiştir. En yüksek yapışma mukavemeti değerinin ($8,01 \text{ N/mm}^2$) % 0,5 SiO_2 ’de elde edilmiştir (Bardak vd., 2018)

Yapılan testlerde sıvı deri tutkalının sıcak deri tutkalına göre normal şartlar altında daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Ancak daha da önemlisi, bu tercih kararının çevresel koşulları da gözeticilerle alınması gerekmektedir. % 50 bağıl nem ve oda sıcaklığındaki normal koşullar altında, sıvı deri tutkalı en güçlü performansı sağlamış, bununla birlikte aşırı koşullar altında sıcak deri tutkalının sıvı deri tutkalından daha kararlı olduğu kanıtlanmıştır. Sıcak boncuk deri tutkalı yüksek ısı veya yüksek nem ve bu nedenle dalgalanan çevresel durumlarda daha arzu edilen bir seçim olacaktır. Ekstrem koşullarda sıcak boncuk deri tutkalı daha fazla mukavemet gösterdiği rapor edilmiştir (Buck, 1990).

Tablo 2.1’de deri tutkalı ve ahşap tutkalına ait karşılaştırma tablosu yer almaktadır. Tablodaki bilgilerden de anlaşılacağı üzere her iki tutkal arasında önemli farklılıklar görülmektedir.

Tablo 2.1: Sıvı doğal deri tutkalı ile ahşap tutkalına ait hızlı karşılaştırma tablosu (URL-3)

Özellikler	Deri Tutkalı	Ahşap Tutkalı
Anahtar bileşenler	Hayvan derileri	PVA, Poliüretan, etc.
Bağ kuvveti	İyi	Harika
Tersine çevrilebilirlik	Evet	Hayır
Su direnci	Hayır	Evet
Kullanılabilirlik	Sınırlı	Yaygın olarak kullanılan
Montaj zamanı	Kısa	Uzun
Bitiricilik	Şeffaf	Koyu
Maliyet	Masraflı	Ucuz

Yapılan literatür araştırmaları bilgilerinden de anlaşılacağı üzere, yapıştırılacak yüzey pürüzlülüğü ve yapışma işlemi sağlayacak tutkalların performansı üzerine çalışmalar mevcuttur. Değişik çeşit ve koşullarda işlenerek elde edilen ahşap malzeme yüzeylerinde yapışma performansının incelenmesi önem arz etmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmamızda ağaç malzeme olarak Kayın ve sarıçam odunları, yapıştırıcı materyal olarak ise doğal sıvı deri tutkalı ile doğal boncuk tutkalları kullanılmıştır.

3.1.1. Ağaç Malzeme

Masif ağaç malzeme; estetik görünümü, doğal tekstürü, kolay işlenebilmesi ve düzgün yüzey sunması, üst yüzey işlemlerine elverişli olması, insan sağlığına zararlı formaldehit ve formik asit gibi emisyonların oluşmaması nedenleriyle mobilya üretiminde geniş bir yelpazede tercih edilmektedir. Masif mobilya üretiminde yaygın olarak kullanılan ağaç malzemelerden kayın ve sarıçam odunları tesadüfi yöntemle Bartın ili Kurucuşile ilçesinde faaliyet gösteren kereste işletmelerinden temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde, liflerinin düzgün, budaksız, ardaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramamış olmasına özen gösterilmiştir. Aşağıda

Tablo 3.1: Kayın odununun bazı teknolojik özellikleri (Berkel, 1970)

Renk	Diri odun	Sarımsı ve kırmızımsı beyaz	
	Öz odun	Kırmızımsı kahverengi	
Yoğunluk (g/cm ³)	Tam kuru	0,63	
	Hava kurusu	0,66	
Hacim ağırlık değeri (kg/m ³)		531	
Lif doygunluğu noktası (%)		29,2	
Eğilme direnci (N/mm ²) u=%12		123	
Eğilme elastikiyet modülü u=%12(N/mm ²)		12500	
Çekme direnci (N/mm ²) μ=%12		Liflere paralel	13,5
		Liflere dik	7

Kayın odunu, her çeşit mobilya, merdiven, parke, dilme ve soyma kaplama, kamyon kasası gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kimyasal boyalarla farklı renklerde boyamaya oldukça uygundur. Her çeşit vernik türü başarıyla uygulanabilir. Kayın, tornacılık ve oymacılık işlerinde ve sandalye masa gibi işlerde oldukça yoğun olarak kullanılır. Çivi, vida ve tutkal

tutma yeteneği hayli yüksektir (Şanıvar, 1980). Tablo 3.1’de kayın odununun bazı teknolojik özelliklerine ait bilgiler yer almaktadır.

Tablo 3.2: Sarıçam odununun bazı teknolojik zellikleri (Berkel, 1970)

Fiziksel zellikleri		Mekanik zellikleri	
Tam kuru yoğunluk	0,49 gr/cm ³	Basınç direnci	5,5 N/mm ²
Hava kuru yoğunluk	0,52 gr/cm ³	Eğilme direnci	100 N/mm ²
Hacim ağırlık değeri	0,42 gr/cm ³	Elastikiyet modülü	12000 N/mm ²
Radyal daralma	4,3 %	Çekme direnci	104 N/mm ²
Teğet daralma	8,3 %	Makaslama direnci	10 N/mm ²
Hacmen daralma	12,7 %	Dinamik eğilme	0,4 kN/cm
		Yarılma direnci/radyal	0,91 N/mm ²
		Yarılma direnci/teğet	0.95 N/mm ²
		Brinel sertlik/liflere paralel	40 N/mm ²
		Brinel sertlik/liflere dik	19 N/mm ²
Kullanıma Yönelik Genel Değerlendirme			
İŐlenme	İyi	Dayanıklılık	Çok
Kurutulabilme	Kolay	Emprenye edilebilme	Orta

Sarıçam odunu mobilya sektöründe ve kapı pencere üretiminde, tavan ve yer döşemesi imalatında, lambri ve tavanların alt konstrüksiyon ve karkaslarında, ahşap gemi taşıyıcı yapı elemanı ve gemi iÇ ve dış mekn dekorasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Şanıvar, 1980). Sarıçam odununa ait bazı teknolojik zellikler Tablo 3.2’de yer almaktadır.

3.1.2. Tutkal

Yapıştırıcılar fiziksel veya kimyasal bir iŐlemin sonucu olarak iki veya daha fazla malzeme türünü birbirine bağlayan katı ve sıvı formlarda bulunabilen maddelerdir. Mobilya endüstrisinde farklı amaçlar iÇin farklı yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yapıştırıcılar aşağıda aÇıklanmıŐtır.

3.1.2.1. Sıvı Doğal Deri Tutkalı

Sıvı doğal deri tutkalının; deri, kemik ve/veya sinirlerde bulunan jelatinden üretilen protein esaslı hayvansal kökenli tutkal olduğu; boncuk, yaprak veya öğütülmüş şekilde bulunabilmektedir. Deriden elde edilen tutkal (Hide glue), kemikten elde edilen (Bone glue) tutkala oranla daha güçlü yapışma direnci sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan kemikten üretilen (Bone glue) tutkaldır. Ancak şekli sebebiyle boncuk olarak bulunan tutkal ısıtılarak kullanıldığı için bazen sıcak tutkal veya glüten tutkalı olarak bilinmektedir. Nemden ve ısıdan korunduğu takdirde bozulması mümkün değildir. Doğal olması nedeniyle insan sağlığına hiçbir zararı bulunmamaktadır. Bu tutkalın oluşturduğu bağ son derece güçlüdür. Aynı zamanda oldukça kırılmandır. Hazırlanma süreci ile çok kısa uygulama süresi olması en önemli iki dezavantajdır. Çok çabuk jelleşmesi nedeniyle hızlı bir şekilde uygulanması gerekir (URL-4, 2022).

Ahşap endüstrisinde kullanım alanı yaygın olmayan Titebond üretici markalı sıvı doğal deri tutkalı ambalaj viskozitesinde kullanılmıştır. Doğal deri tutkalı, içerisine % 1, % 3 ve % 5 oranlarda nanokil maddesi ilave edilerek mekanik karıştırıcı ile homojen bir şekilde karışımı yapılmak suretiyle deney örneklerinin yapıştırılmasında kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 3.1’de Titebond üretici markalı sıvı doğal deri tutkalı (Hide glue) görseli yer almaktadır.



Şekil 3.1: Sıvı doğal deri tutkalı (URL-4, 2022)

Tablo 3.3: Sıvı doğal deri tutkalının bazı teknolojik özellikleri (URL-4, 2022)

Tip	Mukavemet	Kurumuş Film Rengi	Temizlik	Uçucu Organik Bileşik	Açık/Toplam Birleştirme Süresi
Doğal Protein Emülsiyonu	3.590 psi	Şeffaf Kehribar	Kurumadan önce ve sonra su ile	0g/L	6-8/25-30 dk.

Tablo 3.3'te sıvı doğal deri tutkalının bazı özelliklerine yer verilmiştir. Bu özellikler doğrultuda üretici firma önerilerine uygun şekilde yapıştırma işlemlerinde kullanımı gerçekleştirilmiştir.

3.1.2.2. Doğal Boncuk Tutkalı

Doğal boncuk tutkalı 30-40 °C sıcak su içerisinde eritilerek kullanılmakta olup 60-70 °C'de daha hızlı çözünmektedir. Boncuk tutkalı 1/1 oranında sıcak su ilave edilerek ve homojen bir şekilde karıştırılarak hazırlanır. Tutkal bal kıvamına geldiğinde yapıştırılacak yüzeye sıcak halde sürülerek 25 °C derece civarında pres yapılır. Soğuyan tutkal bir ay süre içerisinde yeniden kullanılabilir ancak formaldehit gibi koruyucularla ömrü uzatılabilir. Glüten tutkalı, organik tutkal ve sıcak protein tutkal olarak da bilinir (URL-5, 2022). Boncuk tutkalına ait görsel Şekil 3.2'de yer almaktadır.



Şekil 3.2: Boncuk tutkalı (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Şekil 3.3'de doğal boncuk tutkalının sıcak su içerisindeki ilkel yöntemle hazırlama işlemine ait görseli bulunmaktadır.



Şekil 3.3: Boncuk tutkalı hazırlama yöntemi (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Boncuk tutkalının, şekil 3.3'te görüldüğü üzere direkt ısı kaynağına maruz kalmayacak şekilde sıcak su içerisinde başka bir kap yardımıyla eritilmesi sağlanmaktadır.

3.1.3. Nanokil

Nanokil malzeme, esasen ince taneli minerallerden, esas olarak fillosilikat minerallerinden ve mineraller arasında değişken miktarda sudan oluşan doğal bir malzemedir. Nanokil, mükemmel fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı birçok uygulamaya sahiptir. Uygun renk iletimini sağlamak için mürekkep yapımında ve ilaç dağıtım uygulamalarında kullanıldığı da bilinmektedir (URL-2).



Şekil 3.4: Nanokil maddesi (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Bu çalışma için nanokil maddesinin fiziksel ve kimyasal özelliğinden yararlanmak üzere nanokil maddesi sıvı doğal deri tutkalına % 1, % 3 ve % 5 oranlarında homojen şekilde eklenip karıştırılarak kullanılmıştır. Nanokil maddesinin görseli Şekil 3.4'te yer almaktadır.

3.2. METOT

3.2.1. Tutkal Reçetelerinin Hazırlanması

Çekmede makaslama ve eğilme deneyinde kullanılmak üzere her iki ağaç türü olan kayın ve sarıçam odunlarından elde edilen deney örneklerinin hazırlanmasında doğal deri tutkalı ve doğal boncuk tutkalı olmak üzere iki adet tutkal kullanılmıştır. Doğal deri tutkalına % 1, % 3 ve % 5 oranlarında olmak üzere nanokil maddesi ilave edilerek mekanik karıştırıcı yardımıyla homojen bir şekilde karışımı sağlanmıştır. Nanokil maddesi ilaveli doğal deri tutkalı ile deney örnekleri yapıştırılmıştır. Nanokil maddesi ilave edilmeyen doğal deri tutkalı ve doğal boncuk tutkalı ile kontrol deney örnekleri yapıştırılarak hazırlanmıştır.

Tablo 3.4: Numune deseni

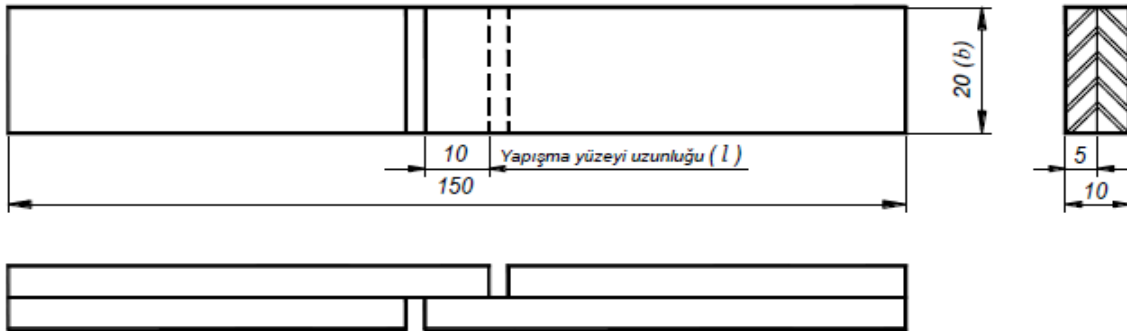
Ağaç türü	Boncuk Tutkalı	Deri Tutkalı+Nanokil			
		Kontrol	% 1 Nanokil	% 3 Nanokil	% 5 Nanokil
Kayın	✓	✓	✓	✓	✓
Sarıçam	✓	✓	✓	✓	✓

Tablo 3.4’te ağaç malzeme türü ve tutkal çeşidi bakımından hazırlanan deney örneklerine ait numune deseni yer almaktadır.

3.2.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması

3.2.2.1 Çekmede Makaslama Örnekleri

Çekmede makaslama deneyi çalışması için, kayın ve sarıçam ağaç türü olmak üzere iki ağaç malzeme türü kullanılmıştır. Her iki ağaç malzeme türünden kontrol örneği (K), % 1, % 3 ve % 5 oranlarındaki nanokil katkılı örnekler için sıvı doğal deri tutkalı kullanılmıştır. Kontrol örneğinde doğal boncuk tutkalı olmak üzere toplamda iki adet tutkal çeşidi için 150*20*10 mm ölçülerinde toplam 100 adet deney örnekleri TS EN 205’de belirtilen kurallara uygun olarak daire testere makinesi ve sonrasında planya makinesi kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri 20±2 °C sıcaklık, %65±5 bağıl neme sahip kapalı ve doğrudan güneş/gün ışığı almayan ortamda bekletmek suretiyle % 12’lik denge rutubetine gelmesi sağlanarak deneye hazır hale getirilmiştir. Deney örnekleri Şekil 3.5’teki ölçülerde hazırlanmış olup çekmede makaslama deneyine tabi tutulacak yüzey alanı 200 mm² olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.5: Çekmede makaslama deney örnekleri (mm) (Çizen: Engin ŞAHİN, 2022)

Her bir ağaç türü (2) ve tutkal çeşidi (2) için 10'ar adet olmak üzere toplam 100 adet deney örnekleri hazırlanmıştır. Tutkallama işlemi için nanokil maddesi sıvı deri tutkalı ile belirlenen yüzdeler oranlarında mekanik karıştırıcı ile homojen bir şekilde karıştırılarak hazırlanmıştır. Parçalara tutkal tatbikinde; tutkal sıvısı üretici firma önerilerine uygun olarak deney numunelerinin 200 mm²'lik yüzeylerden her bir tanesine 150-170 g/m² olacak şekilde rulo fırça ile sürülmüştür. Yapıştırıcı uygulama işlemi oda sıcaklığında ve ısıtmalı pres yapabilen hidrolik preste 0,5 N/m² pres basıncı ve 12 saat presleme süresi ayarlanarak 20±2 °C presleme sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Örnekler, 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında denge rutubetine ulaşıncaya kadar iklimlendirme kabini içinde tutulduktan sonra standartlarda belirtilen ölçülerde biçilerek deneylere hazır hâle getirilmiştir (Şekil 3.6)

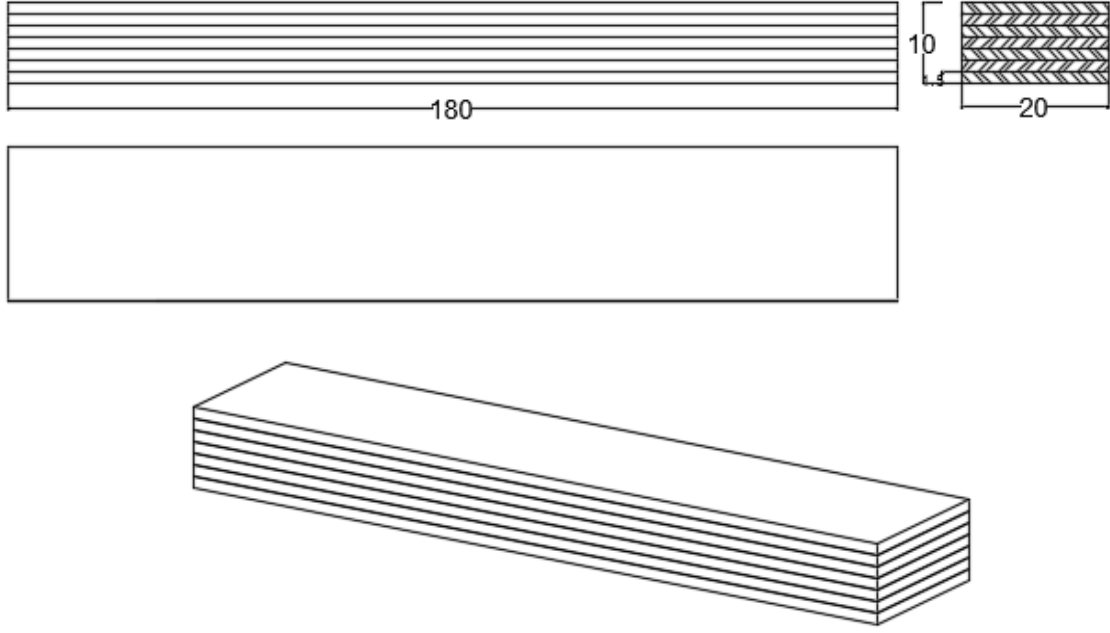


Şekil 3.6: Denge rutubetine getirilen çekmede makaslama deneyi örnekleri (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

3.2.2.2 Eğilme Örnekleri

Eğilme deneyi çalışması için, kayın odunundan elde edilen ~1,5 mm kalınlığındaki kayın LVL kontrol örneği (K), % 1, % 3 ve % 5 oranlarındaki nanokil maddesi katkıları deney

örnekleri için sıvı doğal deri tutkalı, kontrol deney örneği için doğal boncuk tutkalı olmak üzere iki tutkal çeşidi için 180*20*10 mm ölçülerinde toplamda 50 adet deney örneği TS EN 310'da belirtilen esaslara uyulmak suretiyle daire testere makinesi kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık, % 65 ± 5 bağıl neme sahip kapalı ve doğrudan güneş/gün ışığı almayan ortamda bekletmek suretiyle % 12'lik denge rutubetine gelmesi sağlanarak deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Eğilme deneyi örneği (Çizen: Engin ŞAHİN, 2022)

Kayın ağaç malzeme türü ve iki tutkal çeşidi için 10'ar adet olmak üzere toplam 50 adet LVL örnekleri hazırlanmıştır. Deney örneklerinin tutkallanmasında; tutkal üretici firma önerilerine uygun olarak yüzeylerden her bir tabaka yüzeyine 150-170 g/m² olacak şekilde rulo fırça ile sürülmüştür. Yapıştırma işlemi soğuk ve sıcak pres yapabilme yeteneğine sahip göstergeli hidrolik preste soğuk olarak 0,5 N/mm² pres basıncı, 12 saat presleme süresi ayarlanarak 20 ± 2 °C presleme sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Presleme işlemine ait görsel Şekil 3.8'de yer almaktadır.



Şekil 3.8: Presleme işlemi (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Örnekler, 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında denge rutubetine ulaşıncaya kadar bekletildikten sonra standartlarda belirtilen ölçülerde daire testere makinesi ile kesilerek deneylere hazır hâle getirilmiştir (Şekil 3.9).

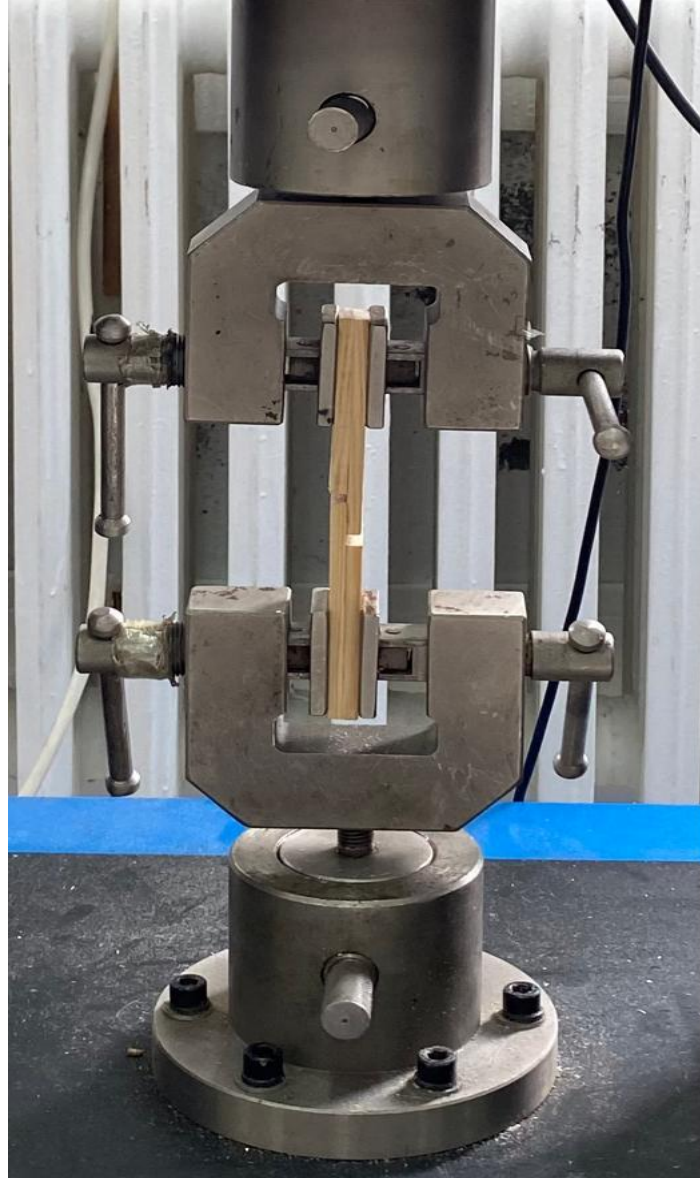


Şekil 3.9: Denge rutubetine getirilen eğilme deneyi örnekleri (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

3.3. Deney Metodu

3.3.1. Çekmede Makaslama Deneyi

Çekmede makaslama deneyinde yapışma direnci, her ağaç malzeme (2) ve her tutkal türü (2) için hazırlanan 150*20*10 mm ölçülerindeki toplam 100 adet deney örnekleri TS EN 205 de belirtilen kurallara uygun olarak çekmede makaslama deneyine tabi tutulmak suretiyle sonuçlar belirlenmiştir. Deney örnekleri üniversal test cihazının germe mekanizmasına sabitlenerek zıt yönde 5 mm/dk yükleme hızında statik çekme kuvveti uygulanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Çekmede makaslama deneyi uygulaması (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Dengeli ve kademeli uygulanan çekme kuvvetiyle, deney örneği yapışma alanı olan tutkal hattından koparılmaya çalışılmış ve kopma anındaki maksimum kuvvet (F_{max}) Newton (N) cinsinden tespit edilerek yapışma direnci;

$$YD = F_{max} / A = (N/mm^2)$$

YD: Yapışma direnci

F_{max} : Maksimum kuvvet (N)

A: Yapışma yüzey alanı (mm^2)

Formül eşitliği kullanılarak 0,01 N/ mm^2 hassasiyetle hesaplama işlemi yapılmıştır.

3.3.2. Eğilme Deneyi

Eğilme deneyinde eğilme direnci, kayın LVL malzeme ve tutkal (2) için hazırlanan 180*20*10 mm ölçülerindeki toplam 50 adet deney örnekleri TS EN 310'da belirtilen kurallara uyulmak suretiyle hazırlanmış ve eğilme deneyine tabi tutularak sonuçlar belirlenmiştir. Deney örnekleri üniversal test cihazının itme mekanizmasına yerleştirilerek deney örneklerine 5 mm/dk yükleme hızında statik itme kuvveti uygulanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Eğilme deneyi uygulaması (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Dengeli ve kademeli uygulanan itme kuvvetiyle deney örneği üzerinde kırılma anındaki maksimum kuvvet (F_{\max}) Newton (N) cinsinden tespit edilerek eğilme direnci(σ_e);

$$\sigma_e = \frac{3F_{\max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ N/mm}^2$$

F_{\max} : Kırılma anındaki en yüksek kuvvet (N)

L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

h: Örnek derinliği/yüksekliği (mm)

Formülü kullanılarak 0.01 N/mm² hassasiyetle hesaplama işlemi yapılmıştır.

Eğilmede elastikiyet modülü her deney örneği için eğilme direncinin belirlenmesinde kullanılan aynı örnekler üzerinden formüle edilerek hesaplanmıştır.

$$\sigma_{em} = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot d^3 \cdot \Delta}$$

F: Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı

L: Mesnet açıklığı (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

d: Örnek kalınlığı (mm)

Δ : Sehim miktarı

Formülü kullanılarak 0.01 N/mm² hassasiyetle hesaplama işlemi yapılmıştır.

3.3.3 İstatistiksel Değerlendirme

Bu çalışmada 2 adet ağaç türü ve 2 adet tutkal çeşidi olmak üzere hazırlanan deney örnekleri statik yük etkisinde çekmede makaslama ve eğilme direnci deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar üzerinde ANOVA testleri yapılmış ve gruplar arasındaki farkların anlamlı olup olmadığı Duncan testi uygulanarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Çekmede Makaslama Direnci

Çekmede makaslama dirençleri; her deney örneği için deney sonucunda tespit edilen F_{max} kuvvetleri, test örneklerinin yapışma yüzey alanı (A) ile formüle edilerek hesaplanmış ve yapışma dirençleri aşağıda Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Çekmede makaslama deneyi dirençleri ortalama değerleri (N/mm²)

Malzeme Türü	Boncuk Tutkalı	Sıvı Doğal Deri Tutkalı			
		Kontrol	% 1 Nanokil	% 3 Nanokil	% 5 Nanokil
Kayın	6,35	12,28	11,03	12,28	12,30
Sarıçam	4,21	5,81	8,94	10,18	9,61

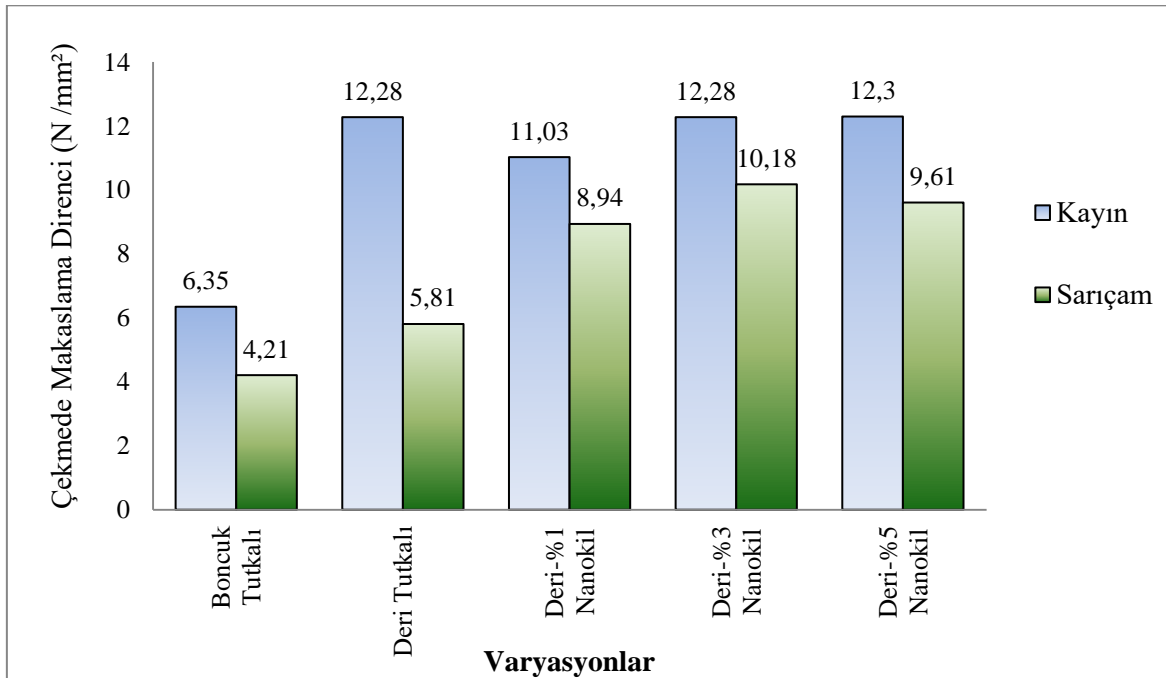
Çekmede makaslama dirençleri Şekil 4.1’deki grafik üzerinden incelendiğinde; çekmede makaslama direncinin % 5 oranında nanokil katkı maddesinin olduğu deney örneğinde (12,30 N/mm²) en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Literatürde yer alan Efe ve Gürleyen (2007)’in yaptığı çalışmada, yoğunluğu fazla olan ağaçlarda yapışmanın daha fazla olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle kayın ağacının yoğunluğunun da yapışma direncine pozitif yönde etki etmiş olabileceği öngörülebilir. Literatürde yer alan Bardak vd. (2018)’nin yaptığı çalışmada, nanosilikon dioksit (SiO₂) ve titanyum dioksit (TiO₂) UF ile harmanlandığı, nanopartikül takviyeli farklı nano dolgu konsantrasyonlarında (% 0,5 ve % 1) işlendiği ve her yapıştırıcı % 0, % 12, % 18 ve % 25 nem içeriğinde test edildiği, yapışma mukavemeti test sonuçlarına göre, nano-SiO₂ içeren yapıştırıcıların kontrol (saf UF) ve nano-TiO₂ yapıştırıcılar ile karşılaştırıldığında daha iyi yapışma mukavemeti gösterdiği, nano (SiO₂ ve TiO₂) parçacıklarının saf UF’nin bağlanma gücünü arttırdığını göstermiştir. En yüksek yapışma mukavemeti değerinin (8,01 N/mm²) % 0,5 SiO₂’de elde edildiği bildirilmiştir. Bu doğrultuda çalışmamızda alınan sonuçların daha yüksek yapışma mukavemeti sağladığı söylenebilir.

Literatürde yer alan Örs vd. (1999)’nin yaptığı çalışmada, doğu kayını, sapsız meşe ve sarıçam odunlarından hazırlanan örneklerin Klebit 303, Kleiberit 305, Süper Lackleim 308

tutkallarıyla yapıştırılarak çekme deneyine tabi tutulduğu, deney sonuçlarına göre; en yüksek çekme direncinin Klebit 303 tutkalı ile doğu kayını (8,980 N/mm²) ve sapsız meşe (8,950 N/mm²), en düşük çekme direncini ise Süper Lakleim 308 tutkalı ile sapsız meşe (5,018 N/mm²) ve Klebit 303 tutkalı ile sarıçam (5,018 N/mm²) örneklerinin gösterdiği tespit edilmiştir. Kayın ve % 5 nanokil katkıli deri tutkalı kullanılan örnekten aldığımız sonucu destekler nitelikte olduğu söylenebilir. Çalışmamızda sarıçam odunu örneğinde, en iyi yapışma direnci sonucunun % 3 oranında nanokil katkıli sıvı deri tutkalı kullanılan deney örneğinde (10,18 N/mm²) olduğu görülmektedir. Burada literatürdeki Klebit tutkalı (5,018 N/mm²) sonucundan daha iyi bir direnç elde ettiğimiz görülmektedir.

Literatürde Liu (1997)'nin yaptığı çalışmada, üre formaldehit reçinesinin % 1-2 polivinil alkol ve % 10-15 amonyum ile modifiye edildiği ve serbest formaldehit miktarı modifiye edilmiş tutkalda % 3, saf tutkalda ise % 5 sonucunu verdiği belirtilmiştir. Çekme direnci deneyi sonuçlarına göre ise modifiye edilmiş tutkalla yapıştırılan deney örneklerinde yapışma direncinin yükseldiği tespit edilmiştir. Modifiye edilen tutkalın yapışma direncini arttırdığı çalışmamızı destekler niteliktedir.

Boncuk tutkalının ve sıvı deri tutkalının kullanıldığı her iki örnekte ise sıvı deri tutkalının yapışma direncinde daha etkili olduğu görülmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Çekmede makaslama deneyi karşılaştırma grafiği

Çekmede makaslama deneyinde kayın odunundan elde edilen ve rastgele seçim yapılan kontrol (K), % 1, % 3 ve % 5 nanokil katkıli sıvı deri tutkalı ile yapıştırılan deney örneklerine uygulanan F_{max} değerinde meydana gelen kuvvet sonucunda oluşan kopmalara ait yapışma yüzeyine ilişkin görüntüler Şekil 4.2’de verilmiştir.



a- Kontrol(K)



b- %1 Nanokil



c- % 3 Nanokil



d- % 5 Nanokil

Şekil 4.2: Kayın odunu deney örnekleri (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Şekil 4.2’deki örnekler incelendiğinde; (a) ve (b) örneklerinde yapışma alanlarındaki kopmaların tutkal yüzeylerinden olduğu görülmektedir. Diğer (c) ve (d) örneklerindeki kopmaların yapışma yüzey alanlarındaki ahşap yüzeyler üzerinde meydana geldiği ve odun yıkımının gerçekleşmiş olduğu görülmektedir.

Çekmede makaslama deneyinde sarıçam odunundan elde edilen ve rastgele seçim yapılan kontrol (K), % 1, % 3 ve % 5 nanokil katkıli sıvı deri tutkalı ile yapıştırılan deney örneklerine uygulanan F_{max} değerinde meydana gelen kopmalara ait yapışma yüzeyine ilişkin görüntüler Şekil 4.3'te verilmiştir.



a- Kontrol (K)



b- % 1 Nanokil



c- % 3 Nanokil



d- % 5 Nanokil

Şekil 4.3: Sarıçam odunu deney örnekleri (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Şekil 4.3'deki örnekler incelendiğinde; (a), (b) ve (d) örneklerinde yapışma alanlarındaki kopmaların tutkal yüzeylerinden olduğu görülmektedir. Diğer (c) örneğindeki kopmaların yapışma yüzey alanlarındaki ahşap yüzeyler üzerinde meydana geldiği ve odun yıkımının gerçekleşmiş olduğu görülmektedir.

Çekmede makaslama deneyinde kayın ve sarıçam odunlarından elde edilen doğal boncuk tutkalı ile yapıştırılan ve rastgele seçim yapılan deney örneklerine uygulanan F_{max} değerinde meydana gelen kopmalara ait yapışma yüzeyine ilişkin görüntüler Şekil 4.4’de verilmiştir.



a- Kayın kontrol örneği



b- Sarıçam kontrol örneği

Şekil 4.4: Kayın ve sarıçam odunu boncuk tutkalı uygulaması (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Şekil 4.4’teki örnekler incelendiğinde; (a) örneğindeki kopmaların daha çok ahşap yüzeylerde meydana gelmiş olduğu diğer örnek olan (b) örneğinde ise tutkal yüzey alanından kopmaların meydana gelmiş olduğu görülmektedir.

Çekmede makaslama deneyine tabi tutulan kayın ve sarıçam odunlarına ait deney örneklerinin kullanılan tutkal ve nanokil katkısı bakımından sonuçları aşağıdaki Tablo 4.2’de ifade edilmiştir. Deney örneklerinden elde edilen veriler üzerinden farkların hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek maksadıyla ANOVA (SPSS Viewer Paket Programı) testi uygulanmıştır.

Tablo 4.2: Çekmede makaslama deneyi Anova testi sonuçları

Malzeme/Tutkal Çeşidi	Aritmetik Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	ANOVA Testi (HG)
Boncuk Sarıçam	4,20	1,73	0,41	a
Deri Sarıçam	5,80	2,71	0,46	ab
Boncuk Kayın	6,33	2,11	0,33	b
Deri % 1 Sarıçam	8,94	0,79	0,08	c
Deri % 5 Sarıçam	9,60	1,48	0,14	cd
Deri % 3 Sarıçam	10,18	1,23	0,11	cd
Deri % 1 Kayın	10,76	2,57	1,46	de
Deri Kayın	12,27	0,88	0,07	e
Deri % 3 Kayın	12,28	1,63	0,13	e
Deri % 5 Kayın	12,30	2,21	0,17	e

HG: Homojenlik gurubu, % 1, 3, 5: Nanokil, Deri, Boncuk: Tutkal çeşidi, K: Kontrol

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere; malzeme çeşidi açısından kayın odunundan kullanılan örneklerden % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı örneğinde en iyi yapışma direncinin elde edildiği görülmektedir. Nanokil katkı maddesinin, Hekimoğlu (2014)’nun deney sonuçlarına göre ilave ettiği nanokil miktarına bağlı olarak, eğilme dirençlerinde ve eğilmede elastikiyet modüllerinde artış olduğunu belirlemiştir. Nanokil maddesinin % 3 ve % 5’lik oranlarda katkısıyla doğal sıvı deri tutkalı kullanılarak hazırlanan kayın ve sarıçam odunu örneklerinde aldığımız sonuçları destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Sarıçam odunundan kullanılan örneklerden % 3 oranında nanokil katkılı sıvı deri tutkalı kullanılan deney örneğinden en iyi yapışma direnci elde edildiği görülmektedir. En zayıf yapışma direncinin boncuk tutkalı kullanılan sarıçam odunundan elde edilen kontrol örneğinde

olduğu görülmektedir. Shen J. (1997)'nin PVA tutkal türü ve sarıçam, kayın, meşe odunları kullandığı ağaç türleri ile çekmede makaslama deneyi uyguladığı bir çalışmada en yüksek yapışma direncinin kayın, en düşük yapışma direnci sarıçam odununda gerçekleşmiştir.

4.2. Eğilme Direnci

Eğilme deneyinde eğilme dirençleri; her deney örneği için deney sonucunda örneklerin kırılma anındaki tespit edilen F_{max} kuvvetleri, mesnet açıklığı ve örnek ölçüleri verileri formüle edilerek hesaplanmış ve eğilme dirençleri aritmetik ortalamaları aşağıdaki Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre % 5 oranda katkısı yapılan deney örneğindeki nanokil maddesinin, sıvı deri tutkalının kontrol örneğine oranla eğilme direncine olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür.

Tablo 4.3: Eğilme dirençleri (N/mm²)

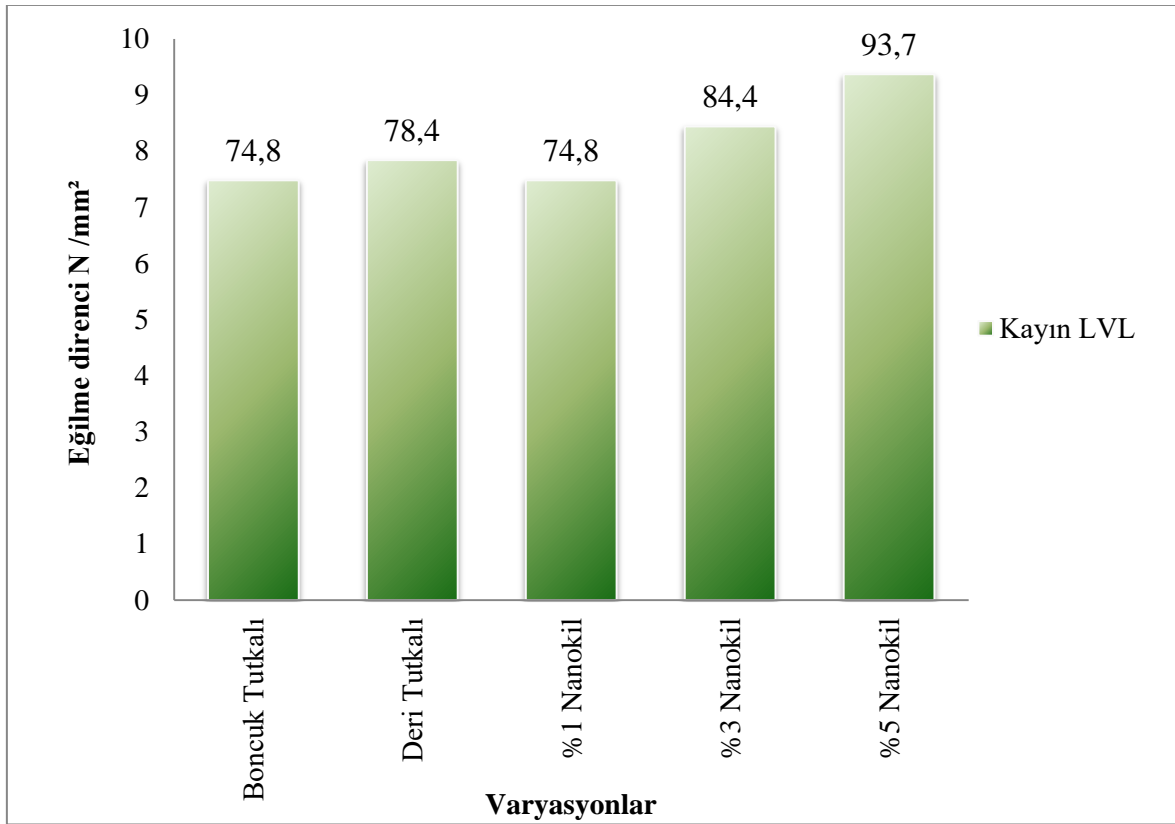
	Boncuk Tutkalı	Sıvı Doğal Deri Tutkalı			
	Kontrol	Kontrol	% 1 Nanokil	% 3 Nanokil	% 5 Nanokil
Eğilme Direnci (A.O.)	74,8	78,4	74,8	84,4	93,7

A.O.: Aritmetik ortalama

Eğilme dirençleri grafik üzerinden incelendiğinde kayın odunu kaplamalarından üretilen kayın LVL örneğinde nanokil maddesinin katkısı arttıkça oranın çok anlamlı olarak değiştiği görülmüş ve % 5 nanokil katkı maddesinin olduğu deney örneğinde en iyi olumlu sonucu verdiği tespit edilmiştir. Literatürde Hekimoğlu (2014)'nin ÇLK ile ilgili çalışmada nanokil ilavesiyle % 1, % 2 ve % 4'lük bir karışım hazırlamıştır. Deney sonuçlarına göre, ÇLK göknar örneklerine eklenen nanokil miktarı ile eğilme mukavemetinin ve eğilmede elastikiyet modülünün arttığı belirlenmiştir. ÇLK sarıçam örneklerinin eğilme dayanımının eklenen nanokil miktarı ile arttığı, ÇLK sarıçam örneklerinin eğilme modülünde eklenen nanokil miktarının % 1 ve % 2 de arttığı ve % 4 de

azaldığı belirlenmiştir. Altınok vd. (1999)'nin lamine ağaç malzemedeki ağaç türü, katman sayısı ve tutkal çeşidinin eğilme direncine etkilerinin incelendiği çalışmanın sonucunda, 7 katmanlı örneklerin eğilme direncinin sırasıyla en yüksek kayın, çam ve meşe odunlarından hazırlanan lamine malzemelerde olduğu belirtilmiştir. Çalışmamızda kullanılan kayın odunu LVL örneğinden aldığımız sonuçları destekler niteliktedir.

Boncuk tutkalı ile sıvı deri tutkalı kullanılan kontrol örnekleri karşılaştırıldığında tutkal farklılıkları bakımından anlamlı bir farkın olmadığı görülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Eğilme dirençleri grafiği

Eğilme deneyi için kayın odunundan elde edilen kayın LVL olarak hazırlanan kontrol (K), % 1 nanokil, % 3 nanokil ve % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı ile hazırlanan deney örneklerinin test sonucunda aldığı fiziksel değişime ait rastgele seçilen görseller aşağıda verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: Nanokil katkılı sıvı deri tutkalı ile hazırlanan kayın LVL numunelerinin test sonrası görünümü (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2022)

Şekil 4.7’de kayın odunundan elde edilen kayın LVL örneklerinden boncuk tutkalı kullanılarak hazırlanan kontrol (K) örneklerinin eğilme deneyine tabi tutulan test işlemi sonucunda aldığı fiziksel değişime ait rastgele seçimi yapılan örneklerin görselleri yer almaktadır.



Şekil 4.7: Boncuk tutkalı ile hazırlanan kayın LVL numunelerinin test sonrası görünümü (Fotoğraf: Engin ŞAHİN, 2023)

Eğilme deneyine tabi tutulan kayın odununa ait deney örneklerinin, kullanılan tutkal ve nanokil katkısı bakımından sonuçları aşağıda Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Malzeme ve tutkal çeşidine göre eğilme deneyi ANOVA testi sonuçları

Malzeme/Tutkal Çeşidi	Aritmetik Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	ANOVA Testi (HG)
Deri + % 1 Nanokil	74,8	1,83	0,24	a
Boncuk tutkalı	74,8	1,10	0,14	a
Deri tutkalı	78,4	1,27	0,16	ab
Deri + % 3 Nanokil	84,4	1,38	0,16	ab
Deri+ % 5 Nanokil	93,7	0,70	0,07	b

HG: Homojenlik gurubu, % 1, 3, 5: Nanokil, Deri, Boncuk: Tutkal çeşidi, Malzeme: Kayın

Tablo 4.4'te görüldüğü üzere; kullanılan kayın odunu örneklerinden % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı örneğinde en iyi yapışma direncinin elde edildiği görülmektedir. En zayıf yapışma direncinin ise % 1 oranında nanokil katkılı sıvı deri tutkalı ile yapıştırılan kayın odunundan elde edilen kontrol örneği ve boncuk tutkalı ile yapıştırılan kayın odunundan elde edilen kontrol örneklerinde olduğu görülmektedir.

Xian-qing vd. (2020)'nin LVL malzemenin yapıştırılmasında mısır nişastasının geliştirilmesi adına yaptıkları çalışmada eğilme direncinin 45,7-59,9 N/mm² olarak sonuçlandığı belirtilmiştir. Mısır nişastasının yapıştırıcı performansında mükemmel derecede yapışma özelliği gösterdiği belirtilmiştir. Çalışmamıza benzer özellikler sergilediği söylenebilir.

4.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme deneyinde eğilmede elastikiyet modülü; elastikiyet modülünün belirlenmesinde TS 2478 numaralı standart kullanılmıştır. Elastikiyet modülü sonuçları, eğilme direncinin

belirlenmesinde kullanılan aynı örnekler üzerinde formüle edilerek hesaplanmış ve LVL örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri aşağıdaki Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5: LVL örneklere ait elastikiyet modülü değerleri

İ.D.	Boncuk Tutkalı	Sıvı Doğal Deri Tutkalı			
		Deri Tutkalı	% 1 Nanokil	% 3 Nanokil	% 5 Nanokil
x	6209	5536	6614	7141	8690
s.s.	667,9	141,5	478,2	748,9	485,6
v.k.	13,0	43,8	11,5	8,8	14,7

İ.D.:İstatistik değerler, x:Aritmetik ortalama, s.s.:Standart sapma, v.k.:Varyasyon katsayısı

Tablo 4.5'teki veriler incelendiğinde elastikiyet modülü değerinin % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı kullanılan örnekte diğer örneklere oranla yüksek olduğu görülmektedir. Eğilme direncine ait aritmetik ortalama değerlerinde olduğu gibi, elastikiyet modülü testine ait bulgularda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kayın odunu yoğunluğunun yüksek olmasının, elastikiyet değerinin yüksek çıkmasında önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir. Kayın odununun elastikiyet modülü üzerine yapılan bazı önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Malkoçoğlu, 1994; Bektaş vd., 2002).

Xian-qing vd. (2020)'nin LVL malzemenin yapıştırılmasında mısır nişastasının geliştirilmesi adına yaptıkları çalışmada eğilmede elastikiyet modülü değerinin 5499-6158 olarak sonuçlandığı belirtilmiştir. Çalışmamıza benzer özellikler sergilediği söylenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışmada; doğal deri tutkalına % 1, % 3 ve % 5 oranlarında nanokil ilave edilmiştir. Nanokil ilaveli tutkallar kontrol (deri tutkalı) ve boncuk tutkalı ile karşılaştırılmıştır. Çekmede makaslama deneyi sonuçlarına göre kayın odunu ile hazırlanan deney örneklerinden % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı ile yapıştırılan örnekte (12,30 N/mm²) en iyi yapışma direnci elde edilmiştir. Çekmede makaslama deneyi sonucunda en zayıf yapışma direnci ise boncuk tutkalı kullanılan sarıçam odunundaki deney örneğinde (4,20 N/mm²) olduğu tespit edilmiştir. Eğilme deneyi sonuçlarına bakıldığında ise kayın odunu ile hazırlanan deney örneklerinden % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı ile yapıştırılan deney örneğinde (93,7 N/mm²) en iyi yapışma direnci elde edilmiştir. Eğilme deneyi sonucunda en zayıf yapışma direnci ise boncuk tutkalı ve % 1 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı kullanılan örneklerde (7,48 N/mm²) olduğu tespit edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü verilerine göre % 5 nanokil maddesi katkılı kayın odunundan elde edilen kayın LVL örneklerinde en yüksek elastikiyet modülü sonuçları elde edilmiştir.

Malzeme çeşidi bakımından değerlendirildiğinde sarıçam odununa kıyasla kayın odunundan elde edilen deney örneklerinin yapışma dirençleri daha olumlu sonuçlar vermiştir. Kayın odunundan elde edilen deney örneklerinin, sıvı doğal deri tutkalı kullanılan % 3 (12,28 N/mm²) ve % 5 (12,30 N/mm²) oranında katkı yapılan nanokil maddesiyle en iyi yapışma direnci sonucunu verdiği görülmektedir. Kayın LVL'lerin % 5 nanokil katkılı sıvı deri tutkalı kullanılan varyasyonlarında en yüksek (93,7 N/mm²) direnç özellikleri gösterdiği belirlenmiştir.

Tutkal çeşidi bakımından değerlendirildiğinde en iyi yapışma direnci sonuçları veren tutkalın sıvı deri tutkalı olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmamızda doğal sıvı deri tutkalının kohezyon gücünün adezyon gücünden fazla olmasından dolayı daha yüksek yapışma direncine sahip olması muhtemeldir.

Çekmede makaslama ve eğilme deneyleri olarak her iki deneyde kullanılan malzeme türünde kayın odunundan elde edilen deney örneklerinin yapışma direncinde daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Nanokil maddesinin % 3 ve % 5'lik oranlarda katkısıyla doğal sıvı deri tutkalı kullanılarak hazırlanan kayın odunu örneklerinde en iyi sonuçları

verdiği tespit edilmiştir. Burada kayın odununun yoğunluğunun fazla olması ve sıvı deri tutkalının nanokil maddesiyle homojen şekilde etkileşimiyle mukavemetin sağlandığı düşünülebilir.

Doğal sıvı deri tutkalının % 3 ve % 5 oranında nanokil maddesi ilave edilerek hazırlanan tutkal karışımının, denemeye alınan malzemelerde kontrol örneklerine oranla daha iyi yapışma direnci elde edilmesiyle yapıştırma işlemlerinde bu karışım tutkalın kayın odunu ile birlikte kullanılabilmesi söylenebilir. Doğal sıvı deri tutkalının nanokil maddesiyle etkileşiminin insan sağlığına ve doğaya zararının olmaması, ekonomik olması, killerin doğada kolay ve bol miktarda bulunabilmesi nedenleriyle mobilya endüstrisinde diğer kimyasal yapıştırıcılara alternatif olarak kullanılabilmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Altınok, M. ve Döngel, N. (1999). Laminasyonda Ağaç Türü, Tutkal Çeşidi ve Katman Sayısının Eğilme Direncine Etkileri, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, *Teknoloji Dergisi*, yıl 2, sayı 1.
- Bardak, T., Sözen, E., Kayahan, K. ve Bardak, S. (2018). Nanopartiküllerin ve nem içeriğinin üre formaldehit reçine yapıştırıcısının bağlanma mukavemetine etkisi. *Drvna industrija*, 69 (3), 247-252.
- Berkel, A. (1970). Ağaç Malzeme Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, 593- 596.
- Bektaş, İ., Güler, C. ve Baştürk, M. A. (2002). Principal mechanical properties of eastern beech wood (*Fagus orientalis* L.) naturally grown in Andırın northeastern mediterranean region of Turkey, *Turk J Agric For*, 26(2002), 147–154.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (1995). Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 45(2), 11-34.
- Buck, S. L. (1990). A study of the properties of commercial liquid hide glue and traditional hothideglue in response to changes in relative humidity and temperature. *Wooden artifacts group. Specialty sessions*.
- Burdurlu, E., Kiliç, Y., Elibol, G. C. ve Kiliç, M. (2006). Shear strength of calabrian pine (*Pinus Brutia* Ten.) bonded with polyurethane and polyvinyl acetate adhesives. *Journal of Applied Polymer Science*, 100, 4856-4867.
- Cassens, D.L., Johnson, B.R., Feist, W.C. ve De Groot, R.C. (1995). Selection and use of preservative-treated wood. Publication N. 7299. Madison, WI: Forest Products Society.
- Chen, X., Zhang, Y. ve Chen, C. (2017). Enhancing the performance of starch-based wood adhesive by silane coupling agent (KH570). *Journal of Wood Science*, 63(6), 557-564.
- Efe, H. ve Gürleyen, L. (2007). Poliüretan (Desmodur-VTKA) Tutkalı ile Yapıştırılmış Çeşitli Ağaç Malzemelerde Devir Sayısının Çekme Direncine Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1-14).
- Fatery, K.F. ve Williamson, T.G. (1998). Wood engineering and construction, No. Ed. 3, *Mc Graw-Hill Inc.*, New York, 1-39.
- Franklin Glue Comp., Adhesive Trouble Shooting, Columbus, USA (1989).
- Güler, C., Şahin, H. İ. ve Çiçek, E. (2010). Hercai Karaağacı (*Ulmus leavis* Pall.) Odununun Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Ormanlık Dergisi*, 6 (1): 3-11.

- Hekimoğlu, V. (2014). Gökmar ve Sarıçam Odunlarından Nanokil İlaveli Çapraz Lamine Kereste Üretim Olanaklarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 75 s.
- İlter, E., Çamlıyurt, C. ve Balkız, Ö.D. (2002). Uludağ Gökmarı (*Abies bommülleriana Mattf.*) Odununun Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar. İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten, No:281, s.4-48. ISSN: 1302-9452, Ankara.
- Khalili, S. M., Tavakolian, M. ve Sarabi, A. (2010). Mechanical properties of nanoclay reinforced epoxy adhesive bonded joints made with composite materials. *Journal of adhesion science and technology*, 24(11-12), 1917-1928.
- Kinloch, A. J. (1987). Adhesion and Adhesives Science and Technology, Chapman and Hall, London.
- Kollmann, F. ve Cote, W. A. (1968). Principles of wood science and technology, pringer Verlag.
- Liu, J. (1997). Preparation of Urea-Formaldehyde Resin Modified with Polyvinyl Alcohol and Amylum, Xiangtan Mineral Institute, Journal Ca Section, s:35-37, China.
- Malkoçoğlu, A. (1994). Doğu Kayını (*Fagus Orientalis L.*) Odununun Teknolojik Özellikleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Marra, A. A. (1983). Application of Wood Bonding, Adhesive Bonding of Wood and Other Structural Materials, Pennsylvania State University, University Park, P.A., Ch. 9.
- Örs, Y., Atar, M. ve Keskin, H. (2004). Bonding Strength of some adhesives in wood materials impregnated with Imersol-Aqua, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 24:287-294.
- Örs, Y., Özçiftçi, A. ve Atar, M. (1999). Klebit 303, Kleiberit 305 ve Süper-Lackleim 308 Tutkallarının Yapışma Dirençleri. *Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, V: 23, N: 3, Ankara.
- Örs, Y., Atar, M. ve Özçiftçi, A. (1998). Farklı Ağaç Türlerinde, Yonga ve Lif Levhalarda, PVAc ve Desmodur-VTKA Tutkalı Kullanılarak Uygulanan Kavelalarda Çekme Mukavemeti. *Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 23(1):151-156, Ankara.
- Pradhan, S., Guchhait, P. K., Kumar, K. D. ve Bhowmick, A. K. (2009). Influence of nanoclay on the adhesive and physico-mechanical properties of liquid polysulfide elastomer. *Journal of adhesion science and technology*, 23(16), 2013-2029.

- Pizzi, A. (1994). Brief Non Mathematical Review of Adhesion Theories as Applicable to Wood, *Advanced Wood Adhesive Technology*, Chapter 1, Marcel Dekker, Inc.
- Rowell, R. (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press, ISBN 0-8493-1588-3, New York, USA.
- Schultz, J. ve Nardin, M. (1999). Theories and Mechanisms of Adhesion. In: *Adhesion Promotion Techniques: Technological Applications*. Eds: K.L. Mittal and A. Pizzi, Marcel Dekker, New York, pp. 1-26.
- Shen, J. (1997). Development of Urea-Formaldehyde Adhesive, *Nort-China Engineering Institute, Journal Ca Section*, s: 35-37, Taiwan.
- Smardzewski, J. (2002). Technological Heterogeneity of Adhesive Bonds in Wood Joints, *Wood Science and Technology*, 36 (3), 213–227.
- Şanıvar, N. ve Zorlu, İ. (1980). Ağaç işleri gereç bilgisi temel ders kitabı. *Mesleki Ve Teknik Öğretim Kitapları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları* 43: 472.
- Şenay, A. (1996). Lamine Edilmiş Doğu Kayınının Mekanik ve Fiziksel Özellikleri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 163.
- URL-1 (2022). web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Yapistirma.pdf, (15.09.2022).
- URL-2 (2022). <https://nanografi.com/blog/nanoclay-properties-production-applications/>, (19.09.2022).
- URL-3 (2022). <https://woodlovins.com/hide-glue-vs-wood-glue/>, (20.10.2022)
- URL-4 (2022). <http://www.titebond.com/product/glues/9e9995b4-08eb-4fc6-8254-c47daa20f8ed>, (02.11.2022).
- URL-5 (2022). <https://www.hepsiburada.com/guler-organik-boncuk-tutkal-500-g-pm-HB00000JHOLY>, (25/11/2022).
- Ülker, O. (2016). Wood adhesives and bonding theory. *Adhesives–Applications and Properties*, Chapter 11, Pp 271-288. Intechopen, Rijeka, Croatia.
- Vick, C.B. (1993). Christiansen AW. Cure of phenol-formaldehyde adhesive in the presence of CCA- treated wood by differential scanning calorimetry, *Wood and Fiber Science*, 25(1):77–86.
- Walinder, M. (2000). Wetting Phenomena on Wood-Factors Influencing Measurements of Wood Wettability, Ph. D. Thesis, KTH-Royal Institute of Technology, Dept. Of Manufacturing Systems, Wood Technology and Processing, SE-IOO 44, Stockholm

Wang, F., Yang, L., Sun, Y., Cai, Y., Xu, X., Liu, Z. ve Liu, J. (2023). A Nanoclay-Enhanced Hydrogel for Self-Adhesive Wearable Electrophysiology Electrodes with High Sensitivity and Stability. *Gels*, 9(4), 323.

Xian-qing, X., Ying-ying, Y., Yi-ting, N. ve Liang-ting, Z. (2020). Development of a cornstarch adhesive for laminated veneer lumber bonding for use in engineered wood flooring. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 98, 102534.